

РАЦІОНАЛЬНІ МЕТОДИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ В ГАЗОТРУБНИХ КОТЛАХ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі проведено числові дослідження ефективності інтенсифікації теплообміну в газотрубній частині котла потужністю 550 кВт на щепі деревини, проаналізовано вплив параметрів інтенсифікаторів на коефіцієнт корисної дії, температуру відхідних газів, втрати тиску.

Ключові слова: водогрійний котел, щепи, спалювання, інтенсифікація теплообміну.

Abstract

Numerical studies of the efficiency of the heat exchange intensification in the gas pipe part of the 550 kW on wood chips have been carried out, the influence of the parameters of the intensifiers on the efficiency coefficient, the temperature of the waste gases, and the pressure loss have been analyzed.

Keywords: water boiler, chips, combustion, intensification of heat exchange.

Вступ

Інтенсифікація теплообміну в теплообмінних пристроях має велике значення в промисловості. В результаті інтенсифікації процесів теплообміну можна досягти суттєвого зменшення маси і габаритів теплообмінного обладнання, а також забезпечити заданий температурний рівень елементів цього обладнання і підвищити надійність їх роботи.

Методи інтенсифікації теплообміну, що дають можливість отримати позитивний ефект, відомі вже тривалий час, але залежності для розрахунку теплообміну і гідравлічного опору у всьому широкому діапазоні геометричних характеристик інтенсифікаторів, гідродинамічних і теплових умов, властивостей рідин і газів визначені не в повній мірі.

В науковій літературі практично відсутні дослідні і теоретичні розробки по інтенсифікації теплообміну для ламінарних режимів течії крапельних рідин і газів. Існуючі дані в основному не систематизовані з огляду на їх малу кількість. Відсутні теоретичні дослідження для багатьох цікавих в практичному відношенні методів інтенсифікації.

Для газотрубних водогрійних котлів проблема інтенсифікації теплообміну особливо актуальна, оскільки від інтенсивності теплообміну в теплообміннику залежить температура відхідних газів та коефіцієнт корисної дії.

В сучасних газотрубних котлах в основному використовуються інтенсифікатори, виконані у вигляді спіральних дротових вставок, скручених навколо своєї осі металевих пластин, кільцевої чи спіральної накатки, виштамповок різної форми, що дозволяє руйнувати прикордонний шар і турбулізувати пристінні шари газового потоку [1].

Застосування раціональних в енергетичному і технологічному сенсі методів інтенсифікації теплообміну в теплообміннику газотрубного котла дозволить підвищити його коефіцієнт корисної дії та зменшити габарити. Тому тематика статті є **актуальною**.

Мета роботи – дослідження впливу геометричних характеристик інтенсифікаторів теплообміну на енергетичні показники газотрубного котла.

Основна частина

В рамках курсового проектування розроблено конструкцію теплогенератора на щепі деревини. Розрахункова потужність теплогенератора 550 кВт. Температура води на вході в котел 70 °С; на виході 90 °С; паливо – щепи деревини з таким складом: $W^p=30\%$, $C^p=34,58\%$, $N^p=0,42\%$, $H^p=4,24\%$, $S^p=0,04\%$, $O^p=30,21\%$, $A^p=0,51\%$ $Q_{н,р}=12,01$ МДж/кг. Коефіцієнт корисної дії котла визначався за зворотнім тепловим балансом. Втрати теплоти від хімічної і механічної неповноти згорання

приймались $q_3=0,5\%$, $q_4=1\%$, $q_5=0,8\%$. Коефіцієнт надлишку повітря α в розрахунках взято 1,4. Дослідження ефективності застосування скручених стрічок в такому котлі наведено в роботі [2].

Інтенсифікатор, що досліджувався в роботі, наведено на рисунку 1. Експериментальні дослідження ефективності такого інтенсифікатора наведено в дисертаційній роботі іноземного автора [3]. Тут досліджувалась ефективність інтенсифікації теплообміну для газових потоків в діапазоні чисел Рейнольдса 3000...20000. Залежності для розрахунку інтенсифікованого теплообміну взято в даній роботі [3].

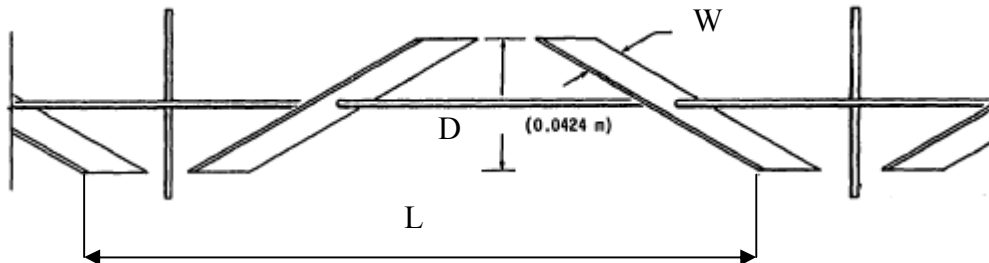


Рисунок 1 – Інтенсифікатори теплообміну

Авторами проведено дослідження впливу геометричних характеристик інтенсифікатора (L/D) та W/D на показники роботи котла за змінного навантаження.

Для дослідження характеристик котла в MSExcel реалізована математична модель, розроблена в роботі [4]. Залежності для розрахунку інтенсифікованого теплообміну взято з [3].

На рисунку 2 наведені результати розрахунку ККД котла за змінного навантаження і з різним параметром L/D , розмір W/D взято 0,15.

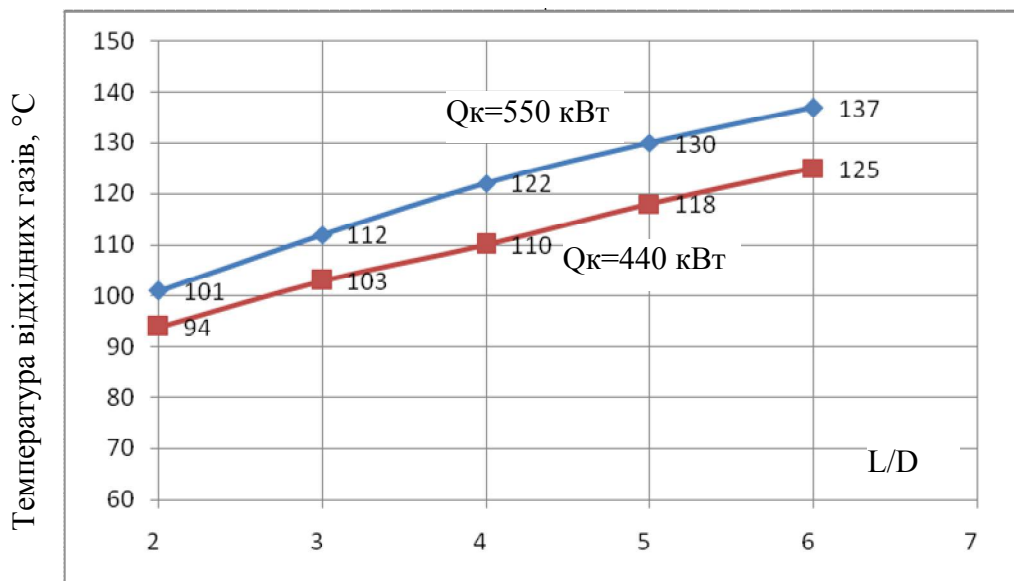


Рисунок 2 – Залежність температури відхідних газів від кроку інтенсифікатора L/D за потужності 550 кВт та при потужності 80 % від максимальної (440 кВт)

Розглянутий спосіб інтенсифікації теплообміну досить суттєво покращує теплообмін (в 2...4 рази порівняно з варіантом без інтенсифікації). Це призводить до суттєвого зменшення температури відхідних газів. На етапі проектування теплогенераторів використання таких інтенсифікаторів сприятиме суттєвому зменшенню габаритних розмірів. При встановленні інтенсифікаторів в існуючу конструкцію буде мати місце сильне охолодження димових газів. Для котлів на деревині, зокрема порід, що утворюють багато смол, це може призвести до конденсації останніх в теплообміннику та газоході.

З рисунку 2 видно, що температура відхідних газів суттєво зменшується у всьому діапазоні зміни геометричних розмірів інтенсифікатора. Тому найбільш раціональним геометричним параметром є крок $L/D=6$. При цьому температура відхідних газів становитиме $137\text{ }^{\circ}\text{C}$ при максимальному навантаженні. Гідравлічний опір в досліджуваному діапазоні зміни параметрів збільшується в $1,16...4,79$ рази.

Робота котла на навантаженні відмінному від номінального характеризується зниженням температури відхідних газів. Це може призвести до конденсації водяної пари, що міститься в димових газах, на теплообмінних поверхнях.

На рисунку 3 наведено результати досліджень впливу зміни параметру W/D на температуру відхідних газів. Параметр L/D для розрахунків взято 6.

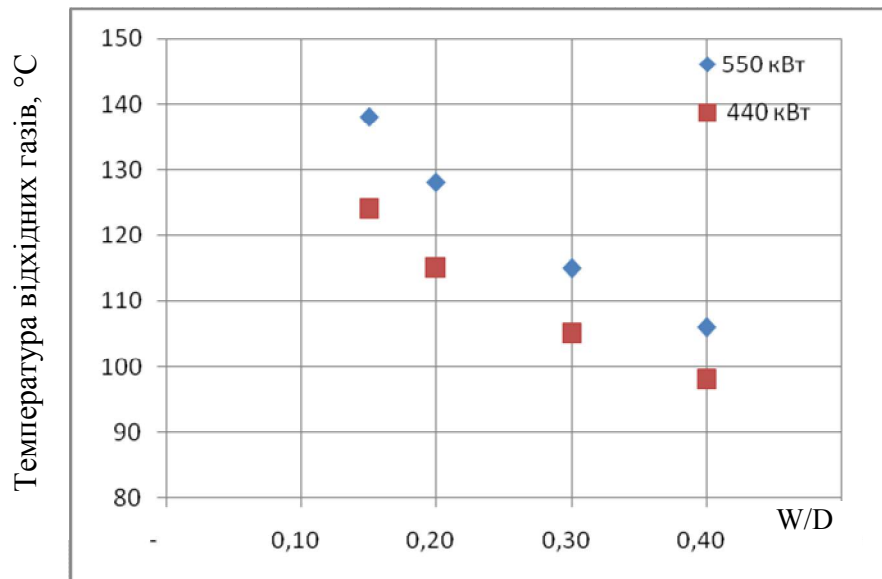


Рисунок 3 – Залежність температури відхідних газів від параметру інтенсифікатора W/D за потужності 550 кВт та при потужності 80 % від максимальної (440 кВт)

Зі зменшенням параметру W/D , ефект інтенсифікації зменшується, що призводить до збільшення температури відхідних газів. Для потужності 550 кВт та параметром $W/D=0,15$ температура відхідних газів становить $138\text{ }^{\circ}\text{C}$, а ККД становить 90,4 %. Інші параметри інтенсифікатора для розглянутої конструкції недоцільні, з огляду на значне охолодження димових газів. Такий інтенсифікатор доцільно використовувати в газотрубних котлах на природному газі.

Отже, за результатами досліджень, найбільш раціонально використовувати за даних умов, інтенсифікатор з кроком $L/d = 6$ та $W/D=0,15$, оскільки на всьому діапазоні зміни навантаження температура димових газів зменшується в межах, за яких виключається конденсація водяної пари.

ВИСНОВКИ

В роботі проведено дослідження впливу геометричних параметрів інтенсифікатора теплообміну (L/B та W/D на температуру відхідних газів, коефіцієнт корисної дії водогрійного котла на шепі деревини потужністю 550 кВт та на гідравлічний опір. Розглянутий спосіб інтенсифікації теплообміну досить суттєво покращує теплообмін (в $2...4$ рази порівняно з варіантом без інтенсифікації). Це призводить до суттєвого зменшення температури відхідних газів. На етапі проектування теплогенераторів використання таких інтенсифікаторів сприятиме суттєвому зменшенню габаритних розмірів. Найбільш раціональним геометричним параметром інтенсифікатора для даної конструкції є крок $L/D=6$ та $W/D=0,15$. При цьому температура відхідних газів становитиме $137\text{ }^{\circ}\text{C}$ при максимальному навантаженні. Гідравлічний опір в досліджуваному діапазоні зміни параметрів збільшується в $1,16...4,79$ рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Попов И. А. Промышленное применение интенсификации теплообмена – современное состояние проблемы (озор)/ И. А. Попов, Ю. Ф. Горышков, В. В. Олимпиев// Теплоэнергетика. – 2012. – №1. – с. 3 – 14.

2. Боднар Л. А. Ефективність інтенсифікації теплообміну в теплогенераторі на щепі деревини /Л. А. Боднар, І. В. Лепетан. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/egeu2017/paper/view/3329>
3. V. Nirmalan. Investigation of turbulence promoting inserts for augmenting heat transfer from gases in tubes. Dissertation. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://lib.dr.iastate.edu/rtd/8101>.
4. Степанов Д. В. Енергетична та екологічна ефективність водогрійних котлів малої потужності. Монографія / Д. В. Степанов, Л. А. Боднар. – Вінниця: ВНТУ, 2011 – 151 с.

Боднар Лілія Анатоліївна, к.т.н., доцент кафедри теплоенергетики ВНТУ. e-mail: Vodnar06@ukr.net

Лепетан Іван Васильович, студент групи ТЕ-17 м, факультет будівництва, теплоенергетики та теплогазопостачання, Вінницький національний технічний університет. e-mail: lepetan94@mail.ua

Bodnar Lilia, Cand. Sc. (Eng), Assistant Professor of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Vodnar06@ukr.net.

Lepetan Ivan – Department of Building Heating and Gas Supply, Vinnytsia National Technical University.