

ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ

Розглянуто і проаналізовано показники енергоефективності утилізації теплоти відхідних газів від котельних установок.

Вступ

В умовах здороження органічного палива, особливо імпортного природного газу, пріоритетною задачею є енергозбереження. Необхідність розробки ефективних енергозбережних технологій визначається, з одного боку, наявністю в енергетиці України достатньо високого потенціалу для впровадження таких технологій, а з другого — стійкою тенденцією до збільшення вартості палива в країні. Одним із ефективних засобів економії палива і захисту навколишнього середовища є використання низькотемпературної скидної теплоти.

Енергетичні рівні теплових викидів від котельних установок на промислових і опалювальних котельнях є потужним резервом енергозбереження. За експертними оцінками потенціал енергозбереження складає майже 45 % від загального обсягу споживаних паливно-енергетичних ресурсів. Близько 50 % цього потенціалу припадає на промислові та муніципальні котельні. Такі чисельні парові та опалювальні котельні розташовані, як правило, в населених пунктах і працюють на газоподібному паливі. Парові котли невеликої потужності та водогрійні котли в системах централізованого тепlopостачання не мають розвинутих хвостових поверхонь, внаслідок чого температура відхідних газів із котлів перевищує нормативні значення, що зумовлює зменшення коефіцієнтів корисної дії котлів. Температуру відхідних газів в котлах можна зменшити за рахунок утилізації теплоти відхідних газів в утилізаторах різного типу [1—2]. Нормативно-технічні вимоги до показників ефективності енергетичного устаткування в промисловій та муніципальній теплоенергетиці були і, по суті, залишаються такими, які не відповідають сучасним вимогам. В часи проектування теплоенергетичного устаткування, яке ще сьогодні використовується, економічний аналіз показував недоцільність енергоощадних заходів внаслідок низької ціни на енергоносії. Але на теперішній час ситуація кардинально змінилась.

Мета роботи — визначення показників ефективності роботи промислових і опалювальних котелень в разі утилізації теплоти відхідних газів.

Основні результати

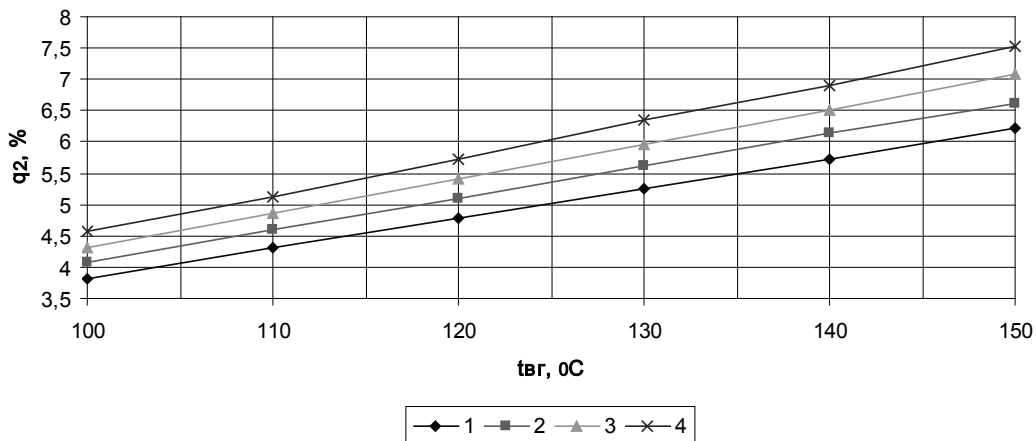
В разі утилізації теплоти відхідних газів робота котла характеризується тим, що незмінними залишаються: коефіцієнт надлишку повітря у відхідних газах $\alpha_{\text{вг}}$; температура навколишнього («холодного») повітря t_n ; питома втрата теплоти від хімічної неповноти згоряння q_3 ; питома втрата теплоти в навколишнє середовище q_5 . Тоді та частка теплоти відхідних газів, яка утилізується в газовому утилізаторі, зменшує питому втрату теплоти з відхідними газами на величину Δq_2 . Це, за умови сталих інших втрат теплоти, зумовлює підвищення коефіцієнта корисної дії (ККД) котла на величину $\Delta \eta = \Delta q_2 = \eta_2 - \eta_1$, де η_1 і η_2 — ККД котла з утилізацією теплоти відхідних газів і без неї, відповідно.

В роботі [3] отримана формула для визначення питомих втрат теплоти з відхідними газами, яка з великою точністю узгоджується з дослідними даними [4, 5] і для газоподібних палив має вигляд

$$q_2 = [(0,0343\alpha_{\text{вг}} + 0,00782)t_{\text{вг}} - \exp(0,4325\alpha_{\text{вг}} - 0,3735)]\theta_{\text{вг}}, \quad (1)$$

де $t_{\text{вг}}$ — температура відхідних газів, °C; $\theta = [293/(273 + t_n)]$.

Для зручності користування (1) на рисунку наведені залежності $q_2 = f(\alpha_{\text{вг}}, t_{\text{вг}})$ для $\theta = 1$. За допомогою цих залежностей легко визначаються значення $\Delta q_2 = \Delta \eta$ для наведеного діапазону зміни $\alpha_{\text{вг}}$ і $t_{\text{вг}}$.



Поточні значення q_2 : 1 — $\alpha_{\text{вг}} = 1,2$; 2 — $1,3$; 3 — $1,4$; 4 — $1,5$

Витрата палива витрачається за відомою формулою, кг/с, м³/с [4—5]:

$$B = Q_K / (Q_H^P \eta), \quad (2)$$

де Q_K — корисна потужність котла, МВт; Q_H^P — теплота згоряння робочого палива, МДж/кг або МДж/м³; η — ККД котла.

В разі підвищення ККД котла за рахунок утилізації відхідних газів ($\eta_2 = \eta_1 + \Delta \eta = \eta_1 + \Delta q_2$) зменшення витрати (економія палива) за умови $Q_K = \text{const}$ складатиме

$$\Delta B = \frac{Q_K}{Q_H^P \eta_1} - \frac{Q_K}{Q_H^P \eta_2} = \frac{Q_K}{Q_H^P} \left(\frac{1}{\eta_1} - \frac{1}{\eta_2} \right) = \frac{Q_K \Delta \eta}{Q_H^P \eta_1 \eta_2}. \quad (3)$$

З урахуванням (2) рівняння (3) можна переписати

$$\Delta B = B_1 \cdot \Delta \eta / \eta_2 = B_2 \cdot \Delta \eta / \eta_1. \quad (4)$$

Із останнього рівняння випливає

$$B_1 / B_2 = \eta_2 / \eta_1 \quad \text{або} \quad B_2 = B_1 \cdot \eta_1 / \eta_2. \quad (5)$$

В рівняннях (4) і (5) B_1 і B_2 — витрата палива в котлі без утилізації теплоти відхідних газів і за наявності такої, відповідно; η_1 і η_2 — ККД котла за зазначених умов роботи.

Теплові потужності парових і водогрійних котлів, кВт

$$Q_{\text{ПК}} = D(h_n - h'_{\text{ЖВ}}); \quad (6)$$

$$Q_{\text{ВК}} = G_{\text{МВ}}(h'_{\text{МВ}} - h'_{\text{ЗМВ}}), \quad (7)$$

де D — витрата пари; h_n і $h'_{\text{ЖВ}}$ — ентальпія пари та живильної води; $h'_{\text{МВ}}$ і $h'_{\text{ЗМВ}}$ — ентальпія прямої та зворотної води, відповідно; $G_{\text{МВ}}$ — витрата мережної води.

Економія умовного палива ΔB зумовлює не тільки економію коштів на паливо, але й зменшення потужностей тягодуттєвих установок (вентилятора і димососа) на $\Delta N_{\text{в}}$ і $\Delta N_{\text{д}}$, відповідно, які визначаються за формулами [3, 7]

$$\Delta N_B = \Delta B \cdot V^0 \cdot \alpha_m \cdot H_B / (\eta_B \eta_{em}); \quad (8)$$

$$\Delta N_D = \Delta B \cdot V_\Gamma^0 \cdot \alpha_{вг} \cdot H_D / (\eta_D \cdot \eta_{em}), \quad (9)$$

де V^0 і V_Γ^0 — теоретичний об'єм повітря і продуктів згоряння (димових газів), відповідно, які для будь-якого палива визначені в [6]; α_t і $\alpha_{вг}$ — коефіцієнти надлишку повітря в топці та відхідних газах [6]; H_B і H_D — напір вентилятора і димососа, відповідно, які визначені в [7]; η_B і η_D — коефіцієнти корисної дії вентилятора і димососа [7]; η_{em} — електромеханічний ККД електроприводів тягодуттєвих установок.

Відповідно до вищевикладеного, ефективність застосування утилізації теплоти відхідних газів визначимо для конкретних прикладів. Для цього вибираємо два котла: один паровий типу ДКВр — 20/13 з тепловою потужністю 13,86 МВт, а другий — водогрійний типу КВГМ — 30 з потужністю 34,7 МВт. Температура відхідних газів із обох котлів складає 135 °С. При цьому ККД парового котла становить 0,915, а водогрійного — 0,922. Паливо — природній газ із тепловою згоряння 33,4 МДж/м³. Значення V^0 і V_Γ^0 складають 9,5 і 10,62, відповідно. Коефіцієнти надлишку повітря в топці та у вихідних газах дорівнюють 1,1 і 1,4. Ціна палива складає 2000 грн за 1000 м³, а ціна споживаної електроенергії — 700 грн за 1 МВт·год. Напір і ККД вентилятора вибрані рівними 3,2 кПа і 0,7, а димососа — 2,5 кПа і 0,65, відповідно. Оскільки в разі спалювання природного газу температура точки роси не перевищує 70 °С [5], то температура продуктів згоряння за утилізатором вибрана рівною 100 °С. Річний термін роботи котлів становить 8200 год. Крім того, за ГДК 34.02.305-2002 «Викиди забруднюючих речовин в атмосферу від енергетичних установок» обчислювалось річне зменшення шкідливих викидів в атмосферу для певної економії робочого палива, а також їх вартість. Розрахункові показники роботи котлів наведені в табл.

Показники роботи котлів з утилізацією теплоти відхідних газів

Показники	Тип котла	
	ДКВр — 20/13	КВГМ — 30
Новий коефіцієнт корисної дії	0,934	0,941
Утилізаційна потужність, МВт	0,308	0,76
Економія робочого палива, м ³ /год	33,21	81,90
Річна економія робочого палива, тис. м ³	272,322	671,632
Річна економія витрат на паливо, млн грн	0,5446	1,3433
Зменшення потужності вентилятора, кВт	0,46	1,134
Зменшення потужності димососа, кВт	0,728	1,355
Зменшення потужності тягодуттєвих установок, кВт	1,188	2,489
Річне зменшення споживання електроенергії на власні потреби, МВт·год	9,741	20,410
Річне зменшення витрат на електроенергію, тис. грн	6,820	16,740
Річна економія витрат на енергоносії, млн грн	0,5514	1,35
Річне зменшення викидів оксидів азоту, т	51,864	128,075
Річне зменшення викидів двоокису вуглецю, т	354,091	959,178
Річне зменшення викидів окису вуглецю, т	1,77	4,796
Річне зменшення витрат за шкідливі викиди, тис грн	17,44	44,78
Загальна річна економія коштів, млн грн	0,56884	1,40478
Річна економія кисню, т	467,16	1055,74

Наведені результати свідчать про те, що застосування утилізації теплоти відхідних газів від котлів, які не мають розвинутих хвостових поверхонь, можна вважати доцільною, оскільки річна економія коштів складає майже половину вартості котлів. В котельнях, як правило, одночасно працює не менше двох котлів, тому очікувана економія коштів може бути принаймні вдвічі більшою. Звернемо увагу на те, що два або три котла можуть працювати на єдину утилізаційну установку [1, 2]. Це за попередніми розрахунками забезпечує термін окупності утилізатора теплоти в межах 1,7—2 років. Крім того утилізація теплоти відхідних газів зменшує потужність тягодуттє-

вих установок, витрати електроенергії на власні потреби і виплати за електроенергію. Звертаємо увагу також на суттєве зменшення шкідливих викидів і парникового газу в довкілля.

Висновки

Утилізація теплоти відхідних газів в котельнях дозволяє:

1. Підвищити ККД котлів на 1,9...2 % і на стільки ж зекономити витрати робочого палива;
2. Зменшити витрати електроенергії на власні потреби;
3. Зменшити викиди шкідливих речовин в довкілля;
4. Забезпечити річну економію коштів, яка дорівнює половині вартості котлів;
5. Забезпечити термін окупності утилізаційних установок, не більше двох років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гершуни А. Н. Разработка и внедрение эффективных утилизаторов на основе теплопередающих элементов испарительно-конденсационного типа / А. Н. Гершуни, В. П. Нищик // Промышленная теплотехника. — 1997. — Т. 19. — С. 69—73.
2. Фиалко Н. М. Эффективность систем утилизации теплоты отходящих газов энергетических установок различного типа / Н. М. Фиалко, Ю. В. Шеренковский, А. И. Степанова // Промышленная теплотехника. — 2008. — Т. 30. — № 3. — С. 69—75.
3. Чепурний М. М. Оперативний контроль використання палива в парогенераторах / М. М. Чепурний, О. Я. Попов, Н. В. Пішеніна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 2. — С. 38—40.
4. Равич М. Б. Эффективность использования топлива / М. Б. Равич. — М. : Наука. — 1977. — 344 с.
5. Данилов Е. А. Контроль сжигания топлива в промышленных котельных установках / Е. А. Данилов, В. Н. Клочков. — К. : Техника. — 1988. — 166 с.
6. Тепловой расчет котлов (нормативный метод). — СПб. : Изд-во НПО ЦКТИ. — 1991. — 228 с.
7. Теплотехнический справочник / под ред. В. Н. Юренева и П. Д. Лебедева. — М. : Энергия. — 1975. — Т. 1. — 743 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Стаття надійшла до редакції 9.12.10
Рекомендована до опублікування 20.01.11

Чепурний Марко Миколайович — професор кафедри теплоенергетики; **Димніч Ілона Миколаївна, Куцак Ольга Володимирівна** — студентки Інституту будівництва, теплоенергетики та газопостачання.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця