

АНОТАЦІЯ

Ляшенко В. І. Ефективність міських систем теплопостачання в умовах дефіциту енергоресурсів. – Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика. – Національний університет “Одеська політехніка”, МОН України, Одеса, 2026.

Дисертаційне дослідження присвячене розв’язанню актуальної науково-прикладної проблеми підвищення ефективності й керованості міських систем централізованого теплопостачання в умовах дефіциту паливно-енергетичних ресурсів. Актуальність теми зумовлена зношеністю теплових мереж і теплових пунктів, високою залежністю теплопостачання від обмежених ресурсів та відсутністю комплексних методів керування, які одночасно враховують гідравлічні обмеження мережі та соціальну пріоритетність споживачів.

У вступі обґрунтовано доцільність переходу від традиційних статичних схем регулювання теплових мереж до інтегрованих моделей управління, що поєднують гідравлічне балансування з пріоритетним розподілом теплової енергії. Показано, що в умовах дефіциту ресурсів класичні методи регулювання витрати і температури не забезпечують ні стабільності роботи системи, ні гарантованого теплопостачання соціально значущих об’єктів.

Об’єктом дослідження є міські системи централізованого теплопостачання з розгалуженою мережею споживачів, що працюють в нерівномірних гідравлічних режимах.

Предмет охоплює методи гідравлічного та теплового моделювання й алгоритми регулювання витрати теплоносія та пріоритетного розподілу теплової енергії в умовах дефіциту.

Метою роботи є розробка та апробація алгоритму пріоритетного регулювання теплопостачання, який базується на розділенні гідравлічного і теплового балансів та забезпечує керований розподіл теплової енергії між різними категоріями споживачів.

Для реалізації поставленої мети вирішено такі основні завдання: виконано збір, систематизацію та аналіз вихідних даних; виконано моделювання гідравліки теплової мережі з визначенням сумарних опорів і режимів роботи споживачів; розроблено модель теплового розподілу та алгоритм пріоритетного регулювання з урахуванням сценаріїв дефіциту; здійснено моделювання роботи регулюючої арматури при малих навантаженнях; проведено порівняльний аналіз варіантів модернізації елеваторних вузлів з переходом на індивідуальні теплові пункти.

Методологія дослідження ґрунтується на поєднанні класичних методів гідравлічного розрахунку тепломереж з аналітичними залежностями для турбулентної течії й математичним моделюванням режимів роботи регулюючої арматури, а також з алгоритмічними методами оптимального розподілу теплової енергії за умов дефіциту потужності. Для реалізації моделей і обробки результатів використано інженерні розрахункові таблиці та програмні засоби (зокрема Excel).

У першому розділі виконано аналітичний огляд сучасного стану централізованого теплопостачання, методів гідравлічного балансування та підходів до пріоритетного регулювання теплових навантажень. Показано, що більшість відомих підходів розглядають гідравлічні й теплові задачі окремо, що обмежує їхню прикладну цінність.

У другому розділі розроблено й апробовано алгоритм гідравлічного балансування мережі на прикладі центрального теплового пункту. Визначено еквівалентні гідравлічні опори споживачів, ідентифіковано критичні ділянки мережі та найбільш уразливі об'єкти з точки зору забезпечення необхідного напору.

Третій розділ присвячено розробці алгоритму пріоритетного розподілу теплової енергії. Запропоновано математичний апарат, який враховує класи споживачів, коефіцієнти дефіциту, модератор навантаження та процедуру нормалізації, що гарантує збереження загального теплового балансу. Показано,

що цей алгоритм дозволяє захистити дрібні й соціально значущі об'єкти від витіснення великими споживачами в умовах обмеженого ресурсу.

У четвертому розділі проаналізовано режими роботи комбінованих регулюючих клапанів при малих теплових навантаженнях. Моделювання доводить, що за таких умов комбіновані клапани працюють поза зоною стабільного регулювання через недостатню витрату теплоносія. Запропоновано альтернативу у вигляді модульного регулюючого вузла з мембранним регулятором перепаду тиску і електроприводом, який забезпечує незалежне від тиску регулювання витрати для споживачів з невеликим навантаженням.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. Вперше запропоновано математичний підхід до пріоритетного розподілу теплової енергії в централізованих мережах, що поєднує гідравлічний і тепловий баланс із урахуванням коефіцієнтів дефіциту, топології мережі та пріоритетів споживачів.
2. Вперше узагальнено модель роботи комбінованих регулюючих клапанів у режимах малих теплових навантажень, що враховує нелінійність витратної характеристики, залежність пропускної здатності від перепаду тиску і межі стабільності регулювання.
3. Удосконалено методику гідравлічного моделювання теплових мереж з урахуванням реальної топології та режимів експлуатації, що дозволяє коректно оцінювати роботу споживачів з низькою витратою теплоносія та виявляти ділянки з недостатнім тиском.
4. Розроблено нову методику переходу від елеваторного вузла до індивідуального теплового пункту, яка описує змішування потоків, утворення перепадів тиску та роботу регулюючого клапана у широкому діапазоні режимів.
5. Вперше встановлено критичні умови, за яких комбіновані регулятори не забезпечують стабільної витрати на малих споживачах; це дозволило визначити межі їх застосування та сформулювати рекомендації щодо вибору регулювальної арматури.

6. Розроблено алгоритм вибору типорозміру і налаштувань регулюючого клапана при заміні елеваторного вузла, що враховує реальні робочі перепади тиску та теплові навантаження.

Практичне значення роботи полягає у можливості безпосереднього використання розроблених моделей, алгоритмів і рекомендацій при модернізації та проєктуванні систем теплопостачання. Зокрема, розроблена гідравлічна модель мережі може застосовуватися теплопостачальними підприємствами для аналізу режимів роботи і виявлення вузлів із недостатнім тиском та пріоритетних споживачів в умовах дефіциту потужності. Пропонований алгоритм пріоритетного розподілу теплової енергії може бути інтегрований у SCADA-системи для автоматичного коригування теплових навантажень на основі реальних параметрів мережі.

Методика підбору комбінованих регуляторів дозволяє уникнути помилок при виборі обладнання, особливо для малих споживачів, де стандартні клапани можуть працювати поза зоною стабільного регулювання. Розроблені моделі індивідуальних теплових пунктів застосовні при модернізації елеваторних вузлів, а рекомендації щодо оптимальних параметрів витрати, перепаду тиску та типорозмірів клапанів сприяють підвищенню енергоефективності та надійності роботи мереж.

Отримані результати були використані в освітньому процесі підготовки фахівців з теплоенергетики.

Ключові слова: система централізованого теплопостачання, гідравлічне моделювання, теплове моделювання, пріоритетний розподіл теплової енергії, дефіцит енергоресурсів, гідравлічне балансування, перепад тиску, витрата теплоносія, комбіновані регулятори, регулятор перепаду тиску, індивідуальний тепловий пункт, елеваторний вузол, енергоефективність.