

ОЦІНЮВАННЯ РІВНЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ КОГЕНЕРАЦІЇ В УМОВАХ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТА РЕЗЕРВУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

Дослідження спрямоване на оцінку ефективності виробництва теплової та електричної енергії на основі різних технологій, таких як котельні, когенераційні установки та міні-ТЕЦ (ОРС-цикл). Особлива увага приділяється порівнянню з існуючими автономними та індивідуальними системами енергозабезпечення. Для оцінки використовуються методологічні підходи, які враховують економічну доцільність та технічну ефективність кожної технології. Стаття аналізує впровадження когенерації та Power-to-Heat технологій для оптимізації роботи централізованих систем теплопостачання, що підвищить загальну ефективність та зменшить викиди вуглецю. Запропоновано шляхи пошуку інвестицій, враховано вплив на ефективність теплових та електричних мереж, зниження викидів вуглецю та оптимізацію витрат.

Ключові слова: когенерація, ОРС-цикл, Power-to-Heat, централізоване теплопостачання, енергоефективність, тепломережі, модернізація енергосистем.

Вступ

Останніми роками модернізація енергетичних систем та впровадження відновлюваних джерел енергії стали критично важливими для багатьох країн, зокрема України, Європейського Союзу та Китаю. В Україні ця проблема особливо актуальна через застарілі технології, нестабільні поставки палива та необхідність забезпечення енергонезалежності. Попит на тепло та електроенергію зростає, а стабільність енергосистеми під загрозою через нестабільну генерацію з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та військові дії.

Для стабілізації енергосистеми необхідно побудувати щонайменше 1 ГВт високоманеврових потужностей зі швидким стартом, які можуть активуватися протягом 15 хвилин і здійснювати пуск та зупинку не менше чотирьох разів на добу з діапазоном регулювання не менше 80% від встановленої потужності. Для максимального використання ВДЕ потрібно збільшити обсяги високоманеврових потужностей до 2 ГВт. Також необхідно впровадити щонайменше 0,5 ГВт систем акумуляування електроенергії, які дозволять залучити ВДЕ до балансування енергосистеми та забезпечення резервів. У разі обмеження потужностей атомних електростанцій (АЕС), потреба в системах накопичення енергії може зрости до 2 ГВт. Особливо критичною ситуація є в Україні, зокрема в містах-супутниках теплових електростанцій, таких як Українка, Ладижин, Бурштин, де електро- і теплопостачання під загрозою зими 2024-2025 рр. Через можливі перебої в роботі місцевих електростанцій, викликані інфраструктурними проблемами та військовими діями, міста можуть залишитися без опалення. Це створює додаткову потребу у впровадженні ефективних та надійних систем теплопостачання.

Сучасна українська енергосистема має значні проблеми зі старою інфраструктурою котельень та тепломереж, що ускладнює підтримання стабільного теплопостачання в багатьох регіонах країни. Це потребує впровадження нових підходів для забезпечення енергетичної стійкості та ефективності. Особливо важливим є дослідження можливості впровадження когенерації та міні-ТЕЦ на базі ОРС-циклів (органічний цикл Ренкіна (міні-ТЕЦ (ОРС), які можуть бути оптимальними для виробництва тепла і електроенергії в невеликих містах або регіонах з обмеженими енергетичними ресурсами.

Мета дослідження є оцінювання ефективності виробництва теплової та електричної енергії на базі існуючих котельень, ТЕЦ та когенераційних установок. Для визначення переліку ефективних рішень в частині енергоефективності, економічності та надійності забезпечення стабільного теплопостачання в умовах, коли існуюча тепла електрична станція або не є доступною, або її застосування є неможливим через технічні або економічні причини.

Постановка завдання

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз сучасних технологій теплофікації, включаючи їх ефективність та надійність;
- здійснити порівняння вартості теплопостачання від різних джерел, таких як існуючі ТЕЦ, індивідуальні системи опалення, а також когенераційні установки і міні-ТЕЦ;
- визначити можливі шляхи фінансування модернізації теплопостачальних систем, включаючи державні та приватні інвестиції, гранти, кредити та інші фінансові механізми.

Методологія дослідження передбачає проведення аналіз існуючої інфраструктури теплогенерації, включаючи оцінку технологій, стану ТЕЦ, котельень та автономних систем енергозабезпечення. Оцінюються альтернативні технології, такі як когенераційні установки та системи «Power-to-Heat», з метою вибору рішень для модернізації. На основі цього розробляється методологія оцінки ефективності, що передбачає економічний аналіз інвестицій, визначення критеріїв ефективності та розрахунок окупності. Потім здійснюється порівняльний аналіз різних систем, зокрема когенераційних, автономних, ТЕЦ та індивідуальних систем, а також їх впливу на ринок електроенергії. На основі отриманих даних формулюються рекомендації щодо оптимізації витрат, зменшення викидів CO₂ та інтеграції з існуючою тепловою мережею. Завершується дослідження висновками та пропозиціями для майбутніх інвестицій. Блок-схема методології дослідження представлення на рис. 1.

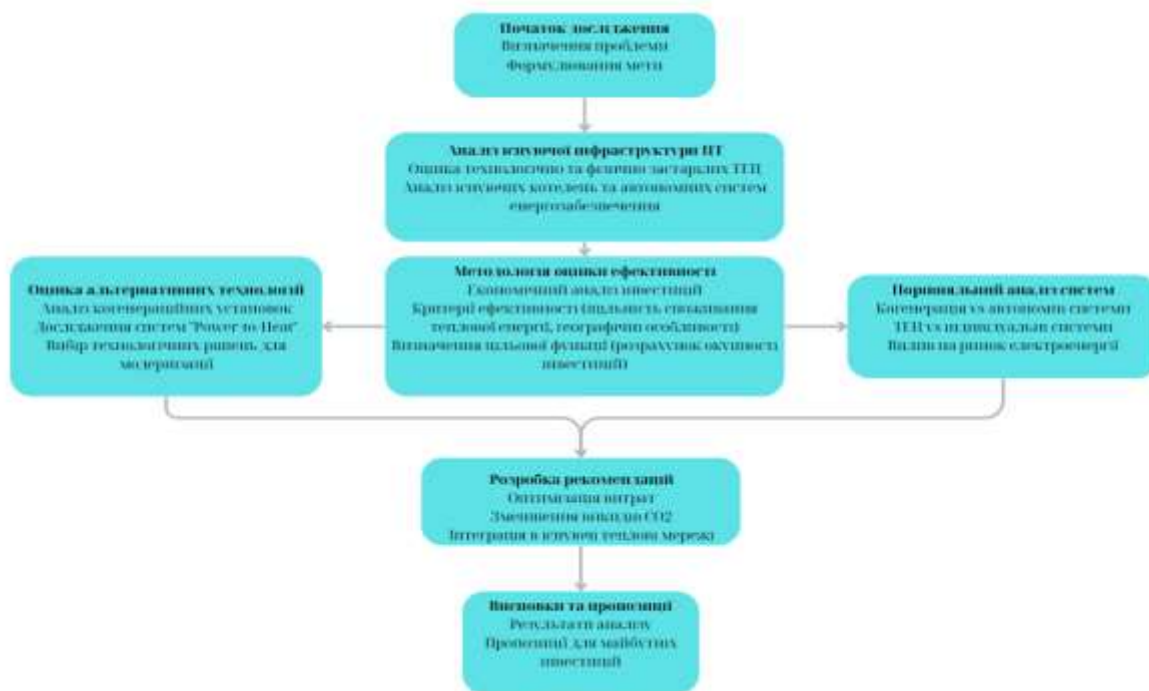


Рисунок 1 – Блок-схема методології дослідження

1. Огляд літератури

Системи теплопостачання в Німеччині та Китаї демонструють різні підходи до підвищення ефективності централізованих теплових мереж. Наприклад, у Дрездені з 1997 року мережа функціонує без вугілля, але значною мірою залежить від природного газу, що свідчить про потенціал збільшення частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у секторі опалення міста, що є важливим для України [1, 2, 3].

Електрифікація сектора опалення, зокрема через технології «Power-to-Heat», визнана ефективною стратегією декарбонізації, здатною зменшити викиди в енергетичному секторі до 17% за умов розвитку низьковуглецевої генерації [4]. Крім того, електрифікація опалення дозволяє знизити залежність від викопного палива у зимовий період завдяки розподіленій генерації та когенерації [5-7]. Розподілені газогенераційні технології є перспективним напрямом для підвищення енергетичної безпеки України, особливо в умовах кризових ситуацій. Зазначено, що вони здатні стабілізувати енергопостачання у малих містах та селищах, забезпечуючи надійність та стійкість системи [8].

У європейському контексті в 2017 році 69% теплової енергії було вироблено на ТЕЦ і 31% — на котельнях, що свідчить про високу ефективність когенерації [9-11]. У 2022 році 25% тепла в ЄС було отримано з відновлюваних джерел, а 75% — з інших видів палива, що ілюструє суттєве зростання частки ВДЕ та вказує на можливості для подальшого розвитку. На рис. 2 представлено частку ВДЕ у виробництві тепла в ЄС та Україні у 2022 році.

У Швеції, Естонії, Латвії, Фінляндії та Данії спостерігаються найвищі показники використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) — від 53% до 69%, що свідчить про ефективні національні політики та значні інвестиції в цей сектор. Натомість у таких країнах, як Франція (27%), Німеччина (18%), Бельгія (10%) та Ірландія (6%), показники використання ВДЕ є значно нижчими, що підкреслює необхідність посилення зусиль для їх збільшення. В Україні лише 7% тепла виробляється з ВДЕ, що є одним із найнижчих показників у Європі, тоді як 60% тепла генерується на котельнях і лише 40% — на ТЕЦ. Це вказує на необхідність розвитку когенерації та впровадження ВДЕ для підвищення енергоефективності.

зменшення викидів парникових газів, досягнення енергетичної незалежності та сталого розвитку енергетичного сектору. Дослідники наголошують на важливості впровадження розподілених систем генерації для стабілізації енергопостачання, що стає актуальним на тлі нестабільності енергетичного ринку [12]. Ефективність когенераційних систем (СНР) підтверджує потенціал для одночасного виробництва тепла та електроенергії, що дозволяє підвищити паливну ефективність у великих теплових мережах [13].

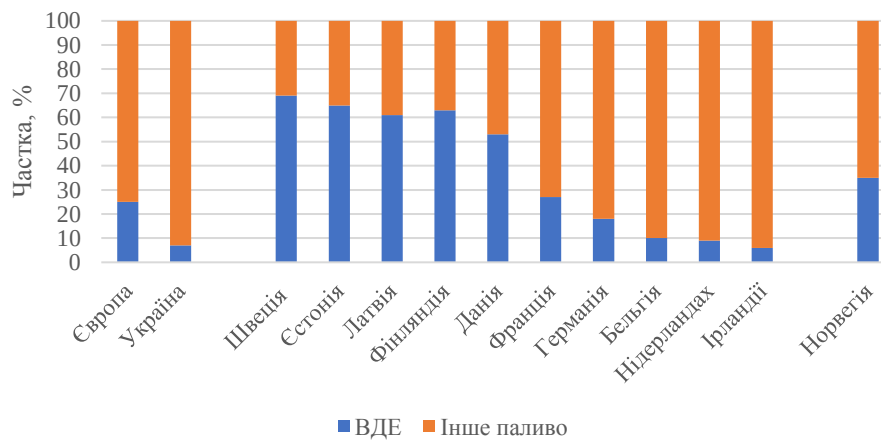


Рисунок 2 – Частка ВДЕ у виробництві тепла в ЄС та Україні у 2022 році

Біомасові когенераційні установки та міні-ТЕЦ на основі ОРС-циклу також мають значний потенціал для балансування енергосистеми України, зокрема в містах, таких як Кам'янець-Подільський, Чернівці та Житомир. Використання біомаси сприяє зменшенню залежності від викопного палива та покращенню екологічних показників [14].

Необхідність модернізації ТЕЦ шляхом впровадження сучасних технологій обробки палива та використання СНР є важливим кроком для підвищення ефективності та зменшення залежності від викопного палива. Дослідники акцентують увагу на значенні електрифікації теплопостачання для досягнення енергетичної незалежності, а також на економічній доцільності використання ВДЕ у цьому секторі [15-19]. В Україні обговорюється перехід до енергоефективних систем централізованого теплопостачання (ДН-систем) четвертого покоління (4G-DH), що включають генерацію на базі ВДЕ, когенерацію, смарт-облік та диспетчеризацію. Ці системи є перспективними завдяки використанню сонячної та вітрової енергії, міні-ТЕЦ на біопаливі, що сприяє підвищенню надійності та зменшенню теплових втрат, а також покращує гнучкість міської енергетичної інфраструктури [20-28].

Прикладом активного впровадження енергоефективних рішень є місто Житомир, де на кошти місцевого бюджету, фондів та урядових програм створено низку генераційних об'єктів, спрямованих на досягнення енергетичної незалежності. Серед них — мікро-ГЕС потужністю 0,19 МВт, мікро-ТЕЦ на базі ОРС-циклу потужністю 1,2 МВт (електричною) та 6 МВт (тепловою), сонячна електростанція потужністю 50 МВт, когенераційні установки на біогазі та природному газі, а також котельні на біопаливі та RDF [27-30]. Подібні ініціативи активно підтримуються і в інших містах, таких як Вінниця та Черкаси, де розвиток енергоменеджменту, залучення державних і міжнародних програм сприяють розвитку енергетики [5, 31].

На рис. 3 представлено сучасний підхід до модернізації систем централізованого теплопостачання (ЦТ) в Україні з акцентом на впровадження когенераційних технологій.

Огляд показує, що інтеграція когенераційних технологій, міні-ТЕЦ (ОРС), ВДЕ, енергоменеджменту та систем "Power-to-Heat" здатна не лише знизити викиди, а й підвищити стабільність тепло- та електропостачання України, що є критично важливим для відбудови та сталого розвитку галузі. Модернізація теплопостачання сприяє ефективнішому використанню теплової енергії та швидкій окупності інвестицій, оскільки, як зазначає [32], висока щільність теплового споживання прискорює повернення інвестицій, що підвищує конкурентність ДН-систем на тлі зростання цін на енергоносії.

Тим часом більшість досліджень фокусується на традиційних системах, тоді як сучасні енергомережі потребують подальшого дослідження.

2. Матеріал і результати досліджень економічної ефективності різних видів теплопостачання для опалення включає оцінку споживання теплової енергії, собівартості виробництва та впливу на довкілля. Методологія враховує вплив технологій на енергоефективність ДН та аналізує можливості модернізації для інтеграції інновацій, зокрема СНР, із акцентом на зниження викидів та економічну доцільність.

Розрахунки для визначення вартості 1 Гкал теплоти, оцінка економічності різних джерел енергії, зокрема кількість палива, електроенергії для виробництва теплової енергії розглянуто в [33-35].

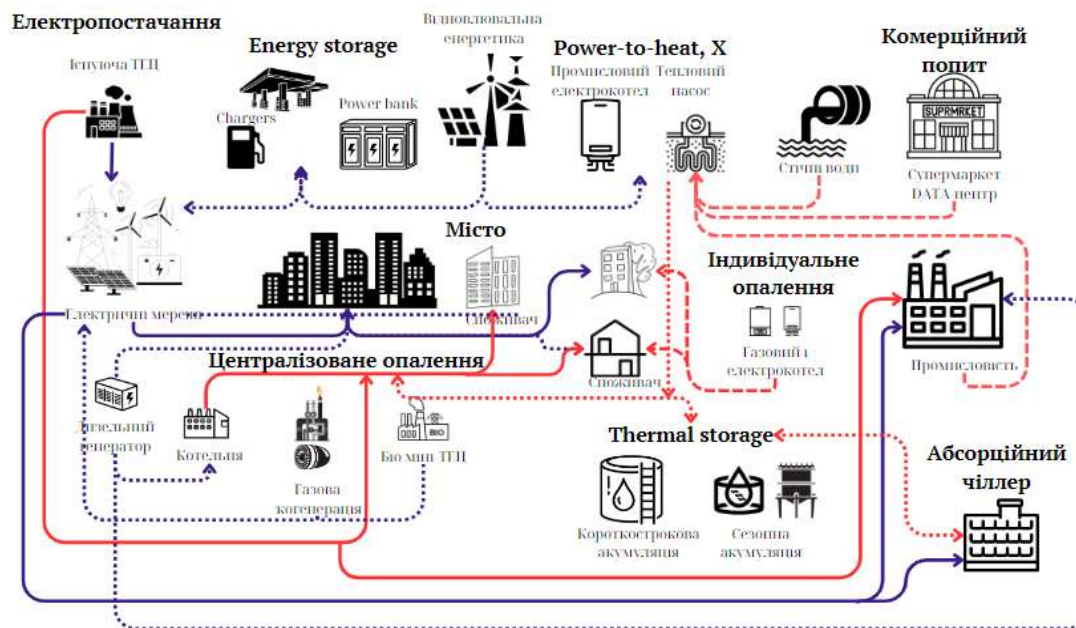


Рисунок 3 – Опис районної тепло- та електроенергетики

Методика та приклади розрахунку, що описані в [33] та при розрахунку парціанальних витрат палива виробництві теплової енергії на ТЕЦ або когенерації можна використовувати [26] на основі її виконаємо розрахунки нижче. Наведені залежності дають можливість зрозуміти прямі витрати на вироблення теплової енергії з різних технологій [33-39].

Для оцінювання доцільності різних систем ДН з урахуванням сучасних викликів, наслідків війни та процесів відновлення, слід брати до уваги експлуатаційні витрати, енергетичні, екологічні та економічні вимоги, безпеку, обслуговування, а також інтереси споживачів, постачальників і держави. Основними вимогами для міст є:

- Скорочення енергоспоживання без втрати комфорту;
- Зменшення впливу на довкілля та викидів парникових газів;
- Оптимізація економічних витрат;
- Забезпечення безпеки теплопостачання;
- Якісне обслуговування теплових і електричних систем.

Цей підхід поєднує екологічні, економічні та соціальні аспекти в розвитку ДН. Модернізація ЦТ із впровадженням газових і біогазових СНР, міні-ТЕЦ (ОРС) на деревній щепі дозволяє ефективно поєднувати виробництво теплової та електричної енергії, що є актуальним для регіонів із високим попитом на енергоносії, як у Бурштині. В останні десятиліття місцеві влади багатьох українських міст, таких як Івано-Франківськ, рекомендують перехід на індивідуальне опалення. Аналогічний процес триває у місті Бурштин, яке поступово переходить на локальні системи, навіть маючи поблизу ТЕЦ.

Аналіз теплопостачання м. Бурштин та пропозиції щодо децентралізації

На даний момент до ДН м. Бурштин підключено 81 багатоквартирний будинок і 358 приватних домоволодінь. Після руйнування Бурштинської ТЕС міськрадою була створена робоча група з питань децентралізації теплопостачання та диверсифікації джерел теплової енергії. Як альтернативні рішення для опалення міста розглядаються [27, 30, 31, 39, 40]: будівництво загальноміської котельні; будівництво кількох квартальних котельнь; встановлення дахових котельнь; впровадження індивідуального опалення.

Житловий фонд міста Бурштин складається на 60% з багатоквартирних будинків та на 40% з приватного сектору. Основна частина багатоквартирного житла — це панельні будинки 1960-х років, 83% яких мають водопровід, каналізацію, центральне опалення та гаряче водопостачання. Інфраструктура містить 103 багатоквартирні будинки загальною площею 207,606 м², 39,2 км водопровідних мереж, 36,9 км каналізаційних мереж, 29,66 км теплових мереж та 57 км мереж зовнішнього освітлення. Зношеність теплових мереж становить 43,2%, що призводить до 18% втрат теплової енергії.

Основним джерелом тепла для міста є ДТЕК Бурштинська ТЕС з встановленою тепловою потужністю 177,8 Гкал/год, з яких 160 Гкал/год виробляється в гарячій воді та 17,8 Гкал/год у парі. Тепло для гарячої води генерується на 11 енергоблоках та двох пікових бойлерах, при цьому частково відпрацьована пара використовується для виробництва пари.

Теплопостачання м. Бурштин забезпечується ДТЕК Бурштинська ТЕС. Наявна потужність становить 131,8 Гкал/год через старіння обладнання та особливості роботи в режимі «Острова». Система — відкритого типу, робота мережі безперервна, з температурним графіком 115-70 °С.

Критерії щодо теплопостачання: зниження енергоспоживання та зношення обладнання; централізоване регулювання відпуску тепла; безперервність обслуговування системи.

Теплова енергія транспортується через теплопроводи за допомогою насосів, серед яких три ЦН1000-180 та один ЦН400. Підживлення системи виконується деаерованою хімічно очищеною водою. Система є відкритого типу і працює безперервно протягом року, при цьому температура гарячої води варіюється за температурним графіком 115-70°С.

Індивідуальне опалення

Виділення 15 кВт електроенергії на квартиру в багатоквартирному будинку задовольняє розумні потреби в споживанні електрики, включаючи опалення та гаряче водопостачання, і є достатнім для квартир до 100 м², розрахованих на чотирьох осіб. Однак для живлення такого обладнання часто потрібна реконструкція розподільчих мереж будинку, району та міста, включаючи заміну дорогих високовольтних комірок і трансформаторів [41-43]. Газові котли аналогічної потужності також потребують реконструкції системи газопостачання будинків і наявності достатнього запасу газу. Вони залежать від електроживлення, і без джерел безперебійного живлення не працюватимуть під час відключення електрики [41].

У статті досліджено основні аспекти розрахунків витрат палива та електроенергії для виробництва теплової енергії на ТЕЦ і електричних котлах у м. Бурштин. Проведено порівняльний аналіз економічної ефективності цих підходів. Розрахунки виконані за допомогою програмного комплексу MATLAB, результати представлені в таблиці 1.

Вихідні данні для розрахунків:

1. Потужність ТЕЦ: $Q_{\{tpp\}} = 114$ Гкал/год = 132 582 кВт.
2. Розрахунок витрат палива для вироблення теплової енергії з побутових газових котлів:
 - ККД котла $\eta_{\text{т}}^{\text{Джк}} = 90\%$;
 - Теплотворна здатність природного газу $Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 37\,910$ кДж/м³;
 Загальні витрати коштів на теплову енергію з NG (4):
 - Ціна природного газу: $C_{\text{NG}} = 16$ грн/м³;
3. Розрахунок витрат електроенергії для побутових електричних котлів:
 - ККД електрокотла: $\eta_{\text{т}}^{\text{e,arp}} = 95\%$;
 - Вартість електроенергії $C_{\text{EE}} = 4,5$ грн/кВт*год (в розрахунках нехтуємо субсидіюванням, що з 1 жовтня для населення з електроопаленням діятиме ціна на електроенергію 2,64 грн/кВт*год при споживанні до 2000 кВт*год в місяць);
4. Розрахунок витрат палива для вироблення теплової енергії з когенерації на базі FG Wilson [37]:
 - Теплова потужність – 1 250 кВт; Витрата газу на 1 кВт – 0,32 м³/кВт.
 Загальні витрати коштів на теплову енергію з NG (4):
 - Ціна природного газу: $C_{\text{NG}} = 16$ грн/м³;
5. Для існуючої ТЕЦ* (тариф на теплову енергію для м. Бурштин) [44]: $C_{\text{TRP}}^{\text{Gk}} = 700,42$ грн/Гкал;

Таблиця 1 – Результати розрахунків витрат палива та електроенергії для виробництва теплової енергії з різних джерел теплопостачання для м. Бурштин.

Параметр	Значення	Одиниці вимірювання
Витрата газу на виробництво тепла індивідуальним опаленням	14 280	м ³ /год
Загальна вартість теплової енергії з ПГ	228 485	грн.
Витрата електроенергії на виробництво тепла індивідуальним опаленням	139 894	кВт
Загальна вартість теплової енергії з електроенергії	629 523	грн.
Витрата газу на виробництво тепла з когенерації	5 180	м ³ /год
Загальна вартість теплової енергії з когенерації	82 864	грн.

Тобто аналіз проведених розрахунків, що зведено в рис. 4, опалення на основі побутових електричних котлів є найдорожчий варіант зважаючи на зростання вартості електричної енергії з 1 червня 2024 р., газових котлів дорожче за когенерацію у 2,7 рази та за Бурштинську ТЕЦ відповідно до затвердженого тарифу 2,86 рази. Ці розрахунки демонструють вартісні аспекти виробництва теплової енергії за допомогою різних джерел та обладнання, що дозволяє оцінити ефективність інвестицій та вибрати оптимальне рішення для забезпечення тепла.

У результаті дослідження підтверджено, що інтеграція когенераційних технологій в ДН суттєво підвищує ефективність, зменшує викиди та поліпшує стабільність енергопостачання в Україні.



Рисунок 4 - Співвідношення вартості тепла з різних джерел

Результати та їх обговорення

Системи теплопостачання четвертого покоління (4G-DH) мають переваги перед традиційними завдяки інтеграції ВДЕ та когенерації, що підвищує ефективність на 20–30% та скорочує викиди. Використання низькотемпературного теплопостачання знижує залежність від викопних палив. Впровадження когенерації та міні-ТЕЦ (ОРС) є економічно доцільним через нижчу собівартість і можливість одночасного виробництва тепла та електроенергії, що особливо актуально для громад України. Розвиток технологій "Power-to-Heat" та інтелектуальних систем обліку сприяє стабільності інфраструктури, використовуючи надлишки електроенергії для опалення [21, 45–48].

Постанова № 1320 від грудня 2023 р. спростила введення когенераційних і розподілених генерацій в експлуатацію, а зміни до ліцензійних умов у квітні 2023 р. зняли потребу в ліцензії для мобільної когенерації. Важливими залишаються впровадження газових та біогазових СНР і міні-ТЕЦ, що дозволяють ефективно виробляти тепло і електроенергію.

В Україні собівартість опалення електричними котлами залишається високою, особливо з огляду на зростання цін на електроенергію. Газові котли є вдвічі дорожчими від когенераційних установок, що досягають понад 10% економії первинної енергії для великих СНР (>1 МВт) і 0% для малих СНР. Важливо модернізувати тепломережі для зниження втрат, що наразі перевищують нормативні 12%; у Бурштині знос тепломереж оцінюється на рівні 43,2%, що призводить до втрат у 18% [45–47].

Висновки:

Дослідження підкреслює критичну необхідність модернізації теплопостачальних систем в Україні, враховуючи застарілі технології, високу залежність від викопного палива та нестабільність енергопостачання в умовах військових дій. Для досягнення енергетичної незалежності та стабільності пропонується впровадження високоманеврових потужностей, накопичувальних систем і технологій на основі ВДЕ, таких як когенерація та міні-ТЕЦ, особливо в регіонах з обмеженими енергоресурсами.

Аналіз ефективності централізованих і децентралізованих систем опалення, включаючи технології "Power-to-Heat", показав, що розподілені системи генерації, електрифікація теплопостачання та впровадження ВДЕ здатні суттєво знизити викиди парникових газів і підвищити надійність енергетичної інфраструктури. Приклади європейських країн свідчать про значний потенціал впровадження цих технологій в Україні.

Таким чином, інтеграція когенераційних технологій, міні-ТЕЦ, ВДЕ та систем енергоменеджменту здатна не лише поліпшити екологічні показники, а й забезпечити енергоефективність та стабільність тепло- й електропостачання. Це особливо важливо для енергетичної безпеки країни, підвищення конкурентоспроможності та залучення інвестицій для відбудови й сталого розвитку галузі.

Фінансування роботи. що виконується в межах наукових робіт «Удосконалення системи математичних моделей трансформації вугільної промисловості в умовах низьковуглецевого розвитку економіки країни» та «Прогнозування обсягів вуглезабезпечення України відповідно до структури її загального енергетичного балансу», що виконуються в Інституті загальної енергетики НАН України

Подяка.

Доктору технічних наук, проф., засл. енергетика України Кесова Л.О. за вкладені знання та досвід.

Список використаної літератури

1. Sun H., Hirsch H., Xie X. Smart heating and cooling systems for carbon-neutral cities: Policies and practices in Germany and China // *Journal of Infrastructure Policy and Development*. 2024. Т. 8, №9. С. 6842. DOI: 10.24294/jipd.v8i9.6842.
2. Jin J., Wang Y., Zheng X. District heating versus self-heating: Estimation of energy efficiency gap using regression discontinuity design // *China Economic Quarterly International*. 2021. Т. 1, №3. С. 208–220. DOI: 10.1016/j.ceqi.2021.08.003.
3. Teuffer M. Dresden's district heating grid has managed without coal since 1997. Available online: <https://www.energamessenger.com/news/232081-dresden-s-district-heating-grid-has-managed-without-coal-since-1997-> (дата звернення: 17.06.2023).
4. Thomaßen G., Kavvadias K., Jiménez Navarro J. P. The decarbonisation of the EU heating sector through electrification: A parametric analysis // *Energy Policy*. 2021. Т. 148. С. 111929. DOI: 10.1016/j.enpol.2020.111929.

5. Ковалко О. М., Ковалко Н. М., Євтухова Т. О., Новосельцев О. В. Комунальна теплоенергетика: енергоефективність, структура управління, енергосервісні послуги. Київ : НАН України, Ін-т заг. Енергетики, 2023. URL: <https://web.nlu.org.ua/object.html?id=2196>.
6. Schindler M., Gnam L., Puchegger M., Medwenitsch K., Jasek P. Optimization-Based Operation of District Heating Networks: A Case Study for Two Real Sites // *Energies*. 2023. Т. 16, №2120. С. 1–15. DOI: 10.3390/en16052120.
7. Chen Y., Zhu Z., Wu J., Yang S., Zhang B. A novel LNG/O₂ combustion gas and steam mixture cycle with energy storage and CO₂ capture // *Energy*. 2017. Т. 126. С. 231–240. DOI: 10.1016/j.energy.2016.12.127.
8. DiXi Group ALERT. Development of Distributed Gas Generation in Ukraine: Strategy and Tactics. 2023.
9. БІЛА КНИГА ЩОДО ТРАНСФОРМАЦІЇ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ: ОЦІНКА ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ ПРОЄКТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ (ESP) Серпень, 2020 https://energysecurityua.org/wp-content/uploads/2021/04/050G-DH_White-Paper_for_DEC-2021-02-02-UKR.pdf.
10. Renewable energy for heating & cooling up to 25% in 2022 <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/w/ddn-20240227-2>.
11. Відпуск теплової енергії у розрізі генерації <https://map.ua-energy.org/uk/resources/312022cb-2edb-4f37-b326-6d5eff089353/>.
12. Dombrovskiy O., Heletukha H., Kramar V. How to Launch Distributed Generation in Ukraine // *Economic Truth*. 2024.
13. Chepurnyi M.M., Tkachenko S.Y., Pishenina N.V. Performance Indicators of Energy Installations for Combined Production of Heat and Electricity // *Scientific Papers of VNTU*. 2011. №1.
14. Heletukha H.H. Use of Biomass CHP for Balancing the Energy System of Ukraine // *Thermophysics and Thermal Engineering*. 2020. Т. 42, №3. С. 47–55.
15. Дунаєвська Н. І. Проблеми й технології термічної переробки палив в енергетичних установках теплових електростанцій: За матеріалами доповіді на засіданні Президії НАН України 22 лютого 2023 року // *Visnik Nacional Noi Akademii Nauk Ukraini*. 2023. №4. С. 72–84. DOI: 10.15407/visn2023.04.072.
16. Basok B., Dubovsky S., Kudelya P. Current Problems of CHP Operation in Ukraine // *Technical Electrodynamics*. 2022. №6. С. 52.
17. Babak V., Kulyk M. Increasing the efficiency and security of Integrated Power System operation through heat supply electrification in Ukraine // *Science and Innovation*. 2023. Т. 19, №5. С. 100–116. DOI: 10.15407/scine19.05.100.
18. Heidariannoghondar M., Ahmadi A. Modeling thermal energy distribution and transmission networks for household consumption through comparative analysis // *Science Progress*. 2023. Т. 106, №4. С. 368504231215583. DOI: 10.1177/00368504231215583.
19. Derii V., Teslenko O., Lenchevsky E., Denisov V., Maistrenko N. Prospects and Energy-Economic Indicators of Heat Energy Production Through Direct Use of Electricity from Renewable Sources in Modern Heat Generators // In: Zaporozhets, A. (eds) *Systems, Decision and Control in Energy IV. Studies in Systems, Decision and Control*. Cham: Springer, 2023. Т. 454. С. 27. DOI: 10.1007/978-3-031-22464-5_27.
20. Karpenko D., Yevtukhova T. O. MARKET FEATURES OF HEAT PRODUCERS CONTRIBUTION TO LOSSES IN DISTRICT HEATING SYSTEM NETWORKS // *General Energy Institute of NAS of Ukraine*. 2024. DOI: 10.32782/2663-5941/2024.3.1/37.
21. Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Fialko, N., Tymchenko, M., & Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine. Features of the fourth generation of district heating systems // *International Scientific Journal Internauka*. 2023. (4(138)). DOI:10.25313/2520-2057-2023-4-8633.
22. Карп І. М., Нікітін Є. Є., Півних К. Є. та ін. Стан та шляхи розвитку систем централізованого теплопостачання в Україні. В 2-х книгах. Книга 1. К.: Наукова думка, 2021. 264 с.
23. Connolly, D. Heat Roadmap Europe: quantitative comparison between the electricity, heating, and cooling sectors for different European countries // *Energy*. 2017. №139. С. 580–593. DOI:10.1016/j.energy.2017.07.037.
24. Böttger, D., Götz, M., Theofilidi, M., & Bruckner, T. Control power provision with power-to-heat plants in systems with high shares of renewable energy sources – An illustrative analysis for Germany based on the use of electric boilers in district heating grids // *Energy*. 2015. №82. С. 157–167. DOI:10.1016/j.energy.2015.01.022.
25. Thorsen J. E., Lund H., Mathiesen B. V. Progression of District Heating — 1st to 4th generation. URL: https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/280710833/1_4GDH_progression_revised_May2018.pdf
26. Novoseltsev O.V. Thermal Engineering: Monograph. Kyiv: Institute of Thermal Engineering, 2023. 432 p. ISBN 978-966-02-8159-2. Новини Бурштинської міської ради. URL: <https://burshtyn-rada.gov.ua/novyny/88238/>
27. Сайт компанії Енерго. URL: <https://www.energo.ua/ua/assets>
28. Енергетична карта України. URL: <https://map.ua-energy.org>
29. Persson, U., & Werner, S. Heat distribution and the future competitiveness of district heating // *Applied Energy*. 2011. №88(3). С. 568–576. DOI:10.1016/j.apenergy.2010.09.020.
30. Філоненко В.М. Когенерація // УДК 621.1/.3. URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/8461ff89-1307-4582-ab6b-a07b2e5ac58c/content>
31. USAID Проєкт енергетичної безпеки (ПЕБ) у співпраці з Мінрегіоном. Керівництво з розробки схем теплопостачання. URL: <https://energysecurityua.org/ua/zvity>
32. Маляренко В. А., Шубенко О. Л., Андрєєв С. Ю., Бабак М. Ю., Сенєцький О. В. Когенераційні технології в малій енергетиці: монографія. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 454 с. ISBN 978-966-695-448-3. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/162019489.pdf>
33. Басок Б.И., Коломейко Д.А. Анализ когенерационных установок. Анализ энергетической эффективности // *Промышленная теплотехника*. 2006. №4. С. 79–83. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/xmlui/bitstream/handle/123456789/61431/11-Basok.pdf?sequence=1>

34. Liu, M., Ma, G., Wang, S., Wang, Y., & Yan, J. Thermo-economic comparison of heat-power decoupling technologies for combined heat and power plants when participating in a power-balancing service in an energy hub // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2021. №152(111715). DOI:10.1016/j.rser.2021.111715.
35. Revesz, A., Jones, P., Dunham, C., Riddle, A., Gatensby, N., & Maidment, G. Ambient loop district heating and cooling networks with integrated mobility, power and interseasonal storage // *Building Services Engineering Research & Technology*: BSER & T. 2022. №43(3). C. 333–345. DOI:10.1177/01436244221085921.
36. Song, W. H., Wang, Y., Gillich, A., Ford, A., Hewitt, M. Modelling development and analysis on the Balanced Energy Networks (BEN) in London // *Applied Energy*. 2019. №233–234. C. 114–125. DOI:10.1016/j.apenergy.2018.10.054.
37. The Electric House of the Future Was Built in 1905. URL: <https://www.treehugger.com/electric-house-future-was-built-4852759>
38. Pieper, C. Transformation of the German energy system — Towards photovoltaic and wind power Technology Readiness Levels 2018: PhD Dissertation. Technische Universität Dresden, 2018.
39. Pieper C. Transformation of the German energy system – Towards photovoltaic and wind power Technology Readiness Levels 2018. PhD Dissertation. Technische Universität Dresden, 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/339072445_Transformation_of_the_German_energy_system_-_Towards_photovoltaic_and_wind_power_Technology_Readiness_Levels_2018
40. Сайт Бурштинської міської ради. URL: <https://burshtyn-rada.gov.ua/bez-rubryky/taryfy-na-zhytlovo-komunalni-poslugy/>
41. Decarb City Pipes 2050. H/C plan Munich. URL: <https://decarbcitypipes2050.eu/wpcontent/uploads/2022/09/D3.3-HC-plan-Munich.pdf> (дата звернення: 10.08.2023).
42. Potential for Efficient Heating and Cooling for Germany. URL: <https://energy.ec.europa.eu/system/files/2022-05/DE%20CA%202020%20en.pdf> (дата звернення: 04.04.2023).
43. Wirtz, M., Schreiber, T., & Müller, D. Survey of 53 Fifth-Generation District Heating and Cooling (5GDHC) Networks in Germany // *Energy Technology*. 2022. №10(11). DOI:10.1002/ente.202200749.
44. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. URL: <https://www.nerc.gov.ua/news/nkrekp-sproshchuye-umovi-dlya-roboti-kogeneracijnih-ustanovok-yaki-vikoristovuyutsya-v-yakosti-rezervnogo-dzherela-energiyi-dlya-obyektiv-kritichnoyi-infrastrukturi>
45. Vitalii Khodakivskiyi Dmytro Karpenko “Prospects for using combined heat and power plants and boiler houses to balance the integrated energy system of Ukraine” *Technologies and Engineering*, Vol. 25, No. 6, 2024 DOI: 10.30857/2786-5371.2024.6.3
46. Кабінет Міністрів України. Постанова від 15.12.2023 №1320. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1320-2023-%D0%BF#Text>
47. USAID. Проєкт енергетичної безпеки. Енергетичні комплекси на базі об'єктів муніципальної інфраструктури | Підсумковий семінар. 2024.

V. Khodakivskiyi¹, Ph. D. student, ORCID 0009-0007-3237-3476

D. Karpenko¹, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0002-8022-9782

¹**General Energy Institute of National Academy of Sciences of Ukraine**

ASSESSMENT OF THE EFFICIENCY LEVEL OF COGENERATION UNDER CONDITIONS OF MODERNIZATION AND HEAT SUPPLY SYSTEM BACKUP

This study focuses on evaluating the efficiency of heat and electricity production using various technologies, such as boilers, cogeneration systems, and mini-CHPs based on the Organic Rankine Cycle (ORC). Special attention is given to comparing these systems with existing autonomous and individual energy supply systems. The assessment employs methodological approaches that consider the economic feasibility and technical efficiency of each technology.

The article examines the implementation of cogeneration and Power-to-Heat technologies to optimize the performance of centralized heating systems, aiming to enhance overall efficiency and reduce carbon emissions. Proposed solutions include strategies for attracting investments, evaluating their impact on the efficiency of thermal and electrical networks, minimizing carbon emissions, and optimizing costs. This analysis underscores the potential of modern energy technologies in improving the sustainability of energy systems.

Keywords: cogeneration, ORC cycle, Power-to-Heat, district heating, energy efficiency, heating networks, modernization of energy systems.

Надійшла: 27.02.2025

Received: 27.02.2025