

Оптимізація теплових мереж методом зменшення витрати первинної енергії

Олександр Погосов, к.т.н, доц., (ORCID: 0000-0003-2158-8897) ¹ **Володимир Скочко**, д.т.н., проф., (ORCID: 0000-0002-1709-2621) ¹ **Євген Кулішко**, асистент, (ORCID: 0000-0002-8834-3600) ¹ **Даніл Тетерук**, студент (ORCID: 0009-0001-0978-0731) ¹

¹ Київський національний університет будівництва та архітектури, просп. Повітряних Сил, 31, Україна

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена проблемі підвищення ефективності систем централізованого тепlopостачання за рахунок оптимізації теплових мереж. Автори пропонують новий метод, спрямований на зниження витрат первинної енергії, що витрачається на транспортування теплоносія. Основна увага приділяється зменшенню теплових втрат, які виникають під час передачі тепла по трубопроводах, а також енергії, необхідної для роботи насосного обладнання. Запропонована математична модель оптимізує параметри тепломережі, враховуючи питомі втрати тиску та теплові втрати під час транспортування теплоносія. Це дозволяє зменшити енергетичні витрати, підвищити загальну енергоефективність системи і сприяти зменшенню негативного впливу на довкілля. Модель охоплює як геометричну оптимізацію мереж, так і фактори втрат енергії, що дозволяє знаходити баланс між економічними витратами та екологічною безпекою.

Ключові слова: Оптимізація теплових мереж, первинна енергія, ексергетична ефективність, трансмісійні втрати, питомі втрати тиску, математична модель, енергоефективність.

1. ВСТУП

Системи централізованого тепlopостачання є основою забезпечення тепловою енергією для багатьох міських і промислових районів, особливо в країнах з холодним кліматом, таких як Україна. Одним із найбільш важливих аспектів ефективної роботи таких систем є мінімізація втрат енергії під час транспортування теплоносія від джерела тепла до споживачів. Втрати теплової енергії в трубопроводах, а також енергія, що витрачається на роботу насосів, безпосередньо впливають на загальну ефективність тепломереж.

2. МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою цього дослідження є розробка та впровадження методів оптимізації теплових мереж, спрямованих на зниження витрат первинної енергії при транспортуванні теплоносія. Це досягається шляхом комплексного аналізу та зменшення теплових і втрат тиску в системах тепlopостачання. Особлива увага приділяється створенню математичної моделі, яка дозволяє враховувати як втрати тиску в трубопроводах, так і теплові втрати, що виникають під час транспортування теплоносія.

3. ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

Ефективність систем тепlopостачання зазвичай оцінюється через аналіз енергетичного балансу, де розглядаються лише теплові втрати під час транспортування теплоносія. Проте такий підхід не враховує повного спектру витрат енергії, пов'язаних із роботою насосів, технічним обслуговуванням мережі та іншими супутніми факторами. Використання концепції первинної енергії дозволяє більш точно оцінити енергоефективність системи, оскільки враховуються всі втрати, пов'язані як з генерацією теплової енергії, так і з її транспортуванням. Це підхід, який надає можливість оцінити ексергетичну ефективність системи, тобто її здатність перетворювати і використовувати енергію

з мінімальними втратами. Первинна енергія відображає цей показник більш точно, ніж простий аналіз енергетичного балансу [1,2].

Дослідження, проведені в європейських країнах, показали, що аналіз тепломереж із використанням ексергетичного підходу дозволяє знайти оптимальні шляхи зменшення втрат енергії. Наприклад, у Нідерландах було проведено системний аналіз втрат тепла, витрат на енергію, а також викидів у контексті централізованого тепlopостачання, що дозволило знайти ефективні рішення для мінімізації цих показників [3]. У Швеції також було проведено ексергетичний аналіз системи постачання енергії, що продемонстрував важливість зниження втрат енергії на різних етапах постачання тепла, включаючи його транспортування [4].

4. ОПИС МОДЕЛІ

Методологічна основа цього дослідження полягає в створенні математичної моделі, яка дозволяє оптимізувати теплові мережі шляхом зниження втрат первинної енергії. Для цього використовується поетапний підхід, що включає кілька ключових елементів: аналіз втрат енергії, моделювання тепломережі та її подальша оптимізація з урахуванням різних параметрів. Основними аспектами, які аналізуються в процесі, є питомі втрати тиску в трубопроводах, теплові втрати під час транспортування теплоносія, а також енергія, що витрачається на роботу насосного обладнання.

Функцію, яку пропонується оптимізувати, можна навести в такому вигляді, Вт/Вт:

$$U = \frac{\Delta q_{fl} + \Delta q_{tr}}{\sum Q_{cons,u}}, \quad (1)$$

де Δq_{fl} – потужність, яка відповідає роботі мережевого насоса, Вт; Δq_{tr} – трансмісійні втрати теплової енергії трубопроводами, Вт; $\sum Q_{cons,u}$ – сумарне теплове навантаження приєднаних до мережі споживачів.

Відповідно функцію первинної енергії можна переписати так, Вт/Вт:

$$U_{prime} = \frac{k_{el} \Delta q_{fl} + k_{heat} \Delta q_{tr}}{\Sigma Q_{cons,u}}, \quad (2)$$

де k_{el} – фактор перетворення первинної енергії для генерації електричної енергії; k_{heat} – фактор перетворення первинної енергії для централізованої генерації теплової енергії.

В роботі [5] показано оптимізацію теплової мережі шляхом зниження виключно трансмісійних втрат теплової енергії. В роботі [6] розроблено нову оптимізаційну модель для полегшення проектування, враховуючи початкові інвестиції в трубопроводи та витрати на розподіл теплоносія шляхом оптимізації питомих втрат тиску.

В даній роботі математична модель розширена питомими втратами тиску та відповідними витратами енергії мережевими насосами. Така модель не дозволяє в повній мірі здійснити оптимізацію включно зі змінними параметрами питомих теплових втрат і питомих втрат тиску, а натомість використовую певні рекомендовані значення цих величин. Таким чином дана модель радше є геометричною оптимізацією, але з урахуванням двох факторів.

При цьому потужність, яка відповідає роботі мережевого насоса, може бути описана наступним чином:

$$\Delta q_{fl} = \frac{G \cdot \Delta P}{\eta}, \quad (3)$$

де G – витрата теплоносія, м³/с; ΔP – втрата тиску в гідравлічному кільці, Па; η – коефіцієнт корисної дії мережевого насоса.

При цьому в процесі виключно геометричної оптимізації (згідно підходу, який описаний вище, і не передбачає оптимізацію величин питомих втрат тиску і питомих втрат теплової енергії трубопроводами) витрата теплоносія і втрата тиску в гідравлічному кільці можуть бути описані формулами (4) і (5).

$$G = \frac{\Sigma Q_{cons,u}}{1000 \cdot c \cdot \Delta t}, \quad (4)$$

$$\Delta P = \Delta p_{пит} \cdot L, \quad (5)$$

де c – теплоємність теплоносія, кДж/кг °С; Δt – температурний перепад графіку мережі, °С; $\Delta p_{пит}$ – питоми втрати тиску, визначені рядом джерел оптимальними [7], Па; L – довжина гідравлічного кільця/ділянки включно з подавальним і зворотним трубопроводами, м.

$$\Delta q_{tr} = a \cdot q_L \cdot L, \quad (6)$$

де q_L – лінійна густина теплового потоку, Вт/м; a – коефіцієнт, який враховує втрати теплової енергії в нелінійних елементах теплових мереж.

Таким чином функція, яка пропонується до оптимізації виглядає наступним чином:

$$U_{prime} = \frac{k_{el} \frac{G \cdot \Delta p_{пит}}{\eta} + k_{heat} \cdot a \cdot q_L}{\Sigma Q_{cons,u}} \cdot L, \quad (7)$$

Такий підхід дозволить в повній мірі провести лінійну оптимізацію теплових мереж при вже досліджених оптимальних з точки зору, наприклад, металоємності, параметрах питомих втрат тиску і питомого лінійного теплового потоку.

5. ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було розроблено і проаналізовано методи оптимізації теплових мереж, які спрямовані на зниження витрат первинної енергії при їх експлуатації. Основним досягненням є розробка математичної моделі, яка дозволяє враховувати як втрати тиску в трубопроводах, так і теплові втрати, що виникають під час транспортування теплоносія. Це дозволяє проводити комплексну оптимізацію параметрів тепломережі з урахуванням як енергетичних, так і економічних факторів.

Крім того, результати цього дослідження можуть бути використані як основа для подальшого розвитку методів оптимізації теплових мереж у різних країнах і регіонах, де існують подібні умови для централізованого теплопостачання. Запропоновані математичні моделі можуть бути адаптовані до інших систем, враховуючи специфіку їхньої архітектури та вимоги до енергоефективності.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку більш детальних моделей, що враховують змінні параметри навантажень та вплив зовнішніх умов на роботу теплових мереж. Це дозволить ще точніше прогнозувати ефективність системи та знаходити шляхи для подальшого підвищення її продуктивності.

Список літератури

- [1] Baldvinsson I., & Nakata T. A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECO (specific exergy cost) method. *Energy*. 2014. 74. P. 537–554.
- [2] Bagdanavicius A., Jenkins N., & Hammond G. P. Assessment of community energy supply systems using energy, exergy and exergoeconomic analysis. *Energy*. 2012. 45(1). P. 247–255.
- [3] Ossebaard M. E., Van Wijk A. J., & Van Wees M. T. Heat supply in the Netherlands: a systems analysis of costs, exergy efficiency, CO2 and NOx emissions. *Energy*. 1997. 22(11). P. 1087–1098.
- [4] Gong M., & Wall, G. Exergy analysis of the supply of energy and material resources in the Swedish society. *Energies*. 2016. 9(9). P. 707.
- [5] Skochko V. I., Solonnikov V. H., Pohosov O. H., Haba K. O., Kulinko Y. O., & Koziachyna B. I. Minimization of Heat Losses in District Heating Networks by Optimizing their Configuration. *Problems of the Regional Energetics*. 2024. 3, P. 182–195. URL: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2024.3-63.15>
- [6] Wang H., Duanmu L., Li X., & Lahdelma R. Optimizing the district heating primary network from the perspective of economic-specific pressure loss. *Energies*. 2017. 10(8). P. 1095.
- [7] T: Nussbaumer, S. Thalmann: Influence of system design on heat distribution costs in district heating. *Energy*. 2016. 101. P.496–505. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.02.062>