

УДК 658.24

Бобловський О.В.<sup>a</sup>, Алексахін О.О.<sup>a</sup>, Ена С.В.<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Харківська національна академія міського господарства, <sup>b</sup>Національний технічний університет «ХПІ».

### ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ТЕПЛОНОСІЯ У ТРУБОПРОВОДАХ МІКРОРАЙОННОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ЗМІНИ ОПАЛЮВАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Запропоновано формули для обчислення зміни температури теплоносія по довжині подавального та зворотного трубопроводів теплових мереж. Показано можливість застосування формул в інженерних розрахунках.*

*Предложены формулы для расчета изменения температуры теплоносителя по длине подающего и обратного трубопроводов тепловых сетей. Показана возможность применения формул в инженерных расчетах.*

*The formulas for calculating the change in coolant temperature along the flow and return heating networks. The possibility of using formulas in engineering calculations.*

Характерною особливістю систем теплопостачання великих міст є високий ступінь централізації з наявністю значної кількості різноманітних джерел теплоти і складної мережі магістральних і розподільних теплопроводів. Розподільні теплові мережі від центральних теплових пунктів (ЦТП) для умов мікрорайонної забудови, яка переважає у великих містах, чотиритрубна, що пов'язано з прийнятою закритою схемою приготування гарячої води для господарсько-побутових потреб [1]. Мікрорайонні теплові мережі характеризуються розгалуженістю і великою довжиною, яка суттєво переважає довжину магістральних. Наприклад, довжина магістральних теплових мереж у м. Харкові становить 403 км (у двотрубному обчисленні), а розподільних – 1120 км [2].

Охолодження теплоносія по довжині подавального трубопроводу опалювальної мережі можна визначити, використовуючи запропоноване для умов сталого розрахункового навантаження будівель рівняння [3]

$$t_1(x) = t_{\text{окр}} + (\tau_1 - t_{\text{окр}}) \left(1 - \frac{G_n}{G_m} \cdot \frac{x}{L}\right)^A, \quad (1)$$

$$A = (K \cdot q_1 \cdot L) / (\Delta t_n \cdot c \cdot G_n),$$

у якому  $t_{\text{окр}}$  – температура оточуючого середовища для відповідного способу прокладки мереж;  $G_m$  і  $\tau_1$  – витрати теплоносія і його температура на вході до гілки мережі (тобто, при  $X=0$ );  $G_n$  – сумарні витрати теплоносія через відгалуження на гілці;  $L$  – довжина гілки;  $K$  – коефіцієнт, що враховує витрати теплоти конструктивними елементами мереж;  $q_1$  – питомі лінійні втрати теплоти подавальними трубопроводами при різниці температури теплоносія і оточуючого середовища  $\Delta t_n$ ;  $c$  – питома теплоємність води.

Зміну температури теплоносія у зворотному трубопроводі можна визначити згідно з [4]

$$t_2\left(\frac{x_1}{L}\right) = \frac{\frac{n_1 \cdot \Delta \tau_2 \left(\frac{x_1}{L}\right) \left(\frac{x_1}{L}\right)^{n_2} - D}{G_n + \left(\frac{x_1}{L}\right)^{n_2}}}{G_n} + \tau_{02}, \quad (2)$$

$$D = (K \cdot q_2 \cdot x_1) / (c \cdot G_n),$$

де  $X_1 = L - X$  – відстань від найвіддаленішого на гілці будинку до розрахункової точки;  $q_2$  – питомі лінійні втрати теплоти зворотними трубопроводами;  $\tau_{02}$  – температура теплоносія на вході до зворотного трубопроводу мережі з системи опалення

найвіддаленішого будинку;  $\Delta\tau_2 = \tau_2(X_1 = L_1) - \tau_2(0)$  – різниця температур теплоносія на вході з відгалужень до зворотного трубопроводу на довжині  $L_1$ .

Вплив окремих факторів на точність обчислень за наведеними формулами проаналізовано у [3,4]

Метою роботи є отримання формул для визначення зміни температури теплоносія по довжині трубопроводів розгалужених теплових мереж з урахуванням можливого зменшення розрахункового опалювального навантаження будівель, наприклад, зниження витрат теплоти за рахунок нанесення на поверхню огорожуючи функціонуючих будівель шару додаткової теплоізоляції. Зменшення подачі теплоти на опалення приміщень здійснюється зниженням температури теплоносія на вході до опалювальних приладів, що можна реалізувати збільшенням коефіцієнта змішування елеваторних вузлів на вводах, якими обладнано більшість опалювальних комплексів будівель.

Ефект додаткового утеплення будівель можна врахувати відношенням розрахункових витрат теплоти після впровадження енергозберігаючих заходів і до них

$$\mu = \frac{Q_{орн}}{Q_{ор}} \quad (3)$$

Для режиму подавальних трубопроводів мікрорайонної опалювальної мережі, вказаний спосіб зміни подачі теплоти у приміщення, означатиме зменшення витрат води для потреб опалення  $\beta = W_{орн}/W_{ор}$  ( $W_{орн}, W_{ор}$  – еквівалент розрахункових витрат теплоносія після і до утеплення), величину якого згідно з [5] можна обчислити за формулою

$$\beta = \frac{\mu}{1 + \frac{\Delta t_{пр}^p (1 - \mu^{0,5})}{\Delta t_{г}^p - 0,5 \cdot \beta^p}} \quad (4)$$

де  $\Delta t_{пр}^p$  – різниця середньої температури теплоносія в опалювальному приладі й повітря у приміщенні для розрахункового режиму до утеплення;  $\Delta t_{г}^p$  – розрахункова різниця температур у подавальному і зворотному трубопроводах теплових мереж;  $\beta^p$  – перепад температур у системі опалення при розрахунковій для опалення температурі зовнішнього повітря для даної місцевості.

При умові однакового зниження опалювального навантаження всіх будинків мікрорайону рівняння (1) з урахуванням (4) трансформується до вигляду

$$t_1(x) = t_{окр} + (\tau_1 - t_{окр}) \left(1 - \frac{G_{п}}{G_{м}}\right)^{A/\beta} \quad (5)$$

Для зворотного трубопроводу опалювальної мережі утеплення будинків обумовлює зміну витрат теплоносія і зниження його температури на вході до трубопроводу гілки з опалювальних комплексів, яку можна визначити з рівняння теплового балансу системи опалення. Після перетворення рівняння має вигляд

$$\tau_2(x) = t_1(x) - \frac{\mu \cdot \bar{Q}_0 \cdot \Delta t_{г}^p}{\beta} \quad (6)$$

де  $\bar{Q}_0 = \frac{\tau_3 - \tau_4}{\tau_3 - \tau_{г,о}}$  – відносне опалювальне навантаження;  $t_3$  – розрахункова температура

повітря у приміщенні;  $t_n$  – температура зовнішнього повітря;  $t_{p.o.}$  – розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення у даній місцевості.

Зміна витрат теплоносія у зворотному трубопроводі при умові однакового зменшення опалювального навантаження будинків обумовлює зміну у рівнянні (2) комплексу  $D$ , який для цього випадку матиме вигляд

$$D = \frac{D}{\beta} = \frac{q_2 \cdot x_1}{c \cdot G_n \cdot \beta} \quad (7)$$

Результати обчислень за формулою (5) та за формулою (2) з урахуванням (6) і (7) співставлені з розрахунками теплового стану трубопроводів опалювальної мережі ряду мікрорайонів м. Харкова, у яких для кожної з ділянок мережі за методикою [6] обчислено теплові втрати трубопроводів ( $Q_d$ ) і зміну температури теплоносія

$$t'' = t' - \frac{Q_d}{c \cdot G_d} \quad (8)$$

де  $t''$ ,  $t'$  – температура теплоносія в кінці та на початку розрахункової ділянки;  $G_d$  – витрати теплоносія на ділянці.

Обчислення проведені для кліматичних умов м. Харкова при нормативних лінійних втратах теплоти трубопроводами, температурі ґрунту на глибині прокладання теплопроводів  $5^\circ\text{C}$ , температурі теплоносія на виході з ЦТП до подавального трубопроводу мікрорайонної мережі  $85^\circ\text{C}$ , температурі зовнішнього повітря  $-2,1^\circ\text{C}$  (середня температура повітря за опалювальний період). Коефіцієнт для врахування втрат теплоти конструктивними елементами теплопроводів прийнято рівним  $K=1,15$  [6].

Температуру теплоносія у кінці ділянки гілки зворотного трубопроводу обчислено з урахуванням тепловмісту потоку на ділянці при змішуванні з потоком теплоносія з відгалужень.

$$t''' = \frac{t_2'' \cdot G_d + t_2(x) \cdot G_B}{G_d + G_B} \quad (9)$$

де  $t_2''$ ,  $t_2(x)$  – температура теплоносія у кінці ділянки до змішування потоків й на виході з відгалуження, відповідно;  $G_d$  – витрати теплоносія на ділянці;  $G_B$  – витрати теплоносія через відгалуження.

Як приклад на рис. наведено зміну температур по довжині теплопроводів гілки мережі, приєднаної до ТРС 4/32, при зменшенні опалювального навантаження будинків на 30 %. Результати обчислень свідчать, що максимальна розбіжність температур теплоносія у подавальному трубопроводі головної гілки дорівнює  $2,01^\circ\text{C}$ , що становить приблизно 2,5 %.

Лінія температур у зворотному трубопроводі характеризується стрибкоподібною зміною температур у точках приєднання відгалужень до головної гілки і тенденцією до зростання температури у напрямку від найвіддаленішого будинку на гілці до ЦТП. Максимальна розбіжність значень температур у зворотному трубопроводі зафіксована на виході з ЦТП і становить декілька градусів. Похибка обчислень за формулами (2), (6), (7) дорівнює приблизно  $1,3^\circ\text{C}$  і не перевищує 4,5 %. На тому ж графіку нанесені лінії зміни температури у зворотному трубопроводі для вихідного варіанта (до утеплення). Порівняння результатів показує, що тепловий стан зворотних трубопроводів після утеплення будівель характеризується більш низьким рівнем температур теплоносія, внаслідок чого слід очікувати зменшення теплової продуктивності першого ступеня підігрівників гарячого

водопостачання при двоступінчатих схемах приєднання.

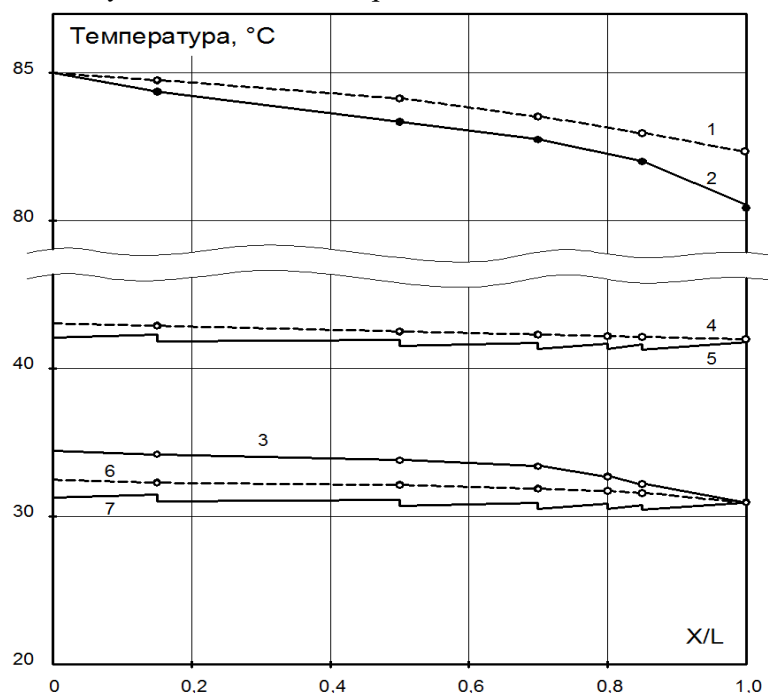


Рис. – Зміна температури теплоносія по довжині гілки опалювальної мережі.

1,2 – подавальний трубопровід; 3 – температура на виході з опалювальних комплексів будівель; 4...7 – зворотній трубопровід; 4,5 – вихідний варіант ( $\mu=1$ ); 1,2,3,6,7 –  $\mu=0,7$ ;  
 - - - - - розрахунок за формулою (5) і формулами (2), (6), (7);  
 \_\_\_\_\_ розрахунок охолодження на ділянках мережі з використанням (8), (9).

Висновки. Запропоновані формули дозволяють обчислювати зміну температури по довжині гілок розгалужених теплових мереж при однаковому зниженні розрахункового опалювального навантаження будівель з достатньою для інженерної практики точністю. Встановлено, що зменшення навантаження системи опалення будівель обумовлює зниження температури теплоносія у теплових мережах і при двоступінчатих схемах приєднання водопідігрівних установок гарячого водопостачання веде до зменшення теплової продуктивності теплообмінних апаратів першого ступеня.

1. Шубин Е.П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов. М.: Энергия, 1979. – 360с.

2. Концепция оценки технического состояния городских инженерных систем и электрического транспорта г. Харькова/ Л.Н. Шутенко, М.Е. Золотов, Н.А. Шульга, В.А. Ткачев, В.Ф. Дамка // Коммунальное хозяйство городов: науч-техн. сб. – К.: Техника, 2007. – Вып. 37 – с. 131-134.

3. Алексахин А.А. Определение охлаждения теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей // Коммунальное хозяйство городов: науч-техн. сб. – К.: Техника, 2006. – Вып. 74 – с. 349-355.

4. Алексахин А.А., Углов В.И. Оценка точности расчетного определения температуры теплоносителя в обратном трубопроводе тепловых сетей // Коммунальное хозяйство городов: науч-техн. сб. – К.: Техника, 2007. – Вып. 79 – с. 251-254.

5. Козин В.Е., Левина Т.А., Марков А.П. Теплоснабжение. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.

6. Тепловая изоляция / Под. ред. Г.Ф. Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995. – 421 с.