

## УТИЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОТИ ВІДХІДНИХ ГАЗІВ В ПОВЕРХНЕВИХ КОНДЕНСАЦІЙНИХ ТЕПЛООБМІННИКАХ

Вінницький національний технічний університет

### Анотація

*Показано зміну теплової потужності пластинчастого теплообмінника-утилізатора для різних режимів його роботи. Встановлено, що під час глибокого охолодження відхідних газів до температур 30 °С сумарний потік відведеної теплоти в теплоутилізаторі збільшується у 2,5 рази порівняно з його роботою у «сухому» режимі.*

**Ключові слова:** відхідні гази, котел, теплообмінник, утилізація теплоти, температура точки роси

### Abstract

*The change in thermal power of the plate heat exchanger-utilizer for different modes of its operation is shown. It was established that during the deep cooling of waste gases to a temperature of 30 °C, the total flow of removed heat in the heat recovery unit increases by 2.5 times compared to its operation in the «dry» mode.*

**Keywords:** waste gases, boiler, heat exchanger, heat utilization, dew point temperature

### Вступ. Постановка задачі

Застосування технології утилізації теплоти відхідних газів котлів є одним із вагомих заходів для економії палива в котельнях, оскільки втрати теплоти з відхідними газами котлів можуть сягати 17...18 % для температури відхідних газів 140...160 °С. Явна теплота, що виноситься в димову трубу з продуктами згорання становить 7 – 8 %, а 10 % припадає на приховану теплоту пароутворення водяної пари, що міститься у відхідних газах. Тенденція зростання вартості палива в останні роки зумовила необхідність подальшого зниження температури відхідних газів котлів до 20...40 °С шляхом впровадження технологій глибокої утилізації теплоти. Глибока утилізація теплоти відхідних газів здійснюється в конденсаційних утилізаторах контактного або поверхневого типу. В таких утилізаторах гази охолоджуються до температури  $t_1$ , яка нижча температури точки роси  $t_R$  [1 – 4].

В теплообмінниках-утилізаторах контактного типу, які поширені в промисловості та енергетиці (скрубери, градирні), температура відхідних газів знижується до 30...40 °С. Теплообмінники-утилізатори контактного типу мають суттєвий недолік: забруднення води, яка нагрівається через контакт її з продуктами згорання – відхідними газами. Тому більш раціонально застосовувати поверхневі теплоутилізатори, в яких немає безпосереднього контакту продуктів згорання і рідини, що нагрівається. Для котлів, що працюють на природному газі доцільно застосовувати поверхневі утилізатори пластинчастого типу, які мають більш просту конструкцію і меншу вартість у порівнянні з оребреними біметалевими трубами. Недоліком поверхневих теплоутилізаторів є те, що температура, до якої можна нагріти «холодний» теплоносій, дорівнює температурі мокрого термометра, тобто 50...60 °С.

Застосування теплоутилізаційних технологій дозволить одержати значний економічний, екологічний та соціальний ефекти.

Мета роботи – виконати оцінку теплової потужності поверхневого теплообмінника-утилізатора для різних режимів його роботи.

### Результати досліджень

В даній роботі розглянуто зміну потужності поверхневого теплообмінника-утилізатора під час роботи його в конденсаційному режимі та без конденсації водяної пари з відхідних газів. Конденсаційний

режим роботи теплоутилізатора реалізується в разі знижених навантажень котла та низьких температур води, що нагрівається, на вході в утилізатор ( $t_b < 50$  °C).

Для досліджень вибраний пластинчастий теплообмінник типу С – Н01 [5]. Високотемпературні відхідні гази парового котла – «гарячий» теплоносій, а рідина, що нагрівається за рахунок отриманої теплоти – сира вода з температурою  $t_2' = 12$  °C. Температура газів на вході в теплообмінник  $t_1' = 128$  °C, а на виході змінюється від  $t_1'' = 55$  °C до  $t_1''' = 30$  °C. Схема руху теплоносіїв – перехресна течія.

Математичний опис теплового розрахунку пластинчастого теплообмінного апарата є відомим. Мета розрахунку полягає в тому, щоб визначити площу поверхні теплопередачі  $F$  шляхом сумісного розв'язання рівнянь теплопередачі і теплового балансу для заданих витрат  $G$ , температурних графіків і допустимих втрат напору в теплообміннику  $\Delta P$ . За умови конденсаційного теплообміну математична модель розрахунку водогрійного теплообмінника-утилізатора доповнюється рівняннями для визначення теплової потужності теплообмінника, яка визначається, в основному, режимними характеристиками котла: температурою нагрітої води  $t_{ty}$ , навантаженням котла та коефіцієнтом надлишку повітря в димових газах  $\alpha_{вр}$ . Температуру відхідних газів можна зменшити нижче температури точки роси, яка визначається за рівнянням [3]

$$t_p = 117,5 \cdot \alpha_{вр}^{-0,155} - 57,09. \quad (1)$$

Коефіцієнт утилізації теплоти за рахунок «сухого» теплообміну

$$\psi_c = 1 - \left( 0,0264 - 1,64 \cdot 10^{-4} \cdot t_1' \right) \cdot t_1'' . \quad (2)$$

Теплова потужність спаленого палива

$$Q_{пал} = V_p \cdot Q_n^p . \quad (3)$$

де  $V_p$  – витрата робочого палива, м<sup>3</sup>/с;  $Q_n^p$  – теплота згорання палива, МДж/м<sup>3</sup>.  
Теплова потужність, яка утилізується за рахунок «сухого» теплообміну

$$Q_c = Q_{пал} (1 - \eta_k) \psi_c . \quad (4)$$

$\eta_k$  – коефіцієнт корисної дії котла.

Коефіцієнт утилізації теплоти за рахунок «конденсаційного» теплообміну

$$\psi_k = 1 - \left( 0,02656 - 1,554 \cdot 10^{-4} \cdot t_1' \right) \cdot t_1'' . \quad (5)$$

Теплова потужність, яка утилізується за рахунок «конденсаційного» теплообміну

$$Q_k = Q_{пал} \left( Q_b^p / Q_n^p - 1 \right) \psi_k , \quad (6)$$

де  $Q_b^p$  – вища теплота згорання робочого палива, яка перевищує нижчу теплоту згорання на теплоту конденсації водяної пари.

Загальна утилізована потужність

$$Q_{ty} = Q_c + Q_k . \quad (7)$$

В розрахунках прийнято, що 70% відхідних газів котла надходять в утилізатор, а 30% в обхід утилізатора. На вході в димову трубу потоки змішуються для запобігання конденсації на стінках димової

труби. Температура відхідних газів після економайзера парового котла змінюється залежно від навантаження в діапазоні 114...128 °С. Причому в разі зменшення навантаження температура відхідних газів зменшується. Результати розрахунків показані на рис. 1.

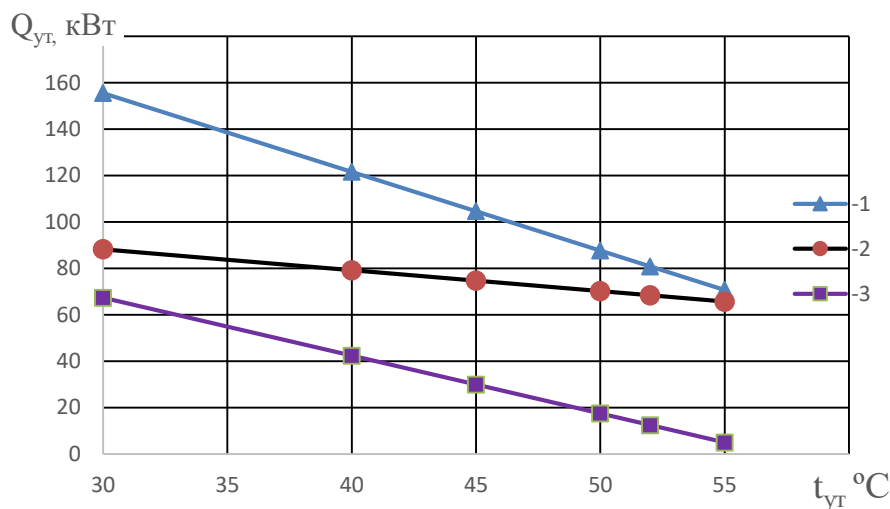


Рисунок 1 – Залежність потужності за рахунок «конденсаційного» теплообміну (3), «сухого» теплообміну (2) і загальної потужності (1) пластинчастого теплообмінника-утилізатора від температури газів на виході з утилізатора

Із рис. 1 видно, що під час глибокого охолодження димових газів до температур 30 °С сумарний потік відведеної в теплоутилізаторі збільшується у 2,5 рази порівняно з його роботою у «сухому» режимі.

## Висновки

Виконано дослідження потужності пластинчастого теплообмінника типу С–Н01 для утилізації теплоти відхідних газів парового котла, який працюватиме в сухому та конденсаційному режимах його роботи.

Встановлено, що в разі глибокої утилізації теплоти відхідних газів потрібно запобігати конденсації водяної пари на стінках димової труби. Для цього 30% відхідних газів котла слід направляти в обхід утилізатора, а потоки змішувати перед димовою трубою.

Під час глибокого охолодження відхідних газів до температур 30 °С сумарний потік відведеної теплоти в теплоутилізаторі збільшується у 2,5 рази порівняно з його роботою у «сухому» режимі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фіалко Н. М., Пресіч Г. О., Гнедаш Г. О., Навродська Р. О., Новаківський М. О. Технологія утилізації теплоти димових газів з підвищеним вологовмістом для газоспоживальних котлів комунальної теплоенергетики. *Вісник НТУ «ХПІ»*, № 45, С. 70 – 77.
2. Чепурний М. М., Димніч І. М., Куцак О. В. Ефективність утилізації теплоти відхідних газів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 2011. №3. С. 37 – 40.
3. Чепурний М. М., Резидент Н. В., Олексина Т. М., Возіян Ю. К. Утилізація теплоти відхідних газів із котлів в утилізаторах контактного типу. *Наукові праці ВНТУ*, 2015. №3. URL: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/455?articlesBySameAuthorPage=3> (дата звернення 01.03.2023).

4. Жовмір М. М. Утилізація низькотемпературної теплоти продуктів згорання палива. *Промислова теплотехніка*, 2008. №2. С. 90 – 97.

5. Теплообмінник для теплової обробки газів та повітря. URL: <https://ankort.com/ua/galereya/zkhk/>. (дата звернення 01.03.2023).

*Резидент Наталія Володимирівна*, кандидат технічних наук, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, [rezidentnv1@ukr.net](mailto:rezidentnv1@ukr.net)

*Кучер Наталія Анатоліївна*, магістр, кафедра теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, [natka.kucher19@gmail.com](mailto:natka.kucher19@gmail.com)

*Щуришин Дмитро Романович*, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, [dima.rubanov.199730@gmail.com](mailto:dima.rubanov.199730@gmail.com)

*Nataliia Rezydent*, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [rezidentnv1@ukr.net](mailto:rezidentnv1@ukr.net)

*Nataliia Kucher*, master, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University [natka.kucher19@gmail.com](mailto:natka.kucher19@gmail.com)

*Dmytro Shchuryshyn*, student on Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, [dima.rubanov.199730@gmail.com](mailto:dima.rubanov.199730@gmail.com)