

### **Висновки досліджень**

1. На процес згоряння частинок палива впливає їх розмір, так у частинок розміром 90 мкм час загорання приблизно дорівнює часу загорання летких речовин (від 673 до 1273К).

2. Із збільшенням температури газового середовища тривалість загорання зменшувалась.

3. З підвищенням початкової температури суміші  $\Theta_1$ , оптимальне значення коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  зростає. Зі збільшенням  $\alpha$  вище від оптимального значення для самозагорання, а саме:  $\alpha_{\text{опт}} = 0,12$  до  $\alpha = 0,44; 0,72; 1,05$ , коли  $\Theta = 0,075$  довжина ділянки загорання збільшувалась в 2,5; 4,5 і 6,5 рази. Це означає, що найкращі умови для розвитку першого реагування, який переводить процес до швидкотемпературного режиму, тобто до самозагорання в одномірному потоці за однакових інших умов, виникають в суміші тоді, коли є недостатня кількість повітря для палива погіршеної якості.

*1. Эффективное сжигание низкосортных углей в энергетических котлах / А.А. Мадоян и др. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 200 с. 2. Мисак Й.С., Івасик Я.Ф., Кравець Т.Ю. Вплив якості палива на технікоекономічні показники котельних установок теплових електростанцій / Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. – № 404. – 2000. – С. 89–96. 3. Електроенергетика України: Сучасний стан, проблеми та перспективи розвитку. ІНЕД. – К., 1998. 4. Хзмалян Д.М. Теорія топочних процесов: Учебн. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.*

**УДК 697.34**

**В.І. Венгльовський**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

## **ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ТЕПЛОТИ В ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖАХ ІЗ ПОПЕРЕДНЬО ТЕПЛОІЗОЛЬОВАНИМИ ТРУБОПРОВОДАМИ**

© Венгльовський В.І., 2009

**Розглянуто методику теплового розрахунку трубопроводів теплових мереж. Наведено результати досліджень роботи теплових мереж і мереж гарячого водопостачання із використанням попередньо теплоізольованих трубопроводів.**

**In this article the thermal design procedure of pipe systems of thermal networks is considered. The investigations results work of thermal networks and networks of water supply with use preliminary heat – insulated pipelines are presented.**

**Постановка проблеми.** Робота систем теплопостачання (СТ) вимагає впровадження енергозберігаючих технологій як під час нового проектування, так і у разі реконструкції цих систем і під час їх експлуатації. Існуючі СТ потребують істотного оновлення на основі енергоощадних технологій [1–10].

Відмова від центральних і влаштування індивідуальних теплових пунктів (ІТП) в окремих будівлях і спорудах чи в їх частинах перетворить існуючі чотиритрубні СТ у двотрубні. Заміна зовнішніх розподільних каналних мереж на безканалні з попередньо ізольованими трубопроводами, зменшення кількості трубопроводів знизить тепловтрати і вартість теплових мереж, скоротить витрати електроенергії на перекачування теплоносіїв. Для двотрубних СТ у будинках треба використати компактні двофункціональні теплові пункти. Останні мають високопродуктивні пластинчасті підігрівники, безшумні відцентрові електроприводні помпи із регульованою подачею і напором, засоби автоматики і контрольно-вимірювальні пристрої для регулювання і реєстрації

параметрів теплоносіїв. Подача теплоносіїв до окремих споживачів за чинними будівельними нормами [3, 6] повинна здійснюватись ізольованими трубопроводами.

Ізоляцію зовнішніх поверхонь трубопроводів систем тепlopостачання потрібно виконувати за чинними будівельними нормами [3, 6, 7], за якими товщина ізоляційного шару зовнішніх поверхонь обладнання і трубопроводів залежно від способу прокладання повинна задовольняти різні умови: заданому зниженню температури теплоносія, заданій температурі на поверхні ізоляції, заданій величині щільності теплового потоку тощо.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** За останні роки в Україні оновилися і продовжує оновлюватися нормативна база з тепlopостачання. Проектування, монтаж, приймання в експлуатацію й експлуатація зовнішніх теплових мереж (ТМ) і мереж гарячого водопостачання із використанням попередньо теплоізолюваних спіненим поліуретаном повинні виконуватись згідно з прийнятими настановами [3]. Відповідно до стандарту трубопроводи мають провідну трубу, теплову ізоляцію і покривну спіральну кручену металеву або пластмасову оболонку.

Числовий аналіз втрат теплоти одиничного трубопроводу, прокладеного в непрохідному каналі, виконаний в умовах повного або частинного затоплення, наведений в [4]. Показано, що для оцінювання тепловтрат можна використати двовимірну або одновимірну модель такого трубопроводу. У попередньо ізолюваних трубопроводах такі умови можуть виникнути лише у разі порушення герметичності покривної оболонки.

Тепловий розрахунок двох трубопроводів в непрохідному каналі розглянуто в [2]. Для знаходження питомих теплових потоків і товщини ізоляції використано рівняння теплового балансу. Товщину ізоляції трубопроводів знайдено наближено.

Нормативні документи [3, 6, 7] встановлюють лише вимоги до розрахунку товщини ізоляції, але самої методики не мають.

Автор запропонував методику знаходження температур теплоносія по довжині трубопроводів ТМ і мережі СГВ. Товщину ізоляції знайдено числовими методами для безканальної прокладки попередньо ізолюваних трубопроводів.

**Формулювання цілі статті.** Потрібно знайти температури теплоносія на ділянках і врахувати товщину ізоляції із допустимого питомого теплового потоку для попередньо ізолюваних трубопроводів теплових мереж і мереж систем гарячого водопостачання.

**Виклад основного матеріалу.** При русі теплоносія в теплових мережах і в мережах гарячого водопостачання відбувається падіння його ентальпії [2, 8, 9, 10]. Це приводить до спаду температури теплоносія вздовж трубопроводів.

Рівняння теплового балансу нескінченно малої ділянки  $dl$  теплопроводу із спадом температури теплоносія  $dt$  буде

$$\frac{k(t-t_n)}{R} dl = -Gcdt, \quad (1)$$

де  $k$  – коефіцієнт місцевих втрат теплоти, що враховує тепловтрати через теплопровідні вклучення в теплоізоляційних конструкціях;  $t$  – температура теплоносія;  $t_n$  – температура навколишнього середовища, в якому прокладені трубопроводи;  $R$  – термічний опір ізоляційної конструкції трубопроводу;  $G$  – витрата теплоносія на розглядуваній ділянці;  $c$  – питома теплоємність теплоносія.

З урахуванням початкових умов для розглядуваної ділянки із рівняння (1) знаходимо температуру теплоносія  $t_k$  в кінці ділянки

$$t_k = t_n + (t_n - t_n) \exp\left(-\frac{kl}{RGc}\right), \quad (2)$$

де  $t_n$  – температура теплоносія на початку трубопроводу.

Для трубопроводів із різними витратами теплоносія  $G_i$ , довжинами ділянок  $l_i$ , термічними опорами  $R_i$ , прокладеними в середовищі із температурою  $t_n$  із виразу (2) отримуємо температури теплоносія наприкінці будь-якої ділянки ( $i=1,2,3, \dots, n$ ) розрахункового кільця (кільця через

подавальний і зворотний трубопроводи теплової мережі (ТМ) чи подавальний і циркуляційний трубопроводи системи гарячого водопостачання (СГВ)):

$$t_{к,1} = t_n + (t_{н,1} - t_n) \exp A_1, \quad (3)$$

$$t_{к,2} = t_n + (t_{к,1} - t_n) \exp A_2, \quad (4)$$

...

$$t_{к,i} = t_n + (t_{к,i-1} - t_n) \exp A_i, \quad (5)$$

...

$$t_{к,n} = t_n + (t_{к,n-1} - t_n) \exp A_n, \quad (6)$$

де  $t_{к,i}$  – температура теплоносія наприкінці ділянки  $i$  дорівнює температурі теплоносія на початку ділянки  $i+1$ , а величини  $A_i$  будуть

$$A_i = - \frac{kl_i}{R_i G_i c}, \quad i=1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

Із рівнянь (4) – (6) з урахуванням (3), (7) можна записати температури теплоносія наприкінці ділянок, починаючи з другої:

$$t_{к,2} = t_n + (t_{н,1} - t_n) / \exp (A_1 + A_2), \quad (8)$$

...

$$t_{к,i} = t_n + (t_{н,1} - t_n) / \exp \left( \sum_1^i A_j \right), \quad (9)$$

...

$$t_{к,n} = t_n + (t_{н,1} - t_n) / \exp \left( \sum_1^n A_j \right), \quad (10)$$

Трубопроводи ТМ і мережі СГВ можуть бути прокладені в різних середовищах із своїми температурами.

Нехай трубопроводи прокладені послідовно в середовищах  $a, в, с, \dots$  з навколишніми температурами  $t_{н,a}, t_{н,в}, t_{н,с}, \dots$  в кожному з яких є  $j, m, p$  ділянок. Тоді на межі середовищ виконуються умови

$$t_{к,j} = t_{н,m}, \quad t_{к,m} = t_{н,p}. \quad (11)$$

З урахуванням рівнянь (3), (8) – (11) температури теплоносія наприкінці ділянок трубопроводів  $j, m, p$  будуть

$$t_{к,j} = t_{н,a} + (t_{н,1} - t_{н,a}) / \exp \left( \sum_1^j A_j \right), \quad (12)$$

$$t_{к,m} = t_{н,b} + (t_{к,j} - t_{н,b}) / \exp \left( \sum_1^m A_m \right), \quad (13)$$

$$t_{к,p} = t_{н,c} + (t_{к,m} - t_{н,c}) / \exp \left( \sum_1^p A_p \right), \quad (14)$$

$$\text{де } A_j = - \frac{kl_j}{R_j G_j c}, j=1, 2, \dots, j; \quad A_m = - \frac{kl_m}{R_m G_m c}, m=1, 2, \dots, m; \quad A_p = - \frac{kl_p}{R_p G_p c}, p=1, 2, \dots, p.$$

Користуючись формулами (12) – (14), можна знайти кінцеві температури теплоносія на будь-якій ділянці трубопроводу ТМ і мережі СГВ.

Для зменшення втрат теплоти в трубопроводах їх потрібно ізолювати. Товщину ізоляції трубопроводів  $\delta_{із}$  знаходимо з умов допустимого теплового потоку [7]

$$\delta_{із} = 0,5d_3 \left[ \exp 2\pi\lambda_{із} (r_{за} - r_{сп} - r_{вн} - 0,5(\pi\lambda_{н.ш})^{-1} \ln \left( 1 + \frac{\delta_{н.ш}}{0,5d_3 + \delta_{із}} \right) - 1 \right], \quad (15)$$

де  $d_3$  – зовнішній діаметр трубопроводу;  $\lambda_{із}$  – теплопровідність теплоізоляційного шару;  $\lambda_{н.ш}$  – теплопровідність матеріалу стінки захисної труби (покривного шару);

$r_{заг}$  – загальний опір теплопередачі ізолюваного трубопроводу:

$$r_{заг} = \frac{t_p - t_H}{q_H k_1}, \quad (16)$$

тут  $t_p$  – розрахункова температура теплоносія,  $q_H$  – нормований тепловий потік,  $k_1$  – коефіцієнт, що враховує зміну вартості теплоти і теплоізоляції, приймаються за [7];

$r_{zp}$  – термічний опір ґрунту знаходимо за виразом

$$r_{zp} = (2\pi\lambda_{zp})^{-1} \ln \left( \frac{2h}{d_3} + \sqrt{\left(\frac{2h}{d_3}\right)^2 - 1} \right), \quad (17)$$

тут  $\lambda_{zp}$  – теплопровідність ґрунту,  $h$  – глибина закладки осі трубопроводу;

$r_{en}$  – термічний опір впливу одного трубопроводу на інший вираховуємо за формулою

$$r_{en} = (2\pi\lambda_{zp})^{-1} \ln \left( \sqrt{1 + \left(\frac{2h}{l}\right)^2} \right), \quad (18)$$

тут  $l$  – міжосьова віддаль трубопроводів.

Товщину ізоляції за формулою (15) можна знайти лише числово. Для цього використано метод послідовних наближень (метод ітерацій) [11]. Аналіз розв'язків з наперед заданою точністю показав швидку збіжність методу. Виконано порівняльні розрахунки товщини ізоляції попередньо ізолюваних трубопроводів за наведеними залежностями і за залежностями із норм інших держав. Як показали розрахунки товщини ізоляції трубопроводу, величина термічного опору покривного шару порівняно з величиною  $r_{заг}$  мала і нею можна знехтувати (похибка не перевищує 1...2%). Тоді вираз (15) набуде вигляду

$$\delta_3 = 0,5d_3 [\exp 2\pi\lambda_{i3} (r_{заг} - r_{zp} - r_{en}) - 1]. \quad (19)$$

**Висновки.** Отримано залежності для знаходження температури теплоносія в трубопроводах теплових мереж і мережах гарячого водопостачання, прокладених в середовищах з однаковою або з різними температурами навколишнього середовища.

З умови допустимого теплового потоку методом послідовних наближень знайдено товщину ізоляції подавального і зворотного трубопроводів мереж при двотрубному безканалному прокладанні з урахуванням покривного шару і без нього. З метою спрощення числового розв'язку в загальному опорі трубопроводу не враховано термічний опір покривного шару, як малої величини порівняно із загальним опором.

1. Андрійчук Н.Д., Соколов В.И., Коваленко А.А, Дядичев К.М. Пути совершенствования систем теплоснабжения. – Луганск: Изд-во СНУ им. В. Даля, 2003. – 244 с. 2. Даминов А.З. Моделирование теплогидравлических процессов и методика теплового расчета трубопроводных систем тепловых сетей // Пром. теплотехника. – 2009. Т.31, №1. – С.52–56. 3. ДСТУ-НБВ.2.5-35:2007. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі та мережі гарячого водопостачання з використанням попередньо теплоізолюваних трубопроводів. Настанова з проектування, монтажу, приймання та експлуатації: Чинний з 2008-07-01. – К.: Мінрегіонбуд, 2008. 4. Кузнецов Г.В., Половников В.Ю. Численный анализ потерь тепла магистральными теплопроводами в условиях полного и частичного затопления // Инжен.-физич. журн. – 2008. – Т.81, №2. – С.303–311. 5. Литвишиков В.М. Отечественный опыт эксплуатации систем теплоснабжения с применением индивидуальных тепловых пунктов // Энергетик. – 2008. – №10. – С.32-34. 6. СНиП 2.04.07-86. Тепловые сети / Госстрой СРСР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 48 с. 7. СНиП 2.04.14-88. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 32 с. 8. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1982, – 360 с. 9. Сотникова О.А., Мелькумов В.И. Теплоснабжение: Учебн. пособие. М.: Изд-во Ассоциац. Строит. вузов, 2007. – 296 с. 10. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Под ред. проф. Б.М. Хрустлева. – М.: Изд-во Ассоциац. Строит. вузов, 2008. – 784 с. 11. Теплоснабжение жилого района міста: Метод. вказівки, приклади викон. й завд. до курс. роботи з курсу “Проектування систем теплоснабження” для студ. Спец. 7.092108 “Теплогазопостачання і вентиляція” / Упор. В.І.Венгльовський. – Львів: ДУЛП, 1988. – 77 с.