

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук професора **Дешка Валерія Івановича** на дисертаційну роботу кандидата технічних наук **Редька Ігоря Олександровича** «Централізовані системи теплопостачання на основі удосконалених технологічних методів і способів спалювання альтернативних палив» яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 - Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

1. Актуальність теми дисертації та її зв'язок з планами роботи Київського національного університету будівництва і архітектури.

Дисертація присвячена вирішенню важливої науково-прикладної проблеми підвищення енергоефективності систем теплогенерації та централізованого теплопостачання на основі організації високоефективних технологій спалювання низькосортних місцевих палив і горючих відходів, залучених в паливні баланси муніципальних опалювальних і промислових котельень.

На сьогодні світові тенденції – підвищення енергоефективності систем теплопостачання спрямовані на реконструкцію діючих малоефективних котлів з підвищенням ККД до 90-92% та збільшенням їх потужності, впровадження автономних джерел генерації теплоти та застосування сучасних пальників котельних для спалювання газів – біогазу, шахтного метану; котлів з топками для спалювання низькосортних місцевих палив і відходів вуглезбагачення (торф, деревні відходи, рослинні відходи, водовугільні відходи); впровадження понижених температурних параметрів в системах теплозабезпечення та низькотемпературних систем опалення будівель.

Дисертаційна робота виконана в рамках наукового напрямку кафедри теплотехніки КНУБА і пов'язана з планами держбюджетних науково-дослідних робіт (ДР 0116 У 005440, ДР 0116 У 000844).

2. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, представлених у дисертаційній роботі.

Особистий внесок здобувача полягає в аналізі стану науково-технічної проблеми; обґрунтуванні та розробленні основної ідеї і теми дисертації; формуванні мети і завдань дослідження; проведенні теоретичних та експериментальних робіт; обґрунтуванні і розробленні принципів методик їх проведення; якісному та кількісному аналізі результатів та їх інтерпретації, оформленні статей, патентів та доповідей на наукових конференціях. Результати розрахункових та теоретичних досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно.

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій

Наукові положення, висновки і рекомендації отримані та розроблені автором у результаті вивчення сучасного стану питання підвищення енергоефективності систем теплогенерації та централізованого теплопостачання.

Теоретичні та експериментальні дослідження щодо розвитку методів і способів підвищення енергоефективності централізованих систем теплопостачання при зміні технології та організації процесів спалювання низькосортних альтернативних видів палива, шляхом розробки новітнього топкового обладнання, а також режимів роботи системи виконано на достатньо високому рівні.

Достовірність отриманих результатів зумовлена детальним розглядом досліджуваних процесів з використанням сучасних методів математичного моделювання, застосуванням сучасних методів виміральної техніки.

4. Ступінь новизни результатів, їх теоретичне та практичне значення

В дисертаційній роботі набули подальшого розвитку чинники системного методологічного підходу створення сучасної технології та організації процесів, теплогенерації шляхом спалювання низькосортних місцевих палив, низькотемпературних режимів транспорту теплоти. При цьому:

вперше:

- теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено створення топок нового класу теплової потужності від 0,25 до 25 МВт із взаємодією зустрічних закручених потоків (ЗЗП) повітря та пилоподібного палива, що інтенсифікує та забезпечує більш глибоке спалювання низькосортних твердих палив (наприклад торфу) з підвищенням ексергетичної та екологічної ефективностей як теплогенератора зокрема, так і централізованої системи теплопостачання в цілому.

удосконалено:

- фізичну та математичну моделі аеродинамічних та тепломасообмінних процесів спалювання твердого палива в топці ЗЗП в залежності від геометричних та режимних параметрів топки (коефіцієнт надлишку повітря, висота та діаметр топки, ступінь закрученості потоку, охолодження топки, тощо), що значно розширило уявлення фізико-хімічних перетворень у подібних процесах в цілому. Встановлено, що двоступінчате горіння частинок торфу відбувається при знижених температурах (1300-1450⁰С). При цьому забезпечуються умови для зниження рівня емісії NO_x.

набули подальшого розвитку:

- наукове обґрунтування параметрів неохолоджуваної топки, тепловою потужністю 2,5 МВт із зустрічним закрученим потоком для спалювання торфу з рідким шлаковидаленням;

- теплові схеми та організація процесів дифузійного спалювання низькосортних газоподібних палив (біогаз, шахтний газ та ін.);

- організація процесів спалювання низькосортних твердих палив (відходи вуглезбагачення, деревні відходи, водовугільні палива, тощо), в топках з киплячим шаром з експериментально встановленим зростанням теплової ефективності занурених поверхонь 30-40% при співвідношенні зануреної площі поверхні до об'єму киплячого шару 6-10 м² / м³;

- термодинамічні моделі підвищення ефективності топкових процесів при розміщенні циліндричного вторинного випромінювача в топці водогрійного котла, наприклад типу ДКВР, ДЕ;

- наукове обґрунтування підвищення енергоефективності систем тепlopостачання шляхом розробки гібридної теплової схеми котельного агрегату з додатковим джерелом теплоти - абсорбційним тепловим насосом;

- наукове обґрунтування використання та впровадження знижених температурних графіків теплоносіїв централізованих систем тепlopостачання при параметрах 80/60⁰С та 70/50⁰С.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що отримані наукові та практичні результати можуть використовуватись учасниками інвестиційних програм і проектів енергозбереження.

Результати дисертаційної роботи впроваджено на тепlopостачальних організаціях Харківської області:

1. Філія ХОКП «ДРІТ» «Дергачівське підприємство комунального господарства», «Коригування енерго- та екологоефективної схеми розвитку системи тепlopостачання м. Дергачі в Харківській області»;

2. КП «ОіТЦ» «Коригування енерго- та екологоефективної схеми розвитку системи тепlopостачання міста Куп'янськ в Харківській області».

5. Висновок про повноту опублікування основних положень дисертації

Результати досліджень автора пройшли апробацію і дістали позитивну оцінку на міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях. Матеріали дисертації достатньо повно опубліковані у 26 друкованих роботах, зокрема 8 у науково-методичних базах даних, 18 у фахових виданнях України.

Зазначені публікації та автореферат дисертації з достатньою повнотою розкривають основний зміст роботи.

6. Аналіз основного змісту роботи

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, а також сформульована мета та завдання роботи, розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначені об'єкт, предмет та методи дослідження; відображена наукова новизна та практична цінність результатів дослідження. Особистий внесок здобувача: наведені дані щодо апробації та впровадження результатів роботи, а також про наукові публікації та структуру дисертаційної роботи.

Перший розділ роботи присвячений аналізу сучасних світових тенденцій щодо розвитку наукових досліджень та практичної їх реалізації, що спрямовані на енергозбереження в системах теплогенерації та теплозабезпечення міст і населених пунктів. Автором відзначається, що для вирішення даної проблеми необхідно впровадження сучасних вихрових технологій спалювання низькосортних палив (торф, буре вугілля, відходи вуглезбагачення, деревні відходи та інше), удосконалення теплових схем котельних шляхом включення абсорбційних теплових насосів, впровадження низькотемпературних режимів в системах тепlopостачання.

При цьому для моделювання та оптимізації технічних рішень необхідно використовувати термодинамічні методи аналізу систем теплогенерації та тепlopостачання.

На основі проведеного аналізу розглянутих проблем сформульовані мета та основні наукові завдання, що розкриті в дисертаційній роботі.

У **другому розділі** наведена методологія дослідження. Наведено системи диференціальних рівнянь аеродинаміки процесів горіння, яка використовує як базову фізичну модель в'язкої рідини – систему осереднених за Рейнольдсом рівнянь Нав'є-Стокса, з Ейлеревим описом газової фази, рівняння хімічних реакцій та теплообміну.

Моделювання процесів спалювання твердого палива (торфу) виконується в Ейлеревому-Лагранжевому опису газової фази (суцільного середовища) та траєкторна модель руху частинок торфу.

Комп'ютерне моделювання робочих процесів спалювання доповнювалось лабораторними та натуральними дослідженнями. Застосована методика та експериментальна установка досліджень процесів спалювання палив в киплячому шарі.

Особливістю розробленої методології є можливість моделювання енергетичних параметрів робочих процесів спалювання різних палив та оцінка екологічних характеристик.

У **третьому розділі** представлено результати числового та експериментального моделювання процесів спалювання низькосортного газового палива (шахтного метану, біогазу). В результаті моделювання виконана модифікація подового та змішувального пальників, яка забезпечує ефективне спалювання газового низькокалорійного палива.

Лабораторні дослідження процесів спалювання відходів вуглезбагачення, деревних відходів, водовугільних суспензій дозволили визначити вплив гідродинамічних параметрів характеристик палива та температурних процесів на ефективність спалювання. Визначено теплові втрати процесів для різних палив та методи їх зниження. Визначено екологічні характеристики процесів. Визначена доцільність розміщення в киплячому шарі теплообмінної поверхні для регулювання процесу горіння.

Досліджена ефективність процесу теплообміну трубчатої поверхні в киплячому шарі та спосіб інтенсифікації шляхом пульсації шару та використання обребреної поверхні. Гідродинамічна стабільність процесу спалювання та екологічні характеристики уточнювались при спалюванні твердих палив на діючих котлах при проведенні натурних випробувань.

В результаті комплексних досліджень розроблено рекомендації для вдосконалення організації режимів спалювання низькосортних палив в топках з киплячим шаром, вимоги до підготовки палива та систем подачі палива та пилеочистки.

У **четвертому розділі** наведені результати чисельного дослідження способу модернізації топки діючого котла шляхом розміщення вторинного випромінювача. Виконано дослідження процесів аеродинаміки та теплообміну в топці котла ДЕ10/14 з трубчатим випромінювачем. Досліджувався вплив кута нахилу лопаток реєстра пальника. В результаті досліджень визначено, що температура топкових газів знижується від 1376°C до 1040°C на виході з топки. Заповненість газами топкового об'єму становить близько 0,70–0,75 об'єму топки. Розподіл температури газів більш рівномірний по глибині топки. Спостерігається зниження максимуму швидкості до периферії факелу і утворення зони рециркуляції. Тиск газів змінюється від 154,7 Па до 73,0 Па на виході із топки. Знижений тиск поблизу пальника викликає утворення зворотних течій до фронту топки. Показано, що розміщення вторинного випромінювача забезпечує більш рівномірну щільність теплового потоку на поверхні котла, при цьому радіаційна щільність теплового потоку збільшується на 20–25% в порівнянні до топки без випромінювача. Наведені дослідження екологічних характеристик процесу спалювання природного газу. Показано зниження шкідливих викидів оксиду азоту до 120–125 мг/м³ на виході із топки. При спалюванні підготовленої газоповітряної суміші ($\alpha_1 = 75\%$) - зниження оксидів азоту до значень 25–30 мг/м³.

Результати термодинамічного аналізу, які виконані на основі газодинамічного розрахунку процесів спалювання, дозволили визначити основні втрати енергії.

У **п'ятому розділі** наведені результати розробки технологічної схеми топки із зустрічними закрученими потоками. Вітчизняний та світовий досвід вказує на перспективність вихрових технологій спалювання різних палив. Виходячи з умов зменшення топкового об'єму та інтенсифікації робочих процесів, топка із зустрічними закрученими потоками ефективно вирішує поставлені проблеми. Розроблено технологічну схему топки для типового ряду теплових навантажень: від 0,25 МВт до 25 МВт. Визначено основні конструктивні параметри, які визначають динамічні процеси: висота та діаметр топки, розміри патрубків подачі первинного та вторинного повітря, торф-повітряної суміші, діаметр патрубка відводу продуктів спалювання та золи. Вказані параметри визначають ефективність робочих процесів.

В лабораторних умовах проведено дослідження гідравлічного опору топки, визначено співвідношення потоків первинного та вторинного повітря для забезпечення стабільного утримання палива в об'ємі топки при малій висоті топки.

У **шостому розділі** наведено результати чисельного дослідження процесів спалювання торфу в топці потужністю 2,5МВт. Визначено вплив геометричних розмірів топки на аеродинамічні процеси та процеси спалювання. Визначено вплив охолодження стінок топки. Визначено вплив витрати вторинного повітря, теплового навантаження топки (100%, 50%, 15%), діаметра частинок палива (до 1000 мкм.).

Технічний та хімічний склад торфу відповідає родовищам України. Теплота згоряння торфу прийнята 12,3 МДж/кг.

Результати чисельного моделювання показали наступні результати. Збільшення конструктивних параметрів топки в 1,83 рази та номінальної потужності в 3 рази призводять до зниження температури газів на виході із топки до 1000°C та зникнення механічного недопалу. При зниженні теплового навантаження збільшується винос золи від 56% до 80%.

Зміна масової витрати вторинного повітря призводить до зменшення виносу золи (до 36%) при зменшенні масової витрати повітря та збільшення виносу золи (до 68%) при збільшенні масової витрати.

Використання в 4 рази грубішого торфяного пилу призводить до збільшення механічного недопалу (до 10%), одночасно знижується винос золи.

Результати чисельного моделювання в цілому дозволяють визначити вплив основних конструктивних та режимних параметрів, та вказують на ефективність технологічної схеми вихрової топки котла.

У **сьомому розділі** приведені результати чисельного моделювання та оптимізації температурного режиму систем теплопостачання. Європейський досвід стабільного розвитку систем централізованого теплопостачання вказує на впровадження низькотемпературних режимів транспорту теплоти в міських теплових мережах. Утилізація теплоти відхідних газів котельних агрегатів, використання альтернативних джерел енергії (геотермальної, сонячної та біопалива) шляхом розміщення в тепловій схемі генерації абсорбційних теплових насосів стає більш ефективним при зниженні температурних режимів теплопостачання.

Використовуючи значний об'єм даних натурних випробувань параметрів ТЕЦ (м. Харків) за останні роки було визначено фактичні дані теплотехнічних характеристик будівель. На їх базі було виконано чисельне моделювання температурних режимів систем теплопостачання з урахуванням конструктивних та експлуатаційних параметрів.

Виявлено, що зниження теплового навантаження за останні роки при постійній масовій витраті теплоносія, дозволяє знизити температурні параметри системи теплопостачання. В результаті оптимізації параметрів системи теплопостачання обґрунтовано застосування температурного режиму 80°C/60°C.

7. Оцінка структури дисертації, мови та стилю викладення

Дисертаційна робота скидається із анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел із 348 найменувань та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 354 сторінках, містять 129 рисунків, 41 таблицю. Дисертаційна робота написана українською мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу дисертації є логічним і відповідає вимогам до наукових праць, а зміст роботи висвітлює основні результати наукових досліджень. В дисертаційній роботі не використовуються матеріали кандидатської дисертації.

8. Зауваження щодо змісту дисертації

Незважаючи на висловлену вище оцінку дисертаційної роботи, вважаю за необхідне висловлювати ряд зауважень, більшість яких в значній мірі можуть стати предметом для дискусії:

1. Визначені оптимальні параметри теплових мереж при збільшенні діаметру трубопроводів та товщини теплової ізоляції, меншій масовій витраті, але це приводить до збільшення матеріальних витрат. Тому цей аналіз і рекомендації щодо використання низькотемпературного графіку, розділ 7.4, доцільно доповнювати економічним аналізом.

2. Запропоновані низькотемпературні графіки 80/60 °С і 70/50 °С відповідають реаліям роботи вітчизняних централізованих систем теплопостачання. Разом з тим доречно було б провести аналіз перспектив запровадження ще більш низькотемпературних графіків в Україні.

3. У розділі 7.1 не наведено економічного та детального технічного обґрунтування включення абсорбційних теплових насосів в теплову схему котельні.

4. Розділ 2.1 – у якому програмному середовищі реалізовано числову модель процесів спалювання?

5. Не вказані обмеження по гідравлічному режиму киплячого шару при спалюванні різних палив та відходів (вугільних, деревних, водовугільних).

6. При спалюванні низькокалорійних газових палив вивчалися лише подові пальники, але не досліджувалися інші типи пальників.

7. На рис. 6.4 і 6.5 представлені результати визначення теплоємності і теплопровідності використовуваних зразків торфу, але не наведено їх походження.

8. Використання низькотемпературного графіку обумовлюється переходом на закриті незалежні схеми приєднання споживачів, розділ 7.2. Чому не розглянуті інші, наприклад залежна регульована, схеми?

9. Залежність температури теплоносія від класу енергоефективності будівлі, наведена на рис.7.16, 7.21, потребує додаткових пояснень

10. У висновку до розділу 7 наведені параметри теплової мережі, але для яких споживачів та величини теплового навантаження? Наскільки загальним є висновок, що понижене значення КФ вимагає підвищеної температури теплоносія в подавальному трубопроводі?

11. Зауваження стосовно редагування тексту: відсутній підпис рис. 2.8; викликають запитання дані по теплоті згоряння торфу на стор.56; посилання по тексту на рис. 3.21, стор.126, недоречне; підпис рис.3.26 не пояснює позначень; позначення формули 4.8 і результати табл. 4.3 не мають пояснень; недоопрацювання машинного перекладу - «порівняння змісту горючих» на стор. 134, «досвідчені дані» на стор. 154, «расходовой швидкості» на стор. 216 та ін.

9. Відповідність дисертації спеціальності, за якою вона представляється до захисту.

Дисертаційна робота Редька Ігоря Олександровича на тему «Централізовані системи теплопостачання на основі удосконалених технологічних методів і способів спалювання альтернативних палив», відповідає спеціальності 05.23.03 вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

10. Загальний висновок.

В цілому, дисертаційна робота Редька І. О. «Централізовані системи теплопостачання на основі удосконалених технологічних методів і способів спалювання альтернативних палив» є повністю завершеною науковою роботою, в якій вирішується актуальна задача підвищення енергоефективності систем теплогенерації та централізованого теплопостачання на основі організації високоефективних технологій спалювання низькосортних місцевих палив і горючих відходів та низькотемпературних режимів системи теплопостачання. Наведені зауваження можна розглядати як побажання для майбутніх подальших досліджень автора.

З урахуванням обґрунтованості наукових положень та висновків наведених у дисертації, наукової та практичної цінності отриманих автором наукових результатів, вважаю, що дисертаційна робота відповідає вимогам пунктів 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів» до докторських дисертацій, а її автор Редько Ігор Олександрович заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 - вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент,
завідувач кафедри теплотехніки та енергозбереження
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»
д.т.н., професор



Валерій Дешко

Підпис д. т. н., проф. Дешка В. І. засвідчую
Вчений секретар Національного
технічного університету України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

