

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, с.н.с., професора кафедри атомної енергетики
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

СОРОКОВОЇ Наталії 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 обраної теми.

Дисертаційна робота Баранчука Кирила Олексійовича присвячена вирішенню комплексної проблеми підвищення ефективності централізованого теплопостачання шляхом впровадження енергоефективних двонаправлених індивідуальних теплових пунктів (2Н-ІТП). Потреба в таких рішеннях зумовлена поєднанням кількох ключових факторів: зростанням цін на енергоресурси, необхідністю скорочення тепловтрат у мережах, підвищенням гнучкості системи та інтеграції місцевих джерел теплоти.

2Н-ІТП забезпечують можливість не лише отримання теплової енергії від мережі, а й повернення її надлишків назад у мережу, створюючи умови для розвитку концепції теплового просюмера. Це принципово змінює роль споживача в енергосистемі, перетворюючи його на активного учасника балансування теплових потоків. Особливо цінним є поєднання таких пристроїв з

локальною генерацією теплової енергії, зокрема сонячними колекторами, тепловими насосами, системами утилізації скидного тепла.

В українському контексті впровадження 2Н-ІТП має особливе значення з огляду на зношеність теплових мереж, значні втрати енергії та залежність від імпортованого природного газу. Такі рішення дозволяють зменшити навантаження на централізовані джерела, оптимізувати роботу мережевої інфраструктури та підвищити надійність теплопостачання.

Додатковий вимір актуальності надають сучасні виклики, пов'язані з воєнними діями: 2Н-ІТП здатні забезпечити швидке перепідключення потоків теплоти між будівлями або сегментами мережі у разі аварій чи пошкоджень, підтримуючи мінімально необхідний рівень теплопостачання. У післявоєнний період такі технології можуть стати основою для модернізації теплового господарства за принципами енергоефективності, адаптивності та децентралізації.

Таким чином, тема дисертації поєднує у собі вирішення нагальних технічних, економічних і стратегічних завдань, сприяючи підвищенню енергетичної безпеки, раціональному використанню ресурсів та підготовці інфраструктури до роботи в умовах швидких змін енергетичного середовища.

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

Дисертаційна робота відзначається комплексністю та логічною завершеністю, адже всі її етапи взаємопов'язані й організовані у чітку наукову послідовність. Автор детально окреслив технічні та енергетичні проблеми існуючих систем теплопостачання, сформував аргументовану гіпотезу щодо підвищення їх ефективності шляхом застосування двонаправлених індивідуальних теплових пунктів та розробив методологію перевірки цієї гіпотези. Послідовний перехід від аналітичного огляду і виявлення наукової прогалини – до створення інноваційних технічних рішень та їх випробування – забезпечує високу наукову цілісність роботи.

Суттєвою перевагою дослідження є інтеграція інженерних розрахунків із сучасними цифровими інструментами. Розроблена автором математична модель враховує не лише статичні теплотехнічні характеристики, але й динамічні процеси теплообміну, вплив коливань зовнішніх температур і теплового попиту. Вона дозволяє описати як звичайний споживчий режим роботи 2Н-ІТП, так і сценарії з поверненням надлишкового тепла до мережі, у тому числі з урахуванням нерівномірності роботи локальних джерел.

Використання математичного моделювання та методики інженерних розрахунків дало змогу оптимізувати конструктивні параметри 2Н-ІТП і налаштувати алгоритми керування під час проведення експериментальних досліджень. Значну увагу приділено практичним аспектам — визначенню параметрів обладнання, вибору теплообмінників, насосів і регулювальних органів відповідно до теплових та гідравлічних характеристик системи.

Експериментальна частина стала ключовим елементом перевірки наукових положень: випробування на стенді з відтворенням реальних режимів споживання та повернення тепла дозволили підтвердити працездатність розроблених алгоритмів та адекватність інженерних розрахунків.

Таким чином, поєднання інженерних розрахунків з експериментальною верифікацією забезпечує високий ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації. Отримані результати не лише підтверджують достовірність висновків, але й доводять їхню практичну придатність для широкого впровадження в сучасних системах централізованого теплопостачання.

3. Наукова новизна одержаних результатів.

Уперше:

- Сформовано науково обґрунтовану концепцію функціонування (2Н-ІТП) як елемента теплової інфраструктури, здатного одночасно виконувати функції споживача та виробника теплової енергії;
- Запропоновано авторську конструктивну схему 2Н-ІТП, що поєднує акумулювання тепла з можливістю його передачі назад у систему централізованого теплопостачання;

- Розроблено фізико-математичну модель процесів тепломасообміну в 2Н-ІТП, яка відображає особливості двонаправленого теплообміну та роботи в умовах змінних навантажень;

- Експериментально доведено працездатність 2Н-ІТП у двонаправленому режимі з оперативним перемиканням між режимами в реальному часі.

Удосконалено:

- Конструктивну схему 2Н-ІТП шляхом оптимізації гідравлічних зв'язків, впровадження адаптивного керування насосами та використання багатофункціональних клапанів для підвищення ефективності в різних режимах роботи;

- Принципи регулювання первинного і вторинного контурів із застосуванням комбінованих клапанів та швидкодіючих електроприводів, що забезпечує підвищену стабільність та швидкість реагування;

- Математичну модель 2Н-ІТП з урахуванням перехідних процесів, придатну для створення цифрових двійників та моделювання ефективності;

- Методичний підхід до вибору обладнання (теплообмінників, арматури, акумуляторів, систем автоматики та моніторингу) разом з рекомендаціями щодо інтеграції теплових просюмерів у ринок тепла.

Практичне значення роботи:

- На основі теоретичних розрахунків та експериментів підтверджено енергоефективність 2Н-ІТП як інструменту інтеграції відновлюваних джерел енергії у ЦТ, зниження температурного графіка та теплових втрат, збільшення частки локальної генерації;

- Розроблено і випробувано експериментальний зразок 2Н-ІТП, що підтримує режими моно- та бівалентної роботи, накопичення та зворотної подачі тепла, і отримано критеріальні залежності ефективності теплообміну;

- Запропоновано методику проведення експериментальних досліджень і техніко-економічну модель оптимального керування тепловими потоками з урахуванням зміни попиту та вартості енергії;

- Розроблено алгоритми керування на базі PI-регуляторів, здатні враховувати температурні коливання та сезонні особливості роботи мережі;
- Оцінено вплив впровадження 2Н-ІТП на параметри системи централізованого теплопостачання, зокрема зменшення пікових навантажень, підвищення гнучкості та сприяння децентралізації теплових потоків;
- Запропоновано комплексну методику інженерних розрахунків, що інтегрує теплотехнічні, цифрові та економічні аспекти проектування;
- Визначено основні бар'єри впровадження 2Н-ІТП і розроблено рекомендації щодо їх подолання: зміни у нормативно-правовій базі, впровадження гнучких тарифів, розвиток ринку тепла та узгодження з європейськими нормами і Директивами.

4. Загальнонаціональне та світове значення роботи.

Результати дисертаційної роботи мають комплексне значення як для розвитку української теплоенергетики, так і для світової практики модернізації теплопостачання. Для України впровадження 2Н-ІТП створює передумови для глибокої трансформації централізованих систем, спрямованої на зниження енергоспоживання, підвищення ефективності розподілу тепла та зменшення втрат у мережах. Це дозволяє раціональніше використовувати місцеві відновлювані джерела та утилізоване тепло, що знижує навантаження на традиційні паливні ресурси та зменшує залежність від імпорту енергоносіїв. В умовах післявоєнного відновлення такі технології забезпечують швидке та гнучке відновлення пошкоджених інфраструктур, підвищують стійкість і адаптивність тепломереж до кризових ситуацій.

На міжнародному рівні результати дослідження можуть бути використані в країнах із подібною структурою централізованого теплопостачання, особливо там, де актуальним є завдання інтеграції локальних джерел енергії та скорочення викидів парникових газів. Запропоновані технічні рішення та підходи узгоджуються з принципами європейських директив у сфері енергоефективності та декарбонізації, що відкриває можливості для гармонізації національних стандартів і залучення міжнародних інвестицій.

Світове значення роботи полягає у сприянні формуванню сучасних «розумних» теплових систем, здатних працювати в умовах змінного попиту та пропозиції тепла, забезпечувати енергоефективність на рівні міських агломерацій і робити внесок у досягнення глобальних цілей сталого розвитку. Це робить дисертацію цінним орієнтиром для фахівців, що працюють над модернізацією теплової інфраструктури в умовах енергетичного переходу.

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

Дисертаційна робота Баранчука К.О. є комплексним дослідженням, яке поєднує теоретичне обґрунтування, інженерні розрахунки, моделювання та експериментальну перевірку роботи 2Н-ІТП. Структура роботи містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел (93 найменування) та

шість додатків, загальним обсягом 263 сторінки. Анотації українською та англійською мовами повністю відповідають змісту дослідження, чітко відображають його ключові результати та висновки.

У вступі детально аргументовано актуальність теми, зосереджуючи увагу на необхідності модернізації систем централізованого теплопостачання в умовах зростання частки відновлюваних джерел енергії та потреби в гнучкому балансуванні теплових потоків. Показано обмеження традиційних ІТП, які працюють лише на споживання, та обґрунтовано потребу в обладнанні, здатному не лише отримувати тепло з мережі, а й повертати надлишки. Сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження. Наукова новизна полягає у створенні принципової схеми 2Н-ІТП, розробленні інженерної методики його розрахунку, фізико-математичної моделі процесів та алгоритмів керування. Практичний ефект пов'язаний з підвищенням енергоефективності мереж, інтеграцією локальних джерел та цифровим моніторингом у реальному часі.

Перший розділ присвячено огляду розвитку централізованих теплових мереж, їхньої архітектури та компонентної бази. Проаналізовано принципи роботи центральних, розподільчих та індивідуальних теплових пунктів, наведено сучасні тенденції щодо зниження температур подачі, впровадження теплових акумуляторів і систем моніторингу. Підкреслено, що більшість ІТП в існуючих мережах не мають функції зворотної подачі тепла, що унеможливорює повноцінне залучення теплових просюмерів. У результаті аналізу нормативної бази та наукових джерел ідентифіковано відсутність досліджень, які комплексно охоплюють розробку, моделювання та випробування 2Н-ІТП.

Другий розділ зосереджено на технічному проєктуванні 2Н-ІТП. Запропонована схема передбачає двонаправлений рух теплоносія, буферний бак для накопичення тепла, високошвидкісні регулювальні клапани, циркуляційні насоси з адаптивним керуванням та алгоритми вибору пріоритетних джерел тепла. Розроблено фізико-математичну модель тепломасообміну, що описує взаємодію між централізованим джерелом, локальною генерацією та накопичувачем. Окремо сформовано енергетичну модель теплового просюмера

для аналізу енергобалансу та оптимізації параметрів системи. Алгоритми керування побудовані на основі PI-регулятора з адаптацією до поточних умов.

У *третьому розділі* подано результати випробувань на експериментальному стенді з електричним котлом (імітація теплового насоса), баком-акумулятором та комплектом регулювальних елементів. Досліджено режими споживання тепла з мережі, комбінованої роботи та зворотної подачі надлишків. Записані криві температур, витрат та теплових потоків підтвердили ефективність алгоритмів і швидкість реакції системи на зміну навантаження. Особливо показовим є здатність системи повертати до 90 % тепла від локальної генерації впродовж добового циклу. Результати були додатково верифіковані на реальному об'єкті Danfoss Smart Store (Данія), що довело готовність технології до впровадження.

Четвертий розділ містить методику інженерного розрахунку 2Н-ІТП, що охоплює гідравлічні, теплотехнічні та алгоритмічні аспекти. Запропоновано сценарії роботи в автономному, комбінованому та рекуперативному режимах із урахуванням температурного графіка мережі та параметрів локальних джерел. Проведено масштабування результатів на об'єкт потужністю 85 кВт, що показало можливість зниження споживання тепла з мережі на 74 % та повернення до 61 % від локальної генерації. Визначено термін окупності — 3,7 року. Надано практичні рекомендації для проєктувальників та експлуатаційників, а також пропозиції щодо вдосконалення нормативної бази для інтеграції 2Н-ІТП у сучасні системи тепlopостачання.

9. Зауваження та дискусійні питання

1. Математична модель теплових процесів в елементах схеми двонаправленого індивідуального теплового пункту, оснащеного ВДЕ та акумулятором теплоти (2.1) – (2.17) містить ряд величин, таких як коефіцієнт теплопередачі теплообмінника, коефіцієнти теплових втрат у ключових компонентах ІТП, потужність сонячного випромінювання, що є функціями змінних режимних параметрів системи і стану оточуючого середовища. В роботі не наведена інформація стосовно того, як враховувались ці залежності при прогнозуванні умов ефективного функціонування теплового пункту.

2. Запропонована у розділі 2 конструктивна схема 2Н-ІТП та алгоритми керування нею не містять докладного аналізу сумісності з наявними системами автоматизації та диспетчеризації теплових мереж.

3. У розділі 3 наведено результати експериментів на стенді та польової верифікації, проте залишається відкритим питання масштабування результатів на великі системи централізованого теплопостачання у щільній міській забудові.

4. Методика інженерних розрахунків наведена у розділ 4 не надає чіткого механізму інтеграції у національні нормативи та стандарти.

5. Недостатньо розглянуто вплив сезонних коливань температурного графіка на ефективність роботи 2Н-ІТП, зокрема на відсоток покриття потреб в тепловій енергії локальним джерелом теплоти особливо в умовах найнижчих температур опалювального періоду.

6. Економічні розрахунки впровадження 2Н-ІТП виконані для одного тарифного сценарію і при використанні теплового насосу в якості локального генератора теплової енергії, що обмежує можливість оцінки ефективності при зміні цін на теплову енергію та залученні інших типів ВДЕ.

7. У роботі не розглянуто вплив зворотної подачі тепла на гідравлічні режими магістралей та роботу суміжних ІТП.

8. Було б доцільно провести порівняння роботи 2Н-ІТП з альтернативними технічними рішеннями, щоб чіткіше обґрунтувати їх відносну перевагу.

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

ВИСНОВОК

Результати аналізу дисертації, анотацій українською та англійською мовами, опублікованих наукових праць дають підстави для висновку про те, що робота Баранчука Кирила Олексійовича «Системи теплопостачання з енергоефективними двонаправленими тепловими пунктами» є завершеним

самостійним науковим дослідженням, що містить наукову новизну і має теоретичне та практичне значення для будівельної галузі.

Зважаючи на актуальність теми дослідження, ступінь обґрунтованості отриманих наукових результатів, новизну та повноту їх викладення в опублікованих працях автора, вважаю, що дисертація «Системи теплопостачання з енергоефективними двонаправленими тепловими пунктами» має важливе 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».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, старший науковий
співробітник, професор кафедри атомної
енергетики Національного технічного
університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Наталія СОРОКОВА