

УДК 658.24

О. О. АЛЕКСАХИН, канд. техн. наук

О. В. БОБЛОВСЬКИЙ

Харківський національний університет міського господарства ім. А. М. Бекетова, м. Харків

**СПРОЩЕНА МЕТОДИКА ОБЧИСЛЕННЯ ТЕПЛОВИХ ВТРАТ ТРУБОПРОВОДАМИ РОЗГАЛУЖЕНОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ УТЕПЛЕННЯ БУДІВЕЛЬ**

*Разработана и апробирована методика определения потерь теплоты в разветвленных отопительных сетях. Выполнено сравнение точности вычислений по предложенной методике и с использованием традиционных подходов.*

*Розроблено й апробовано методику визначення втрат теплоти у розгалужених опалювальних мережах. Здійснено порівняння точності обчислень за запропонованою методикою та з використанням традиційних підходів.*

**Постановка проблеми та основний матеріал**

Впровадження енергозбереження у житлово-комунальному господарстві в першу чергу може бути забезпечене за рахунок зниження втрат теплоти через огорожувальні конструкції будівель. Так, доведення величини термічного опору огорожувальних конструкцій існуючих житлових будинків до рівня сучасних вимог [1] за рахунок нанесення додаткової теплоізоляції дозволяє знизити споживання теплоти будинком для опалення до 30 % [2]. При зменшенні подачі необхідної для приміщень теплоти за рахунок зниження температури теплоносія на ввіді до системи опалення відповідне зниження температури на виході опалювального комплексу обумовлює зміну теплового стану трубопроводів (у першу чергу зворотних) мікрорайонної мережі. Для умов однакового зниження розрахункового опалювального навантаження усіх будівель, що приєднані до розгалуженої мережі, зменшення втрат теплоти подавальними трубопроводами можна визначити за формулою [3]:

$$\frac{Q_1'}{Q_1} = \frac{1+(1-G_n/G_m)A_1}{1+(1-G_n/G_m)A_1'} \quad (1)$$

$$A_1' = B_1/\beta'; \quad A_1 = B_1/\beta_0; \quad B_1 = \frac{K \cdot q_1 \cdot L}{\Delta t_1 \cdot c \cdot G_n},$$

де  $Q_1, Q_1'$  – втрати теплоти трубопроводами до і після утеплення;  $G_n, G_m$  – витрати теплоносія для режиму до утеплення на вході до гілки і сумарні витрати через відгалуження, відповідно;

$K$  – коефіцієнт для врахування втрат теплоти конструктивними елементами теплової мережі;

$q_1$  – питомі втрати теплоти подавальними трубопроводами при різниці температур теплоносія та зовнішнього середовища  $\Delta t_1$ ;

$L$  – довжина теплопроводу;  $c$  – питома теплоємність теплоносія;

$\beta_0, \beta'$  – коефіцієнт для врахування зміни витрат теплоносія для опалення найвіддаленішої на гілці будівлі до і після утеплення.

Величину коефіцієнта для врахування зміни витрат теплоносія можна визначити за формулою [4]:

$$\beta = \frac{W_{ск}}{W_{оп}} = \frac{\mu \bar{Q}_o (t_{сп} - t_{зр})}{t_{ск} - t_в - (\mu \bar{Q}_o)^{0,8} [\Delta t_{оп} - 0,5 \theta_p (\mu \bar{Q}_o)^{0,2}]}, \quad (2)$$

де  $W_{ск}, W_{оп}$  – тепловий еквівалент витрат води на опалення будівлі після і до утеплення;

$\mu = Q_{ск}/Q_{оп}$  – коефіцієнт, що враховує зменшення опалювального навантаження будівлі в результаті її утеплення;

$\bar{Q}_{н}$  – відносне опалювальне навантаження;

$t_{6p}, t_{2p}$  – температура мережної води у подавальному й зворотному трубопроводах при розрахунковій температурі зовнішнього повітря;  $t_{6н}$  – температура у подавальному трубопроводі теплової мережі перед вводом до будівлі для режиму після утеплення;  $\Delta t_{тпф}$  – розрахункова різниця температур середньої температури теплоносія в опалювальному приладі і повітря у приміщенні для режиму до утеплення;  $\theta_p$  – розрахункова різниця температур теплоносія у системі опалення до утеплення будівлі.

Для зміни тепловтрат зворотним трубопроводом при однаковому утепленні всіх приєднаних до гілки мережі будівель в [3] запропоновано формулу:

$$\frac{Q_2}{Q_2} = \frac{(2A_2 + Q_{2н})\beta (t_{02} - t_{0кp})}{(2A_2 \cdot \beta + Q_{2н})(t_{02} - t_{0кp})}, \quad (3)$$

$$A_2 = c \cdot G_n \cdot \Delta t_{н2} \cdot (1 + G_{mp}/G_n); \quad Q_{2н} = q_{2н} \cdot L \cdot K,$$

де  $G_{mp} = G_m - G_n$  – витрати теплоносія через систему опалення найвіддаленішого на гілці об'єкта;

$\Delta t_{н2}$  – різниця температур теплоносія у зворотному трубопроводі й зовнішнього середовища, що зафіксована при знаходженні лінійних втрат теплоти зворотним трубопроводом  $q_{2н}$ ;  $t_{02}, t'_{02}$  – температура теплоносія на виході з системи опалення найвіддаленішого на гілці об'єкта до і після утеплення, відповідно.

Формулу (3) отримано у припущенні, що температура на виході опалювальних комплексів всіх будівель, приєднаних до спільної гілки мережі, однакова, а закон зміни витрат теплоносія по довжині трубопроводу – лінійний. Більш точно обчислення для зворотних трубопроводів можна виконати, прийнявши, наприклад, лінійний закон зміни температури на виході систем опалення будівель вздовж довжини гілки.

В такому разі зміну температури теплоносія у зворотному трубопроводі у напрямку від найвіддаленішої споруди до центрального теплового пункту можна обчислити за наведеним у [5] рівнянням:

$$t_2(x_1) = \left[ t_{02} \cdot \frac{G_{mp}}{G_n \cdot \alpha} + \frac{x_1}{L} \left( \frac{\Delta t_2 \cdot x_1}{2 \cdot L_0} + t_{02} \right) - \frac{B_2}{\alpha} \right] / \left( \frac{G_{mp}}{G_n \cdot \alpha} + \frac{x_1}{L} \right), \quad (4)$$

$$B_2 = \frac{q_{2н} \cdot L \cdot K}{c \cdot G_n \cdot \beta}, \quad q_2 = q_{2н} \frac{t_2(x_1) - t_{0кp}}{\Delta t_{н2}},$$

де  $L$  – довжина гілки;

$\Delta t_2 = t_{21} - t_{02}$ ;  $t_{21}$  – температура теплоносія на вході у зворотній трубопровід з будівлі або відгалуження, віддаленого на відстань  $x_1 = L_0$  від початку координат (рис. 1);

$\alpha$  – коефіцієнт пропорційності у лінійному законі зміни витрат теплоносія вздовж координати  $x_1$ .

При  $\alpha=1$ ,  $L_0 = L$  вираз для середньої температури теплоносія на довжині фрагмента мережі  $x_1 = L_0$  для режиму до утеплення будівель має вигляд:

$$\begin{aligned} t_{2cp}(x_1) &= 0,5[t_{02} + t_2(L_0)] = \\ &= [t_{02}(1,5 + 2 \cdot G_{mp}/G_n) + 0,5t_{21} - B_2]/2(1 + G_{mp}/G_n), \end{aligned} \quad (5)$$

Аналогічно, середню температуру теплоносія на фрагменті мережі після утеплення будівель при умові, що коефіцієнт  $\mu$  для будівель фрагмента мережі однаковий, можна записати наступним чином:

$$t'_{2cp} = [\tau'_{02}(1,5 + 2 \cdot G_{mp}/G_n) + 0,5 \cdot \tau'_{21} - B'_2] / 2(1 + G_{mp}/G_n), \quad (6)$$

$$B'_2 = \frac{q_2 \cdot L_0 \cdot K}{c \cdot G_n \cdot \beta}, \quad q'_2 = q_{2n} \frac{t_2(x_1) - t_{окр}}{\Delta t_{н2}}$$

20

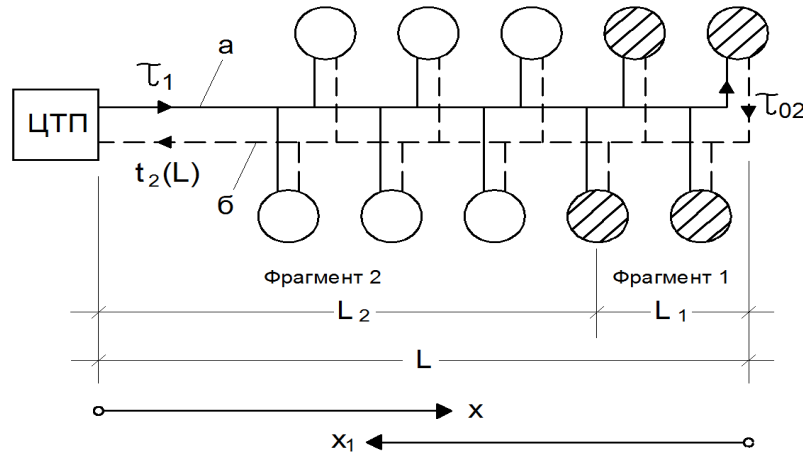


Рис. 1. До розрахунку зміни температури по довжині теплових мереж:

ЦТП – центральний тепловий пункт; а, б – подавальний та зворотний трубопроводи мережі;  $L_1, L_2$  – довжини фрагментів мережі з будівлями з різним ступенем ефективності утеплення будівельних конструкцій

Записуючи зміну втрат теплоти трубопроводами зворотної лінії у межах виділеного фрагмента довжиною  $L_n$  як

$$\frac{Q'_2}{Q_2} = \frac{(t'_{2cp} - t_{окр})}{(t_{2cp} - t_{окр})}, \quad (7)$$

після перетворень остаточно маємо

$$\frac{Q'_2}{Q_2} = \frac{2(\tau'_{02} - t_{окр})(1 + G_{mp}/G_n) + 0,5(\tau'_{21} - \tau'_{02}) - B'_2}{2(\tau_{02} - t_{окр})(1 + G_{mp}/G_n) + 0,5(\tau_{21} - \tau_{02}) - B_2} = \frac{D'_1 + D'_2 - B'_2}{D_1 + D_2 - B_2}, \quad (8)$$

Аналіз структури формули (8) показує, що при можливих параметрах теплоносія у зворотному трубопроводі складові  $D'_1$  і  $D'_2$ , як мінімум на порядок більші за  $D_1, B_1, D_2, B_2$  і точність використання формули (8) в основному визначається величинами  $D'_1$  і  $D'_2$ . Тому максимальну відносну помилку обчислень за формулою (8) можна оцінити за формулою:

$$\frac{\Delta(Q'_2/Q_2)}{Q'_2/Q_2} = \frac{4 \cdot \Delta(G)/G}{1 + G_{mp}/G_n} + 2 \left[ \frac{\Delta(t)}{\tau'_{02} - t_{окр}} + \frac{\Delta(t)}{\tau_{02} - t_{окр}} \right], \quad (9)$$

де  $\Delta$  – абсолютна похибка визначення відповідної величини.

Обчислення за формулою (9), отриманою згідно з рекомендаціям [6], здійснено при умові, що відносна похибка визначення витрат теплоносія знаходиться на рівні 0,015, помилка визначення температури становить 0,5 °С, а різниця температур теплоносія у зворотній лінії й оточуючого середовища дорівнює 35–40 °С, похибка за формулою (8) змінюється від значень приблизно 10 % (при малих величинах співвідношення витрат на гілці  $G_{mp}/G_n$ ) до 5,5% при  $G_{mp}/G_n \geq 10$ . Внаслідок незначної зміни втрат теплоти подавальними трубопроводами максимально можлива похибка визначення зміни втрат мережею в цілому слід очікувати на рівні 5 %.

Формули (1), (8) дозволяють проводити оцінки при одночасному утепленні всіх споруд, що приєднані до гілки. Така ситуація в умовах обмеженості фінансових і матеріальних ресурсів можлива, скоріш за все, як виняток. Частіше спочатку теплоізоляційні роботи будуть проведені для декількох будівель з обраної групи. В такому разі втрати теплоти трубопроводами можна визначити, використавши достатньо громіздку розрахункову методику, розбиваючи мережу на окремі ділянки з однаковим діаметром теплопроводів з подальшим поділянковим розрахунком значень температури і тепловтрат спочатку для подавальних трубопроводів, а потім, після обчислення температури теплоносія на виході системи опалення кожної будівлі даної гілки – для зворотних трубопроводів. Температуру теплоносія на ділянці зворотного трубопроводу визначають з урахуванням його охолодження через втрати теплоти та змішування потоку води в трубопроводі гілки й потоку з відгалуження. Метою даної роботи є розробка спрощеної методики оцінки зміни тепловтрат.

Така методика передбачає розбивку гілки на фрагменти, у межах кожного з яких будівлі мають однаковий ступінь «утеплення», і застосування для фрагмента аналітичних рівнянь (1) і (8). Можливість використання вказаних формул для мережі, до якої приєднані будівлі з різним ступенем ефективності утеплення ( $\mu$ ) розглянуто на прикладі наведених на рис. 2 схем. Всі будівлі розглянутої групи мають однакове розрахункове опалювальне навантаження до утеплення, рівне 0,1 МВт, відстань між точками приєднання будівель до мережі також однакова і становить 70 м. Діаметри трубопроводів на ділянках визначені при умові, що лінійні втрати тиску не перевищують 90 Па/м. Питомі тепловтрати трубопроводами оцінені як нормативні [7] при прокладанні у непрохідних каналах, коефіцієнт обліку втрат теплоти конструктивними елементами мережі прийнятий рівним 1,15 [7]. Температуру ґрунту на глибині вісі теплопроводів прийнято 5°C. Розрахунковий режим для опалення характеризується наступними температурними показниками:  $\Delta t_c^p = 80^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 18^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t_{\text{тр}} = 64,5^\circ\text{C}$ ,  $\theta_p = 25^\circ\text{C}$ . Обчислення здійснено в основному для величин відносного опалювального навантаження  $\bar{Q}_0 = 0,49$ , яке відповідає середній за опалювальний період температурі зовнішнього повітря для кліматичних умов м. Харкова (-2,1°C). Температуру теплоносія на вході до мережі з центрального теплового пункту прийнято 85°C при  $\bar{Q}_0 = 0,49$  і 145°C при  $\bar{Q}_0 = 1$ . Для кожної з наведених на рис. 2 схем спочатку в результаті поділянкового розрахунку визначено охолодження мережної води й втрати теплоти трубопроводами. Ці результати порівнювали з обчисленнями за формулами (1), (8). Результати порівняння подані у таблиці.

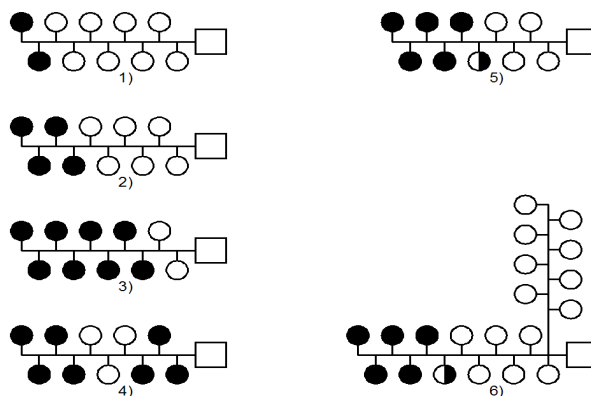


Рис. 2. Розрахункові схеми теплових мереж:

- – неутеплені будівлі; ● – будівлі з ефективність теплової ізоляції  $\mu=0,65$ ;
- ◐ – частково утеплені будівлі ( $\mu=0,75$ ); □ – центральний тепловий пункт.

Як видно з наведених даних, максимальна похибка обчислень за формулами (1), (8) для зворотного трубопроводу знаходиться на рівні 11%, для опалювальної мережі в цілому – 5%,

що дає можливість використання спрощеної методики для оцінок теплових втрат теплопроводами для різних варіантів утеплення будівель, приєднаних до загальної мережі.

Таблиця

Зіставлення результатів розрахунків

Схема (рис. 2)		Загальне для групи будівель $\eta_{г}$	Зниження втрат теплоти за формулами (1), (7)			Відхилення від результатів поділянкового розрахунку, % (за абсолютною величиною)		
			подавальна лінія	зворотна лінія	мережа в цілому	подавальна лінія	зворотна лінія	мережа в цілому
1	0,49	0,93	0,999	0,883	0,97	0,6	3,8	1
2	0,49	0,86	0,995	0,88	0,953	0,5	2,3	1,2
3	0,49	0,72	0,96	0,89	0,934	1,9	10,8	2,6
4	0,49	0,76	0,99	0,935	0,96	0,2	9,9	3,6
5	0,49	0,8	0,987	0,91	0,95	0,1	10,7	4,1
6	1	0,9	0,99	0,915	0,963	0,1	11,1	5

### Висновки

1. Запропонована і апробована спрощена методика визначення теплових втрат трубопроводами розгалуженої опалювальної мережі з урахуванням можливого утеплення окремих споруд мікрорайонної системи.

2. Зафіксована відносна похибка обчислень задовольняє точності інженерних розрахунків при виконанні оцінок проведення заходів з енергозбереження.

### Список літератури

- ДБН В.2.6-31: 2006. Теплова ізоляція будівель. К.: 2006. –72 с.
- Алексахин А. А., Бобловский А. В. Оценка энергосберегающего потенциала функционирующих жилых зданий//«Энергосбережение · Энергетика · Энергоаудит», № 1 (95), 2012, – С. 10–15.
- Алексахин А. А., Бобловский А. В., Величко А. В. Тепловое состояние трубопроводов отопительной сети при утеплении зданий микрорайона: Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – Харків, 2012. –Вип.132. – С. 40–46.
- Алексахин А. А., Бобловский А. В., Деркач И. Л. Показатели работы системы отопления функционирующего здания при дополнительной теплоизоляции строительной конструкции. Сборник трудов XIII международной научно-технической конференции «Энерго- и ресурсосберегающие технологии в системах теплогазоснабжения и вентиляции». Пенза: ПГУАС, 2011. – С. 103–108.
- Алексахин О. О. Теплові розрахунки мікрорайонних систем теплопостачання. Харків, ХНАМГ, 2010. – 138 с.
- Осипова В. А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена. М.: Энергия, 1979. –320с.
- Тепловая изоляция. / Под ред.. Г. Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995. – 421 с.

### **SIMPLIFIED TECHNIQUE FOR CALCULATION OF HEAT LOSSES IN PIPELINES OF BRANCHED HEATING NETWORK CONSIDERING HEAT INSULATION OF BUILDINGS**

A. A. ALEKSAHIN, Candidate of Engineering, A. V. BOBLOVSKIY, Assistant

*The paper presents a developed and tested method for establishment of losses of heat in branched heating systems. It compares calculation accuracy using the proposed method and using traditional approaches.*

Поступила в редакцию 15.05 2013 г.