

УДК 621.18

Д. В. Степанов, к. т. н. доц.;

С. Й. Ткаченко, д. т. н., проф.;

Л. А. Боднар, асп.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ В ЖАРОТРУБНОМУ ВОДОГРІЙНОМУ КОТЛІ

Створено експериментальний стенд для дослідження інтенсифікації теплообміну в жаротрубному елементі водогрійного котла малої потужності. Обґрунтовано доцільність застосування інтенсифікаторів теплообміну в жаротрубному елементі водогрійного котла. Запропоновано вставки оригінальної конструкції. Проаналізовано результати експериментів.

Вступ. Постановка задачі

Зменшення маси і габаритів водогрійних котлів малої потужності є досить актуальною задачею. Найперспективнішим шляхом розв'язання цієї задачі є інтенсифікація теплообміну. Огляд літературних джерел вказує на недостатність інформації щодо методик розрахунку інтенсифікованого теплообміну в умовах ламінарного режиму. Як зазначалось в [1], інтенсифікацію необхідно застосовувати в жаротрубному елементі водогрійного котла. З цією метою застосовуються вставки різноманітної конфігурації [1—5]. Проблему енергетичної ефективності водогрійних котлів малої потужності слід вирішувати разом з дотриманням екологічних вимог. Концентрація шкідливих викидів в продуктах згоряння для сучасних теплогенераторів регламентується низкою ДСТУ. Максимально допустимий вміст оксидів в продуктах згоряння за нормальних умов складає: $\text{CO} - 120 \text{ мг/м}^3$, $\text{NO}_x - 240 \text{ мг/м}^3$ [6].

Метою даної роботи є експериментальні дослідження роботи водогрійного жаротрубного котла малої потужності з інтенсифікацією теплообміну в жаротрубних каналах.

Експериментальний стенд

Для дослідження інтенсифікації теплообміну в жаротрубному елементі водогрійного котла потужністю 32 кВт створено експериментальний стенд, що дозволяє моделювати процеси теплообміну в жаротрубному елементі (ЖЕ). Виготовлення та випробування експериментального стенду проведено на ДП «Красилівський агрегатний завод» за участю авторів. Схема дослідної установки показана на рис. 1.

Експериментальний стенд для дослідження інтенсифікації теплообміну в жаротрубному елементі водогрійного котла потужністю 32 кВт включає ємність для нагрітої води 1. В ємність поміщений теплообмінник 2, в який подається холодна вода з трубопроводу, і відводиться нагріта вода. Подача води з ємності регулюється кульовим краном 3 і через фільтр 4 насосом 5 трубопроводом прямої води подається в водогрійний котел 8. Витрата води виміряється лічильником 6 марки СК 15Г-01, температура прямої води виміряється термометром 7 Т1 марки ТЛ-5 ГОСТ 215-73 з діапазоном вимірювання ($-30 \dots 70 \text{ }^\circ\text{C}$) та ціною поділки $0,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура нагрітої в котлі води виміряється термометром марки ТТЖ-М з діапазоном вимірювання ($0 \dots 100 \text{ }^\circ\text{C}$) та ціною поділки $1 \text{ }^\circ\text{C}$. Нагріта вода подається трубопроводом зворотної води в ємність 1, де охолоджується за допомогою теплообмінника 2. Природ-

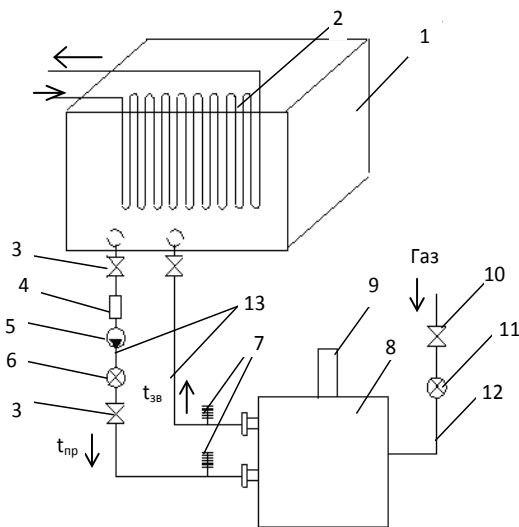


Рис. 1. Експериментальний стенд для дослідження інтенсифікації теплообміну в жаротрубному елементі водогрійного котла потужністю 32 кВт: 1 – ємність для води; 2 – теплообмінник; 3 – кульовий кран; 4 – фільтр; 5 – насос; 6 – лічильник води; 7 – термометр; 8 – водогрійний котел; 9 – димова труба; 10 – засувка; 11 – лічильник газу; 12 – газопровід; 13 – трубопроводи прямої та зворотної води

проводом зворотної води в ємність 1, де охолоджується за допомогою теплообмінника 2. Природ-

ний газ газопроводом 12 діаметром d_y 15 подається на пальники котла. Витрата газу вимірюється лічильником марки G4PA KAZ 2002 р, регулюється засувкою 10. Димові гази після котла виводяться димовою трубою 9.

Водогрійний котел складається з основних частин: топки, жаротрубного елемента, трубної дошки, кожуха, блоку пальників. Теплотехнічні випробування проведені з такими варіантами конструкції елементів апарата:

1. Висота топки 235 мм, жаротрубний пучок висотою 410 мм без вставок, (рис. 2а);
2. Висота топки 235 мм, в жаротрубному пучку розташовані вставки, які складаються із вставки з щілинами і шайб (конструкція вставки та двох шайб наведена в [3], рис. 2б);
3. Висота топки 235 мм, в жаротрубному пучку розташована вставка з отворами у вигляді щілин, верхня кришка елемента на 50 мм нижче верхньої точки жарової труби (конструкція вставки наведена в [3], рис. 2в);
4. Пальниковий блок розташовано нижче на 19 мм, висота топки складає 254 мм в жаротрубному пучку розташована вставка з отворами у вигляді щілин (верхня кришка елемента розміщена на 50 мм нижче верхньої точки жарової труби, рис. 2г).

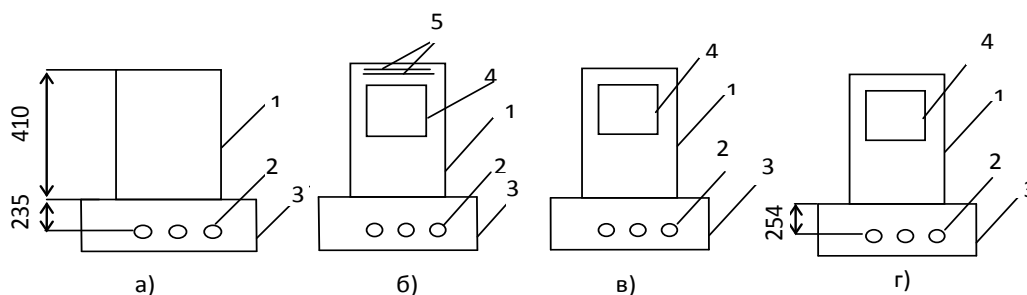


Рис. 2. Варіанти розташування елементів апарата під час проведення експериментальних досліджень:
1 – жаротрубний елемент; 2 – топка котла; 3 – блок пальників; 4 – вставка з щілинами; 5 – шайби

Діапазони зміни основних параметрів

Під час проведення досліджень, тиск газу на вході в блок пальників $P_{газу}$ підтримувався сталий – 1300 Па; вміст кисню O_2 у відхідних газах, знаходився в межах 7,3...12,3 %; витрата газу на пальники підтримувалась стала – 3,764 м³/год; температурні режими води змінювались від 70/50 до 90/70 °С.

Методика проведення досліджень

Дослідження проводились за умов досягнення постійності температурного режиму прямої та зворотної води. В процесі проведення досліджень вимірюються такі параметри: температура відхідних газів, °С; температура прямої та зворотної води, °С; витрата газу, м³/с; витрата води, м³/с; вміст кисню у відхідних газах, %; тиск газу на вході в блок пальників, Па; час проведення експерименту; вміст CO у відхідних газах, мг/м³; вміст CO_2 у відхідних газах, %; вміст NO_x у відхідних газах, мг/м³.

Результати фізичного експерименту

Теплотехнічні випробування опалювального апарата потужністю 32 кВт, проведені з 4 варіантами конструкції елементів апарата, дали такі результати.

Показники газоаналізатора під час випробувань

| Показники | Варіанти конструкції елементів апарата | | | |
|---|--|--------|---------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Тиск газу на вході в блок пальників $P_{газу}$, Па | 1300 | 1300 | 1300 | 1300 |
| Вміст кисню у відхідних газах, O_2 , % | 12,3 | 7,9 | 7,5 | 7,3 |
| Вміст CO у відхідних газах, мг/м ³ | 36,15 | 5459 | 4797,25 | 4309 |
| Коефіцієнт зайвого повітря α | 2,41 | 1,54 | 1,55 | 1,55 |
| Температура відхідних газів $t_{вг}$, °С | 366 | 93 | 158 | 171 |
| Вміст CO_2 у відхідних газах, % | 4,9 | 7,7 | 7,6 | 7,6 |
| Вміст NO_x у відхідних газах, мг/м ³ | 247,29 | 154,92 | 216,4 | 213,2 |

Аналіз результатів досліджень

Згідно з [6] температура газів на виході з котла, що працює на природному газі, не повинна перевищувати 110 °С. Як видно з таблиці 1, лише в другому досліді (рис. 2б), температура менша вказаного рівня. Розрахунок теплообміну в котлі проведений згідно з [7]. Під час дослідження без використання вставок заміряна температура газів на виході з котла становила 366 °С, а розрахований на цю температуру коефіцієнт корисної дії (ККД) котла – 65 %. Встановлення інтенсифікаторів оригінальної конструкції дало можливість знизити температуру відхідних газів до 93 °С, а ККД сягнув 94,4 %. Відповідно потужність котла зросла з 24,55 кВт до 35 кВт. Тобто, збільшення корисної потужності становить 42 % без збільшення габаритів котла і з незначним збільшенням маси котла. Під час досліджень виявлено, що встановлення інтенсифікаторів суттєво не впливає на значення NO_x , але приводить до збільшення концентрації СО. Це, на думку авторів, пов'язано зі зменшенням коефіцієнта зайвини повітря та процесами закалювання газів в районі вставки. Концентрація СО вища, ніж зазначено в [6], але недостатня для допалювання з метою виробництва додаткової теплоти. Скидання димових газів в топку котла малої потужності теж не приведе до позитивного ефекту, оскільки знизиться температура в топці, і, як наслідок, погіршаться теплотехнічні показники. Для приведення концентрацій NO_x і СО до допустимих значень необхідно покращувати якість спалювання палива, оптимізувати конструкцію пальника та аеродинаміку котла. Отримані експериментальні результати були співставлені з даними, отриманими в числовому експерименті з використанням розробленої математичної моделі [1]. За результатами досліджень визначено, що розрахункова температура відхідних газів на 154 °С вища експериментальної. Це відповідає розбіжності ККД і потужності котла на 31 %. Це, на думку авторів, пов'язано з тим, що нормативний метод теплового розрахунку котлоагрегатів розроблений для водотрубних котлів великої потужності. Для сталевих котлів малої потужності, наскільки відомо, немає чіткої методики теплового розрахунку, і конструктивно вони мають суттєві відмінності.

Висновки

З метою дослідження інтенсифікації теплообміну в жаротрубному елементі водогрійного котла малої потужності створено експериментальний стенд. На основі фізичного та числового експерименту проведені теоретичні та практичні дослідження для жаротрубного водогрійного котла із використанням вставок оригінальної конструкції з різними способами організації теплообміну в ЖЕ. Результати показали, що використання вставок із щілинами суттєво знижує температуру газів на виході з ЖЕ, а також погіршує екологічні показники. Крім того, нами виявлена невідповідність нормативного методу теплового розрахунку котлоагрегатів для розрахунків сталевих водогрійних котлів малої потужності. Розбіжність між експериментальною та розрахунковою потужністю котла складає 31 %. В зв'язку з цим, дослідження в цьому напрямку слід продовжувати з метою поліпшення роботи ЖЕ та котла в цілому, та для введення в [7] коригувальних поправок, що дозволить розраховувати сталеві котли малої потужності з достатньою точністю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Степанов Д. В., Ткаченко С. Й., Боднар Л. А. Математичне моделювання теплообмінних процесів у жаротрубному елементі водогрійного котла малої потужності // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2007. — № 2. — С. 76–79.
2. Пат. № 21404, F28F1/10 Україна. Вставка для теплообмінної труби / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А. — Опубл. 15.03.2007, Бюл. № 3.
3. Пат. № 19637, F28F1/00 Україна. Вставка для теплообмінної труби / Ткаченко С. Й., Степанов Д. В., Боднар Л. А. — Опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12.
4. Коваленко Л. М., Глушков А. Ф. Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи. — М.: Энергоатомиздат, 1986. — 238 с.
5. Калинин Э. К. Интенсификация теплообмена в каналах. — М.: Машиностроение, 1990. — 206 с.
6. ДСТУ 2326 (ГОСТ 10548 – 93) Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт.
7. Тепловой расчет котлоагрегатов (нормативный метод). — СПб: НПО ЦКТИ, 1998. — 256 с.

Рекомендована кафедрою теплоенергетики

Надійшла до редакції 29.10.07
Рекомендована до друку 23.11.07

Степанов Дмитро Вікторович — доцент, **Ткаченко Станіслав Йосипович** — завідувач кафедри, **Боднар Лілія Анатоліївна** — аспірантка.

Кафедра теплоенергетики, Вінницький національний технічний університет