

рекуператори завдяки інтенсивному теплообміну на стороні повітря, а також завдяки своїм конструктивним особливостям здатні ефективно та надійно працювати за високих температур продуктів спалювання та запиленому середовищі. Ці рекуператори дають можливість економити близько 30 % природного газу, термін їх експлуатації становить не менше двох років. Крім того, на їх виготовлення витрачається у 1,5 – 2 рази менше нержавіючої сталі, ніж для радіаційних щілинних рекуператорів, які традиційно використовують у таких печах.

Під час використання струминних рекуператорів для оцінювання економії природного газу найдоцільнішим є рівняння [5]

$$E = \frac{V \cdot I_n}{Q_n^p + V \cdot I_n - I_{nz}}, \quad (1)$$

де E – економія палива у частках від одиниці; I_n – теплота нагрітого повітря, віднесена до одиниці палива, кДж/м³; Q_n^p – нижча теплота згоряння палива, кДж/м³; I_{nz} – теплота продуктів спалювання в печі без нагрівання повітря, кДж/м³; V – коефіцієнт розподілу температури продуктів спалювання у печі.

Висновки. Використання теплоти продуктів спалювання природного газу у промислових печах приводить до значної економії природного газу. Оцінюючи ефективність використання природного газу, необхідно враховувати енергетичну ефективність рекуператора і розподіл температури продуктів спалювання у печі.

1. Шпак Г.І. Підвищення ефективності використання природного газу в теплотехнологічних процесах будівництва // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Теорія і практика будівництва». – 2007 – № 602. 2. Тебеньков Б.П. Рекуператоры для промышленных печей. – М.: Металлургия, 1975. 3. Кирпичев М.В. О наиболее выгоднейшей форме поверхности нагрева. – М.: Известия ЭНИИ, 1985. 4. Скотникова Т.В. Оптимизация характеристик струйных рекуператоров. – М.: Химическая технология, 1989. 5. Розробка САПР рекуперативних теплообмінників. – К.: Інститут газу НАН України, 1998.

УДК 697.94.(075)

Ю.С. Юркевич, О.М. Довбуш

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра теплогазопостачання і вентиляції

ОБГРУНТУВАННЯ “КАСКАДНОГО” ПІД’ЄДНАННЯ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ

© Юркевич Ю.С., Довбуш О.М., 2008

Проведено техніко-економічне обґрунтування каскадного під’єднання котлоагрегатів на прикладі водогрійної котельні потужністю від 1 до 4 МВт. Визначено термін окупності каскадного під’єднання жаротрубних котлоагрегатів марки КВС.

In this article technical and economical basement of cascaded boilers unite on example hot water boiler room by power 1- 4 MWt is carried out. Simple pay back time value of cascaded unite hot pipe boilers KVS has been determined.

Асортимент котлоагрегатів на українському ринку зростає як за рахунок продукції зарубіжних, так і вітчизняних виробників. Серед цієї продукції є значна кількість котлоагрегатів, які рекомендується експлуатувати в системі включення “каскад”. У них регулювання теплового

навантаження здійснюється за температурою води у зворотному трубопроводі. Перший котел залишається постійно включеним, а інші включаються по чергово, коли температура води у зворотному трубопроводі знизиться до певного значення. Система приводиться в дію включенням пальника – подача газу здійснюється тільки тоді, коли спрацює виставлений на певне значення температурний датчик.

Доцільність такої схеми включення ґрунтується на залежності ККД котлоагрегата від його теплового навантаження (рис. 1). Як бачимо з цього графіка, експлуатація котлоагрегата повинна бути організована в такий спосіб, щоб максимально більший проміжок часу він працював в економічному режимі навантаження (точка “а” або ділянка, близька до неї, “б-в”).

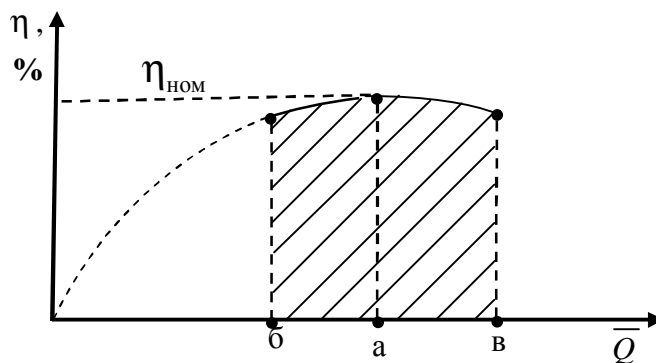


Рис. 1. Залежність ККД котлоагрегата від теплового навантаження

При цьому відзначається, що чим більша кількість котлоагрегатів є об'єднаною в системі “каскад”, тим вужчим буде проміжок експлуатації кожного котлоагрегата, а відповідно вищим буде значення ККД і більшою кількістю газу, заощадженого за час експлуатації. Так, в рекомендаціях з проектування водяних низькотемпературних котельень з застосуванням котлів De Dietrich та Schäfer Interdomo розглядається варіант каскадного під'єднання аж десяти агрегатів [3].

У зв'язку з цим актуальним є питання визначення економічно-доцільної кількості котлоагрегатів, об'єднаних системою “каскад” (табл. 1).

Таблиця 1

Ефективність роботи котельні потужністю 1 МВт за різної кількості котлоагрегатів

Кількість котлоагрегатів (шт.)	Теплова потужність 1-го котла, МВт	Витрата газу, G, за опалювальний період, м ³	Економія газу (Δ G) стосовно технічно кращого варіанта, м ³	Ефективність споживання газу стосовно технічно кращого варіанта, %
1	1	265990	21443	91,2
2	0,5	250520	5978	97,6
3	0,33	248160	3613	98,5
4	0,25	246780	2964	98,8
5	0,2	246780	2231	99,1
10	0,1	244550	-	100

Для розв'язання цієї задачі необхідно мати в своєму розпорядженні залежність ККД від теплової потужності для кожного конкретного типу котлоагрегата. Однак підприємства-виробники переважно не надають такої інформації, вказуючи лише номінальне значення ККД. Оскільки ця залежність має універсальний характер, можемо побудувати усереднену графічну залежність величини зниження ККД ($\Delta\eta = \eta^{\text{НОМ}} - \eta^{\text{дійсн}}$) від зміни відносної потужності котлоагрегата

$$\bar{Q} = \frac{Q^{\text{дійсн}}}{Q^{\text{НОМ}}}$$

на підставі доступних даних для шести різних типів котлів (рис. 2).

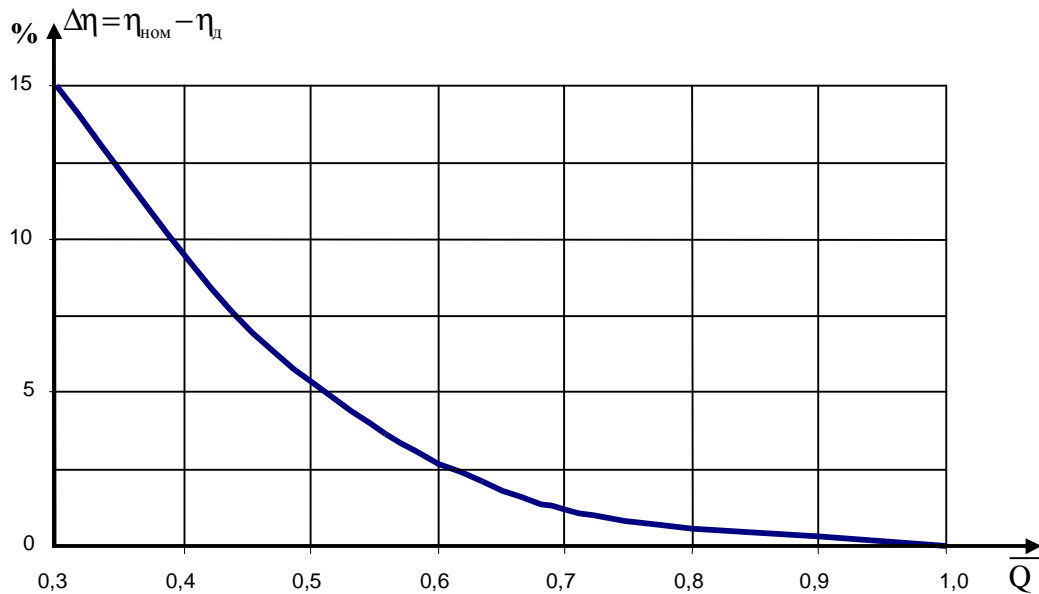


Рис. 2. Залежність зниження ККД від його відносної потужності

Отримана усереднена залежність покладена в основу розрахунку, який проведено для трьох котелень тепловою потужністю 1, 3 та 4 МВт за розрахункових параметрів м. Львова. При цьому зроблено спрощення: розглядається опалювальна котельня (навантаження на потреби гарячого водопостачання покривається за рахунок протічних газових нагрівачів, як це відбувається в багатьох районах м. Львова). В усіх випадках розглядалися однотипні котли вітчизняного виробництва типу КСВ-ВК (ДП МОУ «63-КЗЗ» м. Івано-Франківськ).

Для кожної з котелень розрахунок проводився для двох порівняльних варіантів. Так, котельня потужністю 4 МВт у першому випадку укомплектована двома котлами потужністю 2 МВт, а в другому чотирма – потужністю 1 МВт кожен.

Якщо котельня покриває навантаження тільки систем опалення, то залежність її теплової потужності від температури зовнішнього повітря описується рівнянням

$$Q = Q_p \frac{18 - t_3}{18 - t_{3,p}}, \quad (1)$$

де Q_p – розрахункова тепла потужність котельні (в нашому випадку – 4 МВт); $t_{3,p}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря (для м. Львова $t_3 = -19$ °С); t_3 – поточне значення зовнішньої температури, °С.

На основі цього рівняння побудовано графік залежності відносного теплового навантаження котельні $\bar{Q} = \frac{Q}{Q_p}$ від температури зовнішнього повітря (рис. 3).

Для котельні потужністю 4 МВт у першому варіанті, в якому котельня обладнана двома котлами потужністю 2 МВт кожний, діапазон температур опалювального періоду є розбитий на дві частини. У проміжку температур зовнішнього повітря $-0,5 < t_3 < 8$ °С працює один котлоагрегат, а в проміжку $-0,5 < t_3 < -19$ °С – два котлоагрегати.

У другому варіанті (котельня обладнана котлами потужністю 1 МВт) опалювальний період розбивається на три діапазони температур: $+8 \div -0,5$; $-0,5 \div -9,8$ і $-9,8 \div -19$. У цих діапазонах в робочому положенні знаходиться відповідно два, три та чотири котлоагрегати.

Витрату газу у кожному з діапазонів визначаємо з врахуванням дійсного значення ККД (залежно від величини \bar{Q}) та з врахуванням тривалості кожного періоду з відповідною середньодобовою температурою зовнішнього повітря за опалювальний період [2].

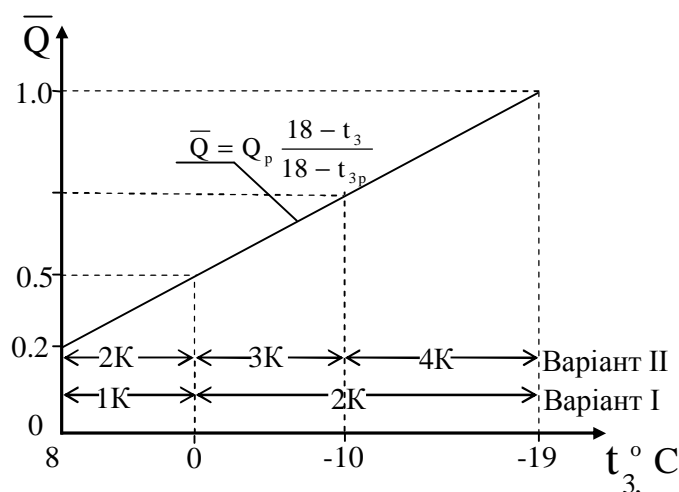


Рис. 3. Залежність відносного теплового навантаження котельні \bar{Q} від температури зовнішнього повітря t_3

Для двох котлів витрата газу за опалювальний період становить 1002110 м³, а для чотирьох котлів – 990070 м³. Отже, застосування чотирьох котлів дає змогу зекономити за опалювальний період 12040 м³ газу. У грошовому перерахунку це становитиме 8259 грн. (за ціни газу 686 грн. за 1000 м³ згідно з Прейскурантом цін на природний газ НАК “Нафтогаз Україна” від 1 січня 2008 р. для підприємств комунальної теплоенергетики).

Оцінку економічної ефективності проводимо, використовуючи показники порівняльної ефективності капіталовкладень у нову техніку. При цьому застосовуємо метод окупності, за яким термін окупності, упродовж якого повертаються додаткові капітовкладення, є більш капіталомістким, але технічно досконалішим варіантом:

$$T_{\phi} = \frac{K_1 - K_2}{S_1 - S_2}, \quad (2)$$

де K_1 і K_2 – капіталовкладення за першим і другим варіантами (кошторисна вартість котельні відповідно з двома і чотирма котлоагрегатами); S_1 і S_2 – річні експлуатаційні видатки за цими самими варіантами.

Затрати на електроенергію, заробітну плату, амортизаційні відрахування і поточний ремонт в обох варіантах вважаємо однаковими. У зв’язку з цим економію річних експлуатаційних видатків ($\Delta S = S_1 - S_2$) визначаємо як різницю вартості газу, спожитого по кожному з варіантів.

У такий самий спосіб визначено витрату газу котельнями потужністю 1 та 3 МВт та термін окупності кожного з варіантів; результати розрахунків подано у табл. 2.

Як зрозуміло з даних, наведених у табл. 1, встановлення в котельні двох котлоагрегатів підвищує ефективність споживання газу на 6,4 % порівняно з одним котлоагрегатом, а трьох котлів – на 7,3 %. Подальше збільшення кількості котлоагрегатів також приводить до підвищення ефективності споживання газу, однак ця величина стає щоразу меншою (додатково 0,3 % порівняно з попереднім варіантом).

Як зрозуміло з даних, наведених у табл. 2, не існує чітко вираженої узагальненої залежності, яка б обґрунтовувала економічно-доцільну кількість котлоагрегатів. У зв’язку з цим остаточне рішення про оптимальну кількість агрегатів в котельні у кожному конкретному випадку повинно прийматися на підставі техніко-економічного розрахунку.

Техніко-економічні показники котельень за різного компонування

Теплова потужність котельні, МВт	Компонування котельні за порівняльним варіантом	Кошторисна вартість котельні, грн. К	Витрати газу за опалювальний період, м ³	Економія газу за технічно кращим варіантом, м ³ /рік	Вартість заощадженого газу, грн./рік ΔS	Термін окупності технічно кращого варіанта (років)
1,0	1 котел (Q ₁ =1 МВт)	496000	265990	-	-	-
	4 котли (Q ₁ =0,25 МВт)	625500	247520	18470	12670	10,2
3,0	1 котел (Q ₁ =3 МВт)	1485000	797970	-	-	-
	3 котли (Q = 1 МВт)	1619080	744500	53490	36694	3,6
4,0	2 котли (Q ₁ =2 МВт)	1895500	1002110	-	-	-
	4 котли (Q = 1 МВт)	2060960	990070	12040	8259	13,7

Автори вдячні НАТО, зокрема проекту No ESP NUKR CLG 982978 “Оцінка та сертифікація докiлля будiвель” та агенству Grant Словацької Республiки, за пiдтримку проекту No 1/3342/06, на основi якого наведено результати.

1. Лебедев В.И., Пермяков Б.А., Хаванов П.А. Расчет и проектирование теплогенерирующих установок систем теплоснабжения. – М.: Стройиздат, 1992. 2. Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хиж Э.Б., Манюк А.И., Ильин В.К. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей. – М.: Стройиздат, 1982. 3. Danielewicz J., Golecki K. Podstawy projektowania niskotemperaturowych kotlowni wodnych z zastosowaniem kotlów “De Dietrich” i “Schäfer Interdomo”. – Wrocław, 2000.