

УДК 62.621

В.І. Кольшин, канд. техн. наук, доц., Г.Ю.Євляхович, магістрант

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ВИГОРОДКИ РЕАКТОРА ЕНЕРГОБЛОКУ №1 ВП ЮУАЕС

Зроблено аналіз розрахованого флюенсанейтронів для вигородки реактора ВВЕР-1000. Визначені поточні та прогностні механічні властивості матеріалу вигородки – сталі 08X18H10T. Представлена математична модель радіаційної повзучості матеріалу елемента ВКП. Реалізована математична модель розпухання аустенітної сталі 08X18H10T, яка враховує напружено-деформований стан, температуру, вплив пластичних деформацій та радіаційної повзучості. Дані оцінки зміни форми та напруженому стану вигородки протягом 25, 40 та 60 років роботи реактора ВВЕР-1000. Показано, що за період 60 років метал вигородки задовольняє всім пред'явленим вимогам.

Ключові слова: внутрішньокорпусні пристрої (ВКП), вигородка, флюенс, радіаційне розпухання, радіаційна повзучість, ВВЕР-1000, об'ємні деформації.

Надійшла 12.02.2016

Received 12.02.2016

УДК 620.9:697.32

М.Ф. Боженко, канд. техн. наук, доцент; І.Я. Перевьорткіна

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

КАСКАДНА УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ДИМОВИХ ГАЗІВ ОПАЛЮВАЛЬНИХ ВОДОГРІЙНИХ КОТЕЛЕНЬ

Наведені методику і результати розрахунків енергетичної ефективності калориферних установок, що використовуються для утилізації теплоти димових газів водогрійних котелень, при їх експлуатації в «сухому» та «мокрому» режимах. Визначені мінімальні температури охолодження димових газів в калориферах, при яких досягається максимальний потік відведеної теплоти. Встановлені оптимальні значення коефіцієнтів байпасування гарячих димових газів поза калориферними установками при різних початкових температурах.

Ключові слова: котел, димові гази, утилізатор-калорифер, тепловий потік, ентальпія, вологовміст, енергетична ефективність.

Вступ

Сьогодні на передній план в комунально-побутовій теплоенергетиці висунута задача економії природного газу, одним з шляхів якої є підвищення коефіцієнта корисної дії джерел теплоти, зокрема, опалювальних водогрійних котелень.

Відомо, що в багатьох діючих котельнях систем централізованого та помірно-централізованого теплопостачання в експлуатації знаходяться водогрійні котли типу КВ-ГМ, температура димових газів на виході з яких при спалюванні газу t'_r коливається від 140°C до 190°C, а ККД – від 90,5% до 92,5% [1]. Зниження t'_r сприятиме підвищенню ККД котла, а загалом і котельні в цілому.

Постановка задачі

Теплота димових газів, що охолоджуються, може бути використана для нагрівання води власних потреб котельні (сирої чи хімічно-підготовленої), гарячого водопостачання (при централізованому її приготуванні у котельні), низькотемпературних систем опалення і т.ін., в поверхневих чи контактних теплоутилізаторах.

Виконані на кафедрі ТПТ НТУУ «КПІ» дослідження порівняльної ефективності утилізаторів теплоти димових газів пароводогрійних котелень показали, що з економічної точки зору за мінімальною величиною зведених витрат найефективнішими є поверхневі утилізатори-калорифери [2]. При виконанні розрахунків розглянуті варіанти встановлення за паровим котлом ДЕ-6,5-14 ГМ шести поверхневих калориферів КсК 3-12 тепловою потужністю 246 кВт, що використовуються для нагрівання сирої води в котельні від 5 до 25 °С, а також контактного утилізатора з активною насадкою КТАН-0,5 УГ теплопродуктивністю 520 кВт, який використовується для нагрівання сирої води від 5 до 20 °С і хімічно підготовленої води від 20 до 50 °С. За відомими співвідношеннями визначали зведені витрати, які для калориферної установки склали 55600 грн, а для контактного утилізатора – 840000 грн. Питомі зведені витрати, які віднесені до 1 кВт утилізованої теплоти, склали відповідно 226 грн/кВт і 1600 грн/кВт.

Поверхневі теплоутилізатори зазвичай експлуатуються у так званому «сухому» режимі, коли від димових газів відводиться тільки «явна» теплота при їх постійному вологовмісті, а кінцева температура димових газів на виході з утилізатора t''_r становить 60°C , яка більша за температуру точки роси $t_{р,дг}$ [3]. Збільшити потік відведеної від димових газів теплоти можливо при їх глибокому охолодженні до температури, яка менша за температуру точки роси.

Метою даної роботи є порівняльний аналіз енергетичної ефективності використання поверхневих утилізаторів – калориферів для глибокої утилізації димових газів в водогрійних котельнях систем централізованого та помірно-централізованого тепlopостачання.

Методика розрахунків для калориферних установок, що експлуатуються в «сухому» режимі

Приклад схеми роботи калориферів в «сухому» режимі для водогрійної котельні з трьома котлами наведений на рис.1.

Можливий потік утилізованої теплоти при роботі калориферних установок в «сухому» режимі, кВт, визначається з рівняння

$$Q_{к.г1} = \sum L_{гi}^c (h'_r - h''_r), \tag{1}$$

де $L_{гi}^c$ - витрата сухих димових газів для однієї калориферної установки, кг/с; h'_r та h''_r -ентальпія димових газів на вході в калориферні установки та виході з них, кДж/кг.

Для визначення ентальпії димових газів використана залежність[3]

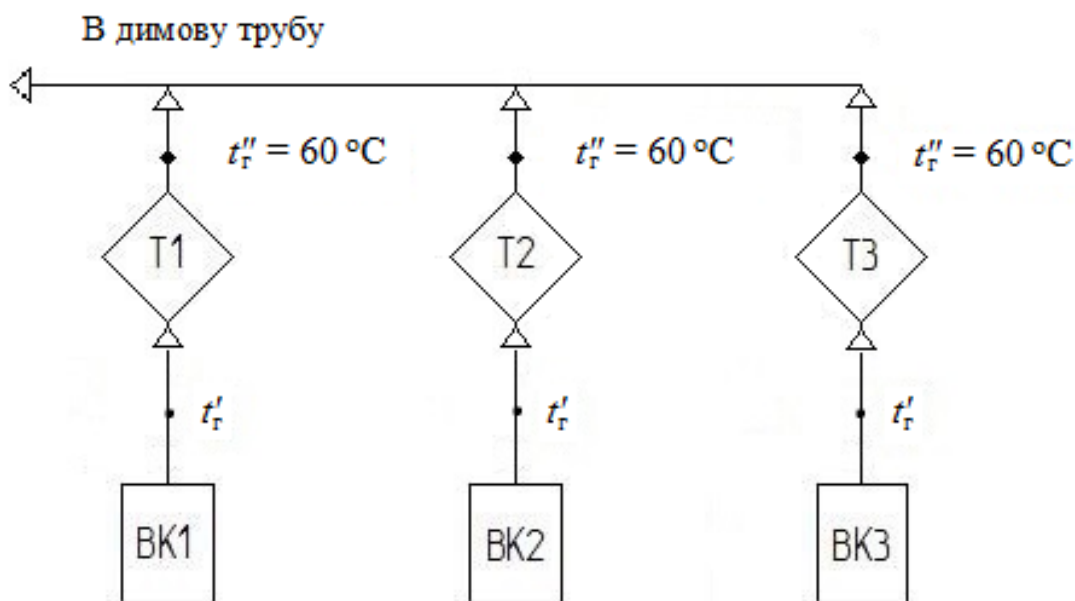


Рисунок 1 – Робота калориферів у «сухому» режимі :ВК1-ВК3 – водогрійні котли; Т1-Т2- теплоутилізатори-калорифери

$$h_{гi} = c_{с.гi} t_{гi} + (2500 + 1,97 t_{гi}) d'_{гi}, \tag{2}$$

де $c_{с.гi}$ - теплоємність (кДж/кг); $t_{гi}$ - температура ($^\circ\text{C}$); $d'_{гi}$ - вологовміст (кг/кгс.г) димових газів.

Вологовміст продуктів згоряння природного газу для усередненого складу, г/кг с.г, залежить в основному від коефіцієнта надлишку повітря $\alpha_{вiдх}$, а також вологовмісту дуттьового повітря d_n , г/кг с.п, і визначається за формулою [4]

$$d'_r = (130 + \alpha_{вiдх} d_n) / (\alpha_{вiдх} - 0,058).$$

Беручи $\alpha_{вiдх}=1,15$, $ad_n=10$ г/кг с.п, отримаємо величину $d'_r = 130$ г/кг с.п, або 0,13 кг/кгс.п.

У всіх наступних розрахунках потік утилізованої теплоти будемо відносити до $L_{гi}^c = 1$ кг/с, тоді з урахуванням постійної теплоємності $c_{с.г} = 1$ кДж/(кг·К) та температури димових газів на виході з калориферів $t''_r = 60^\circ\text{C}$, формула (1) набуде вигляду

$$Q_{к.г1} = 1,256(t'_r - 60). \tag{3}$$

Методика і результати розрахунків для калориферних установок, що експлуатуються в «мокрому» режимі

Для глибокого охолодження продуктів згоряння нижче температури точки роси вельми енергоефективними є конденсаційні контактні утилізатори[5], але з іншого боку, як показано вище, зведені витрати в них більші ніж в поверхневих утилізаторах-калориферах.

Збільшити потік відведеної від димових газів теплоти можна при експлуатації калориферів у так званому «мокрому» режимі, коли від димових газів відводиться і «явна» і «прихована» теплота.

Практичний досвід роботи такої установки описаний в роботі [6]. Для глибокого охолодження відхідних газів використана тепло-утилізаційна установка, що встановлена за одним з парових котлоагрегатів ДЕ-10-14ГМ на Ульяновській ТЕЦ-3. Вона виконана на базі біметалевого калорифера КСК 4-11 і призначена для нагрівання сирої води перед подачею на хімводопідготовку. Огляд роботи установки через 2 роки експлуатації показав, що хімічна корозія, ерозійне зношення та забруднення зовнішньої поверхні калорифера було відсутнє.

Останнє, на наш погляд, повинно зняти перестороги щодо експлуатації калориферів у «мокрому» режимі, коли від димових газів при їх охолодженні відводиться і «явна» і «прихована» теплота.

Але все таки при роботі теплоутилізаційних установок при глибокому охолодженні димових газів необхідно запобігти конденсоутворенню в газоходах котельні і димовій трубі, тобто забезпечити температуру димових газів в них не менше як $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, що можна досягти наступними методами [7]:

- підігріванням охолоджених димових газів у поверхневому теплообміннику, нагрівальним теплоносієм в якому може бути гаряча вода після водогрійних котлів (для водогрійних котельнь), або гарячі димові гази, що відібрані перед економайзером парового котла (для котельнь з паровими котлами);
- підмішуванням до відхідних газів повітря, нагрітого в повітронагрівачі котельні (для котельнь з паровими котлами);
- байпасуванням частини димових газів поза теплоутилізаторами (для котельнь всіх типів).

В подальших розрахунках обрано метод байпасування частини димових газів після котлів в обхід калориферів, оскільки він потребує мінімальних капіталовкладень порівняно з іншими.

На рис.2 представлена каскадна схема теплоутилізаційної калориферної установки для котельні, наприклад, з трьома водогрійними котлами.

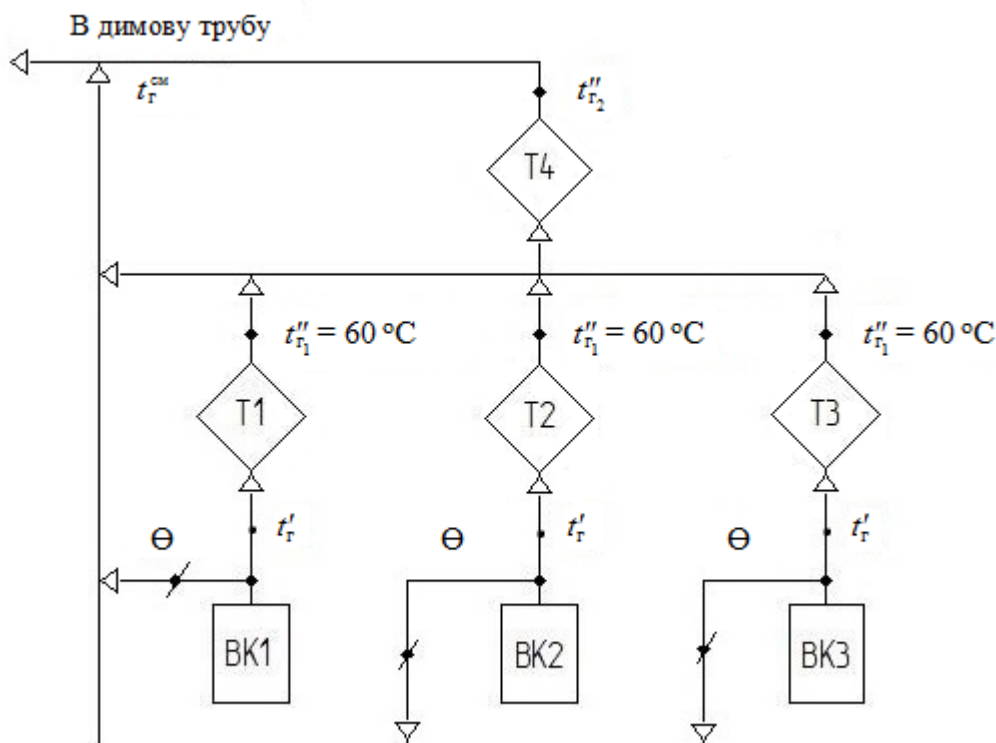


Рисунок 2 – Каскадна схема утилізації теплоти димових газів: ВК1-ВК3-водогрійні котли; Т1-Т3-теплоутилізатори-калорифери («сухий» режим роботи); Т4-теплоутилізатори-калорифери («мокрый» режим роботи); \square -коефіцієнт байпасування

Згідно з наведеною на рис. 2 схемою за кожним з водогрійних котлів встановлені калориферні установки, що експлуатуються в «сухому» режимі, тобто температура димових газів після них $t''_{г}$ становить 60°C . Далі димові гази надходять на одну калориферну установку, що експлуатується у «мокрому» режимі, температура димових газів після якої $t''_{г2}$ буде меншою за температуру точки роси $t_{р.д.г.}$. Наявність однієї загальної установки (Т4), що працює в «мокрому» режимі, а не за кожним котлом окремо, дасть змогу, у разі потреби, з мінімальними капіталовкладеннями відремонтувати її, або замінити.

Для виключення конденсації водяних парів з димових газів в газовому тракті та димовій трубі передбачено подачу частини димових газів з температурою $t'_{г}$ по байпасному газоходу.

Коефіцієнт байпасування Θ підбирається таким, щоби температура суміші димових газів $t_{г}^{\text{CM}}$ була не меншою за 60°C , для чого використовується рівняння теплового балансу

$$t_{г}^{\text{CM}} c_{с.г}^{\text{CM}} = t''_{г2} c''_{с.г} (1 - \Theta) + t'_{г1} \Theta c'_{с.г}$$

Беремо $t_{г}^{\text{CM}} = 60^{\circ}\text{C}$, а $c_{с.г} = \text{Const}$, тоді

$$\Theta = \frac{60 - t''_{г2}}{t'_{г1} - t''_{г2}}$$

Можливий потік утилізованої теплоти в кожній з установок, що працюють у «сухому» режимі, кВт, віднесений до масової витрати сухих димових газів $L_{г}^c = 1 \text{ кг/с}$

$$Q_{к.г1} = (1 - \Theta) 1,256(t'_{г} - 60).$$

Можливий потік утилізованої теплоти в установці, що працює в «мокрому» режимі, кВт, віднесений до масової витрати сухих димових газів $L_{г}^c = 1 \text{ кг/с}$

$$Q_{к.г2} = (1 - \Theta) 1,256(h''_{г1} - h''_{г2}), \quad (4)$$

де $h''_{г1}, h''_{г2}$ - ентальпії димових газів на вході в установку Т4 та виході з неї відповідно, кДж/кг.

Ентальпії димових газів визначаються за формулою (2).

З урахуванням температури $t''_{г1} = 60^{\circ}\text{C}$ і вологовмісту $d''_{г1} = 0,13 \text{ кг/кгс.г}$, формула (4) набуває вигляду

$$Q_{к.г2} = (1 - \Theta) \left\{ 400 - \left[t''_{г2} + (2500 + 1,97t''_{г2}) \frac{d''_{г2}}{1000} \right] \right\},$$

де $d''_{г2}$ - вологовміст димових газів після калориферної установки, що працює в «мокрому» режимі, г/кгс.г.

Вологовміст $d''_{г2}$, г/кгс.г, визначали за формулою, що рекомендована для цієї величини при охолодженні димових газів до повного насичення ($\varphi''_{г2} = 100\%$) [4]

$$d''_{г} = \frac{0,6382 + 4 \alpha_{\text{відх}}}{0,199 + \alpha_{\text{відх}}} e^{0,062 t''_{г}},$$

де $\alpha_{\text{відх}}$ - коефіцієнт надлишку повітря у відхідних димових газах.

Сумарний можливий потік утилізованої теплоти при каскадному встановленні калориферних установок

$$Q_{к.г} = Q_{к.г1} + Q_{к.г2}$$

За наведеною вище методикою виконані розрахунки залежностей коефіцієнтів байпасування Θ (рис.3) та потоку утилізованої теплоти $Q_{к.г}$ (рис.4) при каскадному встановленні калориферних установок від кінцевої температури охолоджених димових газів $t''_{г2}$ при різних температурах димових газів на виході з котлів - вході в калориферні установки $t'_{г1}$. Коефіцієнт надлишку повітря у відхідних димових газах брали $\alpha_{\text{відх}} = 1,15$.

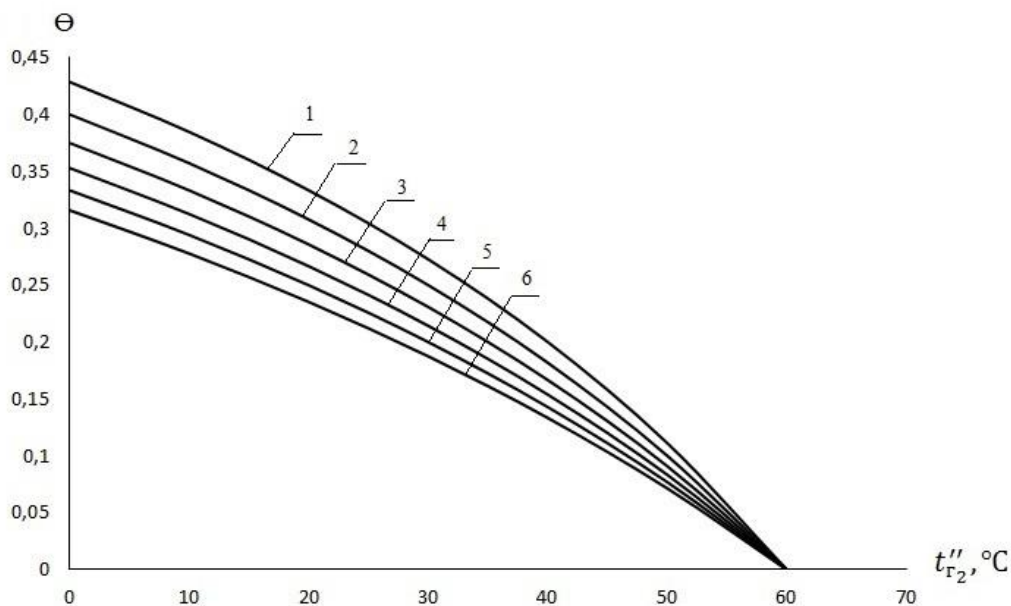


Рисунок 3 – Залежності коефіцієнта байпасування ϑ від кінцевої температури охолоджених газів t''_{r2} при температурах димових газів на вході в калорифер t'_{r1} , °C: 1-140; 2-150; 3-160; 4-170; 5-180; 6- 190

Аналіз отриманих результатів показав наступне:

- при температурі димових газів після калориферних установок $t''_{r2} = 60$ °C, яка є мінімальною при експлуатації калориферних установок в «сухому» режимі, коефіцієнт байпасування ϑ для будь-якої початкової температури димових газів дорівнює нулю;

- при зменшенні температури охолоджених димових газів величина ϑ збільшується, при цьому абсолютні значення коефіцієнта байпасування підвищуються зі зменшенням початкової температури;

- потік відведеної в калориферних установках теплоти збільшується зі зменшенням температури охолодження, при цьому мінімальні значення цієї величини характерні для «сухого» режиму роботи калориферів ($t''_{r2} = 60$ °C); абсолютні значення величини $Q_{к.г}$ підвищуються зі збільшенням початкової температури;

- максимальний потік відведеної теплоти в калориферних установках відповідає температурам димових газів на виході, які лінійно зменшуються від 24 °C (при $t'_{r1} = 140$ °C) до 19 °C (при $t'_{r1} = 190$ °C).

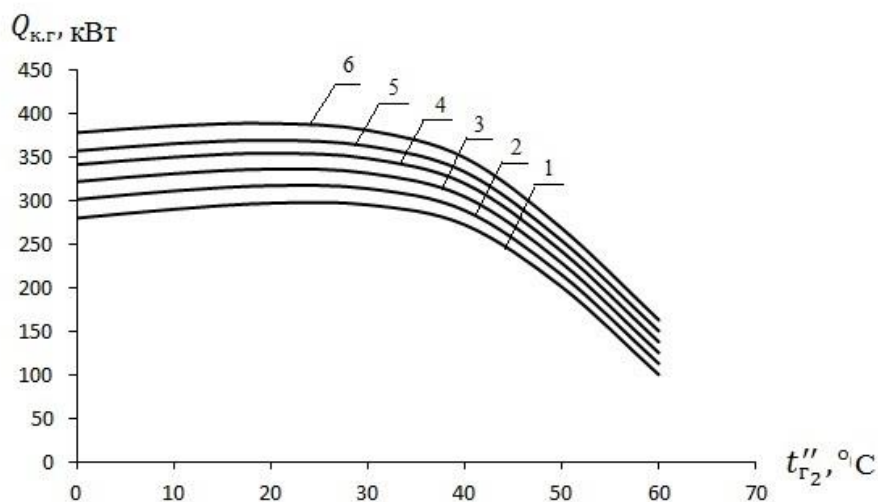


Рисунок 4 – Залежності питомого потоку відведеної теплоти $Q_{к.г}$ від кінцевої температури охолоджених димових газів t''_{r2} при температурах димових газів на вході в калорифер t'_{r1} , °C: 1-140; 2-150; 3-160; 4-170; 5-180; 6- 190

- мінімальний коефіцієнт байпасування при охолодженні димових газів до температур 19 – 24 °С складає 0,22 – 0,32;

- при глибокому охолодженні димових газів до температур 19 – 24 °С сумарний потік відведеної в калориферних установках теплоти збільшується приблизно у 2,3 – 3 рази порівняно з їх роботою у «сухому» режимі.

Практичні розрахунки оцінки енергетичної ефективності каскадної утилізації теплоти виконують в наступній послідовності.

1. В залежності від марки водогрійних котлів за паспортними або практичними даними визначають температуру димових газів на виході $t'_{г1}$, °С, та витрату природного газу на котел V_k , м³/год.

2. За рис.4 обирають ту температуру димових газів на виході з калорифера $t''_{г2}$, для якої потік відведеної теплоти $Q_{кг}$ буде максимальним, і за рис.3 визначають коефіцієнт байпасування \square .

3. За методикою [3] в залежності від складу природного газу визначають масу сухих димових газів $G_{гc}^c$, кг/м³.

4. Визначають сумарну витрату сухих димових газів ,кг/с, для всіх водогрійних котлів (n_k)

$$\sum L_{гc}^c = n_k \frac{V_k}{3600} G_{гc}^c. \quad (5)$$

5. Визначають збільшення потоку відведеної теплоти в каскадній калориферній установці порівняно з експлуатацією її в «сухому» режимі ,кВт

$$\Delta \sum Q_{кг} = (Q_{кг} - Q_{кг1}) \sum L_{гc}^c. \quad (6)$$

Величина $Q_{кг1}$ визначається за формулою (3), або за рис. 4, при $t''_{г2} = 60$ °С.

6. Приріст річної кількості утилізованої теплоти в каскадній теплоутилізаційній установці за опалювальний період, ГДж/рік

$$\Delta Q_{ут} = \Delta \sum Q_{кг} \frac{t_{вн} - t_{ср.о}}{t_{вн} - t_{р.о}} n_o 3,6 \cdot 10^{-3}, \quad (7)$$

де $t_{вн}$, $t_{ср.о}$, $t_{р.о}$ – температури внутрішнього повітря; середня за опалювальний період та розрахункова зовнішнього повітря відповідно, °С; n_o – продовжуваність опалювального періоду, діб/рік.

7. Збільшення енергетичної ефективності каскадної теплоутилізаційної установивпорівнянні з експлуатацією її в «сухому» режимі, грн/рік

$$\Delta E_{ф} = \Delta Q_{ут} \cdot C_{т}, \quad (8)$$

де $C_{т}$ – вартість одиниці теплоти, грн/ГДж.

Приклад

1. Для наведених на рис.1,2 схем обрано, наприклад, три водогрійні котли КВ-ГМ-10, для кожного з яких $t'_{г1} = 185$ °С, а $V_k = 1260$ м³/ год.

2. Згідно з рис.3,4 визначаємо $t''_{г2} = 19,5$ °С, $\square = 0,24$ і $Q_{кг} = 380$ кВт.

3. Для природного газу, що надходить в котельню, наприклад, з газопроводу Гоголево-Полтава, розраховано величину $G_{гc}^c = 13,09$ кг/м³, тоді за формулою (5) визначаємо сумарну витрату димових газів для всіх водогрійних котлів

$$\sum L_{гc}^c = 3 (1260 \cdot 13,09) / 3600 = 13,74 \text{ кг/с.}$$

4. З використанням формули (3) визначаємо потік утилізованої теплоти калориферними установками, що працюють у «сухому» режимі

$$Q_{кг1} = 1,256 (185 - 60) = 157 \text{ кВт.}$$

5. За формулою (6) визначаємо збільшення потоку відведеної теплоти в каскадній калориферній установці порівняно з експлуатацією її в «сухому» режимі

$$\Delta \sum Q_{кг} = (380 - 157) 13,74 = 3064 \text{ кВт.}$$

6. Беремо $t_{вн} = 20$ °С і, наприклад, для м. Києва, $t_{ср.о} = -0,1$ °С, $t_{р.о} = -22$ °С, $n_o = 176$ діб, за формулою (7) визначаємо приріст річної кількості утилізованої теплоти в каскадній установці

$$\Delta Q_{ут} = 3064 (20 + 0,1) 176 \cdot 24 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} / (20 + 22) = 22298 \text{ ГДж/рік.}$$

7. Беремо вартість одиниці теплоти $C = 128,2$ грн/ГДж і за формулою (8) визначаємо збільшення енергетичної ефективності каскадної теплоутилізаційної установив порівнянні з експлуатацією її в «сухому» режимі

$$\Delta E_{ф} = 22298 \cdot 128,2 = 2858604 \text{ грн /рік.}$$

Висновки

1. Розроблена методика розрахунків енергетичної ефективності теплоутилізаційної установки з поверхневими калориферами, що використовується для глибокого охолодження димових газів водогрійних котлів в опалювальних котельнях систем централізованого та помірно-централізованого теплопостачання.

2. Отримані залежності коефіцієнта байпасування та питомого потоку відведеної в калориферах теплоти від кінцевої температури охолодження димових газів при різних початкових температурах в інтервалі 140 - 190 °С.

3. В результаті розрахунків і порівняльного аналізу отримано, що максимальний потік відведеної теплоти в калориферних установках відповідає температурам димових газів на виході, які лінійно зменшуються від 24 °С (при $t'_{г1} = 140^{\circ}\text{C}$) до 19 °С (при $t'_{г1} = 190^{\circ}\text{C}$), при цьому мінімальний коефіцієнт байпасування при охолодженні димових газів до вказаних температур складає 0,22 – 0,32.

4. Виконані практичні розрахунки для котельні з трьома водогрійними котлами КВ-ГМ-10 (м. Київ) показали, що при використанні каскадної калориферної установки порівняно з експлуатацією її в «сухому» режимі за опалювальний сезон можливо досягти збільшення кількості утилізованої теплоти біля 22 тис. ГДж/рік.

Список літератури

1. Алабовський О.М. Проектування котельень промислових підприємств: курсове проектування з елементами САПР: навч. посібник для студентів вузів із спец. «Промислова теплоенергетика» / О.М. Алабовський, М.Ф. Боженко, Ю.В. Хоренженко. – Київ: Вища школа, 1992. – 207 с.

2. Коржевін А.Д. Комплексна утилізація теплоти в пароводогрійній котельні системи централізованого теплопостачання / А.Д. Коржевін, М.Ф. Боженко // Збірник тез доп. XI Міжнар. наук.-практ. конференції аспірантів, магістрантів і студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», НТУУ «КПІ», 16-19 квітня 2013 р.– 2013. – Том 1. – С.137.

3. Боженко М.Ф. Енергозбереження в теплопостачанні: навч. посіб. / М.Ф. Боженко, В.П. Сало. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 268 с.

4. Семенюк Л.Г. Получение конденсата при глубоком охлаждении продуктов сгорания / Л.Г.Семенюк // Промышленная энергетика. – 1987. – № 8. – С. 47–50.

5. Аронов И.З. Контактный нагрев воды продуктами сгорания природного газа / И.З. Аронов.– 2-е изд., перераб. и доп.– Л.: Недра, 1990. – 280 с.

6. Куудинов А.А. Повышение эффективности работы конденсационных теплоутилизаторов поверхностного типа / А.А.Куудинов // Промышленная энергетика. – 1999. – № 7. – С. 30–34.

7. Фіалко Н.М. Дослідження режимів роботи димових труб котельень за умов глибокого охолодження димових газів / Н.М. Фіалко, Р.О. Навродська, Г.О. Пресіч // Промышленная теплотехника. – 2003. – Т. 25, № 4. – С. 27–31.

M.F. Bozhenko, I.J. Pervortkina

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

CASCADING HEAT UTILIZATION OF FLUE GASES OF HEATING WATER BOILERS

These methods and calculation results of energy efficiency of heater installations used for heat utilization of flue gas water boilers, with their use in "dry" and "wet" conditions. The minimum temperature in the cooling flue gas heaters when achieved maximum flow allotted heat. The optimal coefficients of baypasuvannya of hot flue gases are established behind heater units at different initial temperatures.

Keywords: boiler, flue gases, utilizer-heater, heat flux, enthalpy, moisture content, energy efficiency.

References

1. Alabovskyy O. M. Design of boiler plants of industrial enterprises: course design elements with CAD : teach, guide for students with specials. "Industrial power" / O.M. Alabovskyy, M.F. Bozhenko, Yu.V. Horenzhenko. - Kyiv : High School. 1992. - 207 p.

2. Korzhevin A.D. Integrated waste heat in steam- boiler district heating system / A.D. Korzhevin. M.F. Bozhenko // Collection of theses of article XI Intern. Science.-pract. conference of graduate students, undergraduates and students "Modern problems of scientific support energy" NTU "KPI". 16-19 April 2013. - 2013.-Volume 1.-P. 137.

3. Bozhenko M.F. Energy efficiency in district heating : teach, guidances / M.F. Bozhenko, V.P. Salo. - K. : NTU "KPI", 2008. - 268 p.

4. Semenyuk L.G. Getting condensate cooling of products at deeply combustion / L.H. Semenyuk // Promushlennaya energy. - 1987. - № 8. - P. 47-50.

5. Aronov Y.Z. Pin the heating water products of combustion of natural gas / Y.Z. Aronov. - 2nd ed.. Rev. and add. - L. : Nedra. 1990. - 280 p.

6. Kudynov A.A. Increase of the effectiveness of workcondensation heat utilizers of superficial type / A. A.

М.Ф.Боженко, канд. техн. наук, доцент; И.Я. Переверткина

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

**КАСКАДНАЯ УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОТЫ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ОТОПИТЕЛЬНЫХ
ВОДОГРЕЙНЫХ КОТЕЛЬНЫХ**

Приведены методики и результаты расчетов энергетической эффективности калориферных установок, которые применяются для утилизации теплоты дымовых газов водогрейных котельных, при их эксплуатации в «сухом» и «мокром» режимах. Определены минимальные температуры охлаждения дымовых газов в калориферах, при которых достигается максимальный поток отведенной теплоты. Определены оптимальные значения коэффициентов даяпасирования горячих дымовых газов в обход калориферных установок при разных начальных температурах.

Ключевые слова: котел, дымовые газы, утилизатор-калорифер, тепловой поток, энтальпия, влагосодержание, энергетическая эффективность.

Надійшла 19.01.2016

Received 19.01.2016