

УДК 621:311

М. А. МАРТИНЯК, аспірантка НУ «Львівська політехніка»;

Й. С. МИСАК, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри НУ «Львівська політехніка»

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СИСТЕМИ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ З ТЕПЛОВИМ ПУНКТОМ

В статті розглянутий метод аналізу роботи систем централізованого теплопостачання, який дозволяє комплексно проаналізувати всі складові системи, визначити поетапно ефективність роботи складових системи, а також кількість тепла, що поступає тепловому споживачу та втрати його при генерації та транспортуванні. Показано, що в сучасних системах централізованого теплопостачання сумарні втрати тепла не перевищують 10 %.

Ключові слова: метод, система централізованого теплопостачання, ТЕЦ, котельня, тепловий пункт, тепловий споживач, економічність.

Вступ

Централізоване теплопостачання побутових та промислових об'єктів є важливою складовою загального енергозабезпечення України. Сьогодні централізоване теплопостачання займає основне місце в загальному теплопостачанні об'єктів. Більшість міст України мають системи централізованого теплопостачання з використанням генеруючих теплових об'єктів (котелень або ТЕЦ).

Переваги централізованого теплопостачання над децентралізованим очевидні: більша теплова ефективність, можливість спалювання дешевих видів палива місцевого походження, малі транспортні затрати, менша забрудненість навколишнього середовища, завдяки впровадженню систем високоефективного устаткування, тощо.

Проте, на сьогоднішній день для ефективної і економічної роботи систем централізованого теплопостачання потрібні великі кошти для їх модернізації із встановленням високоекономічного та екологічно обґрунтованого устаткування.

Постановка проблеми, ціль роботи

Протягом останніх 15 років більшість країн-сусідок України модернізували свої системи централізованого теплопостачання, щоб перейти на надання високоякісних послуг з централізованого постачання тепла і гарячої води за прийнятними цінами на основі фінансової стабільності. Україна не здійснила цей перехід.

Стан переважної більшості систем централізованого теплопостачання на даний момент можна охарактеризувати як жалюгідний. Це зумовлено, насамперед, тим, що в них встановлено морально та фізично застаріле устаткування. Спостерігається висока ступінь відмов і низька якість регулювання відпуску теплоносія, як наслідок – перевитрата палива, що призводить до наднормативних втрат теплоти або (що трапляється набагато частіше) недопоставки теплової енергії споживачеві.

Вирішення вищевказаних проблем є неможливим без індивідуального аналізу систем централізованого теплопостачання.

Основний зміст роботи

Розглянемо систему централізованого теплопостачання, яка складається з: джерела генерації тепла (ТЕЦ або котельня); теплового пункту; трубопроводів подачі енергії та трубопроводів подачі води в тепловий пункт, а також теплового споживача, див. рис.

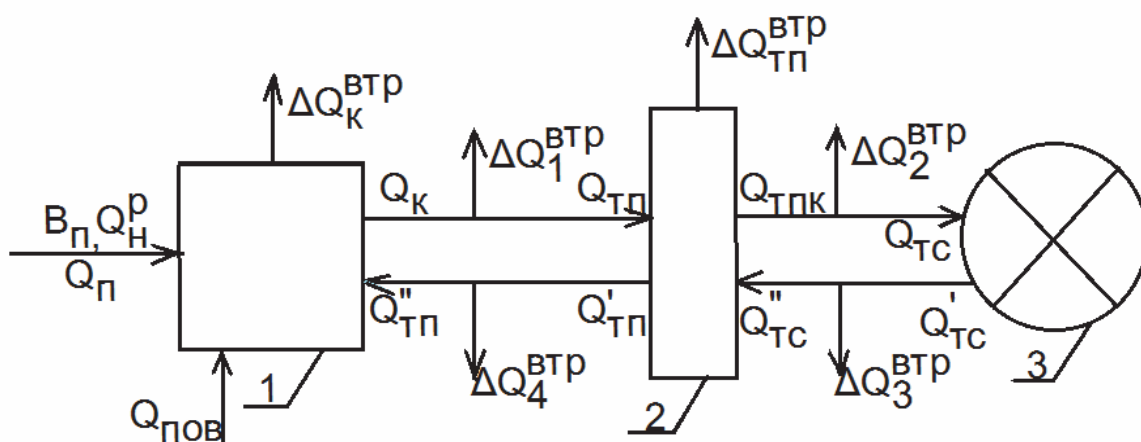


Рис. – Схема централізованого тепlopостачання з тепловим пунктом:
1 – джерело енергії (котельня або ТЕЦ); 2 – тепловий пункт; 3 – тепловий споживач

Для системи тепlopостачання, що розглядається, кількість теплової енергії Q_{Π} , що поступає в паливню котла із паливом, можна визначити так

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{к}} + \Delta Q_{\text{к}}^{\text{ВТР}}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{к}}$ – корисне тепло, що генерує котел; $\Delta Q_{\text{к}}^{\text{ВТР}}$ – втрати тепла в котлі.

Якщо виразити втрати тепла в котлі в долях одиниці, то вони будуть такими:

- q_2 – втрати тепла з відхідними газами;
- q_3 – втрати тепла з хімічною неповнотою згорання;
- q_4 – втрати тепла з механічним недопалом;
- q_5 – втрати тепла в навколишнє середовище;
- q_6 – втрати тепла з фізичним теплом жужелю.

Кількість тепла, що поступає в паливню котла буде складатися як сума

$$Q_{\Pi}^{\text{сум}} = Q_{\Pi} + Q_{\text{пов}} + Q_{\text{ТП}}'', \quad (2)$$

де $Q_{\text{пов}}$ – кількість тепла, що поступає з повітрям; $Q_{\text{ТП}}''$ – кількість тепла, що поступає з енергоносієм (конденсатом).

Складові тепла $Q_{\text{пов}}$ і $Q_{\text{ТП}}''$, що вносяться в паливню котла, в інженерних розрахунках інколи не враховують, так як їх частка тепла в загальній складовій незначна.

Для розрахунків введемо поправочні енергетичні коефіцієнти до загальної кількості тепла, що подається в паливню котла. Для незначної кількості тепла, що вноситься додатково з повітрям та конденсатом введемо такі поправочні енергетичні коефіцієнти.

Поправочний енергетичний коефіцієнт $K_{\text{пов}}$ на тепло, що вноситься в паливню котла з повітрям визначимо

$$K_{\text{пов}} = \frac{Q_{\text{н}}^{\text{сум}}}{Q_{\Pi} + Q_{\text{ТП}}''}, \quad (3)$$

а поправочний енергетичний коефіцієнт на тепло що вноситься із конденсатом

$$K_{\text{ТП}}'' = \frac{Q_{\Pi}^{\text{сум}}}{Q_{\Pi} + Q_{\text{пов}}}, \quad (4)$$

тоді сумарна кількість тепла, що поступає в паливню котла визначається

$$Q_{\Pi}^{\text{сум}} = Q_{\Pi} K_{\text{пов}} K_{\text{тп}}'' \quad (5)$$

Кількість корисного тепла, що генерує котел за період τ можна записати

$$Q_{\text{к}} = \int_0^{\tau} Q_i d\tau \quad (6)$$

При роботі n котлів кількість тепла, що генерує котельня (ТЕЦ) запишемо як суму тепла, що генерує кожний котел

$$Q_{\text{к}}^n = \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^{\tau} Q_i d\tau, \quad (7)$$

де n –кількість котлів.

Втрати тепла котлом визначимо за формулою

$$\Delta Q_{\text{к}}^{\text{втр}} = Q_{\Pi}^{\text{сум}} \sum_{i=2}^{i=6} q_i \quad (8)$$

За період роботи котла τ втрати тепла можна визначити

$$\Delta Q_{\text{к}}^{\text{втр}} = \int_0^{\tau} \Delta Q_{\text{к}}^{\text{втр}} d\tau \quad (9)$$

При роботі n котлів сумарні втрати за період τ котельні знайдемо

$$\Delta Q_{\text{сум к}}^{\text{втр}} = \sum_{i=1}^{i=n} \left(Q_{\Pi}^{\text{сум}} \sum_{i=2}^{i=6} q_i \right)_i \quad (10)$$

або

$$\Delta Q_{\text{сум к}}^{\text{втр}} = \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^{\tau} \Delta Q_{\text{к}j}^{\text{втр}} d\tau \quad (11)$$

Загальну кількість тепла, що поступає в котельню визначимо за тепловими втратами та корисним теплом котла, сумуючи корисне тепло та втрати

$$Q_{\Pi} = \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^{\tau} Q_i d\tau + \sum_{i=1}^{i=n} \int_0^{\tau} \Delta Q_{\text{к}j}^{\text{втр}} d\tau \quad (12)$$

Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{к}}$ котла визначимо із рівняння

$$\eta_{\text{к}} = \frac{Q_{\text{к}}}{Q_{\Pi}^{\text{сум}}} = \frac{\int_0^{\tau} Q_{\text{к}j} d\tau}{\int_0^{\tau} Q_{\text{к}j} d\tau + \int_0^{\tau} \Delta Q_{\text{к}j}^{\text{втр}} d\tau} \quad (13)$$

Кількість тепла, що поступає в тепловий пункт

$$Q_{\text{тп}} = Q_{\Pi}^{\text{сум}} - (\Delta Q_{\text{к}}^{\text{втр}} + \Delta Q_1^{\text{втр}}), \quad (14)$$

а коефіцієнт транспорту тепла від котельні до теплового пункту визначимо так

$$\eta_{\text{к-тп}}^{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{тп}}}{Q_{\text{к}}} = \frac{Q_{\text{к}} - \Delta Q_1^{\text{втр}}}{Q_{\text{к}}} = 1 - \frac{\Delta Q_1^{\text{втр}}}{Q_{\text{к}}} \quad (15)$$

Втрати тепла в тепловому пункті визначимо

$$\Delta Q_{\text{ТП}}^{\text{ВТР}} = Q_{\text{ТП}} - Q_{\text{ТП К}}, \quad (16)$$

а корисне тепло, що віддає тепловий пункт $Q_{\text{ТП К}}$ знайдемо так

$$Q_{\text{ТП К}} = Q_{\text{ТП}} - \Delta Q_{\text{ТП}}^{\text{ВТР}}. \quad (17)$$

За період роботи τ кількість тепла, що віддає тепловий пункт тепловому споживачу визначимо

$$Q_{\text{ТП К}}^{\tau} = \int_0^{\tau} Q_{\text{ТП К}} dt - \int_0^{\tau} \Delta Q_{\text{ТП К}}^{\text{ВТР}} dt. \quad (18)$$

При цьому теплове навантаження теплового пункту із сторони подачі тепла від котельні (ТЕЦ) визначимо так

$$Q_{\text{ТП}}^{\text{К}} = Q_{\text{ТП}} - Q'_{\text{ТП}}, \quad (19)$$

а із сторони теплового споживача

$$Q_{\text{ТП К}}^{\text{ТС}} = Q_{\text{ТП К}} - Q''_{\text{ТС}}, \quad (20)$$

де $Q_{\text{ТП}}^{\text{К}}$ – кількість теплоти, що отримує тепловий пункт зі сторони котельні (ТЕЦ);

$Q_{\text{ТП К}}^{\text{ТС}}$ – кількість теплоти, що використовує тепловий споживач.

Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ТП}}$ теплового пункту знайдемо

$$\eta_{\text{ТП}} = \frac{Q_{\text{ТП К}}^{\text{ТС}}}{Q_{\text{ТП}}^{\text{К}}} = \frac{\int_0^{\tau} Q_{\text{ТП К}}^{\text{ТС}} dt}{\int_0^{\tau} \Delta Q_{\text{ТП}}^{\text{К}} dt}. \quad (21)$$

Для сучасних теплових пунктів без введення додаткових джерел енергії ККД достатньо високий і знаходиться на рівні (97–99) %.

Коефіцієнт транспорту теплоти $\eta_{\text{ТР}}^{\text{ЗВ.К}}$ з конденсатом від теплового пункту до котла достатньо високий і при інженерних розрахунках його часто не враховують.

Визначити його можна так

$$\eta_{\text{ТР}}^{\text{ЗВ.К}} = \frac{Q''_{\text{ТП}}}{Q'_{\text{ТП}}} = \frac{\int_0^{\tau} Q''_{\text{ТП К}} dt}{\int_0^{\tau} \Delta Q'_{\text{ТП К}} dt}, \quad (22)$$

або

$$\eta_{\text{ТР}}^{\text{ЗВ.К}} = \frac{Q''_{\text{ТП}} - \Delta Q_4^{\text{ВТР}}}{Q'_{\text{ТП}}} = 1 - \frac{\Delta Q_4^{\text{ВТР}}}{Q'_{\text{ТП}}}. \quad (23)$$

При транспортуванні тепла від теплового пункту до споживача виникають його втрати при транспортуванні $\Delta Q_2^{\text{ВТР}}$.

Коефіцієнт транспорту визначають аналогічно транспорту тепла від котла до теплового пункту $\eta_{\text{ТП К-ТС}}^{\text{ТР}}$, а саме

$$\eta_{\text{ТП К-ТС}}^{\text{ТР}} = \frac{Q_{\text{ТС}}}{Q_{\text{ТП К}}} = \frac{Q_{\text{ТП К}} - \Delta Q_2^{\text{ВТР}}}{Q_{\text{ТП К}}} = 1 - \frac{\Delta Q_2^{\text{ВТР}}}{Q_{\text{ТП К}}}. \quad (24)$$

При подачі зворотного енергоносія від теплового споживача до теплового пункту в теплових мережах відбуваються втрати тепла. В залежності від температури зворотного енергоносія теплового споживача, ці втрати можуть змінюватися за абсолютною величиною. При цьому їх можна визначити через коефіцієнт транспорту зворотного енергоносія теплового споживача

$$\eta_{\text{ТС-ТП К}}^{\text{ТР}} = \frac{Q_{\text{ТС}}''}{Q_{\text{ТС}}'} = \frac{Q_{\text{ТС}}' - \Delta Q_i^{\text{ВТР}}}{Q_{\text{ТС}}'} = 1 - \frac{\Delta Q_i^{\text{ВТР}}}{Q_{\text{ТС}}'}. \quad (25)$$

Тоді коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ЦС}}$ системи централізованого тепlopостачання з тепловим пунктом визначаємо:

$$\eta_{\text{ЦС}} = \frac{Q_{\text{ТС}}}{Q_{\text{П}}^{\text{СУМ}}} = \frac{Q_{\text{К}}}{Q_{\text{П}}^{\text{СУМ}}} \frac{Q_{\text{ТП}}}{Q_{\text{К}}} \frac{Q_{\text{ТП К}}}{Q_{\text{ТП}}} \frac{Q_{\text{ТС}}}{Q_{\text{ТП К}}} \quad (26)$$

або

$$\eta_{\text{ЦС}} = \eta_{\text{К}} \eta_{\text{К-ТП}}^{\text{ТР}} \eta_{\text{ТП}} \eta_{\text{ТП К-ТС}}^{\text{ТР}}. \quad (27)$$

Кількість теплоти, що отримує тепловий споживач визначимо так

$$Q_{\text{ТС}} = Q_{\text{П}}^{\text{СУМ}} - (\Delta Q_{\text{К}}^{\text{ВТР}} + \Delta Q_1^{\text{ВТР}} + \Delta Q_{\text{ТП}}^{\text{ВТР}} + \Delta Q_2^{\text{ВТР}}). \quad (28)$$

При відомих коефіцієнтах корисної дії котла, теплового пункту та транспорту енергоносіїв, кількість теплоти, що поступає до теплового споживача знайдемо з рівняння

$$Q_{\text{ТС}} = Q_{\text{П}}^{\text{СУМ}} \eta_{\text{К}} \eta_{\text{К-ТП}}^{\text{ТР}} \eta_{\text{ТП}} \eta_{\text{ТП К-ТС}}^{\text{ТР}}. \quad (29)$$

За період τ кількість тепла, що отримає тепловий споживач визначимо

$$Q_{\text{ТС}}^{\tau} = \eta_{\text{К}} \eta_{\text{К-ТП}}^{\text{ТР}} \eta_{\text{ТП}} \eta_{\text{ТП К-ТС}}^{\text{ТР}} \int_0^{\tau} Q_{\text{П}}^{\text{СУМ}} dt. \quad (30)$$

Для сучасних систем централізованого тепlopостачання коефіцієнт корисної дії котла $\eta_{\text{К}}$, теплового пункту $\eta_{\text{ТП}}$ та транспорту енергоносіїв $\eta_{\text{К-ТП}}^{\text{ТР}}$ та $\eta_{\text{ТП К-ТС}}^{\text{ТР}}$ достатньо високі, що дозволяє транспортувати тепло до теплового споживача із малими втратами. Так при $\eta_{\text{К}} = 0,94$; $\eta_{\text{ТП}} = 0,98$; $\eta_{\text{К-ТП}}^{\text{ТР}} = 0,99$ та $\eta_{\text{ТП К-ТС}}^{\text{ТР}} = 0,99$ кількість теплоти від загальної сумарної теплоти, що поступає в паливню котла $Q_{\text{П}}^{\text{СУМ}}$ виражену в долях одиниці, споживатиме 0,9 або 90 % і більше, а для систем централізованого тепlopостачання, що відпрацювали свій технічний ресурс із котлами з низьким ККД та великими втратами тепла в транспортних системах, кількість тепла, що поступає до теплового споживача в порівнянні від сумарного тепла, що поступає в паливню котла, становитиме 70 % і менше.

Отже, для ефективного використання тепла, що генерує котельня, потрібна модернізація теплових мереж з встановленням високоефективного устаткування та заміна котлів котелень з високим ККД.

Висновки

1) Запропонований метод аналізу роботи систем централізованого теплопостачання дозволяє комплексно проаналізувати всі складові системи, визначити поетапно ефективність роботи складових системи, а також кількість тепла, що поступає тепловому споживачу, та втрати його при генерації та транспортуванні.

2) Для сучасних систем централізованого теплопостачання кількість тепла, що отримує тепловий споживач в порівнянні від кількості теплової енергії, що отримує котел з паливом, повітрям, що поступає в паливнях котла та живильною водою, становить 90 % і більше.

3) Для підвищення ефективності роботи існуючих систем централізованого теплопостачання потрібна модернізація або заміна застарілих, які відпрацювали свій технічний ресурс систем централізованого теплопостачання. При цьому потрібно перш за все визначати вузли системи з найбільшими втратами тепла при її модернізації, а при заміні – використати найбільш ефективні складові системи централізованого теплопостачання, які відповідають сучасному світовому технічному рівню.

Список літератури: 1. Шидловський, А. К. Енергетичні ресурси та потоки [Текст] / За загал. ред. А. К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2003. – 468 с. 2. Воїнов, О. П. Перспективи оновлення котлів у малих системах теплопостачання [Текст] / О. П. Воїнов, С. О. Воїнов, М. М. Полунін // Енергетика та електрифікація. – 2013. – № 4. – С. 11–13. – ISSN 0424-9879. 3. Соколов, Е. Я. Теплофикации и тепловые сети [Текст] / Е. Я. Соколов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 360 с. 4. Ионин, А. А. Теплоснабжение [Текст] / А. А. Ионин, Б. М. Хлыбов, В. Н. Братенков, Е. Н. Терлецкая. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.

Bibliography (transliterated): 1. Shydlovs'kyj, A. K. *Energetychni resursy ta potoky*. Ed. A. K. Shydlovs'kogo. Kiev: Ukrai'ns'ki encyklopedychni znannja, 2003. Print. 2. Voinov, O. P., S. O. Voinov and M. M. Polunin. "Perspektyvy onovlennja kotliv u malyh systemah teplopostachannja." *Energetyka ta elektryfikacija* 4 (2013): 11–13. ISSN 0424-9879. Print. 3. Sokolov, E. Ja. *Teplofikacii i teplovyje seti*. Moscow: Jenergoizdat, 1982. Print. 4. Ionin, A. A., et al. *Teplosnabzhenie*. Moscow: Strojizdat, 1982. Print.

Надійшла (received) 14.02.2014