

До спеціалізованої вченої ради Д 26.056.07
Київського національного університету
будівництва і архітектури

ВІДГУК

офіційного опонента,
доктора технічних наук, старшого наукового співробітника
Недбайла Олександра Миколайовича

на дисертаційну роботу к.т.н. Редька Ігоря Олександровича «Централізовані системи теплопостачання на основі удосконалених технологічних методів і способів спалювання альтернативних видів палив», що подана до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Останнім часом в Україні суттєва увага суспільства приділяється підвищенню енергозбереження в житлово-комунальному господарстві. Слід зазначити, що при цьому питомі витрати енергії на одиницю національного прибутку перевищує європейський рівень майже вдвічі. Втрати паливно-енергетичних ресурсів в комунально-побутовій сфері складають понад 40%. Одним із шляхів стабілізації стану енергоспоживання в Україні є зменшення витрат енергоресурсів за рахунок впровадження новітніх технологій модернізацій та реновації систем енергопостачання різних об'єктів. Одними із джерел енергії є відновлювальні або альтернативні місцеві ресурси, що мають значний потенціал щодо їх широкого використання.

На сьогодні розв'язання проблеми енергозбереження у системах теплопостачання належить до низки найважливіших пріоритетів державної економічної та енергетичної політики. Основною метою енергозбереження в житлово-комунальному господарстві є підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів за рахунок термомодернізації будівель і споруд, впровадження сучасних систем енергопостачання, приладів і пристроїв, що перетворюють і використовують теплоту та енергію, а також зниження

кількості втрат енергоносіїв, що забезпечує надання комунальних послуг споживачам на більш високому якісному рівні. Наразі на багатьох об'єктах теплопостачання теплоенергетичне обладнання, більшою мірою, фізично й морально застаріле, тому з кожним роком збільшується кількість устаткування, що відпрацювало свій нормативний термін експлуатації. У зв'язку із цим, на багатьох підприємствах комунальної енергетики проводяться заходи з модернізації обладнання та вдосконалення теплових джерел і мереж.

Робота Редька І.О. присвячена розв'язанню важливої науково-прикладної проблеми підвищення енергоефективності систем теплогенерації та централізованого теплопостачання завдяки виконанню комплексних числових та експериментальних досліджень їх параметрів, а також розробленню наукових основ організації високоефективних технологій спалювання низькосортних місцевих палив і горючих відходів, що залучені до паливних балансів муніципальних опалювальних і промислових котелень.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

На даний час в сфері вітчизняної теплової генерації частка централізованих систем теплопостачання населених пунктів складає близько 60%. Для зменшення споживання енергоресурсів державною політикою України передбачене проведення таких технічних заходів, як реконструкція або заміна теплогенераторів на більш сучасні з встановленням ефективних пальників та систем автоматичного управління технологічними процесами, облаштування автоматизованих центральних та індивідуальних теплових пунктів на різних об'єктах житлово-комунального господарства. Окрім цього, з метою зменшення споживання природного газу, використовуються різні місцеві палива та горючі відходи (відходи деревини, сільського господарства та ін.). Для спалювання таких низькосортних палив необхідна реконструкція котлів та допоміжного обладнання. При цьому недостатньо вивченою проблемою є модернізація топкових пристроїв із інтенсифікацією внутрішніх процесів аеродинаміки і тепломасообміну, утилізації теплоти продуктів

згоряння із застосуванням теплових насосів, що дозволяє суттєво змінити концепцію енергозбереження в теплопостачанні.

Актуальність роботи полягає у науковому обґрунтуванні можливості та доцільності використання низькосортних видів палив, впровадження технологій додаткового охолодження продуктів згорання котельних агрегатів із застосуванням абсорбційних теплових насосів, що дозволяє підвищити енергетичну ефективність систем генерації та транспортування теплоти.

2. Коротка характеристика змісту роботи

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою. Вона складається із вступу, семи розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел із 348 найменуваннями та 3 додатків на 49 сторінках. Робота викладена на 354 сторінках основного тексту, містить 129 рисунків та 41 таблицю.

Актуальність дисертаційної роботи обґрунтована у *вступі*. В ньому також сформульовані мета і завдання роботи, розкритий зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначені об'єкт, предмет і методи дослідження; відображені наукова новизна і практична цінність результатів, особистий внесок здобувача; наведені дані щодо апробації і впровадження результатів роботи, а також про наукові публікації та структуру дисертації.

Перший розділ роботи, в основному, присвячений аналізу сучасного стану щодо розвитку наукових досліджень, що спрямовані на підвищення енергетичної ефективності систем теплогенерації та централізованого теплопостачання. Автором висвітлені проблеми паливного балансу України та залучення до нього місцевих палив і горючих промислових відходів. В розділі систематизовані типи котельного обладнання та запропоновані можливості його модернізації для роботи за низькотемпературними графіками теплового навантаження. На основі проведеного аналізу автором були сформульовані основні завдання досліджень.

В *другому розділі* представлена методологія проведених досліджень. Наведені результати числових розрахунків параметрів процесів спалювання низькосортних газових палив (біогаз, шахтний газ) та твердих палив (торф) у

топці, дані експериментальних досліджень процесів спалювання твердого палива та деревних відходів в топках із киплячим шаром. Докладно розглянута методика вимірювань, розроблена програма натурних теплотехнічних та екологічних випробувань водогрійних котлів з топкою киплячого шару та експериментальних досліджень аеродинаміки топки.

Такі методики знайшли своє застосування при розрахунку теплотехнічних параметрів різних пальникових пристроїв, а саме дифузійних подових пальників котлів і рампових змішувальних повітрянагрівачів. В основному, це може бути використане для дослідження процесів аеродинаміки та теплообміну в топковому об'ємі водотрубних котлів, що обладнані газовими вихровими пальниками та процесів спалювання твердого палива (торфу), а також оцінки виносу твердих частинок з топки, в тому числі і для кількісної оцінки шкідливих викидів з топки.

Окрім цього автором запропонована методика експериментального дослідження процесів аеродинаміки потоків для оцінки гідравлічного опору топки, вивчення структури закрученого потоку газу з твердими частинками при різних витратах суміші твердих частинок і повітря.

В третьому розділі визначений вплив різних чинників на перебіг процесів спалювання газових та низькосортних твердих палив шляхом числового моделювання в подовому пальнику опалювального котла, змішувальному пальнику повітрянагрівача, а також відходів вуглезбагачення, водовугільних суспензій, біомаси і деревних відходів в топках з киплячим шаром із розглядом теплообміну в високотемпературному пульсуючому киплячому шарі.

В результаті числових досліджень автором визначені структура факела з характерними зснами, а також поля концентрації компонентів продуктів згорання. Дослідження процесів спалювання різного палива дозволили обґрунтувати конструктивні параметри пальників різних типів.

Авторське узагальнення інформаційних джерел та експериментальних даних власної роботи свідчить про те, що спалювання відходів вуглезбагачення, водовугільних суспензій, дерев'яних відходів характеризується підвищеними

втратами з наявністю дрібних фракцій. При цьому втрати при спалюванні паливних відходів є нижчими, ніж при спалюванні палив тих же марок. Дисертантом пропонується підвищення ефективності спалювання паливних відходів у вигляді пелет, гранул або спільно з вугіллям крупніших фракцій.

В четвертому розділі розглянута доцільність удосконалення теплової схеми топки водотрубного котла із вторинним випромінювачем шляхом моделювання теплообміну та аеродинаміки процесів спалювання газоподібного палива.

Автором проаналізовані теплотехнічні особливості водотрубного парового котла ДЕ 10/14 із вторинним випромінювачем та проведене числове моделювання аеродинаміки і теплообміну в топці з визначенням термодинамічної ефективності процесів.

Результати числового моделювання вказують на суттєвий вплив кута нахилу лопаток в регістрах пальникового пристрою на процеси теплообміну газів в топковому об'ємі водотрубного котла. При цьому не спостерігається накидання факела на екранні бокові поверхні і дно топки, затягування факела до конвективного пучку. Модернізація котла ДЕ-10/14 шляхом розміщення тупикового трубчастого вторинного випромінювача в топці забезпечує рециркуляцію топкових газів в необхідному об'ємі, а також допалювання палива і зниження шкідливих викидів оксиду азоту до 125 мг/м^3 на виході з топки котла.

В роботі зазначено, що у закрученому потоці статичний тиск нижчий за атмосферний. При цьому максимум розрідження знаходиться на осі, а поблизу границі наближається до тиску довкілля. Аеродинамічна структура закрученого струменя визначається його межами і кутом розкриття, зоною зворотних струмів на осі, далекобійністю, нерівномірністю розподілу швидкості. Встановлено, що аеродинамічний опір топки котла визначається, в основному, місцевим опором на виході з пальника і опором вихору зони рециркуляції.

В п'ятому розділі розглянуті особливості теплової схеми вихорової топки із зустрічними закрученими потоками із визначенням її гідравлічного опору.

Дисертантом представлені результати числових досліджень, що дозволили обґрунтувати конструкцію неохолоджуваної топки з рідким шлаковидаленням в її нижній частині. Результати проведеного комп'ютерного моделювання процесів в топці з різними способами подачі палива (нижній і верхній) вказують на ефективність верхньої подачі палива.

Шостий розділ містить результати числового моделювання теплообміну та аеродинаміки процесів спалювання твердого палива (торфу) в вихровій топці з зустрічним закрученим потоком. Автором розглянутий вплив різних чинників таких, як геометричні характеристики топки, теплове навантаження топки, масова витрата вторинного повітря, температура первинного повітря, розмір частинок палива, інтенсивність охолодження топки, співвідношення масових витрат первинного та вторинного повітря на ефективність процесів.

Результати числового дослідження показали, що діаметр частинок торфу впливає на процес їх згорання: кокс частинок з початковим діаметром від 25 мкм до 250 мкм вигорає на 96%. Зі збільшенням діаметра частинок до 1000 мкм ступінь вигорання коксу зменшується, але одночасно знижується їх винос.

В цілому результати моделювання вказують на ефективність використання технології спалювання пилоподібних низькокалорійних твердих палив в циліндричних вихрових топках із зустрічними закрученими потоками.

Сьомий розділ присвячений обґрунтуванню та оптимізації температурного режиму систем тепlopостачання. Автором запропоновані схемотехнічні рішення та теплові схеми котельні з абсорбційним тепловим насосом. Окрім цього в розділі проаналізовані можливості застосування низькотемпературних графіків в тепlopостачанні України та етапи можливого переходу до їх використання тепловою мережею.

Результати, проведеного дисертантом, обчислювального експерименту дозволили визначити раціональні конструктивні і режимні параметри централізованої системи тепlopостачання при різних значеннях температури теплоносія. Визначено суттєвий вплив опалювальної характеристики будівлі на параметри централізованої системи тепlopостачання, визначені фактичні значення КФ деяких житлових будинків. Встановлено, що фактичні дані нижчі

за розрахункові значення. Це вимагає підвищення температури теплоносія в подавальному трубопроводі.

У висновках наводяться матеріали науково-практичних результатів, що містяться в дисертаційній роботі. Зазначається, що теоретичне узагальнення результатів виконано на базі виконаних чисельних і експериментальних досліджень можливості застосування високоефективних технологій спалювання низькосортних місцевих палив і горючих відходів, що залучені в паливні баланси муніципальних опалювальних і промислових котелень для заміщення використання природного газу

Автором стверджується, що термодинамічний підхід щодо підвищення загальної ефективності оптимально об'єднує технології: спалювання газоподібних палив і відходів (біогаз та інші штучні гази) і перетворення теплоти в електроенергію. При цьому в дисертації розроблено методику моделювання та оптимізації параметрів температурного графіка теплової мережі з використанням, як критерію, мінімальне виробництво ентропії. Теоретичними і натурними випробуваннями обґрунтовані знижені параметри температурного графіка в залежності від конструктивних і режимних параметрів теплової мережі, теплотехнічних параметрів будівель, а також значень температури зовнішнього атмосферного повітря.

Наукова новизна і значимість наукових результатів полягає в тому, що в роботі *вперше*:

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

- удосконалено математичну модель аеродинамічних та тепломасообмінних процесів спалювання твердого палива в топці із зустрічними закрученими потоками в залежності від геометричних та

режимних параметрів, що значно розширило уявлення про фізико-хімічні перетворення у подібних процесах в цілому;

- *набули подальшого розвитку* 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 суміші тощо) в топках з киплячим шаром із експериментально встановленим зростанням теплової ефективності занурених поверхонь на 30 - 40%; термодинамічні моделі підвищення енергетичної ефективності теплових процесів при розміщенні циліндричного вторинного випромінювача в топках водогрійних котлів, наприклад, типів ДКВР, ДЕ; наукове обґрунтування підвищення енергоефективності систем тепlopостачання шляхом розроблення гібридної теплової схеми котельного агрегату із додатковим перетворювачем теплоти абсорбційним тепловим насосом; наукове обґрунтування термодинамічних ентропійних моделей для впровадження знижених температурних графіків теплоносіїв, відповідно, 80/60°C та 70/50°C централізованих систем тепlopостачання.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що основні результати дослідження були впроваджені при реконструкції централізованих систем тепlopостачання в містах Дергачі (2017 р.) та Куп'янськ (2020 р.) Харківської області.

Матеріали досліджень також використовуються в навчальному процесі Київського національного університету будівництва і архітектури при викладанні таких навчальних дисциплін: «Теплогенеруючі установки»; «Тепlopостачання»; «Паливо та технології його спалювання»; «Низькотемпературні джерела теплоти», «Теплові насоси» тощо.

Достовірність і обґрунтованість основних положень дисертації.

Основні наукові положення, результати та висновки базуються на результатах теоретичних та експериментальних досліджень із використанням

методів системного аналізу, розв'язання диференціальних рівнянь математичної фізики та порівнянні значень розрахунків із експериментальними даними.

Повнота викладення наукових положень і висновків.

За матеріалами дисертації опубліковано 26 наукових робіт, в т.ч. 18 статей у фахових виданнях України, 8 статей у іноземних виданнях, 10 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях, одержано 8 патентів України.

Матеріали дисертаційної роботи та її основні положення доповідались і обговорювались на 6 міжнародних науково-практичних конференціях.

Оформлення дисертації.

Анотування дисертації в повній мірі відображає зміст, матеріали та положення роботи. Стиль викладення матеріалу забезпечує його однозначне розуміння та тлумачення.

Дисертація є закінченою науковою працею, що виконана у вигляді рукопису, що відповідає вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 (зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р.), що їх пред'являють до дисертаційних робіт на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

3. Зауваження до дисертаційної роботи:

1. На нашу думку, сучасним єдиним узагальнюючим показником економічної ефективності будь-якої групи технічних нововведень є економічний ефект, що характеризує абсолютну величину перевищення вартісної оцінки очікуваних (фактичних) результатів над сумарними витратами ресурсів за певний розрахунковий період. Недоліком роботи є відсутність досліджень економічної та комерційної ефективності запропонованих дисертантом технічних рішень із використанням методів розрахунку грошових потоків за весь термін експлуатації розглянутих установок, визначення

дисконтованої чистої поточної вартості, норми прибутку і оцінки стійкості економічних показників до флуктуацій інфляції та податкової політики.

2. Мають місце помилка у математичному виразі на с. 68 у формулі (2.29) визначення турбулентної в'язкості Колмогорова – Прандтля. Правильний

вигляд цього виразу наступний $\mu_m = c_\mu \frac{\rho \kappa^2}{\varepsilon}$.

3. На с. 177 у висновках по розділу 3 теза у п. 5 має характер констатації відомого факту. При цьому дисертантом не висловлені пропозиції щодо подолання проблеми, що склалась.

4. Не зрозумілим є зміст речення (цитата «Збільшення діаметра випромінювача до 3D гір, які не забезпечує подальшого зниження концентрації оксидів азоту» кінець цитати) в п. 2 висновків по розділу 4 на с. 210. Можливо це є наслідком стилістичної недосконалості висловлювань автора.

5. В описанні результатів не зазначено, яким чином отримані експериментальні дані на рис. 6.3 с. 234, і що саме вони характеризують.

На нашу думку, дисертанту було б доцільніше замість формули Розіна – Рамлера – Шперлінга – Бенета для досягнення більшої точності використати в своїх дослідженнях формулу Годена – Андрєєва – Шумана для визначення розподілу подрібненого продукту (торф'яного пилу), що є еквівалентною в т.ч. формулі Свенсона в області полідесперної дрібної фракції.

6. В розділі 7 дисертаційної роботи на рис. 7.14, 7.16, 7.19, 7.20, 7.21 та в таблицях 7.9, 7.10, відповідно, залежності температури прямої та зворотної води, а також виробництва ентропії від температури зовнішнього повітря бажано наводити до значення 8°C, що відповідає нормативній умові початку/закінчення теплопостачання об'єктів житлово-комунального господарства (норма з «Правил надання послуг з централізованого опалення, постачання холодної та гарячої води і водовідведення», затверджених Постановою КМУ № 630 від 21.07.2005 року та наказу Міністерства палива та енергетики від 10.12.2008 року № 620/378, ст. X, п. 4).

7. В тексті роботи зустрічаються види мовних та орфографічних помилок, що може бути вадами аналізу та перекладу матеріалів із російської або інших мов.

Зазначені зауваження, в цілому, не впливають на загальну позитивну оцінку роботи та не зменшують цінності основних наукових результатів, положень та висновків роботи.

4. Висновок

Дисертаційна робота Редька Ігоря Олександровича «Централізовані системи тепlopостачання на основі удосконалених технологічних методів і способів спалювання альтернативних видів палив» виконана на сучасному науковому рівні та містить нові наукові результати в галузі централізованого тепlopостачання, має актуальність і практичну значимість, що спрямовані на вирішення важливої науково-прикладної проблеми підвищення енергоефективності систем теплової генерації.

На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертація відповідає вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 (зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р.), а її автор Редько Ігор Олександрович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.03 – вентиляція, освітлення та теплогазопостачання.

Офіційний опонент,
старший науковий співробітник
відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій
Інституту технічної теплофізики НАН України,
доктор технічних наук, старший науковий співробітник

О.М. Недбайло

