

ВІДГУК

офіційної опонентки

кандидатки технічних наук, старшої дослідниці, старшої наукової співробітниці відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій
Інституту технічної теплофізики НАН України

ЛИСЕНКО ОКСАНИ МИКОЛАЇВНИ

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 теми дисертаційної роботи

Дисертаційна робота присвячена актуальному напрямку – модернізації систем централізованого теплопостачання шляхом впровадження енергоефективних двонаправлених індивідуальних теплових пунктів (2Н-ІТП). Актуальність зумовлена глобальними викликами декарбонізації та переходу до сталих технологій опалення. На світовому рівні спостерігається перехід до 4-го і 5-го поколінь теплових мереж з низькотемпературними режимами та широким залученням відновлюваних джерел енергії, що відповідає цілям Європейського «Green Deal» та політиці енергозбереження.

Двонаправлені ІТП є важливим елементом сучасних «розумних» мереж, оскільки здатні не лише споживати теплоту, а й повертати її надлишки, виступаючи активними просьюмерами. Це відкриває нові можливості для балансування теплових потоків і інтеграції локальних джерел

енергії (сонячних колекторів, теплових насосів, утилізації скидного тепла тощо) у централізовані системи.

Тема дисертаційної роботи набуває актуальності через необхідність модернізації застарілої та енерговитратної інфраструктури теплопостачання, особливо в умовах воєнних викликів. Розвиток 2Н-ІТП відповідає національній стратегії підвищення ресурсоефективності та енергетичної безпеки, зменшує залежність від імпорتنих енергоносіїв та підвищує гнучкість систем у кризових ситуаціях. Вони здатні зменшити споживання імпортованого природного газу через залучення місцевих відновлюваних джерел, що підсилює енергонезалежність України. Крім того, 2Н-ІТП підвищують гнучкість теплопостачання у кризових ситуаціях (аварії, відключення, пошкодження внаслідок воєнних дій), дозволяючи перенаправляти теплоту між будівлями чи мікромережами і тим самим оперативно реагувати на дефіцит або надлишок теплоти. З урахуванням воєнного часу дисертація є надзвичайно актуальною, оскільки результати роботи можуть лягти в основу відбудови та модернізації зруйнованих теплових господарств за сучасними принципами. Загалом, питання, розкриті у дисертації, мають важливе значення для України, адже вони поєднують цілі сталого розвитку, євроінтеграції та зміцнення енергетичної безпеки держави.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Логіка дослідження в дисертації є послідовною та переконливою. Автором чітко окреслено проблему і сформульовано гіпотезу щодо підвищення ефективності централізованого теплопостачання через впровадження 2Н-ІТП. Структура роботи побудована таким чином, щоб крок за кроком досягти поставленої мети: спочатку аналіз стану й виявлення наукової прогалини, далі – розробка нових технічних рішень (схем, моделей, алгоритмів), їх експериментальна перевірка, а насамкінець – узагальнення результатів у вигляді методики і рекомендацій. Такий підхід забезпечує наукову цілісність роботи: висновки кожного етапу логічно впливають з попереднього і підкріплюються доказовою базою. Зокрема, на підставі

критичного огляду літератури виявлено недостатню дослідженість 2Н-ІТП, що обмежувало розвиток концепції теплових просьюмерів у мережах.

Це слугувало обґрунтуванням для постановки завдань дисертації. Далі здобувач розробив принципово нову схему 2Н-ІТП і створив математичну модель його функціонування. Модель враховує динамічні процеси теплообміну в системі, взаємозв'язок потоків між централізованою мережею та локальними джерелами, а також поведінку теплового пункту в режимі «просьюмера» у реальних умовах споживання.

Застосування сучасних методів математичного моделювання дало змогу автору прогнозувати ефективність роботи системи, оптимізувати параметри енергобалансу та перевірити різні сценарії керування ще на етапі проектування. Інженерні розрахунки і комп'ютерне моделювання в роботі поєднано з експериментальними дослідженнями, що суттєво підвищує достовірність отриманих висновків. На експериментальному стенді автор перевіряв працездатність запропонованих алгоритмів керування та підтвердив адекватність розроблених моделей, зіставивши розрахункові дані з реальними вимірюваннями (температури, витрати, теплові потоки тощо). Така багатоетапна верифікація свідчить про високу надійність і переконливість наукових положень дисертації.

3. Наукова новизна одержаних результатів

- вперше науково обґрунтовано доцільність і ефективність застосування двонаправлених теплових пунктів з функціями споживання та генерації теплової енергії в системах теплопостачання будівель, в яких передбачено акумулювання і передача надлишкової теплоти в мережу централізованого теплопостачання;
- вперше запропоновано математичну модель перенесення теплоти в двонаправлених теплових пунктах при змінних у часі умовах експлуатації;
- шляхом чисельного моделювання визначено вплив зовнішньої температури, теплового навантаження, режимів роботи теплового насоса та накопичувача теплоти на загальну ефективність роботи даної системи;

- експериментально підтверджено здатність теплових пунктів запропонованої конструкції працювати в двонаправлених режимах та змінювати ці режими в залежності від умов експлуатації;
- розроблено і науково обґрунтовано принципи регулювання режимів роботи первинного та вторинного контурів теплових пунктів, які передбачають використання комбінованих клапанів і швидкодіючих електроприводів, що сприяють підвищенню швидкості і стабільності роботи цієї системи.

4. Практичне значення роботи

- запропоновано оригінальну конструктивну схему 2Н-ІТП з акумулюванням і передачею надлишкової теплоти в мережу централізованого теплопостачання (ЦТ);
- розроблена за результатами дисертаційної роботи система двонаправлених теплових пунктів з акумулюванням і передачею надлишкової теплоти в мережу централізованого теплопостачання може застосовуватися в системах теплопостачання будівель;
- теоретично та експериментально обґрунтовано енергоефективність двонаправлених теплових пунктах як інструменту інтеграції відновлювальних джерел енергії у централізоване теплопостачання;
- розроблена методика експериментальних досліджень і техніко-економічна модель оптимального управління тепловими потоками з урахуванням змін попиту й вартості енергії;
- запропоновані алгоритми керування режимами роботи двонаправлених теплових пунктів, що передбачають використання ПІ-регуляторів, можуть застосовуватися в умовах зовнішніх температурних коливань і сезонних змін погодних умов;
- застосування двонаправлених теплових пунктів в системах централізованого теплопостачання сприяє зменшенню їх пікових навантажень та підвищує гнучкість роботи цих систем;

- розроблено комплексну методику інженерних розрахунків, що враховує теплотехнічні, цифрові й економічні аспекти роботи двонаправлених теплових пунктів.

5. Повнота викладення наукових положень та висновків

Основні результати, наукові положення та висновки достатньо повно відображено у 8 працях: 4 статі 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

Дисертаційну роботу написано українською мовою на належному стилістичному рівні. Застосована у роботі наукова термінологія є загальноприйнятною. Стиль викладення роботи робить її доступною для сприйняття та використання. Оформлення дисертації відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України.

8. Аналіз основного змісту роботи

Дисертація 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 обґрунтовано актуальність теми через перехід централізованого теплопостачання до 4-го і 5-го поколінь низькотемпературних мереж з широким використанням ВДЕ. Підкреслено обмеження традиційних односпрямованих індивідуальних теплових пунктів (ІТП) та необхідність впровадження 2Н-ІТП, які здатні працювати як на споживання, так і на повернення надлишкової теплоти. Визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Окреслено наукову новизну — вперше розроблено принципову схему, математичну модель та алгоритми керування 2Н-ІТП. Практичне значення полягає у підвищенні енергоефективності ЦТ, інтеграції ВДЕ, зменшенні втрат теплоти та розвитку цифрових платформ для моніторингу й адаптивного управління.

В першому розділі подано огляд розвитку ЦТ від високотемпературних систем 1–3 поколінь до сучасних концепцій 4-го і 5-го поколінь з низькими температурами теплоносія та інтеграцією ВДЕ. Проаналізовано архітектури центральних, розподільчих та індивідуальних теплових пунктів, визначено, що більшість ІТП є односпрямованими та обмежують можливості інтеграції локальних джерел тепла. Розглянуто питання зниження температурного графіка, впровадження акумуляторів та цифрового моніторингу. Наведено європейські директиви та національні норми, що стимулюють розвиток низькотемпературних систем. Виявлено наукову прогалину — відсутність досліджень 2Н-ІТП. Підкреслено необхідність 2Н-ІТП для гнучкого балансування теплових потоків і підвищення ефективності мереж 4–5 покоління.

У другому розділі розроблено принципову схему 2Н-ІТП, що забезпечує двонаправлену циркуляцію теплоносія, акумуляування надлишків та рекуперацію теплоти в мережу. Схема включає буферний бак, регулювальні клапани, насоси та алгоритми керування пріоритетами джерел теплоти. Створено фізико-математичну модель тепломасообміну в ключових елементах, визначено аналітичні залежності між температурами, витратами та тепловими навантаженнями. Запропоновано енергетичну балансну модель

теплового просьюмера з урахуванням роботи теплового насоса та впливу на ефективність системи. Розроблено адаптивні алгоритми на основі ПІ-регулятора для гнучкого керування режимами роботи. Модель придатна для створення цифрових двійників і оптимізації проєктних рішень.

У третьому розділі проведено експериментальні дослідження на стенді 2Н-ІТП з електричним котлом (принцип моделювання теплового насоса), баком-акумулятором і регульовальними елементами. Випробувано режими споживання теплоти від ЦТ, комбінованої роботи та рекуперації надлишкової теплоти. Моніторинг температур, витрат і потоків теплоти підтвердив ефективність алгоритмів керування: при досягненні критичних параметрів система автоматично переходить у режим повернення теплоти. Під час добового циклу повернуто до 90 % теплоти локальної генерації. Проведено польову верифікацію на об'єкті Danfoss Smart Store (Данія), що підтвердило практичну релевантність підходу. Розроблено методику апробації 2Н-ІТП для використання в інженерних проєктах та стандартизації.

У четвертому розділі розроблено методику інженерного розрахунку 2Н-ІТП з урахуванням алгоритмічних, конструктивних і теплотехнічних аспектів роботи. Запропоновано алгоритми роботи в автономному, комбінованому та рекуперативному режимах, оптимізацію потоків теплоти відповідно до температурного графіка та потужності локальних джерел. Проведено масштабування результатів на систему потужністю 85 кВт: зниження споживання теплоти з боку ЦТ на 74 % та повернення до 61 % локальної генерації. Термін окупності – 3,7 року. Показано вплив 2Н-ІТП на зниження температурного графіка, децентралізацію та балансування мережі. Надано практичні рекомендації та вказано на необхідність адаптації нормативної бази для впровадження 2Н-ІТП у мережі 4-го і 5-го поколінь.

9. Зауваження та недоліки дисертаційної роботи

1. Як відбувається перехід від рівнянь математичної фізики 1.1, 1.4, 1.9 та 1.13 для явищ переносу до системи рівнянь 1.17-1.20, чи остання система рівнянь вибрана із інших балансових міркувань або із літературних джерел (вказати яких)? Чому не враховувались радіаційні тепловтрати?

2. З тексту роботи незрозуміло, з яких міркувань розраховувалось (вибиралось) номінальне теплове навантаження досліджуваного об'єкту.

3. Вимагає пояснення, чому реальна споживана потужність досліджуваного об'єкту майже в 2 рази менше розрахованої, яка представлена на рис. 1.31. Можливо алгоритм роботи ІТП потрібно скорегувати? Не надано інформацію про об'єкт опалення і досліджуваний об'єкт в цілому.

4. На рис. 1.36 відсутні позначення ліній, місця встановлення датчиків і вимірювальних параметрів, тому аналіз результатів доволі обмежений.

5. Результати математичного моделювання, наведені в підрозділі 1.3, та результати експериментальних досліджень, наведені в підрозділі 1.4, доцільно було б перенести до розділу 2 і 3 відповідно.

6. У другому розділі бажано було б надати схему розміщення ІТП доукомплектованого тепловим насосом, сонячними тепловими колекторами, системами скидної теплоти (вентиляційних викидів, каналізації), бака-акумулятора теплоти. Тоді будуть краще розумітися вирази для моделювання процесів, що представлені в підрозділі 2.2.

7. Більшість графіків розрахункових та експериментальних даних в роботі представлені доволі невдало – малий шрифт, малий масштаб, інколи відсутність пояснень осей, позначень ліній, що ускладнює сприйняття та аналіз отриманих результатів.

Наведені зауваження та вказані недоліки не є принциповими та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи в цілому.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Баранчука Кирила Олексійовича «Системи теплопостачання з енергоефективними двонаправленими тепловими пунктами» є завершеним науковим дослідженням, що містить наукову новизну, має теоретичне та практичне значення. Розв'язання задач даної роботи має 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), а також пунктам

5-9 «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 на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво».

Офіційна опонентка,
кандидатка технічних наук,
старша дослідниця,
старша наукова співробітниця
відділу теплофізичних основ
енергоощадних технологій
Інституту технічної теплофізики
НАН України



Оксана ЛИСЕНКО



«21» 08 2025 року

