УДК 621.565.952

Д. В. Степанов
О.В. Ткачук

ТЕПЛООБМІННИК З ПРОФІЛЬНО ВИТИМИ ТРУБКАМИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОМИСЛОВОЇ КОТЕЛЬНІ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі досліджено можливості підвищення енергетичної ефективності промислової котельні, що працює на лушпинні соняшника, шляхом утилізації теплоти димових газів. Обґрунтовано доцільність встановлення охолодника живильної води та розроблено конструкцію теплообмінника з профільно-витими трубами. Виконано тепловий і гідравлічний розрахунки теплообмінного апарата, оцінено його теплотехнічні характеристики та перспективи практичного застосування для зменшення теплових втрат і витрат палива.

Ключові слова: промислова котельня, лушпиння соняшника, охолодження живильної води, підвищення ККД котлів

Abstact

The paper investigates ways to improve the energy efficiency of an industrial boiler house fired by sunflower husk through the recovery of heat from flue gases. The feasibility of installing a feedwater cooler is substantiated, and a heat exchanger incorporating twisted-profile tubes is designed. Thermal and hydraulic calculations of the heat exchanger are performed, and its thermal performance and prospects for practical application in reducing heat losses and fuel consumption are evaluated.

.

Keywords: industrial boiler house, sunflower husk, feedwater cooling, improvement of boiler efficiency

Вступ. Постановка задачі

Підвищення енергоефективності промислових котелень, особливо тих, що використовують як паливо лушпиння соняшника, є важливим завданням сучасної теплоенергетики. Застосування цього виду біомаси дає змогу використовувати місцеві відновлювані паливні ресурси, зменшувати споживання природного газу та підвищувати енергетичну незалежність промислових підприємств. Водночас навіть за умови використання відносно дешевого біопалива ефективність його енергетичного використання значною мірою визначається технічним станом котельного обладнання, організацією процесу горіння та повнотою утилізації теплоти продуктів згоряння.

Одним із перспективних напрямів підвищення ККД котлів є зменшення втрат теплоти з відхідними димовими газами шляхом їх глибшого охолодження [1]. У цьому контексті особливий інтерес становить застосування охолодників живильної води, які створюють додаткові умови для кращого відведення теплоти від димових газів і відповідного підвищення загальної ефективності системи. Таке технічне рішення дає змогу знизити температуру газів перед їх відведенням у димову трубу, зменшити втрати теплоти з відхідними газами та, відповідно, підвищити ККД котельного агрегату. Це в свою чергу призводить до зменшення витрати палива та викидів шкідливих газів та твердих частинок при його спалюванні в котлі.

Тому дослідження можливостей глибшого охолодження димових газів із застосуванням охолодників живильної води та оцінювання їхнього впливу на ККД котлів є актуальним науково-практичним завданням [2 - 4].

Мета роботи – зменшення витрати палива та викидів шкідливих речовин шляхом впровадження охолодника живильної води на промисловій паровій котельні, що працює на лушпинні соняшника.

Результати досліджень

Для проведення моделювання ефективності впровадження охолодника живильної води на паровій промисловій котельні потужністю 22 МВт, що працює на лушпинні соняшника.

Температура живильної води на вході в котли до встановлення охолодника 100°С, а після встановлення охолодника живильної води 70°С. При витраті живильної води 32 т/год розрахункова потужність цього теплообмінника склала 1117 кВт.

В якості холодного джерела обрана додаткова вода з температурою 7°С і витратою 28 т/год.

Орієнтовний аналіз показав, що таке зниження температури живильної води може призвести до зниження температури відхідних газів на 40…50°С. Таке зниження температури відхідних газів може призвести до зростання ККД на 4,2…4,5%.

Аналіз конструкцій теплообмінників показав, що найбільш уживаними є кожухотрубні, пластинчасті та теплообмінники з витими або профільованими трубками. Останні мають трубки зі спеціальним профілем поверхні, які додатково закручені по гвинтовій лінії [5 - 7]. Така геометрія впливає на структуру потоку, сприяє його перемішуванню, інтенсифікації теплообміну, формує закручений потік і вторинні течії. Це порушує розвиток теплового примежового шару біля стінки, посилює перемішування теплоносія та збільшує коефіцієнт тепловіддачі. Профільована поверхня додатково впливає на гідродинаміку потоку й інтенсифікує теплообмін. Такий теплообмінник компактний, має зменшену здатність до забруднень, тому що інтенсивніший рух потоку може перешкоджати утворенню відкладень.

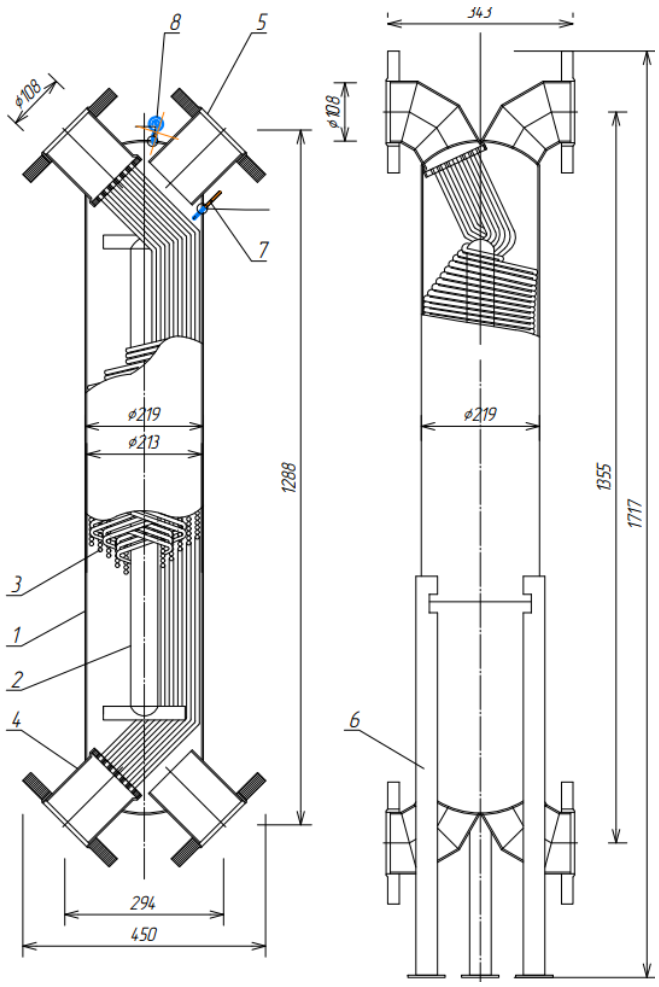

Рисунок 1 – Основні розміри охолодника живильної води з профільно витими трубками

Спроєктовано теплообмінний апарат, зовнішній вигляд якого представлений на рис. 1.

Розрахунковий коефіцієнт теплопередачі такого теплообмінника склав 3050 Вт/(м^{2}К) при коефіцієнті, що враховує забруднення 0,85. Тому обчислена площа теплообміну такого охолодника склала 6,02 м^2.

Така конструкція теплообмінного апарату спричиняє значну різницю у гідравлічних опорах по грійному та нагріваному теплоносію. Гідравлічний опір міжтрубного простору для грійного теплоносія склав 109 Па, в той час як для холодного теплоносія в трубному просторі розрахунковий опір склав 203,6 кПа. Розрахунок тепловий втрат через корпус показав, що товщини мінераловатної ізоляції 50 мм достатньо для забезпечення нормативних втрат теплоти з поверхні корпусу теплообмінника.

Висновки

В даній роботі обґрунтовано доцільність впровадження охолодника живильної води на промисловій паровій котельні, що використовує лушпиння соняшника, як одного з напрямів підвищення енергоефективності котельного обладнання за рахунок глибшої утилізації теплоти димових газів.

Встановлено, що зниження температури живильної води на вході в котли зі 100 до 70 °С за її витрати 32 т/год відповідає розрахунковій тепловій потужності охолодника близько 1,117 МВт. Як хо-

лодний теплоносій запропоновано використовувати додаткову воду з температурою 7 °С та витратою 28 т/год.

За результатами попереднього теплового аналізу визначено, що застосування охолодника живильної води дає змогу знизити температуру відхідних димових газів орієнтовно на 40…50 °С. Очікуване підвищення ККД котельного обладнання становить 4,2–4,5 %, що дозволить зменшити витрати лушпиння соняшника та пов'язаних із його спалюванням викидів шкідливих речовин.

За результатами аналізу конструктивних рішень теплообмінного обладнання обґрунтовано доцільність застосування теплообмінника з профільно-витими трубками. Особливості їх геометрії сприяють формуванню закручених потоків і вторинних течій, інтенсифікації теплообміну, зменшення відкладень, що дає змогу створювати компактні теплообмінні апарати. Розроблено конструкцію охолодника живильної води з розрахунковим коефіцієнтом теплопередачі 3050 Вт/(м²·К) та площею поверхні теплообміну 6,02 м². Гідравлічний опір міжтрубного простору 109 Па, а трубного простору 203,6 кПа.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Тарасюк В.М. Експлуатація котлів. Настільна книга для операторів котелень / В.М. Тарасюк – К: Основа, 2001. – 288 с.
2. Тепломасообмін. Частина І : навчальний посібник / О. Ю. Співак, Н. В. Ре-зидент. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 113 с
3. Степанова Н.Д. Теплові мережі. Навчальний посібник / Н. Д. Степанова, Д. В. Степанов. – Вінниця : ВНТУ, – 2009. – 135 с.
4. Чепурний М. М. Розрахунки тепломасообмінних апаратів / М. М. Чепурний, С. Й. Ткаченко. – Вінниця: ВНТУ, 2001. – 130 с.
5. Basok, B., Dubovsky , S., Pastushenko, E., Moroz, M., & Veremiichuk, H. Active utilization of the heat of the flue gases of the biofuel boiler. Energy Technologies & Resource Saving, (2023) 77(4), 67–80.
6. Valentin Petkov. Heat transfer enhancement by a combination of spirally corrugated tubes with a twisted tapes Part 1 - hydraulic resistance and heat transfer coefficients //Journal of the Technical University of Gabrovo. 62 (2021) 56-60
7. Barraza-Colón J., Picón-Núñez M. Improved heat recovery using twisted tube exchanger technology // Cleaner Engineering and Technology, №10, 2022. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790822001628 (дата звертання 10.11.2026 р.)

Степанов Дмитро Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Stepanovdv@ukr.net

Ткачук Олександр Валерійович, студент кафедри теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет

Stepanov Dmitro, candidate of technical Sciences, associate Professor, Department of power engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: Stepanovdv@ukr.net

Tkachuk Olexandr, student on Department of thermal power engineering, Vinnytsia National Technical University