

ВІДГУК

офіційного опонента,

д.т.н., професора, завідувача кафедри АЕС і ІТФ

КПІ ім. Ігоря Сікорського

ТУЗА В.О.

на дисертаційну роботу Канигіна Олександра Вікторовича

“Підвищення ефективності газових жаротрубних водогрійних

котлів”, яку подано на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук за спеціальністю

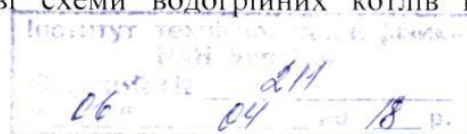
05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

Дисертаційна робота Канигіна О. В. присвячена дослідженню процесів теплообміну в жаровій трубі та розробці методики розрахунку водотрубно-димогоарного котла з метою підвищення його техніко-економічних та екологічних характеристик.

Далі представлено стислий аналіз позитивних якостей і недоліків дисертаційної роботи.

1. Актуальність обраної теми

Для забезпечення тепловою енергією житлових і промислових будівель в Україні існує достатньо розвинена мережа тепlopостачання. Генерація теплової енергії відбувається як на ТЕЦ, так і на промислових котельнях. Основним обладнанням промислових котельень є водогрійні котли загальна кількість яких становить більше 4 тис. Термін експлуатації переважної кількості їх становить понад 15 років. В якості палива практично на всіх котельнях, враховуючі екологічні вимоги стосовно забруднення навколишнього середовища, використовують природний газ. Конструктивно водогрійні котли поділяються на жаротрубно-димогоарні та водотрубні. Враховуючі консервативність заводів-виробників котельного обладнання, теплові схеми водогрійних котлів не



змінювались останні 30...40 років. Внаслідок цього техніко-економічні і екологічні характеристики не відповідають сучасним вимогам, а конструкції існуючого обладнання фізично і морально застарілі.

На підставі цього можна вважати, що тема дисертаційної роботи, яка присвячена дослідженням процесів теплообміну з метою підвищення техніко-економічних та екологічних характеристик водотрубно-димогарних котлів, оснащених жаровими трубами з теплообмінним пучком є актуальною як в науковому, так і в практичному плані.

2. Коротка характеристика змісту роботи

Структура та обсяг роботи

Дисертація складається з вступу, *чотирьох розділів*, висновків, списку використаних літературних джерел (154 найменування). Робота викладена на 159 сторінках основного тексту, містить 56 ілюстрацій та 20 таблиць. Загальний обсяг роботи 202 сторінки машинописного тексту.

Перший розділ присвячено аналізу розвитку конструкцій жаротрубних димогарних котлів, які повинні задовольняти наступним вимогам: надійності, ремонтпридатності, відповідним техніко-економічним і екологічним характеристикам. Характерною особливістю і значною перевагою водогрійних жаротрубно-димогарних котлів перед іншим обладнанням слід вважати простоту тягодуттьового тракту. Жаротрубно-димогарні котли, як правило, оснащуються блочними вентиляторними пальниками і працюють під надлишковим тиском димових газів.

Автор зазначає, що питання водно-хімічних режимів централізованих тепломереж завжди було актуальним, оскільки якість води є основним чинником надійності функціонування котлів.

Проведений аналіз конструктивних недоліків жаротрубно-димогарних котлів дозволив автору зробити висновок, що при роботі у вітчизняних тепломережах виявляються наступні проблеми:

- низька надійність частини поверхонь нагріву, які працюють у зоні високих температур (жарова труба, початкові ділянки димогарних труб та примкнені до них ділянки трубних дощок);

- прискорене випадання та накопичення шламу у нижній частині водяного простору;

- жорсткість конструкції та її схильність до формування термічних напружень;

- наявність кисневої корозії поверхонь нагріву;

- обмежена ремонтпридатність.

Таким чином, автором визначена основна наукова задача - створення конструкції жаротрубно-димогарного котла, адаптованого для виготовлення, встановлення і роботи в умовах підприємств вітчизняних теплових мереж.

В дисертаційній роботі проведено аналіз робіт, які присвячені дослідженню процесів теплообміну в топках жаротрубно-димогарних котлів. Зазначено недостатню обґрунтованість методик розрахунку у випадку, коли число Бугера $Bu < 0,5$. В значній мірі це пов'язано з необхідністю врахування конвективної складової теплообміну.

На підставі аналізу виконаного літературного огляду були сформульовані задачі дослідження:

- розроблення конструкції нового водотрубно-димогарного котла;

- визначення та аналіз теплофізичних характеристик, які необхідно враховувати при моделюванні топкових процесів у водотрубно-димогарному котлі;

- проведення експериментів на дослідному зразку водотрубно-димогарного котла тепловою потужністю 630 кВт;

- порівняльний аналіз техніко-економічних та екологічних характеристик, отриманих при моделюванні та під час експериментальних досліджень;

- обґрунтування та розроблення пропозицій щодо корегувань теплового розрахунку топки водотрубно-димогарного котла за методикою ЦКТІ;

- дослідно-промислові випробування водогрійного водотрубно-димогарного котла тепловою потужністю 630 кВт у міській тепловій мережі.

Другий розділ присвячено моделюванню процесів теплообміну в топках водотрубно-димогарних котлів.

Основною ідеєю дисертаційної роботи є встановлення трубного пучка в жарову камеру. На думку автора це дозволить збільшити конвективну складову теплообміну, зменшити температуру газів в зоні активного горіння, об'єм зони активного горіння, температуру газів на виході з топки, що призведе до підвищення загального ККД котла, зменшення емісії оксидів азоту, понизити напруження в елементах конструкції топки. Для рішення цих задач виконане комп'ютерне моделювання топкових процесів за допомогою обчислювальної газодинаміки (CFD-modeling). Моделювання полягало у використанні комп'ютерних програм, які вирішують багаторівневу систему диференціальних та алгебраїчних рівнянь опису аеродинамічних, фізико-хімічних, термодинамічних та теплофізичних процесів. Методика моделювання топкового процесу газового водотрубно-димогарного котла враховувала технічні характеристики топки і пальника. При моделюванні враховувалися наступні особливості технологічного процесу:

- принцип спалювання газу (кінетичний, дифузійний, змішаний);
- конфігурація та геометричні параметри паливного та повітряного тракту пальникового пристрою;
- геометричні характеристики топки;
- гідродинамічні та теплофізичні особливості перебігу теплофізичних процесів (наявність зон з інтенсивними змінами температури, швидкості димових газів та формування на стінах топки застійних зон);
- гідродинамічний режим горіння (ламінальний, турбулентний).

Моделювання процесу утворення викидів NO_x у програмному комплексі ANSYS FLUENT виконувалося за допомогою моделей, які враховують частковий вміст NO_x у димових газах (rate models).

В роботі виконано порівняльний аналіз методів теплового розрахунку жарових труб.

Моделювання процесів горіння та теплообміну дозволило виявити локальні теплофізичні ефекти, які супроводжують роботу топок жаротрубно-димогарних котлів, а також зафіксувати зміни у технологічному режимі роботи жарової труби при встановленні в її простір охолоджувальних поверхонь нагріву.

Розрахована при моделюванні температура димових газів на виході із топок жаротрубно-димогарних котлів типових конструкцій відповідає значенням, отриманим експериментально та відомими з літератури результатам для аналогічного обладнання. Це свідчить про те, що аеродинамічні та теплофізичні умови при моделюванні топок відтворені подібними до реальних.

Розроблений автором екранний пучок у топці водотрубно-димогарного котла сприяє зменшенню зон рециркуляції газів в топковому об'ємі, що прилягає до передньої стінки і кореню факелу. Виникає додаткова зона рециркуляції, яка примикає до середини факелу. Границі факела мають чітку та виражену структуру. Довжина факела у топці водотрубно-димогарного котла на 10% менша, ніж у топках інших конструкцій. Визначено, що за рахунок аеродинамічних змін та охолодження передньої стінки покращується заповнення топкового простору продуктами горіння, інтенсифікується теплообмін. Процес горіння природного газу у топці водотрубно-димогарного котла відбувається при менших рівнях температури, ніж у топках жаротрубно-димогарних котлів типових конструкцій. Доля теплоти, яка передається шляхом випромінювання, у жарових трубах-топках котлів типових конструкцій складає 79...84%. При цьому, доля теплоти, яка передається випромінюванням у топці водотрубно-димогарного котла менша. Зони, де спостерігається масове утворення оксидів азоту, у топці водотрубно-димогарного котла зменшені та локалізовані.

Моделювання теплообміну виявило зони кипіння на бокових стінках жарових труб-топок водогрійних жаротрубно-димогарних котлів типових конструкцій. Зони кипіння на поверхнях нагріву топки водотрубно-димогарного котла не виявлені. Напруження, створені температурними розширеннями в зварних швах поверхонь нагріву жаротрубно-димогарних

котлів залежать від прийнятих конструктивних рішень і можуть досягати значних величин, порівнянних із розрахунковими напруженнями, що створюються тиском мережної води. Топка водотрубно-димогоарного котла допускає необмежену кількість робочих циклів і не знижує надійності його роботи. В такому випадку надійність водотрубно-димогоарного котла має визначатися технічними умовами роботи пального пристрою та системою котлової автоматики, що в свою чергу більшою мірою залежить від якості проектування всієї системи теплопостачання.

У другому розділі зосереджено майже вся цікава наукова інформація по роботі. Для більш чіткого її усвідомлення, доцільно поділити цю інформацію на декілька розділів.

У *третьому розділі* автором представлено результати експериментального дослідження режимів роботи водотрубно-димогоарного котла.

Об'єкт дослідження - котел водогрійний водотрубно-димогоарний номінальною тепловою потужністю 630 кВт, який використовує в якості палива природний газ низького тиску. Котел призначений для опалення, технологічних потреб і гарячого водопостачання житлових, службових та адміністративних приміщень.

На підставі аналізу проведених досліджень автор зазначає, що удосконалення топки жаротрубно-димогоарного котла шляхом збільшення поверхонь нагріву за рахунок обладнання охолоджувального трубного пучка у топковому об'ємі являється ефективним технічним рішенням, яке покращує техніко-економічні та екологічні характеристики. За даними експерименту, наявність у жаровій трубі радіального трубного пучка не приводить до значного зростання аеродинамічного опору, підвищення якого складає 10... 15 мм. вод. ст. Помітне збільшення гідравлічного опору котла також не було виявлено. Загальний гідравлічний опір котла склав величину меншу 0,01 МПа. Перехід котла на часткове навантаження практично не впливає на зменшення концентрації NO_x , що підтверджує адекватність результатів комп'ютерного моделювання.

Встановлено, що перехід пального водотрубно-димогарного котла з 2-го ступеня горіння на 1-й не приводив до значної зміни концентрації NO_x . В цілому, концентрації NO_x на всіх режимах лишалися меншими, ніж у котлі «Турбомат - Дуплекс». Концентрації CO за котлом можливо підтримувати на стабільному рівні у палиниках особливої конструкції, оснащених автоматами горіння.

Четвертий розділ дисертації присвячено розгляду режимів генерації теплоти водотрубно-димогарним котлом та технологічні особливості його підключення, розроблено заходи із оптимізації роботи котла, обґрунтовано доцільність серійного виробництва.

Визначено середньорічні витрати палива на виробіток теплової енергії, а також значення середньорічних викидів оксидів азоту в атмосферу від водотрубно-димогарного котла у різних варіантах забезпеченню теплового навантаження. Економічний ефект скорочення споживання палива та середньорічне скорочення викидів NO_x , які можуть бути отримані від впровадження водотрубно-димогарних котлів, встановлювалися у порівнянні із аналогічними показниками розповсюджених на підприємствах комунальної теплоенергетики котлів НІИСТУ-5.

Запропоновані автором концепція та проведення оптимізації поверхонь нагріву дає можливість зменшити металоємність жаротрубно-димогарного котла.

Наукова новизна і значимість отриманих результатів

З моєї точки зору найбільш суттєві наукові результати роботи Канигіна Олександра Вікторовича полягають в наступному.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше розглянутий підхід для врахування конвективного теплообміну у теплових розрахунках жарових труб, який полягає у зіставленні чисел Бугера та Рейнольдса, розгляді конструктивних особливостей топки та

характеристик пального пристрою, на основі чого розроблений спосіб корегування методики ЦКТІ для теплового розрахунку жарових труб-топок.

2. Вперше охолоджувальні поверхні нагріву, які розташовані у жаровій трубі, зменшують низькотемпературну корозію у конвективних поверхнях, що має місце при зниженні температури зворотної мережної води.

3. Теоретично та експериментально доведено, що використання додаткових охолоджувальних поверхонь, вбудованих у простір жарової труби-топки, дозволяє скоротити викиди шкідливих речовин в атмосферу, підвищити ККД котла, зменшити його металоємність.

Обґрунтованість і достовірність основних положень дисертації.

Основні результати, положення і висновки дисертації базуються на результатах експериментальних досліджень. Дослідження проведені автором ґрунтуються на загально прийнятих фізичних уявленнях, а також використання сучасного програмного забезпечення. Тому основні положення дисертаційної роботи слід визнати достовірними і обґрунтованими.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Запропоновано спосіб корегування методики ЦКТІ для теплового розрахунку жарових труб-топок котлів.

2. Розроблено конструкцію нової жарової труби, яка може використовуватися у газотрубних котлах.

3. Виготовлений в АК «Київенергоремонт» за конструкторською документацією, розробленою за участі автора, впроваджений АК «Київенерго» та апробований новий газовий водогрійний водотрубно-димогарний котел КВВД-0,63 Гн тепловою потужністю 630 кВт.

Апробація результатів дисертації

Основні результати роботи доповідались і обговорювались на XVII, XXIII, XXVI Міжнародних конференціях "Проблемы экологии и эксплуатации объектов энергетики" (2007 р., 2013 р. м. Ялта; 2016 р., м. Одеса); Міжнародних конференціях "UKR-POWER «Уход от газовой зависимости. Альтернативная и возобновляемая энергетика. Проблемы, перспективы, инвестиции» та «Уход от газовой зависимости. Энергоэффективное использование традиционных энергоресурсов. Возобновляемая и альтернативная энергетика» (2011р, 2014 р. м. Київ); VIII, IX Міжнародних конференціях «Проблемы промышленной теплотехники» (2013р., 2015 р. м.Київ).

Публікації

За результатами дисертаційної роботи опубліковано 17 робіт, у тому числі 4 статті у спеціалізованих наукових виданнях, які входять до відповідного переліку наукових фахових видань України (1 без співавторів); одна електронна публікація; 2 публікації в наукових закордонних виданнях, 1 патент України на корисну модель, 7 робіт у матеріалах і працях міжнародних конференцій.

Автореферат написано докладно, добре ілюстровано і він повністю відповідає змісту дисертації. Всі основні положення і висновки, що містяться в дисертації, відображені в авторефераті.

3. Зауваження по дисертації

1. В дисертаційній роботі при визначенні геометричних розмірів (еквівалентний діаметр, стор.64, 66), чисел Бугера та Больцмана (стор.64), товщини ламінарного пограничного шару (стор.82, 86), ефективна товщина випромінюючого шару (стор.134) використовуються залежності, які мають відмінність від загально прийнятих. Пояснень не надано.

2. З тексту дисертаційної роботи не зрозуміло, як визначалися габарити факелу (стор.65) і що являє собою поняття «освітлена довжина жарової труби» (стор.66)

3. Потребує більш детального обґрунтування використання k-ε моделі турбулентності при розрахунку процесів теплообміну в жаровій трубі. З яких міркувань вибрані значення констант (стор.90).

4. Бажано надати пояснення щодо результатів чисельного дослідження, які представлені на рис.2.13 (стор.96). Аналіз, який надано автором у дисертації не зовсім узгоджується з представленими даними.

5. При розрахунку процесу радіаційного теплообміну в роботі наведені значення зміни температури металу в діапазоні 588...789 К (стор.104). Згідно рекомендацій «Теплового розрахунку котлів. Нормативний метод» температура стінки металу розраховується по залежності (7.70). Чим пояснити розбіжність рекомендацій і результатів розрахунку.

6. Чим пояснити, що питомий тепловий потік (рис.2.18, стор. 102) має в три рази менше значення для водотрубно-димогоарного котла в порівнянні з відповідними даними для інших котлів.

7. В роботі при визначенні конвективної складової загального теплообміну жарової труби автор для врахування нерівномірності обігріву по утворюючій трубі пропонує зменшувати площу поверхні теплообміну труб в два рази. Було би доречно для врахування нерівномірності обігріву по утворюючій трубі вводити коефіцієнт використання, або теплової ефективності.

8. Коректно порівняння ККД жаротрубно-димогоарного і водотрубно-димогоарного, які оснащенні однотипними пальниками виконувати при однакових коефіцієнтах надлишку повітря (стор.149), що дає можливість чітко визначити переваги тієї чи іншої конструкції.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи, яка виконана на високому науковому рівні, є закінченим науковим дослідженням орієнтованим на вирішення важливої науково-технічної задачі, що полягає у дослідженні процесів в водотрубно-димогоарних котлах.

Викладене дозволяє вважати, що дисертація повністю відповідає вимогам постанови Кабінету міністрів № 567 від 24.07 2013 р. (зі змінами, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України від 19 серпня 2015 р. № 656) та вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» щодо кандидатських дисертацій, а її автор Канигін Олександр Вікторович заслуговує присудження ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Д.т.н., професор,
зав.кафедри атомних електричних
станцій і інженерної теплофізики
Національного технічного університету
України „Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського”

В.О.Туз

“ ” квітня 2018 р.

Підпис

д.т.н., професора В.О.Туза

засвідчую

Вчений секретар

КПІ ім. Ігоря Сікорського



А.А.Мельниченко