

УДК 697.1.001.12

**І.Е. Фургат, 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  $(60 \pm 20)$  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 конструктивні рішення магістралі, де внаслідок оптимізації буде зменшена сумарна металоємність 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).

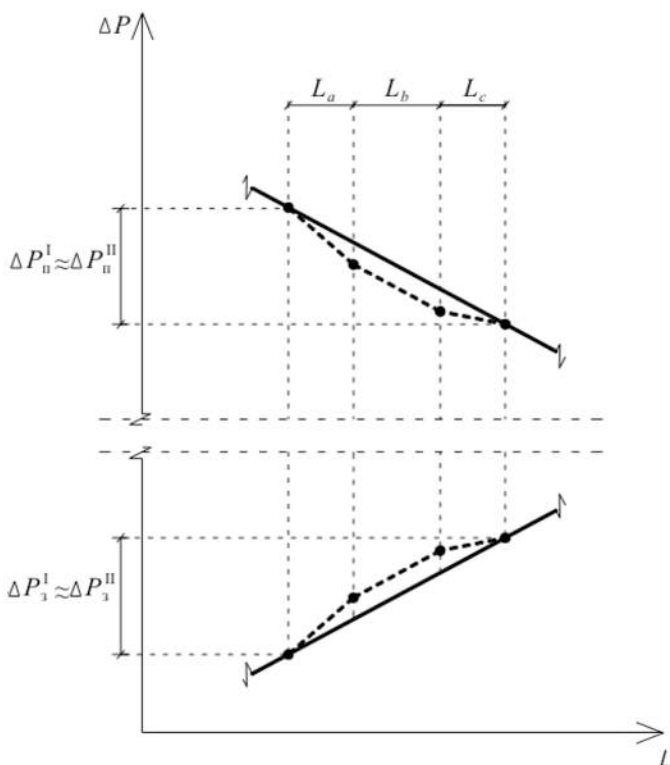


Рис. 1 Характер зміни втрат тиску  $\Delta P$  по довжині  $L$  головної магістралі у варіантах до і після оптимізації (суцільна і пунктирна лінії).

$L_a, L_b, L_c$  – довжини груп ділянок вибраного інтервалу, де діаметри трубопроводів відповідно зменшуються, залишаються незмінними, збільшуються;  $\Delta P_n^I$  і  $\Delta P_n^I$  – втрати тиску у подавальному і зворотному трубопроводах вибраного інтервалу у варіанті до оптимізації;  $\Delta P_n^{II}$  і  $\Delta P_n^{II}$  – 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 металосмістності 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, м<sup>3</sup>/год;  $D_3$  і  $\delta$  – зовнішній діаметр і товщина стінки трубопроводу, м;  $w$  – швидкість води, м/с;  $R$  – питома лінійна втрата тиску, Па/м;  $\Delta P$  – 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 металосмістності трубопроводів на ділянках 1 і  $n$  у варіантах до і після оптимізації

№ п/п	Ділянка	Варіант	$L$	$V$	$D_3 \times \delta$	$w$	$R$	$\Delta P$	$m_l$	$M \cdot 10^3$
			м	м <sup>3</sup> /год	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	1,81	60,5	19,7	90,1	22,5
2		після			478×7	2,23	104	33,8	81,3	20,3
3	n	до	250	18	108×4	0,66	65,4	21,3	10,3	2,58
4		після			133×4	0,43	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 метра 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  $\Delta N$ , що дорівнює:

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

де  $\Delta P_{1}^{\text{I}}$  і  $\Delta P_{1}^{\text{II}}$  – 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:

$$\Delta N_{\text{Д}j} \geq \Delta N, \quad j=1, \dots, n-1, \quad (2)$$

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  $\Delta N$  у даному прикладі становить:

$$\Delta N = 2(33,8 - 19,7) = 28,2 \text{ кПа}, \quad (3)$$

а умова (2) у даному прикладі має вид:

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

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

Величина  $\Delta P_{\Sigma}$  приросту сумарних втрат тиску в подавальних і зворотних трубопроводах на ділянках 1 і  $n$  у варіанті після оптимізації становить:

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

де  $\Delta P_{1}^{\text{I}}$ ,  $\Delta P_{n}^{\text{I}}$  і  $\Delta P_{1}^{\text{II}}$ ,  $\Delta P_{n}^{\text{II}}$  – значення  $\Delta P$  на ділянках 1 і  $n$  у варіантах до і після оптимізації (див. таблицю 1).

Після підстановки числових значень в (5) отримуємо:

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

Оскільки в (5) величина приросту  $\Delta P_{\Sigma}$  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  $\Delta M_{\Sigma}$  зменшення сумарної металосмності трубопроводів двохтрубної теплової мережі на ділянках 1 і  $n$  становить:

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

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

Після підстановки числових значень в (7) отримуємо:

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

Величина  $\Delta M_{\text{відн}}$  відносного зменшення металосмності 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  $M_{1}^{\text{I}}$ ,  $M_{n}^{\text{I}}$  – значення  $M$  на ділянках 1 і  $n$  у варіанті до оптимізації (див. таблицю 1).

Після підстановки числових значень в (9) отримуємо:

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

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 проєктування 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:

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

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

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

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

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

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

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

$D_{m+1}^1$  і  $D_{k+m}^1$  – діаметри трубопроводів на ділянках  $m+1$  і  $k+m$  у варіанті до оптимізації (між  $D_{m+1}^1$  і  $D_{k+m}^1$  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 групи прийнято

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

$$D_{a,\min} \geq D_{c,\max} \quad (14)$$

$$\Delta P_a^1 \approx \Delta P_c^1 \quad (15)$$

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);

$\Delta P_a^1$  і  $\Delta P_c^1$  – 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  $c$  замінюють відповідно найближчими меншими і найближчими більшими діаметрами умовного проходу трубопроводів, орієнтуючись при цій заміні на максимальне зменшення металоємності мережі при виконанні умов:

$$\Delta P_a^1 + \Delta P_c^1 \geq \Delta P_a^{\text{II}} + \Delta P_c^{\text{II}} \quad (16)$$

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

де  $\Delta P_a^{\text{II}}$  і  $\Delta P_c^{\text{II}}$  – втрати тиску на ділянках груп  $a$  і  $c$  у варіанті після оптимізації;  $\Delta N_i^{\text{II}}$  – 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. Снін 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.