

РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМ ПАРПОСТАЧАННЯ СЕРЕДНЬОГО ТИСКУ

Запропоновано метод центрального регулювання систем паропостачання середнього тиску. Порівняно з існуючим місцевим цей метод дає змогу зменшити втрати пари в конденсатопроводах та одержати економію палива і теплоти в системах паропостачання середнього тиску.

Предложено метод центрального регулирования систем пароснабжения среднего давления. Сравнительно с существующим местным этот метод дает возможность уменьшить потери пара в конденсатопроводах и получить экономию топлива и теплоты в системах пароснабжения среднего давления.

The method of the central regulation of steam supply systems average pressure is offered. In comparison with existing these methods give the chance to reduce steam losses in condenslines and to receive economy of fuel and warmth in steam supply systems.

Ключові слова: паропостачання, тиск, конденсатопровід.

Постановка проблеми в загальному вигляді. При експлуатації систем паропостачання основною проблемою є їх регулювання. Через неякісне регулювання відбуваються значні втрати теплової енергії за рахунок втрат пари. При цьому знижується коефіцієнт корисної дії системи паропостачання, збільшуються витрати палива та погіршуються санітарно-гігієнічні умови в приміщеннях. Тому розроблення нових методів регулювання систем паропостачання, більш досконалих порівняно з існуючими, – завдання досить актуальне.

Аналіз публікацій. У парових системах із надлишковим тиском пари використовують кількісне регулювання за рахунок зміни витрат пари чи регулювання пропусками [1].

При цьому застосовують центральне та місцеве регулювання. При центральному регулюванні кількість пари регулюють у котельні або на ТЕЦ, тобто там, де отримують пару, при місцевому – в тепловому вводі чи в місці підключення теплообмінника [2].

Міськове регулювання виконують вручну за допомогою вентиля або автоматично при встановленні термостатичного клапана з датчиком. Регулювання вручну вентиля не досить точно і некоректно, оскільки функціональне призначення вентиля – відкривати чи закривати подачу пари, тобто це запірна арматура. Використання термостатичного клапана поліпшує процес регулювання й одночасно збільшує капітальні витрати на систему [3].

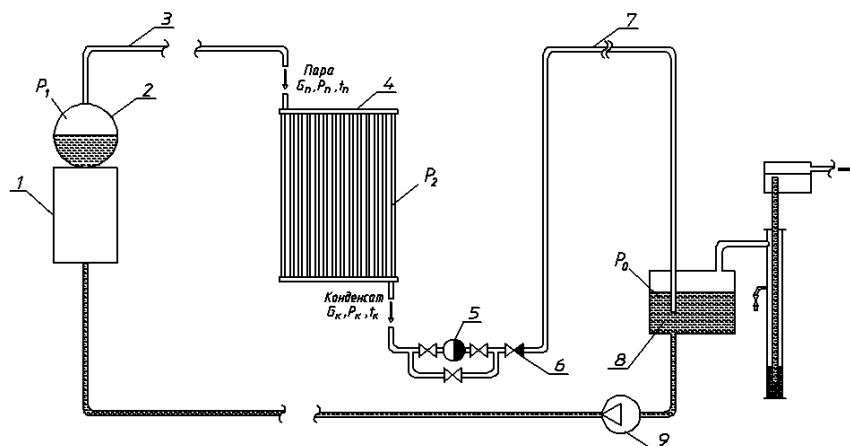
Але головний недолік місцевого регулювання – це вплив транспортного запізнення на роботу парового котла і на зміну тиску в системі

паропостачання. З метою ліквідації цього недоліку розроблений метод центрального регулювання систем паропостачання низького тиску [4, 5]. Для парових систем середнього тиску такий метод відсутній.

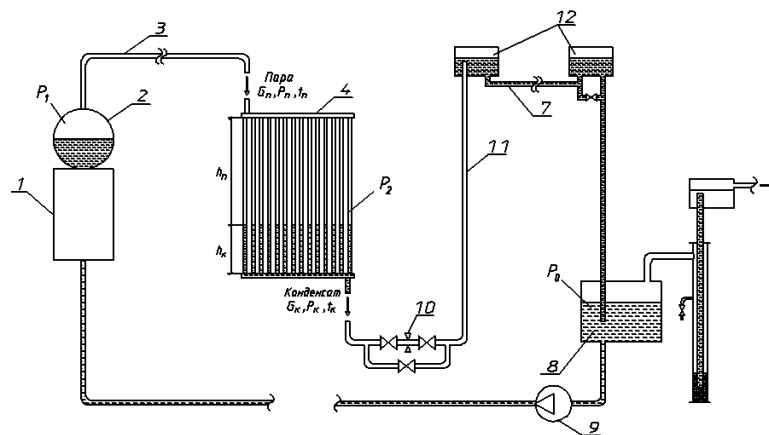
Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.

Основна проблема полягає у відсутності методу центрального регулювання системи паропостачання середнього тиску. Тому за мету ставиться розроблення даного методу. При цьому вся система, тобто всі її елементи (парогенератор, парова мережа та мережа конденсатопроводів), розглядаються як одне ціле. Регулювання передбачають у котельні для всіх споживачів одночасно, наприклад залежно від зміни температури зовнішнього повітря.

Виклад основного матеріалу. З метою розроблення такого методу розглянемо схеми двох систем паропостачання. Кожна із цих систем має джерело теплоти (паровий котел), калориферну установку, паропровід для підведення пари в калориферну установку та конденсатопровід для відведення конденсату. Але в одній системі для відведення конденсату встановлений конденсатовідвідник (рис.1, а), а в іншій послідовно розміщені підпірна шайба та гідрозатвор (рис.1, б).



а)



б)

Рис. 1 – Схеми систем паропостачання:

а) з конденсатовідвідником; б) з підпірною шайбою та гідрозатвором: 1 – паровий котел; 2 – парозбірник; 3 – паропровід; 4 – калорифер; 5 – конденсатовідвідник; 6 – зворотний

клапан; 7 – конденсатопровід; 8 – закритий конденсатний бак із гідрозатвором; 9 – конденсатна помпа; 10 – підпірна шайба; 11 – гідрозатвор; 12 – замикаючі ємності; P1, P2, P0 – тиск відповідно в парозбірнику, калорифері та в конденсатному баці.

Перша схема, тобто схема, зображена на рис.1, а, є традиційною для систем паропостачання середнього тиску. Другу схему будемо вважати запропонованою схемою, тому що в існуючих системах паропостачання середнього тиску не використовується гідрозатвор.

Спочатку розглянемо роботу системи паропостачання при традиційній схемі з конденсатовідвідником (рис.1, а). При такій схемі передбачають місцеве регулювання. Водяна пара в паровому котлі накопичується в парозбірнику. При цьому тиск пари підтримується постійний. Із парозбірника по паропроводу вона надходить до калориферної установки, де відбувається її конденсація за рахунок нагрівання зовнішнього повітря. Конденсат відводиться за допомогою конденсатовідвідника в конденсатопровід. По конденсатопроводу він транспортується до закритого конденсатного бака. Потім конденсатною помпою подається знову в котел.

При зміні температури зовнішнього повітря місцеве регулювання здійснюється внаслідок зміни кількості пари, що надходить до калорифера. Це відбувається за допомогою вентиля або термостатичного клапана, встановленого перед калорифером. Зміна витрати пари приводить до зміни тиску в паропроводі, а через деякий час і в парозбірнику. Зміна тиску в парозбірнику викликає необхідність зміни витрати палива в паровому котлі з метою підтримання постійного тиску.

Отже, за час, що пройшов від зміни витрати пари перед калориферною установкою до зміни витрати палива в паровому котлі, мала місце перевитрата палива внаслідок проскакування пари в конденсатопровід і втрати її.

Тепер розглянемо роботу системи паропостачання середнього тиску, в якій послідовно встановлені підпірна шайба та гідрозатвор (рис.1, б). Аналіз роботи такої системи паропостачання свідчить про те, що за аналогією з системою паропостачання низького тиску в системі паропостачання середнього тиску можна використати центральне регулювання, якщо послідовно встановити підпірну шайбу та гідрозатвор. Як і в попередній схемі, водяна пара, що утворюється в паровому котлі, накопичується в парозбірнику, але при центральному регулюванні тиск пари та її витрата підтримуються залежно від температури зовнішнього повітря. Калориферна установка при такій схемі залежно від температури зовнішнього повітря може бути частково заповнена конденсатом, тобто вона може бути розділена на парову і конденсатну частину (рис.1, б). Таким чином, площа поверхні нагрівання калорифера регулюється за рахунок зміни рівня конденсату, а рівень конденсату змінюється за рахунок зміни тиску в парозбірнику. При цьому конденсат повинен переохолоджуватись приблизно на 5 – 10 °С з метою уникнення подальшого його скіпання. Для відведення конденсату використовується гідро затвор, перед яким необхідно встановити підпірну шайбу. Саме таке розташування обладнання і дозволяє здійснювати

регулювання площі поверхні нагрівання в калорифері за допомогою зміни тиску в парозбірнику. На початку та в кінці конденсатопроводу необхідно встановити замикаючі ємності. У цьому випадку в разі припинення надходження конденсату є можливість „замкнути” його частину в конденсатопроводі та уникнути потрапляння повітря в нього. Але при тривалих перервах у роботі й прокладці конденсатопроводу в зоні низьких температур потрібно передбачати ізоляцію та патрубков для зливу конденсату в конденсатний бак із метою уникнення розмерзання конденсатопроводу.

Для визначення рівня конденсату в калорифері h_K розглянемо систему рівнянь, яка описує тепловий баланс калорифера при будь-якій наперед заданій температурі зовнішнього повітря,

$$\begin{cases} Q_{\text{кал}} = L\rho_{\text{нов}}c_{\text{нов}}(t_{\text{в}} - t_{\text{зов}}) \\ Q_{\text{кал}} = k_{\text{П}}F_{\text{П}}\Delta t_{\text{П}} + k_{\text{К}}F_{\text{К}}\Delta t_{\text{К}} \end{cases}, \quad (1)$$

де $Q_{\text{кал}}$ – тепловіддача калорифера, кДж/год;

$c_{\text{нов}}$ – теплоємність повітря, кДж/(кг·°С);

$L_{\text{нов}}$ – кількість повітря, яка нагрівається в калорифері, м³/год;

$\rho_{\text{нов}}$ – густина повітря, кг/м³;

$t_{\text{вн}}$ – температура повітря після нагрівання, °С;

$t_{\text{зов}}$ – температура зовнішнього повітря, °С;

$k_{\text{П}}, k_{\text{К}}$ – відповідно коефіцієнт теплопередачі тієї частини калорифера, де знаходиться пара і конденсат, Вт/(м²·°С);

$F_{\text{П}}, F_{\text{К}}$ – відповідно площа поверхні нагрівання частини калорифера, де знаходиться пара і конденсат, м²;

$\Delta t_{\text{П}}, \Delta t_{\text{К}}$ – різниця середніх температур між температурою пари та повітря або між температурою конденсату і повітря, °С.

На основі системи рівнянь (1) можна записати, що тепловіддача калорифера дорівнює

$$Q_{\text{кал}} = k_{\text{П}}F_{\text{П}}\left[t_{\text{П}} - \left(\frac{t_{\text{в}} + t_{\text{зов}}}{2}\right)\right] + k_{\text{К}}F_{\text{К}}\left[\left(\frac{\tau_{\text{вх}} + \tau_{\text{вих}}}{2}\right) - \left(\frac{t_{\text{в}} + t_{\text{зов}}}{2}\right)\right], \quad (2)$$

де $t_{\text{П}}$ – температура пари на вході в калорифер, °С;

$\tau_{\text{вх}}$ – температура конденсату на верхньому рівні конденсату, °С;

$\tau_{\text{вих}}$ – температура конденсату на нижньому рівні конденсату, °С.

З урахуванням кількості трубок у калорифері та їх розмірів, тобто знаючи, що $F = F_{\text{П}} + F_{\text{К}} = n\pi dh_{\text{П}} + n\pi dh_{\text{К}} = n\pi dh$, отримуємо рівняння

$$Q_{\text{кал}} = k_{\text{П}}n\pi dh_{\text{П}}\left[t_{\text{П}} - \left(\frac{t_{\text{в}} + t_{\text{зов}}}{2}\right)\right] + k_{\text{К}}n\pi dh_{\text{К}}\left[\left(\frac{\tau_{\text{вх}} + \tau_{\text{вих}}}{2}\right) - \left(\frac{t_{\text{в}} + t_{\text{зов}}}{2}\right)\right], \quad (3)$$

де d – зовнішній діаметр трубок калорифера, м;

n – кількість трубок у калорифері, шт.;

h – висота трубки калорифера, м;

h_{Π} – частина трубки калорифера, де знаходиться пара, м;
 h_K – частини трубки калорифера, де знаходиться конденсат, м.
 Здійснивши заміну $h = h_K + h_{\Pi} \Rightarrow h_{\Pi} = h - h_K$, можна записати, що

$$Q_{\text{кал}} = k_{\Pi} n \pi d (h - h_K) \left[t_{\Pi} - \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{зоб}}}{2} \right) \right] + k_K n \pi d h_K \left[\left(\frac{\tau_{\text{вх}} + \tau_{\text{вих}}}{2} \right) - \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{зоб}}}{2} \right) \right]. \quad (4)$$

Розкривши дужки, отримаємо такий вираз:

$$Q_{\text{кал}} = k_{\Pi} n \pi d h \left[t_{\Pi} - \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{зоб}}}{2} \right) \right] - k_{\Pi} n \pi d h_K \left[t_{\Pi} - \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{зоб}}}{2} \right) \right] + k_K n \pi d h_K \left[\left(\frac{\tau_{\text{вх}} + \tau_{\text{вих}}}{2} \right) - \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{зоб}}}{2} \right) \right]. \quad (5)$$

Якщо у вираз (5) підставити тепловіддачу калорифера, визначену за допомогою кількості повітря, яке нагрівається в ньому, то висоту рівня конденсату для калориферів із гладкими трубками можна обчислити за формулою

$$h_K = \frac{k_{\Pi} F \left[t_{\Pi} - \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{зоб}}}{2} \right) \right] - L \rho_{\text{нов}} c_{\text{нов}} (t_{\text{г}} - t_{\text{зоб}})}{n \pi d \left(k_K \left[\left(\frac{\tau_{\text{вх}} + \tau_{\text{вих}}}{2} \right) - \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{зоб}}}{2} \right) \right] - k_{\Pi} \left[t_{\Pi} - \left(\frac{t_{\text{г}} + t_{\text{зоб}}}{2} \right) \right] \right)}. \quad (6)$$

Діаметр підпірної шайби визначається для розрахункового режиму і залишається постійним в усьому діапазоні регулювання. Для обчислення діаметра підпірної шайби можна застосовувати рівняння

$$d_{\text{н.ш.}} = 0,12 \cdot \sqrt[4]{\frac{G_K^2}{\Delta P}}, \quad (7)$$

де G_K – витрата конденсату, кг/год;

ΔP – необхідні втрати тиску на шайбі в розрахунковому режимі, МПа.

Тиск водяної пари в парозбірнику котла залежно від температури зовнішнього повітря визначають за допомогою формули

$$P_1 = P_0 + S \left(\frac{B_P Q_H^P \eta_K}{r_{\Pi}} \right)^2 \left(\frac{t_B - t_{\text{зоб}}^P}{t_B - t_{\text{зоб}}^P} \right)^2, \quad (8)$$

де P_0 – тиск у конденсатному баці, МПа;

S – сумарна гідравлічна характеристика системи паропостачання в розрахунковому режимі, МПа/(кг/год)²;

B_P – розрахункова витрата палива, кг/год або нм³/год;

Q_H^P – нижча теплота згорання палива, кДж/кг чи кДж/ нм³;

η_K – ККД котла;

r_{Π} – теплота пароутворення, кДж/кг;

t_B – температура повітря після нагрівання, °С;

$t_{зОВ}$ – температура зовнішнього повітря, °С;

$t_{зОВ}^P$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С.

Висновок. Одержані рівняння є основою способу центрального регулювання системи паропостачання середнього тиску. Запропонований метод центрального регулювання систем паропостачання середнього тиску порівняно з існуючим місцевим методом дає змогу зменшити втрати пари в конденсатопроводах та одержати економію палива і теплоти в системах паропостачання середнього тиску.

Література

1. Цветков В.В. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона/В.В. Цветков. – К.: Будівельник, 1978. – 112 с.
2. Кронгауз С.Д. Тепловая обработка изделий на заводах сборного железобетона/С.Д. Кронгауз. – М., 1961. – 267 с.
3. Цветков В.В. Организация пароснабжения промышленных предприятий/В.В. Цветков. – М.: Энергия, 1980. – 206 с.
4. Строй А.Ф. Регулювання систем паропостачання/А.Ф. Строй,
5. О.С. Дубина//Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – Вип.18. – С.174 – 177.
6. Строй А.Ф. Регулювання тепловіддачі парового калорифера за рахунок змін рівня конденсату в ньому/А.Ф. Строй, О.С. Дубина//Коммунальное хозяйство городов: науч.-техн. сб./Харьков. нац. акад. городского хоз-ва. – К.: Техніка, 2006. – Вып.72. – С.175 – 179.

Надійшла до редакції 28.10.2008

© А.Ф. Строй, О.С. Дубина