

УДК 697.1.001.12

І.Е. Фуртат, *к.т.н., доцент*,
В.О. Мельник, *ст. викладач*,
І. О. Сергієнко, *аспірант*

Київський національний університет будівництва і архітектури

ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ГОЛОВНОЇ МАГІСТРАЛІ ВОДЯНОЇ ТЕПЛОВОЇ МЕРЕЖІ

За сучасною методикою гідравлічного розрахунку водяних теплових мереж діаметри трубопроводів на ділянках головної магістралі визначають по відомих витратах теплоносія на цих ділянках і по однаковому для всієї магістралі економічно обґрунтованому інтервалу питомої лінійної втрати тиску на тертя, наприклад, в межах (60 ± 20) Па/м. Діаметри трубопроводів відгалужень від магістралі визначають за умовою максимального використання наявних тисків на відповідних відгалуженнях. Однак, для нетранзитної частини головної магістралі характерними є випадки, коли всі відгалуження від певного інтервалу такої магістралі мають невикористані надлишки наявного тиску, де ці надлишки утворюються внаслідок обмежень допустимої швидкості теплоносія $w \leq 3,5$ м/с і питомої лінійної втрати тиску $R \leq 300$ Па/м [1]. В цих випадках, як правило, можна вибрати інтервал головної магістралі, що включає групу послідовно розташованих ділянок з невикористаними надлишками наявних тисків на кожному відгалуженні і додаткову, кінцеву в цьому інтервалі ділянку, що має хоча б одне відгалуження, де повністю використаний наявний тиск. В межах вибраного інтервалу можна оптимізувати конструктивне рішення магістралі, де внаслідок оптимізації буде зменшена сумарна металоемність трубопроводів вибраного інтервалу без негативного впливу на гідравлічний режим теплової мережі і приєднаних до мережі споживачів.

Оптимізація конструктивного рішення вибраного інтервалу полягає у тому, що діаметри трубопроводів, визначені за сучасною методикою гідравлічного розрахунку, зменшують на початковій ділянці (або на кількох початкових ділянках) вибраного інтервалу і збільшують на кінцевій ділянці (або на кількох кінцевих ділянках) цього інтервалу таким чином, щоб сумарні втрати тиску в тепловій мережі не зростали, а наявні напори поза інтервалом не зменшувалися (див. рис.1).

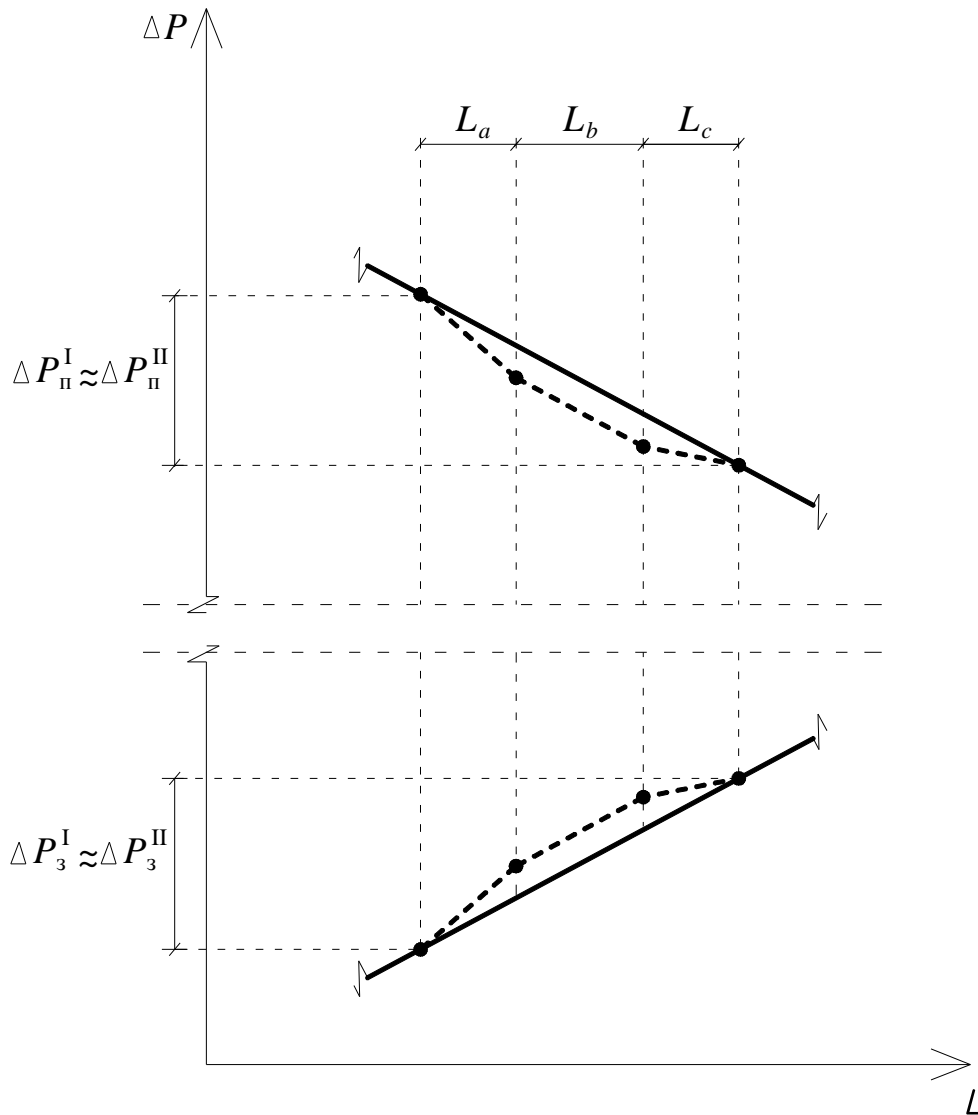


Рис.1 Характер зміни втрат тиску ΔP по довжині L головної магістралі у варіантах до і після оптимізації (суцільна і пунктирна лінії).

L_a, L_b, L_c – довжини груп ділянок вибраного інтервалу, де діаметри трубопроводів відповідно зменшуються, залишаються незмінними, збільшуються;; ΔP_{II}^I і ΔP_{III}^I – втрати тиску у подавальному і зворотному трубопроводах вибраного інтервалу у варіанті до оптимізації;
 ΔP_{II}^{II} і ΔP_{III}^{II} – втрати тиску у подавальному і зворотному трубопроводах вибраного інтервалу у варіанті після оптимізації.

Для демонстрації ефективності запропонованого методу оптимізації розглянемо конкретний приклад, де вибраний інтервал головної магістралі складається з розрахункових ділянок з номерами 1, 2, ..., n , а оптимізація конструктивного рішення цього інтервалу здійснюється за рахунок зміни діаметрів тільки на ділянках 1 і n (нумерація ділянок прийнята в напрямку від джерела теплоти).

У прикладі, що розглядається, контрольні відгалуження від ділянок 1, ... , $n-1$ мають невикористані надлишки наявного тиску, а на

контрольному відгалуженні від ділянки n наявний тиск повністю використаний (контрольним вважається відгалуження з меншим надлишком наявного тиску).

Порівняльні розрахунки показників гідравлічного режиму і металоемності подавальних трубопроводів на ділянках 1 і n головної магістралі представлені в таблиці, де ці розрахунки виконані у варіантах до і після оптимізації (див. таблицю).

В таблиці позначено: L – довжина розрахункової ділянки, м; V – витрата води, м³/год; D_3 і δ – зовнішній діаметр і товщина стінки трубопроводу, м; w – швидкість води, м/с; R – питома лінійна втрата тиску, Па/м; ΔP – втрата тиску на розрахунковій ділянці, кПа: $\Delta P = 1,3LR \cdot 10^{-3}$; m_l – маса 1 м трубопроводу, кг/м; M – маса подавального трубопроводу розрахункової ділянки, кг.

Таблиця 1

Порівняльні розрахунки показників гідравлічного режиму і металоемності трубопроводів на ділянках 1 і n у варіантах до і після оптимізації

№ п/п	Ділянка	Варіант	L	V	$D_3 \times \delta$	w	R	ΔP	m_l	$M \cdot 10^3$
			м	м ³ /Го д	мм	м/с	Па/м	кПа	кг/м	кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	до	250	1300	529× 7	1,8 1	60, 5	19,7	90,1	22,5
2		після			478× 7	2,2 3	104	33,8	81,3	20,3
3	n	до	250	18	108× 4	0,6 6	65, 4	21,3	10,3	2,58
4		після			133× 4	0,4 3	20, 1	6,53	12,7	3,18

Діаметри трубопроводів (див. таблицю) були визначені у наступній послідовності:

1) у варіанті до оптимізації діаметри трубопроводів на ділянках 1 і n були визначені за сучасною методикою гідравлічних розрахунків [1];

2) у варіанті після оптимізації були проведені наступні зміни діаметрів: на ділянці 1 був прийнятий найближчий менший, а на ділянці n – найближчий більший табличні діаметри умовного проходу трубопроводів, ніж значення цих діаметрів, визначених за сучасною методикою гідравлічних розрахунків. Товщини стінок трубопроводів були прийняті однаковими у варіантах до і після оптимізації.

Значення питомих лінійних втрат тиску R і маси погонного метру трубопроводу m_l (див. таблицю 1) були прийняті по довіднику [2].

Оскільки в результаті зміни діаметрів всі наявні тиски на відгалуженнях від ділянок 1, ..., $n-1$ при двохтрубній мережі зменшуються на величину ΔN , що дорівнює:

$$\Delta N = 2(\Delta P_{1}^{\text{II}} 2\Delta P_{1}^{\text{I}}), \quad (1)$$

де ΔP_{1}^{I} і ΔP_{1}^{II} – значення втрат на ділянці 1 у варіантах до і після оптимізації (див. таблицю), то проектні рішення цих відгалужень у варіанті після оптимізації можна залишити без зміни за умов:

$$\Delta N_{\text{д.}j} / \Delta N, \quad j=1, \dots, n-1, \quad (2)$$

де $\Delta N_{\text{д.}j}$ – надлишок наявного тиску на контрольному відгалуженні від ділянки j у варіанті до оптимізації.

Після підстановки в (1) значень $\Delta P_{1}^{\text{II}}=33,8$ кПа і $\Delta P_{1}^{\text{I}}=19,7$ кПа (див. таблицю) отримуємо, що величина ΔN у даному прикладі становить:

$$\Delta N = 2(33,8219,7) = 28,2 \text{ кПа}, \quad (3)$$

а умова (2) у даному прикладі має вид:

$$\Delta N_j^I \geq 28,2 \text{ кПа}, \quad j=1, \dots, n-1. \quad (4)$$

Визначимо для ділянок 1 і n конкретні показники ефективності варіанту після оптимізації.

Величина ΔP_{Σ} приросту сумарних втрат тиску в подавальних і зворотних трубопроводах на ділянках 1 і n у варіанті після оптимізації становить:

$$\Delta P_{\Sigma} = 2[(\Delta P_{1}^{\text{II}} + \Delta P_{n}^{\text{II}})2(\Delta P_{1}^{\text{I}} + \Delta P_{n}^{\text{I}})], \quad (5)$$

де ΔP_{1}^{I} , ΔP_{n}^{I} і ΔP_{1}^{II} , ΔP_{n}^{II} – значення ΔP на ділянках 1 і n у варіантах до і після оптимізації (див. таблицю 1).

Після підстановки числових значень в (5) отримуємо:

$$\Delta P_{\Sigma} = 2[(33,8+6,53)2(19,7+21,3)] = -1,34 \text{ кПа}. \quad (6)$$

Оскільки в (5) величина приросту ΔP_{Σ} є від'ємною, то звідси випливає, що сумарні втрати тиску в вибраному інтервалі у варіанті після оптимізації не тільки не приростають, але навіть дещо зменшуються.

Величина ΔM_{Σ} зменшення сумарної металоємності трубопроводів двохтрубної теплової мережі на ділянках 1 і n становить:

$$\Delta M_{\Sigma} = 2[(M_{1}^{\text{I}} + M_{n}^{\text{I}})2(M_{1}^{\text{II}} + M_{n}^{\text{II}})], \quad (7)$$

де M_{1}^{I} , M_{n}^{I} і M_{1}^{II} , M_{n}^{II} – значення M на ділянках 1 і n у варіантах до і після оптимізації (див. таблицю).

Після підстановки числових значень в (7) отримуємо:

$$\Delta M_{\Sigma} = 2[(22500+2580)2(20300+3180)] = 3200 \text{ кг}. \quad (8)$$

Величина $\Delta M_{\text{відн}}$ відносного зменшення металоємності трубопроводів на ділянках 1 і n становить, %:

$$\Delta M_{\text{відн}} = \Delta M_{\Sigma} / [2(M_{1}^{\text{I}} + M_{n}^{\text{I}})] \cdot 100, \quad (9)$$

де M_{1}^{I} , M_{n}^{I} – значення M на ділянках 1 і n у варіанті до оптимізації (див. таблицю 1).

Після підстановки числових значень в (9) отримуємо:

$$\Delta M_{\text{відн}} = 3200 / [2(22500 + 2580)] \cdot 100 = 6,4\%. \quad (10)$$

Таким чином, із (7) і (10) випливає, що у розглянутому прикладі внаслідок оптимізації конструктивного рішення маємо зменшення металоемності трубопроводів на оптимізованих ділянках на 3.2 т, що становить 6,4% у відносному вимірі.

З урахуванням можливості на стадії проектування оптимізувати конструктивне рішення головної магістралі водяної теплової мережі рекомендується гідравлічні розрахунки такої магістралі у загальному випадку виконувати у три етапи. На першому етапі визначають діаметри трубопроводів за сучасною методикою гідравлічного розрахунку. На другому етапі аналізують дані цих розрахунків і за результатами аналізу надають позитивний або негативний прогноз щодо ефективності щодо можливості оптимізації конструктивного рішення головної магістралі мережі. В разі позитивного прогнозу переходять до третього етапу – етапу оптимізації конструктивного рішення магістралі з наступним розрахунком показників ефективності оптимізації.

Перший етап - етап аналізу даних гідравлічного розрахунку діаметрів виконується з метою виявлення на головній магістралі вибраного інтервалу, де задовольняються умови:

$$\Delta N_{i+m} \geq \Delta N_{\min}, \quad i=1, \dots, k-1, \quad (11)$$

$$0 \leq \Delta N_{k+m} \leq \Delta N_{\min}, \quad (12)$$

$$D_{m+1}^I \geq D_{k+m}^I, \quad (13)$$

де m – номер ділянки, що розташована безпосередньо перед вибраним інтервалом;

k – число ділянок в вибраному інтервалі (нумерація ділянок прийнята в напрямі від джерела теплоти);

ΔN_{k+m} і ΔN_{i+m} – надлишки наявних тисків на контрольних відгалуженнях від ділянок $k+m$ і $i+m$;

ΔN_{\min} – мінімальне значення потрібного надлишку наявного тиску на контрольних відгалуженнях від ділянок $k+i$ (порівняльні розрахунки показують, що значення ΔN_{\min} має знаходитись в межах 20 ...30 кПа);

D_{m+1}^I і D_{k+m}^I – діаметри трубопроводів на ділянках $m+1$ і $k+m$ у варіанті до оптимізації (між D_{m+1}^I і D_{k+m}^I має бути не менш одного проміжного значення діаметру умовного проходу трубопроводу).

В разі відсутності інтервалів, що задовольняють умовам (11) – (13), дається негативний прогноз щодо можливості оптимізації, тобто результати гідравлічного розрахунку, отримані на цьому етапі, залишають без змін. В іншому разі переходять до другого етапу гідравлічного розрахунку.

На другому етапі із числа ділянок вибраного інтервалу виділяють групи a , b і c послідовно розташованих ділянок (порядок груп прийнято

в напрямку від джерела теплоти). В групи a і c включають ділянки, що у варіанті до оптимізації задовольняли умовам:

$$D_{a.\min}^{\text{TM}} D_{c.\max}, \quad (14)$$

$$\Delta P_a^I \approx \Delta P_c^I, \quad (15)$$

де $D_{a.\min}$ і $D_{c.\max}$ – мінімальний і максимальний діаметри трубопроводів в групах a і c у варіанті до оптимізації (між $D_{a.\min}$ і $D_{c.\max}$ має бути не менш одного проміжного значення діаметру умовного проходу трубопроводу);

ΔP_a^I і ΔP_c^I – втрати тиску на ділянках груп a і c до оптимізації.

В групу b включають ділянки, що займають середнє положення між ділянками груп a і c , де внаслідок такого положення ділянок групи b забезпечується виконання умов (14) і (15).

Далі всі або деякі діаметри умовного проходу трубопроводів в кожній групі a і c замінують відповідно найближчими меншими і найближчими більшими діаметрами умовного проходу трубопроводів, орієнтуючись при цій заміні на максимальне зменшення металоємності мережі при виконанні умов:

$$\Delta P_a^I + \Delta P_c^I < \Delta P_a^{\text{II}} + \Delta P_c^{\text{II}}, \quad (16)$$

$$\Delta N_i^{\text{II}} / 0, \text{ при } i \in H, \quad (17)$$

де ΔP_a^{II} і ΔP_c^{II} – втрати тиску на ділянках груп a і c у варіанті після оптимізації; ΔN_i^{II} – надлишок наявного тиску на ділянці i у варіанті після оптимізації; H – множина номерів ділянок, що належать вибраному інтервалу.

Трьохетапна методика гідравлічного розрахунку теплових мереж може бути ефективною при її застосуванні як в проектах нових теплових мереж, так і в проектах модернізації зношених теплових мереж, що актуально за умов сучасного стану централізованого теплопостачання в Україні.

Висновок.

Запропонована методика трьохетапного гідравлічного розрахунку з метою оптимізації конструктивного рішення головної магістралі водяної теплової мережі, що дозволяє зменшити металоємність трубопроводів без негативних наслідків для гідравлічного режиму мережі і споживачів.

Список літератури

1. Єнін П.М., Швачко Н.А. Теплопостачання. ч.1. Теплові мережі та споруди. – К.: Кондор, 2007. – 244 с.
2. Водяные тепловые сети: Справочное пособие по проектированию / И.В. Беляйкина, В.П. Витальев, Н.К. Громов и др.; Под ред. Н.К. Громова, Е.П. Шубина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 376 с.