

О.О. Алексахін¹, О.В. Бобловський², К.Б. Мягкохліб¹, Є.Є. Счастний³

¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Україна

²Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна

³Український державний університет залізничного транспорту, Україна

ПОКАЗНИКИ ТЕПЛООВОГО І ГІДРАВЛІЧНОГО РЕЖИМІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

На підставі формул для визначення питомих втрат тиску на подолання сил тертя, отриманих при узагальненні даних проектів систем централізованого опалення ряду житлових мікрорайонів м. Харкова, запропоновано розрахункові залежності для визначення теплових втрат подавальними й зворотними трубопроводами головних гілок опалювальної мережі за укрупненими показниками забудови. Здійснено оцінки точності використання запропонованих формул.

Ключові слова: централізоване теплопостачання, система опалення, розподільні теплові мережі, питомі втрати тиску, втрати теплоти трубопроводами.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій

Завдання систем теплопостачання полягає у забезпеченні якості послуг при мінімумі затрат при виробленні і транспортуванні теплової енергії. Тому що розподільні теплові мережі мікрорайонних і квартальних систем характеризуються значною розгалуженістю і суттєво більшою довжиною теплопроводів у порівнянні з магістральними ділянками теплових мереж, зменшення втрати теплоти саме у цих елементах системи теплопостачання значною мірою впливає на загальні показники ефективності централізованого теплопостачання. Величина теплових втрат залежить від способу прокладки мереж і діаметру теплопроводів, параметрів теплової ізоляції і температури теплоносія та оточуючого середовища. Для систем централізованого теплопостачання втрати теплоти у теплових мережах можуть досягати 13% від відпущеної енергії [1]. Існують надійні, достатньо апробовані методики обчислення втрат теплоти трубопроводами теплових мереж, викладені, наприклад, у роботах [2, 3]. На попередніх етапах проектування, в умовах обмеженості вихідної інформації для обчислень, оцінки втрат теплоти зручно виконувати за укрупненими показниками, що дозволяє використовувати достатньо невеликий обсяг вихідних даних.

Мета статті

Метою роботи є визначення питомих втрат тиску для головних гілок розподільних мереж системи опалення на основі узагальнення проектних даних для систем теплопостачання груп будівель і уточнення формул для обчислення теплових втрат

трубопроводами розподільної мережі централізованої системи опалення за укрупненими показниками групи будівель.

Виклад основного матеріалу

Наведені у роботі [4] формули дозволяють за характеристиками забудови (теплове навантаження, довжина теплопроводу, температури теплоносія й оточуючого середовища) проводити оцінки теплового стану розподільних мереж системи опалення з урахуванням особливостей розподілу витрат мережної води по довжині гілки теплопроводу. Формула (1) призначена для обчислень втрат теплоти подавальним трубопроводом, формула (2) – зворотним.

$$\frac{Q_1}{M} = \left\{ 3,653 + \frac{294R_{cp}^{0,19}}{Q_{сум}^{0,38} [1 - 0,466\bar{G}_{min} (G_{cp}/G_{вiд})^{0,42}]} \right\} (\tau_1 - t_{от}) \quad (1)$$

$$\frac{Q_2}{M} = \left\{ 4,88 + \frac{319,4R_{cp}^{0,19}}{Q_{сум}^{0,38} [1 - 0,466\bar{G}_{min} (G_{cp}/G_{вiд})^{0,42}]} \right\} (\tau_2 - t_{от}) \quad (2)$$

У наведених формулах $\bar{G}_{min} = G_{min}/G_{max}$ – відносні витрати теплоносія через систему найвіддаленішої на гілці будівлі; G_{max} – витрати теплоносія на вході до гілки; G_{cp} – середні на довжині головної гілки витрати теплоносія; $G_{вiд}$ – витрати теплоносія через відгалуження від головної гілки; $Q_{сум}$ – сумарні витрати теплоти на опалення приєднаних до головної гілки будівель; τ_1, τ_2 – температура мережної води у подавальному й

зворотному трубопроводах відповідно; $\tau_{от}$ – температура оточуючого середовища для відповідного способу прокладки теплопроводів; M – матеріальна характеристика теплової мережі.

При використанні формул (1), (2) потрібна інформація про величину питомих витрат тиску R_{cp} на подолання сил тертя при русі теплоносія у теплопроводі. Припустимі питомі втрати тиску приймають або залежно від напору теплоносія на вході до мережі й тиску, який є необхідним для функціонування приєднаної до теплової мережі системи споживання теплоти, або за рекомендаціями нормативними документами. При гідравлічному розрахунку водяних теплових мереж питомі втрати тиску нормативні матеріали приймають [1] для ділянок магістралі від джерела теплоти до найвіддаленішого споживача 50-80 Па/м, для відгалужень від магістралі – не більше 300 Па/м. Питомі втрати тиску пов'язані з величиною діаметру теплопроводів, і суттєво впливають на техніко-економічні показники теплових мереж. У роботі [4] запропоновано формулу для обчислення середнього діаметру головної гілки розгалуженої опалювальної мережі залежно від сумарного опалювального навантаження приєднаних до гілки теплопроводу будівель $Q_{сум}$, розподілу витрат теплоносія по довжині фрагмента мережі і середніх по довжині гілки питомих витрат тиску R_{cp} :

$$D_{cp} = 14,56 \cdot 10^{-4} \cdot Q_{сум}^{0,38} \left[1 - 0,466 \bar{G}_{min} \left(G_{cp} / G_{вид} \right)^{0,41} / R_{cp}^{0,19} \right] \quad (3)$$

Для визначення питомих витрат тиску у мікрорайонних системах тепlopостачання проведено аналіз 40 об'єктів (мікрорайони, квартали) м. Харкова. Не зважаючи на індивідуальні особливості проектів (довжина і діаметри теплопроводів, кількість поверхів забудови, теплові навантаження тощо), мікрорайонні мережі при централізованому тепlopостачанні мають ряд спільних рис: розміщення центрального теплового пункту, як правило, у центрі теплових навантажень; суттєва розгалуженість (наявність щільної мережі відгалужень від головних гілок). Теплопроводи прокладені частково у непрохідних каналах, частково – по технічних підпіллях будівель. Середня кількість поверхів забудови прийнятих до розгляду об'єктів знаходиться у межах від 4,3 до 16. Орієнтовно у 10% випадків теплова енергія надходить до споруд безпосередньо від квартальних або мікрорайонних опалювальних котельень, у 90% – від великих централізованих джерел теплоти через теплорозподільні станції. Приблизно у 60% випадків мікрорайонні теплові мережі мають одну головну гілку і у 40% випадків – дві.

За проектними даними для будівель мікрорайонів обчислено теплові навантаження забудов. Витрати теплоти на опалення мікрорайонів при розрахунковій для м. Харкова температурі зовнішнього повітря ($t_{p.o.} = -23^{\circ}\text{C}$ [5]) знаходяться у діапазоні $1,35 \leq Q_c \leq 16,12$ МВт. Приблизно половина з них мають опалювальне навантаження більше 7 МВт, майже чверть з прийнятого до розгляду масиву об'єктів – до 2 МВт і приблизно чверть – від 2 МВт до 7 МВт. Довжина головних гілок знаходиться у межах $85 \leq L_{гл} \leq 1045$ м. Середня довжина головних гілок становить орієнтовно 521 м. При виконанні обчислень мережу трубопроводів кожної групи будівель було розподілено на розрахункові ділянки і для кожного з об'єктів за формулою (4) обчислено середній діаметр трубопроводів головних гілок:

$$D_{cp}^{гл} = \frac{\sum_{i=1}^n (D_i \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (4)$$

де D_i та l_i – діаметр та довжина розрахункової ділянки головної гілки мережі; n – кількість розрахункових ділянок.

Діаметри трубопроводів головних гілок опалювальної мережі для обраних об'єктів знаходиться у межах $66 \leq D_{cp}^{гл} \leq 226$ мм. Величина середнього діаметра трубопроводів головних гілок для розглянутого масиву даних в цілому становить 134 мм, що співпадає з даними інших авторів, наприклад, [6]. Величина матеріальної характеристики трубопроводів головних гілок розглянутих забудов, яка обчислена за формулою:

$$M_{гл} = \sum_{i=1}^n (D_i \cdot l_i), \quad (5)$$

знаходиться у межах $10,2 \leq M_{гл} \leq 125$ м². Середнє значення матеріальної характеристики теплопроводів головної гілки мікрорайону для масиву розглянутих груп будівель у цілому становить $M_{cp}^{гл} = 70,6$ м². За опалювальними навантаженнями будівель обчислено теплові навантаження рахункових ділянок мережі і обчислено витрати води на ділянках ($G_{д}$).

За формулою (6) [7] визначені питомі втрати тиску на подолання дії сил тертя при русі мережної води у трубопроводі:

$$R = \frac{0,8125 \lambda G_{д}^2}{\rho \cdot D^5} \quad (6)$$

де ρ – питома вага рідини; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя.

Швидкість води у теплопроводах, як правило, перевищує 0,5 м/с, отже у більшості випадків вони працюють в області квадратичного режиму [8], для якого справедливе співвідношення [7]:

$$\lambda = 0,11(K_e/D)^{0,25} \quad (7)$$

де K_e – еквівалентна шорсткість стінок трубопроводів (для теплопроводів водяних мереж $K_e=0,0005$ м [8]).

У реальних мережах зміна витрат теплоносія по довжині теплопроводу має ступінчастий характер з незмінними значеннями у межах окремих ділянок (рис.1). Зміна діаметру трубопроводів і питомих втрат тиску у межах ділянок також мають ступінчастий характер. На відміну від законів зміни витрат теплоносія і діаметра теплопроводу, які поступово зменшуються по довжині у напрямку від центрального теплового пункту, поведінка питомих втрат тиску на ділянках не має закономірного характеру, змінюючись від ділянки до ділянки довільно. Це можна пояснити тим, що діапазон зміни рекомендованих значень питомих втрат тиску розподільних теплових мереж не лімітується так жорстко як для магістральних і залежить від великої кількості факторів, що мають місце при проектуванні (традиції проектувальної організації, наявність відповідного сортаменту трубопроводів, проектування теплової мережі із «запасом», з урахуванням можливої майбутньої забудови тощо). При подальшому аналізі режимів мереж використано середні на довжині головної гілки питомі втрати тиску, які було обчислено за формулою:

$$R_{cp}^{гл} = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{Di} \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^n l_i} \quad (8)$$

Результати обчислень дозволили оцінити вплив величини сумарних витрат теплоти на опалення ($Q_{сум}$) приєднаних до головної гілки будівель на середні питомі втрати тиску у трубопроводах головної гілки. Для навантажень $Q_{сум} \leq 5$ МВт орієнтовне значення питомих втрат тиску становить $R_{cp}^{гл} = 143$ Па/м, при $5 \leq Q_{сум} \leq 15$ МВт – $R_{cp}^{гл} = 210$ Па/м. У діапазоні значень опалювального навантаження $1 \leq Q_{сум} \leq 12$ МВт результати обчислень узагальнені формулою:

$$(R_{cp}^{гл})^{0,19} = 2,06(Q_{сум})^{0,13} \quad (9)$$

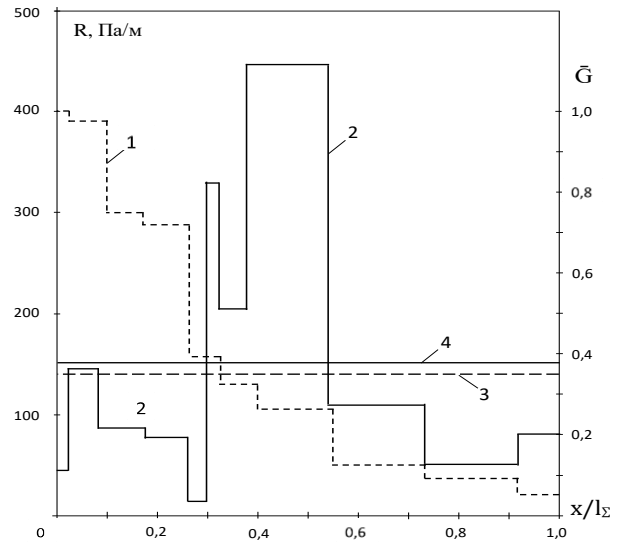


Рис.1. Зміна питомих витрат мережної води (1) і питомих втрат тиску (2) на ділянках головної гілки розподільного трубопроводу системи опалення 604 мікрорайону Салтівського житлового масиву у м. Харкові (3,4 – середні по довжині гілки значення витрат води і питомих втрат тиску відповідно)

З урахуванням співвідношення (9) формула (3) для трубопроводів головної гілки набуває вигляду:

$$D_{cp}^{гл} = 0,135 \cdot Q_{сум}^{0,25} [1 - 0,466 \bar{G}_{min}] (G_{cp}/G_{вид})^{0,41} \quad (3,а)$$

де $Q_{сум}$ – опалюване навантаження гілки, МВт

Аналіз точності використання формули (3,а) показав, що для 20% розглянутих випадків відхилення результатів обчислень за формулою (2,а) від величини середнього діаметру гілок, визначеного за формулою (4), знаходиться на рівні 12%. Середня похибка визначення діаметрів за формулою (2,а) приблизно для 80% розглянутих схем дорівнює 4,5%.

Після підстановки співвідношення (9) до формул (1), (2) отримуємо рівняння для обчислення втрат теплоти подавальними ($Q_1^{гл}$) і зворотними ($Q_2^{гл}$) трубопроводами головної гілки опалювальної мережі мікрорайону:

$$Q_1^{гл} = (0,428 + 0,423 Q_{сум}^{0,25} \cdot A) (\tau_1 - t_{от}) L, \quad (10)$$

$$Q_2^{гл} = (0,465 + 0,66 Q_{сум}^{0,25} \cdot A) (\tau_2 - t_{от}) L, \quad (11)$$

$$A = (1 - 0,466 \cdot \bar{G}_{min}) (G_{cp}/G_{вид})^{0,41}$$

Результати обчислень втрат теплоти теплопроводами головних гілок за формулами (10), (11) для розглянутих житлових мікрорайонів співставлено з результатами розрахунків за викладеною у роботах

[9, 10] методикою, яка дозволяє врахувати фактичну зміну витрат і температури мережної води по довжині теплопроводу. Обчислення здійснено при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря. Температуру води у подавальному трубопроводі на виході з центрального теплового пункту до мікрорайонної мережі прийнято 105 °С, на вході до зворотного трубопроводу мережі з системи опалення будівель 80 °С. Питомі втрати теплоти трубопроводами прийнято на рівні нормативних. Обчислення здійснено при температурі ґрунту на глибині прокладання теплопроводів 5 °С. Майже для 80% випадків середня похибка обчислень становить орієнтовно 4,7%, приблизно для 20% випадків відхилення дорівнює 7–12%.

Висновки

1. На основі узагальнення проектів виконання опалювальної мережі житлових мікрорайонів у м. Харкові отримано формулу для обчислення питомих втрат тиску при русі води у трубопроводах головних гілок теплової мережі залежно від величини теплового навантаження приєднаних до гілки будівель.

2. Запропоновано формули для обчислення втрат теплоти подавальними й зворотними трубопроводами головних гілок опалювальної мережі мікрорайону.

3. Проведено порівняння точності обчислень з використанням запропонованих формул з існуючими методиками визначення теплових втрат у розгалужених мережах теплопостачання, яке показало можливість використання формул при проведенні попередніх оцінок теплового стану мереж.

Література

1. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарські потреби в Україні: керівний технічний матеріал 204 України, 244-94, 195. – 636 с.
2. Тепловая изоляция / под ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995. – 421 с.
3. Справочник проектировщика. Проектирование тепловых сетей / под ред. А.А. Николаева. – М.: Стройиздат, 1965. – 359 с.
4. Алексахин А. А., Ена С.В., Гордиенко Е.П., Бобловский А.В. Методика оцінки втрат теплоти трубопроводами розподільної опалювальної мережі за укрупненими показниками // Інтегровані технології та енергозбереження, №4, 2020, Харків, С. 23–33.
5. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія: Мінрегіонбуд, Київ. 2011. – 123 с.
6. Концепция оценки технического состояния городских инженерных систем и электрического транспорта г. Харькова / Л.Н. Шутенко, М.С. Золотов, Н.А. Шульга, В.А. Ткачев, В.Ф. Далека // Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб. – К.: Техніка, 2007. – Вып. 37. – С. 131–134.

7. Справочник по гидравлике / под общ. ред. В.А. Большакова. – К.: Вища школа, 1984. – 368 с.
8. Теплоснабжение: Учебник / под общ. ред. А.А. Ионина. – М.: Стройиздат, 1973. – 396 с.
9. Алексахин А.А., Бобловский А.В. Теплопотери трубопроводами отопительной сети при изменении расчетной отопительной нагрузки зданий микрорайона / Энерго-сбережение. Энергетика. Энергоаудит. № 9, 2011, С. 20–27.
10. Алексахин А.А., Ена С.В., Гордиенко Е.П., Сыров М.В., Феценко Р.С. Особенности утепления групп зданий при централизованном теплоснабжении / Интегровані технології та енергозбереження, №3, 2018, Харків, С. 27–34.

References

1. Norms and orders according to the norm of spending firing and heat energy for scorching living and huge structures, as well as for state consumers in Ukraine: technical material 204 of Ukraine, 244-94, 195. – 636 p.
2. Thermal insulation / ed. G.F. Kuznetsova. – M.: Stroyizdat, 1995. – 421 p.
3. Designer handbook. Design of heating networks / ed. A.A. Nikolaev. – M.: Stroyizdat, 1965. – 359 p.
4. Aleksakhin A.A., Ena S.V., Gordienko E.P., Boblovsky A.V. Methods for estimating heat loss by pipelines of the heating network according to the consolidated indicators // Integrated technologies and energy storage, No. 4, 2020, Kharkiv, pp. 23–33.
5. DSTU-N B V.1.1-27: 2010. Clinical education: Minregionbud, Kyiv. 2011. – 123 p.
6. The concept of assessing the technical state of urban engineering systems and electric transport in Kharkov / L.N. Shutenko, M.S. Zolotov, N.A. Shulga, V.A. Tkachev, V.F. Daleka // Municipal economy of cities: scientific and technical. sat. – K.: Technika, 2007. – Issue. 37. – p. 131–134.
7. Handbook on hydraulics / under total. ed. V.A. Bolshakov. – K.: Vishcha school, 1984. – 368 p.
8. Heat supply: Textbook / under total. ed. A.A. Ionina. – M.: Stroyizdat, 1973. – 396 p.
9. Aleksakhin A.A., Boblovsky A.V. Heat loss by pipelines of the heating network when changing the estimated heating load of buildings in the microdistrict / Energy saving. Energy. Energy audit. No. 9, 2011, p. 20–27.
10. Aleksakhin A.A., Ena S.V., Gordienko E.P., Syrov M.V., Feshchenko R.S. Features of warming of groups of buildings with centralized heat supply / Integrated technologies and energy management, No. 3, 2018, Kharkiv, p. 27–34.

Рецензент: доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Альохіна С.В., Інститут проблем машинобудування НАН України, Україна.

Автор: АЛЕКСАХІН Олександр Олексійович кандидат технічних наук, доцент кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
E-mail – ktmf_fef@karazin.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2253-8501>

Автор: БОБЛОВСЬКИЙ Олександр Володимирович
асистент кафедри нафтогазової інженерії і технологій, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – Oleksandr.Boblovskiy@kname.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3128-5788>

Автор: СЧАСТНИЙ Євген Євгенійович
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплових двигунів та енергетичного менеджменту, Український державний університет залізничного транспорту
E-mail – esch@ukr.net
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1607-2426>

Автор: МЯГКОХЛІБ Костянтин Борисович
кандидат технічних наук, доцент кафедри теплофізики, молекулярної фізики та енергоефективності, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
E-mail – k.miahkohlib@karazin.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1236-4886>

INDICATORS THERMAL AND HYDRAULIC MODES OF DISTRIBUTION HEAT NETWORKS

A. Aleksahin¹, A. Boblovskii², K. Miahkohlib¹, Y. Schactnyi³

¹V.N. Karazin Kharkiv National University, Ukraine

²O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

³Ukrainian State University of Railway Transport, Ukraine

The task of heat supply systems is to ensure the quality of services at a minimum cost in the production and transportation of thermal energy. Because the distribution heat networks of district and district systems are characterized by significant branching and significantly longer lengths of heat pipelines compared to the main sections of heating networks, reducing heat loss in these elements of the heating system significantly affects the overall efficiency of district heating. The amount of heat loss depends on the method of laying networks and the diameter of heat pipes, thermal insulation parameters and temperature of the coolant and the environment.

Based on the formulas for determining the specific pressure losses to overcome the friction forces obtained from the generalization of these projects of central heating systems of a number of residential districts of Kharkiv, calculated dependences for determining heat losses by supply and return pipelines of the main branches of the heating network. Estimates of accuracy of use of the offered formulas are carried out.

The aim of the work is to determine the specific pressure losses for the main branches of heating distribution networks on the basis of generalization of design data for heat supply systems of building groups and clarification of formulas for calculating heat losses by pipelines of central heating distribution system. Based on the generalization of projects for the heating network of residential neighborhoods in Kharkiv, a formula for calculating the specific pressure loss during water movement in the pipelines of the main branches of the heating network depending on the heat load of buildings connected to the branch. Formulas for calculation of heat losses by supply and return pipelines of the main branches of a heating network of the residential district are offered. A comparison of the accuracy of calculations using the proposed formulas with existing methods for determining heat loss in branched heat supply networks, which showed the possibility of using formulas in preliminary assessments of the thermal state of networks.

Keywords: *district heating, heating system, distribution heating networks, specific pressure losses, heat losses by pipelines.*