

$$N = -4N_{\max} \frac{\left\{ 1 - 2 \cdot \frac{N_{\max}}{N_0} \left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{\max}}} \right) \right\} e^{c\tau}}{\left[\left[1 - \frac{2N_{\max}}{N_0} \left(1 \mp \sqrt{1 - \frac{N_0}{N_{\max}}} \right) \right] e^{c\tau} - 1 \right]^2}. \quad (57)$$

Висновки

Сумісне застосування внутрішнього обігріву біомаси пропуском власних димових газів з регенерацією теплоти та з сезонним тепловим акумулятором дає можливість звести витрату біогазу на власний обігрів біореактора, в принципі, до нуля.

Запропонована математична модель адекватно описує анаеробний процес в метантенку і дає можливість визначати і оцінювати його роботу.

1. Муха О., Грінченко Р., Івасик Я., Грінченко Д. Проблеми власного енергозабезпечення біогазових установок в кліматичних умовах Західного регіону України: *Мат. 1-ї Міжнародної наук.-практ. конф. "Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні."* – Львів. – 2001. – С. 217 – 220. 2. Купите биогазовую установку // *Энергия (экономика, техника, экология)*. – 1987. – №8. – С. 47 – 48. 3. Дутчак В.В. Біогазогенератор побутовий Дутчака. Патент України. №8267. Опубл. 29.03.96. в Бюл. № 1. 4. Гнатышин Я.М., Поберейко Б.П., Ацбергер И.Л. Математическая модель анаеробного процесса: *Первая в Украине междунар. конф. "Энергия из биомассы"*. – К., – 2002. 5. Герасименко В.Г. Біотехнологія. К., 1989. 6. Гелетуша Г.Г., Кобзар С.Г. Впровадження біогазових установок в сільському господарстві України. / *"Пропозиція"*. – 2001, листопад. – С. 26 – 27. 7. Маслич Б.В., Маслич В.К. Біогаз. *Енергія майбутнього / "Ринок інсталяційний"*. – 2001, березень. – С. 37 – 38.

УДК 621.165

П. Гут, В. Крук, А. Леськів

Національний університет "Львівська політехніка"
кафедра теплотехніки та теплових електричних станцій

ЗАСТОСУВАННЯ КОНТАКТНИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ВІДХІДНИХ ГАЗІВ ВОДОГРІЙНИХ КОТЛІВ

© Гут П., Крук В., Леськів А., 2003

It is considered an opportunity of recycling of heat of burning of water – heating boilers with the help contact heat exchange apparatuses. What quantity of the latent heat of condensation water pair in contact heat exchange apparatuses is shown at cooling products of combustion. It is offered contact heat exchange apparatuses for recycling heat of leaving gases of water – heating boilers.

Постановка проблеми

Під час спалювання природного газу у водогрійних котлах, встановлених в промислових або опалювальних котельнях, практично відсутні втрати теплоти від механічної та хімічної неповноти згоряння, втрати теплоти в доквілля є незначними. Єдиною істотною втратою теплоти в котлах є втрата тепла з відхідними газами. По

відношенню до нижчої теплоти згоряння газу вона становить 7 – 6 %, а під час розрахунку теплового балансу по вищій теплоті згоряння – 15 – 14 % [1].

Таким чином, актуальною стає проблема використання тепла, яке викидається разом з відхідними газами водогрійних котлів.

Аналіз досліджень і публікацій

Сучасні теплогенеруючі установки, які використовуються у житлово-комунальному господарстві, легкій, текстильній, деревообробній промисловості, досягли високого технічного вдосконалення і подальше підвищення рівня використання палива досягнуто за рахунок охолодження продуктів згоряння нижче точки роси з використанням не тільки фізичної теплоти газів, але і прихованої теплоти конденсації водяної пари. Необхідно забезпечити таке протікання процесу охолодження продуктів згоряння, щоб випадання конденсату в максимально можливому ступені здійснювалось в межах основного або утилізаційного агрегату. Це підвищить коефіцієнт використання палива за рахунок тепла, яке виділяється під час конденсації водяної пари, і знизить навантаження газоходів, димотягу, димової труби, тому що в продуктах згоряння міститиметься тільки залишкова водяна пара [1].

Згаданим вимогам найбільше відповідають контактні теплообмінники. За цільовим призначенням вони поділяються на три групи:

1. Контактні теплообмінники для отримання гарячої води.
2. Контактні теплообмінники для випарювання стічних вод і різних розчинів.
3. Контактні теплообмінники, призначені для отримання конденсату із продуктів згоряння.

Принцип роботи таких теплообмінних апаратів ґрунтується на використанні прихованої теплоти конденсації водяної пари, яка знаходиться в продуктах згоряння. Під час роботи контактних теплообмінників відхідні газы охолоджуються нижче точки роси [2]. Таке глибоке охолодження дає можливість використовувати майже всю приховану теплоту конденсації водяної пари, яка колись вважалась неминучою втратою. В результаті цього, експлуатаційний коефіцієнт корисної дії (ККД) контактних водонагрівачів, розрахований за вищою теплотою згоряння палива, досягає 95 – 96 %. Величину прихованої теплоти конденсації водяної пари, яка знаходиться в продуктах згоряння, утвореної під час спалювання 1 м³ горючого газу, визначається за формулою

$$Q_{\text{конд}} = r \cdot d_{(2)} \cdot \gamma_{\text{с.г.}} \cdot V_{\text{с.г.}}, \quad (1)$$

де r – прихована теплота водяної пари, яка утворилась під час спалювання 1 м³ природного газу, кДж/кг.;

$d_{(2)}$ – вологовміст відхідних газів в розрахунку на 1 кг сухих продуктів згоряння;

$\gamma_{\text{с.г.}}$ – густина сухих відхідних газів, кг/м³;

$V_{\text{с.г.}}$ – об'єм сухих відхідних газів, які утворилися під час повного згоряння 1 м³ природного газу.

Збільшення коефіцієнта корисної дії контактного теплообмінника у разі глибокого охолодження продуктів згоряння (коли використовується 100 % прихованої теплоти конденсації водяної пари) становить

$$\Delta\eta = \frac{Q_{\text{конд}}}{Q_{\text{р}}^{\text{н}} + Q_{\text{конд}}}. \quad (2)$$

Але під час експлуатації контактних теплообмінників неможливо завжди використовувати 100 % тепла конденсації водяної пари, тому що глибина охолодження продуктів згоряння залежить від температури води, яка поступає в апарат, густини зрошення контактної камери, часу контакту з водою [2]. На графіку (рис.1) показано, яка кількість прихованої теплоти конденсації водяної пари використовується в контактному теплообміннику за рахунок охолодження продуктів згоряння. Залежно від коливання коефіцієнта надлишку повітря під час охолодження газів до 30 – 35 °С з них виділяється 80–90 % прихованої теплоти конденсації водяної пари [3]. Тому в експлуатації немає необхідності домагатись обов'язкового охолодження продуктів згоряння до більш низьких температур.

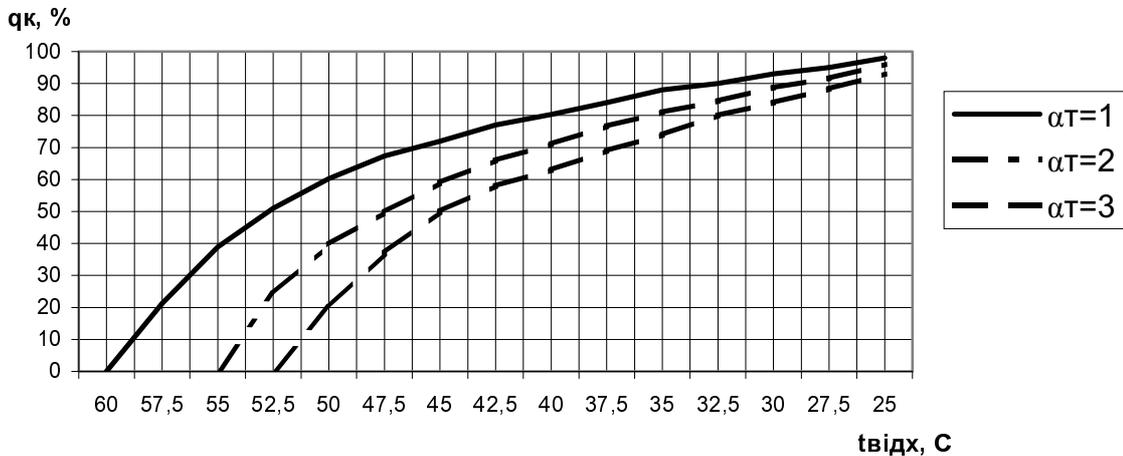


Рис. 1. Використання прихованої теплоти конденсації водяної пари залежно від температури відхідних газів і коефіцієнта надлишку повітря

Відомо, що ККД котельних агрегатів знаходиться залежно від їх теплового навантаження. При тепловому навантаженні, меншому від розрахункового, ККД котельного агрегату збільшується за рахунок зменшення температури відхідних газів. Форсування теплового навантаження, яке перевищує розрахункове значення в 1.3 – 1.4 раза, призводить до значного збільшення температури відхідних газів, і як наслідок, до різкого зниження ККД. Така залежність особливо різко виявляється в котельних агрегатах, в яких конвективна поверхня нагрівання недостатньо розвинута [2].

В контактних теплообмінних апаратах форсування навантаження призводить до різкого збільшення густини зрошення водою контактної камери з одночасним збільшенням швидкості високотемпературних газів, які рухаються назустріч потоку води. Виникає підсилена турбулізація газорідного середовища в контактній камері, внаслідок чого інтенсифікується тепло і масообмін між відхідними газами та водою, в результаті чого температура відхідних газів на виході із контактного теплообмінного апарата змінюється незначно або залишається на попередньому рівні. На рис. 2 [2] показана залежність параметрів роботи контактного теплообмінника від теплового навантаження.

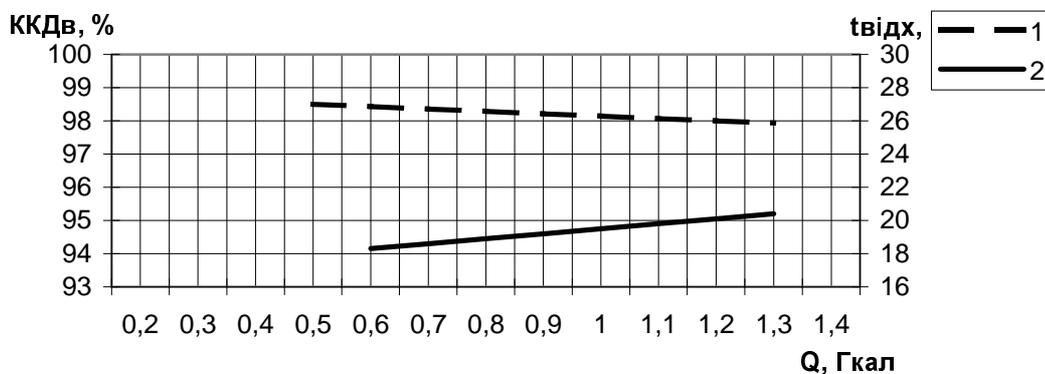


Рис. 2. Залежність коефіцієнта корисної дії контактнього теплообмінника (1) і температури відхідних газів (2) від його теплового навантаження

Виклад основного матеріалу

Отже, вказані контактні теплообмінники можуть ефективно використовуватись для утилізації тепла відхідних газів водогрійних котлів, які працюють на газовому паливі. Один із типів таких контактньо-поверхневих теплообмінників зображений на рис. 3 [2].

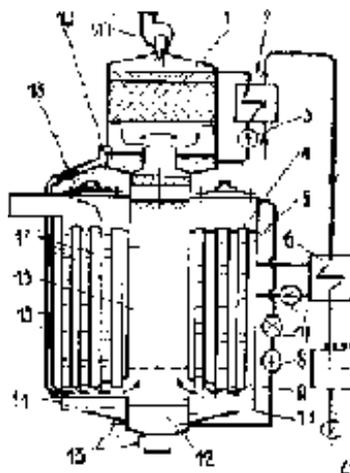


Рис. 3. Контактньо-поверхневий теплообмінник

1 – контактна камера; 2, 6 – водо-водяні теплообмінники; 3, 7, 8 – помпи; 4, 9 – трубні дошки; 10, 14 – піддонище газотрубного пучка; 11 – фільтр; 12 – піддонище промивної секції; 13 – люки; 15 – трубка перетоку конденсату; 16 – секція промивки; 17 – газові труби; 18 – люки для очищення газових труб; 19 – гідрозамок; 20 – вентилятор; 21 – бак гарячої води

Він складається з газотрубного поверхневого теплообмінника, який включає в себе корпус, трубні дошки 4, 9 з закріпленими в них газовими трубами 17, центральну секцію промивання продуктів згорання 16 з водяним піддонищем 12. У верхній частині секції промивання розміщений зрошувач та крапельвловлювач. Над промивною секцією

розташований контактний водонагрівач 1. Нагрів води проходить двоступенево в водоводяних теплообмінниках відповідно до контактного ступеня 2 та поверхневого 6.

Теплообмінник працює так. Відхідні гази поступають в газотрубний пучок і проходять по ньому зверху вниз. Завдяки високій швидкості газів (12 – 15 м/с) відкладень на внутрішній поверхні не передбачається. На виході із труб газовий потік набігає на водяну поверхню піддона, на яку випадають дрібні пилові забруднення, що знаходяться в димових газах. Далі гази направляються в промивну секцію 16, в якій додатково очищаються за рахунок контакту з циркулюючим розчином, який має температуру мокрого термометра. Під час промивання гази охолоджуються і звожуються, після чого направляються в контактний нагрівник 1 і, остаточно охолодившись, видаляються відсмоктувальним вентилятором 20. Водопровідна вода поступає в водо-водяний теплообмінник 6, в якому вона додатково підігривається гарячою водою, яка поступає із міжтрубного простору газотрубного пучка. Нагріта вода зливається в бак гарячої води 21. В водяному нагрівнику, таким чином, існує три циркуляційні контури: два контури, по яких циркулює проміжний теплоносій (газотрубний пучок – водо-водяний теплообмінник II ступеня догрівання та контактний водопідігрівник – теплообмінник першого ступеня нагрівання), і контур промивання газового теплоносія. Нагріта вода не піддається контакту з газами ні в одному з нагрівальних контурів і зберігає свої початкові властивості, тим самим задовольняючи вимоги щодо питної води.

Висновки

На основі наведених даних можна зробити висновок, що застосування контактних теплообмінників на водогрійних котлах приведе до зменшення втрат тепла з відхідними газами за рахунок зниження температури відхідних газів до 30 – 35 °С. Це підвищить коефіцієнт використання палива за рахунок виділеного під час конденсації водяної пари тепла, а також знизить навантаження газоходів, димотягу, димової труби, тому, що в продуктах згоряння міститиметься тільки залишкова водяна пара.

Встановлення контактних теплообмінників знизить шкідливі інгредієнти оксидів азоту, а під час спалювання мазуту і оксидів сірки – за рахунок безпосереднього контакту в першому контурі димових газів з водою.

1. Пятничко В.А. Утилизация низкопотенциального тепла в энергетических установках с органическими теплоносителями / *Технология и ресурсосбережение*. – 2002. – № 5.
2. Соснин Ю.П. Высокоэффективные газовые контактные водонагреватели. – М., 1988.
3. Грінченко Д.М., Івасик Я.Ф. Ефективне використання контактних теплообмінних апаратів у паро-газових установках перспективного типу / *Вісн. ДУ "Львівська політехніка"* – 1996. – № 304.