

Голові разової спеціалізованої вченої  
ради в Національному університеті  
«Одеська політехніка»,  
доктору технічних наук, професору  
Баласаняну Геннадію Альбертовичу

**ВІДГУК**

**офіційного опонента**

**Бошкової Ірини Леонідівни**

на дисертаційну роботу

**ГРИЩЕНКА СЕРГІЯ ІГОРОВИЧА**

на тему:

**«ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОГО  
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТІВ ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОГО  
ГОСПОДАРСТВА»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 144 – Теплоенергетика

**1. Актуальність теми дисертаційної роботи**

Проблема підвищення енергоефективності систем теплопостачання об'єктів житлово-комунального господарства належить до пріоритетних напрямів розвитку сучасної теплоенергетики. Житлові, громадські, торговельно-розважальні, медичні, санаторно-рекреаційні та інші комунальні будівлі характеризуються значними обсягами споживання теплової енергії, нерівномірністю добових і тижневих графіків навантаження, залежністю теплоспоживання від зовнішніх кліматичних умов та режимів експлуатації.

Особливого значення ця проблема набуває в умовах підвищення вартості первинних енергоресурсів, необхідності скорочення використання природного газу, зменшення викидів парникових газів, підвищення надійності систем теплопостачання та інтеграції відновлюваних джерел енергії. У дисертації обґрунтовано, що модернізація систем теплопостачання повинна охоплювати генерацію, транспортування, розподіл і споживання теплоти та поєднувати технічні, економічні й екологічні аспекти.

Актуальність обраної теми визначається також необхідністю узгодження режимів генерації та споживання теплоти. Традиційний підхід, за якого теплова потужність обладнання визначається переважно за максимальним розрахунковим навантаженням, не завжди враховує фактичні режими експлуатації будівель. Це може призводити до завищення встановленої потужності обладнання, частих пусків і зупинок теплогенерувальних установок, зниження їхньої ефективності та збільшення капітальних і експлуатаційних витрат.

У зв'язку із цим перспективним є комплексне використання теплових насосів, сонячних колекторів, традиційних теплогенераторів і акумуляторів теплоти, а також застосування переривчастого опалення для будівель із нерегулярним графіком експлуатації. Важливим є не лише вибір обладнання, але й визначення раціональних режимів його роботи з урахуванням характеру теплоспоживання конкретного об'єкта.

Тематика дисертаційної роботи узгоджується із загальними положеннями державної політики України у сфері енергоефективності, розвитку відновлюваної енергетики, декарбонізації та підвищення енергетичної незалежності. У дисертації також враховано положення Енергетичної стратегії України до 2050 року та Національного плану дій з розвитку відновлюваної енергетики до 2030 року.

Отже, обраний напрям дослідження є актуальним, має важливе наукове, технічне, економічне та соціальне значення, а тема дисертації відповідає сучасним потребам житлово-комунальної теплоенергетики.

## **2. Наукова новизна одержаних результатів**

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у розвитку методів визначення та оптимізації режимів роботи комбінованих систем теплопостачання з урахуванням фактичних графіків експлуатації будівель, можливостей акумуляування теплоти та використання відновлюваних джерел енергії.

До основних наукових результатів, одержаних здобувачем, належать такі положення.

По-перше, подальшого розвитку набув підхід до зниження пікових навантажень джерел теплопостачання на основі статистичного аналізу режимів теплоспоживання будівель різного функціонального призначення та використання акумуляторів теплоти.

По-друге, вперше запропоновано коефіцієнт використання максимальної потужності джерела теплоти та середньодобовий коефіцієнт використання максимальної потужності системи теплозабезпечення. Зазначені коефіцієнти призначені для оцінювання фактичного рівня використання встановленої потужності, потенціалу зменшення максимального теплового навантаження та необхідної акумуляції теплоти.

По-третє, подальшого розвитку набув метод моделювання переривчастого теплопостачання будівель громадського призначення з нерегулярними добовими графіками експлуатації. Особливістю підходу є врахування малоінерційної складової зміни температури повітря в приміщенні, що підвищує точність опису режиму ранкового натопу.

По-четверте, подальшого розвитку набув метод дослідження ефективності комбінованих систем теплопостачання з тепловими насосами та геліосистемами на реальному об'єкті житлово-комунального сектору з урахуванням надійності системи в цілому.

Наукову новизну підтверджують одержані кількісні результати. Для житлового будинку визначено середньодобовий коефіцієнт використання максимальної потужності на рівні 0,73, а для торговельно-розважального комплексу – 0,443. На цій основі оцінено мінімально необхідну потужність джерела теплоти: 584 кВт для житлового будинку та 487 кВт для торговельно-розважального комплексу.

Для системи переривчастого опалення встановлено можливість економії енергоресурсів у межах 10–16 %. Для теплонасосної системи

житлового будинку застосування акумулювальної ємності дало змогу зменшити максимальне теплове навантаження майже на 44 %.

Наведені положення мають ознаки наукової новизни, логічно пов'язані з метою та завданнями роботи і відображають особистий внесок здобувача у розвиток методів підвищення ефективності комбінованих систем теплопостачання.

### **3. Зміст дисертації та короткий аналіз її розділів**

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і п'яти додатків. У роботі наведено 66 рисунків, 11 таблиць, а список використаних джерел містить 121 найменування.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, представлено наукову новизну, практичне значення, особистий внесок здобувача, відомості про апробацію та публікації.

Метою роботи визначено підвищення ефективності комбінованих систем теплопостачання будівель комунального господарства з використанням відновлюваних джерел енергії та урахуванням режимів експлуатації будівель теоретичним і експериментальним шляхом. Об'єктом дослідження є комбіновані системи теплопостачання об'єктів комунального господарства із застосуванням відновлюваних джерел енергії, а предметом – теплові процеси та режими роботи таких систем з урахуванням експлуатації будівель.

У першому розділі проведено аналіз сучасного стану систем теплопостачання об'єктів житлово-комунального господарства, розглянуто тенденції підвищення енергоефективності в Україні та країнах Європейського Союзу. Проаналізовано особливості теплозабезпечення будівель різного функціонального призначення, режими роботи систем опалення, гарячого водопостачання та вентиляції, а також фактори, що визначають максимальну потужність системи теплопостачання.

Позитивною рисою першого розділу є комплексне врахування зовнішніх кліматичних факторів, теплофізичних характеристик огорожувальних конструкцій, режимів перебування людей та графіків роботи інженерних систем. Автор обґрунтовано зазначає, що врахування цих факторів необхідне для вибору раціональної потужності джерел теплоти та схем автоматизованого регулювання.

**У другому розділі** досліджено режими роботи систем теплопостачання будівель різного типу. Запропоновано поділ будівель комунального господарства на дві основні групи: з регулярним і нерегулярним режимами експлуатації. Для житлового будинку та торговельно-розважального комплексу на основі спостережень побудовано добові й тижневі графіки теплових навантажень.

У цьому розділі запропоновано коефіцієнти використання максимальної теплової потужності джерела та середньодобовий коефіцієнт використання максимальної потужності. Визначено залежності необхідного об'єму акумулятора теплоти від кліматичних умов. Для житлового будинку одержано раціональні об'єми акумулятора від 26,62 до 40,98 м<sup>3</sup>, а для торговельно-розважального комплексу – від 57,12 до 87,9 м<sup>3</sup> залежно від розрахункової температури зовнішнього повітря.

**У третьому розділі** розроблено та досліджено математичну модель системи теплопостачання з акумулятором теплоти. Виконано моделювання переривчастого режиму опалення будівлі громадського призначення, проаналізовано добові графіки навантаження, зміну температури внутрішнього повітря, теплоносія та стану зарядження акумулятора теплоти.

Автор показав, що застосування переривчастого опалення може забезпечити економію енергоресурсів на рівні 10–16 %. Визначено, що під час ранкового натопу необхідно забезпечити максимальну теплову потужність для швидкого відновлення нормативної температури в приміщенні. Для зовнішніх температур від –15 до +5 °С одержано раціональні режими навантаження основних елементів системи.

**У четвертому розділі** досліджено комбіновані системи теплозабезпечення із застосуванням традиційних та відновлюваних джерел енергії. Виконано аналіз надійності джерела теплоти залежно від кількості встановлених теплогенераторів. Показано, що збільшення кількості котлів з чотирьох до восьми за однакової сумарної потужності знижує ймовірність одночасної відмови декількох котлів майже у сім разів.

Проведено натурні дослідження роботи ґрунтового теплового насоса в системі теплопостачання житлового будинку. Визначено вплив тривалості роботи теплового насоса з високим навантаженням на ефективність відбору теплоти від ґрунту. Запропоновано встановлення акумуляторів теплоти, що дало змогу зменшити максимальне теплове навантаження майже на 44 %. Для буднього дня рекомендовано акумулятор об'ємом 1,2 м<sup>3</sup>, для вихідного – 1,7 м<sup>3</sup>.

Окрему увагу приділено геліосистемам. За результатами розрахунків визначено раціональний кут нахилу сонячних колекторів 30°, кількість колекторів – 18 одиниць, рекомендований тип – плоский колектор. Автор також розглянув проблему надлишкового виробництва теплоти в літній період та запропонував можливі напрями її корисного використання.

Загальні висновки відповідають поставленим завданням, містять основні кількісні результати та відображають зміст виконаних теоретичних, розрахункових і експериментальних досліджень.

#### **4. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій**

Наукові положення, висновки та практичні рекомендації дисертації загалом є достатньо обґрунтованими.

Достовірність результатів забезпечується:

- застосуванням фундаментальних положень теплопередачі, теплових балансів, теорії теплопостачання та акумулювання теплоти;
- використанням статистичних даних фактичного теплоспоживання житлового будинку і торговельно-розважального комплексу;

- математичним моделюванням температурних і навантажувальних режимів системи теплопостачання;
- використанням фактичних даних експлуатації ґрунтового теплового насоса на пілотному об'єкті;
- аналізом добових, тижневих і сезонних графіків теплового навантаження;
- зіставленням різних варіантів структури та режимів роботи теплогенерувального обладнання;
- апробацією результатів на міжнародних науково-технічних і науково-практичних конференціях;
- упровадженням результатів у діяльність профільних підприємств і навчальний процес.

Для досягнення поставленої мети автор використав теоретичні методи, статистичні й експериментальні дані, методи математичного моделювання та програмні засоби оброблення результатів.

Висновки до окремих розділів і загальні висновки логічно впливають із наведених розрахунків та одержаних залежностей. Основні результати мають кількісне підтвердження, зокрема значення коефіцієнтів використання максимальної потужності, рекомендовані об'єми теплових акумуляторів, економія енергоресурсів при переривчастому опаленні та зменшення пікового навантаження теплонасосної системи.

## **5. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами**

Дисертаційна робота виконана відповідно до планів науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська політехніка» і є складовою частиною таких НДР:

- НДР № 179-41 «Забезпечення ефективного функціонування систем теплопостачання будівель громадського призначення: теоретико-методологічні та практичні аспекти», номер державної реєстрації 0119U003518;

– НДР № 266-41 «Підвищення надійності систем теплопостачання об'єктів критичної інфраструктури», номер державної реєстрації 0125U003952.

Зміст дисертації відповідає напрямам зазначених науково-дослідних робіт. Особистий внесок здобувача полягає в аналізі режимів теплоспоживання, розробленні методів зменшення розрахункової потужності джерел теплоти, визначенні раціональних об'ємів акумуляторів, моделюванні переривчастого теплопостачання та дослідженні комбінованих систем із тепловими насосами й сонячними колекторами.

## **6. Наукове значення одержаних результатів**

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у поглибленні теоретичних і методичних основ формування енергоефективних режимів роботи комбінованих систем теплопостачання.

Запропоновані коефіцієнти використання максимальної потужності можуть бути використані як додаткові критерії оцінювання відповідності встановленої потужності джерела фактичному графіку теплоспоживання. На відміну від оцінки лише за максимальним розрахунковим навантаженням, такий підхід враховує тривалість і повторюваність окремих рівнів теплової потужності.

Теоретичне значення має встановлення взаємозв'язку між:

- режимом експлуатації будівлі;
- формою добового графіка теплоспоживання;
- коефіцієнтом використання максимальної потужності;
- можливою величиною зменшення встановленої потужності джерела;
- необхідним об'ємом акумулятора теплоти;
- тривалістю зарядження і розрядження акумулятора;
- ефективністю роботи теплового насоса та інших джерел теплоти.

Результати моделювання переривчастого опалення розширюють уявлення про динамічні режими теплопостачання будівель із нерегулярним графіком роботи. Запропонований підхід може бути покладений в основу

подальшого розвитку алгоритмів автоматизованого керування системами теплопостачання.

Одержані результати також можуть застосовуватися при створенні більш складних моделей комбінованих систем, які одночасно включають котли, теплові насоси, геліосистеми, акумулятори теплоти та прогнозне керування на основі погодних даних.

## **7. Практичне значення одержаних результатів**

Практичне значення дисертації полягає у можливості використання одержаних результатів під час проєктування, модернізації та експлуатації систем теплопостачання будівель різного функціонального призначення.

Запропоновані в роботі підходи дають змогу:

- уточнювати необхідну встановлену потужність джерел теплоти;
- уникати необґрунтованого завищення кількості та потужності теплогенерувального обладнання;
- визначати раціональний об'єм акумулятора теплоти;
- зменшувати пікові навантаження теплових насосів і котлів;
- підвищувати коефіцієнт використання обладнання;
- реалізовувати переривчастий режим опалення без порушення нормативних параметрів мікроклімату;
- адаптувати роботу системи до добових, тижневих і сезонних режимів експлуатації будівель;
- вибирати раціональні параметри сонячних колекторів;
- підвищувати надійність джерела теплоти за рахунок модульної побудови та резервування обладнання.

Результати дисертації впроваджено в ТОВ «Технології комфорту плюс», де вони використовувалися під час розрахунку та підбору елементів теплонасосної системи громадської будівлі. У ТОВ «Енерготрейд Юг» результати застосовано для оптимізації теплової потужності й кількості теплових насосів у комбінованих системах теплопостачання індивідуальних житлових будинків.

Результати роботи також упроваджено в навчальний процес Національного університету «Одеська політехніка» під час викладання дисциплін «Теплопостачання підприємств» та «Опалення, вентиляція та кондиціювання повітря на підприємствах».

Наведені факти свідчать про завершеність дослідження та можливість практичного використання його результатів.

## **8. Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи достатньо повно висвітлено в наукових публікаціях здобувача.

За темою дисертації опубліковано 13 наукових праць, з яких 8 статей – у наукових фахових виданнях України категорії «Б», а 5 праць мають апробаційний характер і опубліковані в матеріалах міжнародних конференцій.

Тематика публікацій охоплює основні напрями дисертаційного дослідження: режими генерації та споживання теплоти в комбінованих системах; ефективність ґрунтових і повітряних теплових насосів; використання сонячних систем; підвищення надійності джерел теплопостачання; урахування графіків експлуатації громадських будівель; застосування теплових акумуляторів; системи мікроклімату будівель різного призначення.

Публікації відповідають змісту дисертації, а основні наукові положення та практичні результати роботи знайшли в них належне відображення.

## **9. Апробація результатів дисертаційної роботи**

Результати дисертаційного дослідження пройшли належну апробацію на міжнародних наукових заходах.

Основні положення роботи були представлені та обговорені на:

– XXIV International Scientific and Practical Conference, Варна, Болгарія, 20–23 червня 2023 року;

– International Scientific and Practical Conference, Стокгольм, Швеція, 21–24 листопада 2023 року;

– III International Scientific and Technical Conference «Modern Technologies of Biomedical Engineering», Одеса, Україна, 8–10 травня 2024 року;

– III International Scientific and Practical Conference «Global Trends in Science and Education», Київ, Україна, 7–9 квітня 2025 року;

– I International Scientific and Practical Conference «Scientific Development in a Changing World», Львів, Україна, 20–22 січня 2026 року.

Географія та тематика конференцій свідчать про достатній рівень апробації результатів і можливість їх наукового обговорення фахівцями.

#### **10. Теоретичне та практичне значення дисертаційної роботи**

Теоретичне значення роботи полягає в удосконаленні методів аналізу та моделювання режимів роботи систем теплопостачання з урахуванням нерівномірності теплоспоживання, режимів експлуатації будівель, зовнішніх кліматичних чинників та акумулювання теплоти.

Практичне значення полягає у створенні методичних засад для обґрунтованого вибору потужності котлів і теплових насосів, вибору кількості модулів теплогенерувального обладнання, визначення раціонального об'єму теплового акумулятора, розроблення графіків зарядження та розрядження акумуляторів, упровадження переривчастого опалення, вибору параметрів геліосистем, формування алгоритмів енергоефективного керування системами теплопостачання, підвищення надійності комбінованих джерел теплоти. Результати можуть бути використані проєктними організаціями, енергосервісними компаніями, підприємствами житлово-комунального господарства, власниками громадських будівель, а також закладами вищої освіти.

#### **11. Зауваження та дискусійні положення**

Відзначаючи актуальність, наукову новизну та практичну цінність роботи, необхідно висловити такі зауваження і дискусійні положення.

1. У роботі запропоновано коефіцієнти використання максимальної потужності джерела теплоти. Доцільно було б детальніше порівняти їх із відомими показниками, зокрема коефіцієнтом заповнення графіка навантаження, коефіцієнтом використання встановленої потужності та кількістю годин використання максимуму. Це дало б змогу чіткіше визначити принципову відмінність і сферу застосування запропонованих коефіцієнтів.

2. Експериментальні та статистичні дослідження режимів теплоспоживання виконано для двох характерних об'єктів – житлового будинку і торговельно-розважального комплексу. Потребує додаткового пояснення можливість поширення одержаних залежностей на інші типи будівель, зокрема лікарні, навчальні заклади, адміністративні споруди, готелі та спортивні комплекси.

3. У дисертації недостатньо докладно наведено оцінку похибок вимірювання температур, витрат теплоносіїв, теплової потужності та коефіцієнта трансформації теплового насоса. Доцільно було б подати окрему таблицю із характеристиками вимірювального обладнання, межами допустимих похибок і сумарною невизначеністю експериментальних результатів.

4. Математична модель переривчастого опалення забезпечує одержання важливих практичних результатів. Водночас бажано було б ширше представити її верифікацію шляхом кількісного зіставлення розрахункових і експериментальних температур із наведенням статистичних показників точності, наприклад середньої абсолютної похибки або середньоквадратичного відхилення.

5. Під час визначення раціонального об'єму акумуляторів теплоти основна увага приділяється теплотехнічним показникам. Доцільним було б додатково врахувати капітальні витрати, теплові втрати акумулятора, займану площу, строк окупності та зміну вартості енергоресурсів. Це

дозволило б перейти від теплотехнічно раціонального до техніко-економічно оптимального об'єму акумулятора.

6. У четвертому розділі показано, що в літній період геліосистема може виробляти значну надлишкову кількість теплоти. Автором запропоновано її використання у відкритих басейнах або абсорбційних холодильних машинах. Проте доцільно було б кількісно оцінити енергетичну та економічну ефективність таких рішень і порівняти їх із варіантом зменшення площі сонячних колекторів.

7. Дисертація містить окремі редакційні й термінологічні неточності. Зокрема, трапляються повторення слів, неузгоджені закінчення, різні варіанти термінів «відновлювальні» та «відновлювані» джерела енергії, а також окремі технічні помилки у структурі речень.

Наведені зауваження мають переважно дискусійний або рекомендаційний характер, не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи та можуть бути враховані автором у подальших дослідженнях.

## **12. Загальний висновок**

Дисертаційна робота Грищенка Сергія Ігоровича «Забезпечення енергоефективного теплопостачання об'єктів житлово-комунального господарства» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення ефективності комбінованих систем теплопостачання будівель комунального господарства з використанням відновлюваних джерел енергії, акумуляторів теплоти та врахуванням режимів експлуатації споживачів. У роботі одержано нові науково обґрунтовані результати, які мають теоретичне та практичне значення для теплоенергетики. Запропоновано показники оцінювання використання максимальної потужності джерел теплоти, удосконалено підходи до моделювання переривчастого опалення, обґрунтовано раціональні параметри теплових акумуляторів, досліджено режими роботи теплових насосів і геліосистем.

Основні результати достатньо повно викладено в наукових публікаціях, апробовано на міжнародних конференціях і впроваджено в практичну діяльність підприємств та освітній процес.

За актуальністю теми, науковою новизною, обґрунтованістю основних положень, теоретичним і практичним значенням, повнотою опублікування результатів та рівнем апробації дисертаційна робота відповідає вимогам вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації» (з наступними змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 року № 44. Зазначений Порядок є чинним. Вважаю, що ГРИЩЕНКО СЕРГІЙ ІГОРОВИЧ заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, галузь знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент

професор кафедри нафтогазових  
технологій, інженерії та теплоенергетики

Одеського національного  
технологічного університету

доктор технічних наук, професор

Ірина БОШКОВА