

РЕЦЕНЗІЯ

офіційної рецензентки

кандидатки технічних наук, доцентки кафедри “Теплотехніки”
Київського національного університету будівництва і архітектури

ЧЕПУРНОЇ НАТАЛІЇ ВОЛОДИМИРІВНИ

на дисертаційну роботу **Баранчука Кирила Олексійовича**
«СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМИ
ДВОНАПРАВЛЕНИМИ ТЕПЛОВИМИ ПУНКТАМИ»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 19 «Архітектура та будівництво»,
за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Детальний аналіз дисертації Баранчука Кирила Олексійовича «Системи теплопостачання з енергоефективними двонаправленими тепловими пунктами» дозволяє сформулювати наступні узагальнені висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

1. Актуальність обраної теми.

Дисертаційна робота Баранчука Кирила Олексійовича присвячена розв’язанню однієї з найактуальніших задач сучасної теплоенергетики — модернізації систем централізованого теплопостачання (ЦТ) шляхом впровадження енергоефективних двонаправлених індивідуальних теплових пунктів (2Н-ІТП). Потреба у таких рішеннях зумовлена глобальними процесами декарбонізації та переходу до сталих технологій опалення. Сьогодні в усьому світі відбувається перехід до теплових мереж 4-го та 5-го покоління, які працюють при знижених температурах теплоносія та інтегрують відновлювані джерела енергії. Це цілком відповідає стратегічним цілям Європейського і політиці енергозбереження.

Двонаправлені ІТП відіграють ключову роль у формуванні інтелектуальних теплових мереж нового покоління. На відміну від традиційних

ІТП, які функціонують лише як споживачі тепла, 2Н-ІТП здатні передавати надлишкову енергію назад у мережу. Такий підхід створює умови для динамічного балансування теплових потоків і забезпечує ефективну інтеграцію локальних джерел енергії — сонячних колекторів, теплових насосів, систем утилізації скидного тепла та інших ВДЕ.

В українських умовах актуальність дослідження підсилюється значним зношенням теплових мереж та потребою в їх комплексній модернізації. Воєнні події додатково загострили проблему, адже пошкодження теплової інфраструктури створюють серйозні ризики для стабільності тепlopостачання. Впровадження 2Н-ІТП повністю узгоджується з національною стратегією підвищення енергоефективності та енергетичної безпеки, сприяє зменшенню споживання імпортованого газу за рахунок залучення місцевих джерел тепла, а також підвищує стійкість мереж у надзвичайних ситуаціях.

Розробка та впровадження технологій двонаправленого тепlopостачання є стратегічним напрямом для відбудови та модернізації теплового господарства України на сучасних засадах. Це дає змогу поєднати цілі сталого розвитку, інтеграцію з європейськими енергетичними стандартами та зміцнення енергетичної незалежності держави.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Дослідження має чітко вибудовану логіку та демонструє високу внутрішню узгодженість. Вихідна проблема окреслена з урахуванням сучасних тенденцій розвитку тепlopостачання, а гіпотеза щодо підвищення ефективності через впровадження 2Н-ІТП є добре аргументованою. Структура роботи забезпечує системний перехід від аналізу вихідних даних та виявлення прогалин у наукових знаннях до створення інноваційної концепції 2Н-ІТП, її перевірки та підготовки до впровадження у практику.

Встановлена за результатами аналізу літератури недостатня увага до 2Н-ІТП стала основою для постановки наукових завдань дослідження. Запропонована оригінальна конструктивна схема та математична модель

відображають динаміку теплообміну між локальними джерелами та системою ЦТ, у тому числі в режимах зворотного постачання тепла. Модель інтегрує вплив зовнішніх факторів, динаміку попиту та пріоритети джерел енергії, що робить її застосовною для реальних умов експлуатації.

Важливим є використання комплексного підходу: поєднання аналітичних методів, математичного моделювання та експериментальної перевірки. Такий підхід дав змогу провести багатосторонню оцінку ефективності 2Н-ІТП та протестувати різні сценарії їхньої роботи. Окрім цього, результати моделювання порівняно з даними експериментального стенду, що дозволило підтвердити адекватність розрахунків.

Додатковим аргументом на користь обґрунтованості висновків є масштабування отриманих результатів на реальні об'єкти, що продемонструвало стабільність досягнутих показників ефективності. Це свідчить не лише про наукову цінність роботи, але й про її практичну готовність до впровадження у систему централізованого теплопостачання. Таким чином, наукові положення та рекомендації, сформульовані в дисертації, підтверджені багаторівневою доказовою базою та можуть бути використані для модернізації існуючих теплових мереж.

3. Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше:

- Науково обґрунтовано інженерно-технічні основи роботи 2Н-ІТП як елемента систем теплопостачання з функціями споживання та генерації теплової енергії;

- Запропоновано оригінальну конструктивну схему 2Н-ІТП з акумулюванням і передачею надлишкової теплоти в мережу централізованого теплопостачання (ЦТ);

- Розроблено фізико-математичну модель тепломасообміну 2Н-ІТП, що описує двонаправлений теплообмін і роботу в змінних умовах;

- Експериментально підтверджено здатність 2Н-ІТП працювати в двонаправленому режимі та змінювати режими в реальному часі.

Удосконалено:

- Схему 2Н-ІТП: оптимізовано гідравлічну конфігурацію, додано адаптивне управління насосами й багатофункціональні клапани для підвищення ефективності у всіх режимах;

- Принципи регулювання первинного та вторинного контурів із використанням комбінованих клапанів і швидкодіючих електроприводів, що підвищує швидкість і стабільність роботи;

- Математичну модель 2Н-ІТП з урахуванням динаміки процесів, придатну для створення цифрових двійників і аналізу ефективності;

- Підхід до вибору основного обладнання (теплообмінники, арматура, акумулятори, контролери, системи моніторингу) та рекомендації щодо інтеграції теплових просьюмерів у ринок тепла.

Практичне значення роботи:

- Теоретично та експериментально доведено енергоефективність 2Н-ІТП як інструменту інтеграції ВДЕ у ЦТ: зниження температурного графіка, втрат тепла та збільшення частки локального джерела;

- Розроблено моделі енергобалансу теплового просьюмера для оцінки взаємодії між споживанням, генерацією та рекуперацією тепла;

- Створено експериментальну модель 2Н-ІТП з режимами моно- та бівалентної роботи, накопичення і зворотної подачі тепла, отримано критеріальні залежності ефективності теплообміну;

- Розроблено методику експериментальних досліджень і техніко-економічну модель оптимального управління тепловими потоками з урахуванням змін попиту й вартості енергії;

- Запропоновано алгоритми керування на базі PI-регуляторів з урахуванням температурних коливань і сезонних змін;

- Оцінено вплив 2Н-ІТП на ЦТ: зменшення пікових навантажень, децентралізація потоків, підвищення гнучкості;

- Розроблено комплексну методику інженерних розрахунків, що враховує теплотехнічні, цифрові й економічні аспекти;
- Визначено бар'єри впровадження та сформульовано рекомендації: адаптація законодавства, гнучкі тарифи, розвиток ринку тепла та гармонізація з європейськими Директивами.

4. Загальнонаціональне та світове значення роботи.

Запропоновані у дисертаційній роботі підходи до впровадження 2Н-ІТП мають потенціал системного впливу як на енергетичну трансформацію України, так і на глобальні зусилля з декарбонізації теплопостачання. На національному рівні йдеться не лише про модернізацію мереж, а про зміну філософії управління тепловою енергією — від пасивного споживання до активного керування потоками тепла з урахуванням локальної генерації, акумуляції та повернення енергії до мережі. Такий підхід формує передумови для переходу до децентралізованих, стійких та адаптивних енергосистем, особливо актуальних для повосінної відбудови критичної інфраструктури.

Розроблена концепція 2Н-ІТП здатна адаптувати централізовані теплові мережі до нових вимог часу: гнучкості, взаємодії з ВДЕ, інтеграції цифрових технологій і підвищеної стійкості до зовнішніх ризиків. Це дозволяє не лише скорочувати споживання імпортованого викопного палива, а й розширювати використання місцевих ресурсів — таких як скидне тепло промисловості, надлишки від холодильних установок або низькопотенційні геотермальні джерела.

У міжнародному контексті результати роботи є релевантними для країн з подібною структурою тепломереж — зокрема держав Центрально-Східної Європи, які стикаються з викликами оновлення пострадянських інфраструктур. Запропоновані технічні й організаційні рішення не лише узгоджуються з цілями Європейського зеленого курсу, але й можуть сприяти досягненню кліматичної нейтральності у сфері опалення.

Дисертація вносить вклад у формування нової архітектури теплопостачання — з прозорими потоками, цифровою інтеграцією та

можливістю двосторонньої взаємодії між мережею і споживачем. Це робить роботу важливою для фахівців у сфері енергетики, міського планування, а також політиків, що формують стратегії сталого розвитку. Впровадження запропонованих підходів може стати основою для створення кліматично нейтральних міст, розумних мікромереж і нових бізнес-моделей у секторі теплопостачання.

5. Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації в опублікованих працях

Основні результати, наукові положення, висновки та рекомендації достатньо повно відображено у 9 працях: 5 статей у науковому виданні, включеному до переліку наукових фахових видань України категорії «Б» та 4 тези конференцій. Праці Баранчука К.О. відповідають п. 8 «Присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44. Наведені у дисертації розробки пройшли апробацію на конференціях різного рівня, де доповідалися основні положення та результати досліджень.

6. Відсутність академічного плагіату, фабрикацій та фальсифікацій

У ході проведеного дослідження порушень принципів академічної доброчесності не виявлено. Ознаки академічного плагіату, фабрикацій чи фальсифікацій даних відсутні.

7. Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації

Дисертацію виконано з дотриманням норм сучасної української літературної мови та використанням загальноприйнятої наукової термінології. Виклад теоретичних положень, результатів експериментів, висновків і рекомендацій відзначається логічністю та доступністю. Оформлення дисертації відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України.

8. Аналіз основного змісту роботи

Дисертація, підготовлена Баранчуком К.О., складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (93 найменування) та шістьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 263 сторінки. Зміст анотацій українською та англійською мовами є ідентичним і повною мірою відображає зміст дисертації та достатньо висвітлює її основні результати та висновки.

У вступі розкрито актуальність проблематики в контексті трансформації централізованого теплопостачання відповідно до вимог 4-го і 5-го поколінь – із фокусом на низькотемпературну роботу, гнучкість та децентралізацію. Обґрунтовано потребу у переході від пасивної до активної участі споживача в теплопостачанні завдяки впровадженню 2Н-ІТП. Зазначено наукову новизну, що полягає у створенні принципово нової архітектури 2Н-ІТП, включно з математичною моделлю та алгоритмами керування. Практичну цінність становлять результати, які демонструють можливість інтеграції ВДЕ, підвищення ефективності та цифрової адаптації системи.

Перший розділ подає огляд еволюції централізованих тепломереж – від класичних високотемпературних систем до інтегрованих, гнучких мереж майбутнього. Висвітлено поточний стан ІТП в Україні, підкреслено відсутність двонаправленої взаємодії з мережею у більшості існуючих рішень. Аналіз європейських стандартів, сучасних технічних тенденцій і прикладів використання ВДЕ у ЦТ показує нагальність оновлення архітектур теплових пунктів. Виявлено наукову прогалину в дослідженні двонаправлених схем, які здатні підвищити ефективність систем за рахунок рекуперації та балансування теплових потоків у розподіленій мережі.

У другому розділі розроблено комплексну технічну концепцію 2Н-ІТП, що включає функціонування в різних режимах: споживання, накопичення та повернення тепла до мережі. Описано принципову гідравлічну схему з адаптивними алгоритмами керування, які пріоритезують джерела тепла та регулюють потоки залежно від енергетичних умов. Побудовано фізико-математичну модель, яка враховує динаміку температур, витрат і теплових

навантажень у ключових вузлах. Запропоновано нову структуру енергетичного балансу для просьюмерів, яка уможливорює цифрове моделювання, створення «цифрових двійників» та оптимізацію теплотехнічних рішень на етапі проектування.

Третій розділ присвячено експериментальній перевірці ефективності роботи 2Н-ІТП. Описано стенд, що відтворює функціонування теплового насоса в поєднанні з баком-акумулятором та регулюючими елементами. Проведено серію випробувань у режимах автономної, комбінованої та зворотної роботи, зафіксовано динаміку переходу в режим повернення тепла. Результати показали високу відповідність між розрахунковими та фактичними параметрами. Значний обсяг повернутого тепла продемонстрував потенціал системи в умовах змінних навантажень. Верифікація на реальному об'єкті у Данії засвідчила практичну придатність рішень. Запропоновано методику для апробації 2Н-ІТП в проектах модернізації теплових мереж.

У *четвертому розділі* сформульовано методику інженерного розрахунку та проектування 2Н-ІТП з урахуванням функціональних сценаріїв, температурних режимів, конфігурації джерел і вузлів управління. Моделювання застосовано для масштабування системи до рівня 85 кВт – що дозволило кількісно оцінити переваги: суттєве зменшення потреби в теплі від ЦТ і повернення значного обсягу локальної генерації. Проаналізовано енергетичні, економічні та екологічні ефекти, а також розраховано окупність. Вказано на необхідність оновлення нормативної бази для повноцінного впровадження 2Н-ІТП у нові стандарти теплопостачання, що орієнтуються на низькотемпературні мережі, децентралізацію та енергетичну гнучкість.

9. Зауваження та дискусійні питання

1. У Розділі 2.1 подано принципову схему 2Н-ІТП, але відсутній порівняльний аналіз альтернативних варіантів конструкцій з різними типами теплообмінників та конфігураціями гідравлічних контурів.

2. Математична модель у Розділі 2 не враховує вплив деградації обладнання (знос насосів, зменшення теплопередачі у теплообмінниках з часом) на ефективність роботи системи.

3. У Розділі 3 експериментальна перевірка проводилася на лабораторному стенді з обмеженими тепловими навантаженнями; доцільно оцінити роботу 2Н-ІТП в умовах змінного попиту протягом опалювального сезону.

4. Польова верифікація у Розділі 3 обмежена прикладом Danfoss Smart Store (Данія); було б доцільно продемонструвати випробування в умовах українських тепломереж із характерними гідравлічними та температурними режимами.

5. У Розділі 4.2 наведено теплотехнічні характеристики, однак немає детального аналізу впливу різних типів локальних джерел тепла (сонячних колекторів, різних моделей теплових насосів) на загальний енергетичний баланс.

6. У Розділі 4.5 економічна оцінка базується на розрахунках для системи потужністю 85 кВт; доцільно проаналізувати чутливість показників NPV, PI та терміну окупності при зміні тарифів на тепло та електроенергію.

7. Відсутня оцінка впливу масового впровадження 2Н-ІТП на стабільність роботи всієї системи ЦТ у масштабах міста (гідравлічний режим, балансування навантажень).

8. У роботі не наведено аналізу потенційних ризиків кіберзахисту та надійності цифрових платформ управління 2Н-ІТП, що є важливим аспектом інтеграції в інтелектуальні теплові мережі.

Наведені зауваження не мають принципового характеру, не є критичними та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи. Вони жодним чином не зменшують її вагомого внеску у наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів.

ВИСНОВОК

Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих праць дають підстави для висновку про те, що дослідження Баранчука Кирило Олексійович «Системи теплопостачання з енергоефективними двонаправленими тепловими пунктами» є завершеним самостійним науковим дослідженням.

За рівнем наукової новизни отриманих результатів та їхнього практичного значення дисертація «Системи теплопостачання з енергоефективними двонаправленими тепловими пунктами» є закінченою роботою, містить наукову новизну, має теоретичне та практичне значення, розв'язання її задач мають істотне значення для будівельної галузі знань та відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. («Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій» із наступними змінами) і «Порядку присудження ступеня доктора філософії» та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р., а її автор Баранчук Кирило Олексійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

Офіційна рецензентка
кандидатка технічних наук,
доцент кафедри «Теплотехніки»
Київського національного університету
будівництва і архітектури

ЧЕПУРНА Н.В.

Підпис Чепурної Н.В.
ЗАСВІДЧУЮ

Секретар Вченої ради Київського
національного університету
будівництва і архітектури

КЛИМЕНКО М.О.