

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Бетіна Юрія Олексійовича

на тему **«Підвищення ефективності печей малої потужності за рахунок
струменево-нішової технології»**,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 Електрична інженерія
за спеціальністю 144 Теплоенергетика

Актуальність теми дисертації.

Тема дисертаційної роботи є актуальною, тому що полягає в дослідженнях організації топкових процесів у двох основних типах низькотемпературних пекарських печей малої потужності, які найчастіше використовуються в харчовій промисловості, як в Україні, так і в усіх економічно розвинених країнах: перший тип – печі в яких топковий процес організований пальниковим пристроєм працюючим в імпульсному режимі; другий тип – печі в яких реалізована мікрофакельна технологія спалювання. Більш ефективна організація топкових процесів у цих печах за рахунок використання пальникових пристроїв на основі струменево-нішової технології з мікродифузійним механізмом спалювання забезпечить суттєву економію палива; покращення екологічних характеристик; зниження витрати природного газу на одиницю продукції; підвищення якості продукції печей, що задіяні у харчовій промисловості, як в Україні, так і за кордоном.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Знайшли подальшого розвитку дослідження імпульсного режиму роботи пальникових пристроїв, при цьому виявлено особливості робочого процесу пального пристрою та печі загалом. Експериментально отримані унікальні дані в період включення і вимикання пального пристрою щодо вмісту в продуктах згоряння незгорілого метану (близько 20% від загальної витрати) та наднормативних викидів чадного газу (близько 16% часу роботи пального пристрою) і зміна температурного рівня в топковому просторі.

2. Вперше досліджено вплив крайових ефектів на базовому плоскому модулі струменево-нішової технології при зменшенні ширини його газорозподіляючої поверхні. Виявлено його критичний розмір 50 мм, що забезпечує теплову потужність в 10 кВт.

3. Вперше встановлено вплив конструктивних параметрів циліндричного пілона з паливорозподільчою системою на робочий процес пального пристрою та виявлено критичне значення діаметру пілону в 10 мм, що

відповідає певному куту в 22 градуси між осями газорозподільних отворів. При цьому теплова потужність становить 4 кВт.

Основні результати були отримані при проведенні спеціальних експериментальних досліджень роботи промислової печі на фабриці Naas-Meinske із випікання кексів та пального пристрою вихрового типу, що працює в імпульсному режимі, а також роботи машини КМ-14 аглофабрики ММК ім. Ілліча з використанням пального пристрою на основі струменево-нішової технології. Виконано узагальнення отриманих даних для різних режимів роботи.

Обґрунтованість висновків і одержаних результатів дисертаційної роботи полягає у належному проведенні експериментальних досліджень на реальних об'єктах; візуалізації досліджень. Достовірність результатів дисертації підтверджується коректністю поставлених задач, несуперечністю відомих і запропонованих у роботі практичних положень. Результати досліджень пройшли апробацією на міжнародних наукових та науково-практичних конференціях. Результати дисертаційної роботи були випробувані та затверджені до використання на агломераційній фабриці ММК ім. Ілліча (м. Маріуполь), у австрійській компанії-виробнику пекарських печей «Naas food equipment GmbH» та впроваджені у виробничий процес ТОВ «Науково-виробнича компанія «Струменево-нишова технологія».

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках виконання держбюджетної науково-дослідної роботи 4.01 «Розробка методів та засобів підвищення ефективності обладнання теплових електростанцій та газотурбінних установок», Д/р 0116U005215 (2016-2020 рр.) під керівництвом професора кафедри теплової та альтернативної енергетики, доктора техн. наук, проф. Абдуліна Михайла Загретдиновича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання, що полягало у визначенні шляхів підвищення рівня ефективності організації топкового процесу в пекарських печах малої потужності, які працюють у діапазоні низьких температур за рахунок створення паликових пристроїв, що реалізують принципи струменево-нішової технології, виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Бетіна Ю.О. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 144 Теплоенергетика та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Теплоенергетика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям управління ефективністю процесів горіння.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Бетіна Юрія Олексійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал дисертації розташовано в логічній послідовності з використанням загальноприйнятої термінології, стиль мовлення легкий для сприйняття. Текст дисертації має дещо завищений обсяг. В оформленні тексту й рисунків трапляються граматичні, пунктуаційні, лексичні та синтаксичні помилки: неправильно написана скорочена назва КПІ ім. Ігоря Сікорського (ця помилка часто зустрічається у тексті); у розділі 1 неправильно вказано номери рисунків (за рис. 1.2 має іти рис. 1.3) і за рахунок цього вся нумерація некоректна; нумерацію формул у дисертації не вирівняно по правому краю; у формулі 2.3 пропущена величина, яка характеризує витрату на звужуючому пристрої (діафрагмі); в розділі 3 не всі рисунки підписані і пронумеровані; в розділі 3 не всі формули мають нумерацію; деякі рисунки повторюються двічі (рис. 2.2. та рис. 3.3; рис. 2.3 та рис. 4.3; рис. 2.4 та рис. 4.9) та їх опис дублюється; у розділі 4 неправильно вказано номери рисунків (за рис. 4.1 має іти рис. 4.2) і за рахунок цього вся нумерація некоректна; в розділі 6 таблиці повинні бути підписані зверху.

Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 226 сторінок.

У вступі обґрунтовано вибір тематики дисертаційної роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, охарактеризовано особистий внесок здобувача.

В першому розділі розглянуто сучасний стан теорії горіння та представленні міжнародні науково-дослідні центри, що займаються цим питанням. Наведено властивості газоподібного палива та забезпечення стійкості горіння. Описано, що найчастіше організація топкового процесу в печах відбувається з використанням двох технологій спалювання: імпульсна або мікрофакельна. Описано дослідження пальникового пристрою на основі струменево-нішової технології з мікродифузійним механізмом спалювання, які характеризуються високим рівнем економічності, екологічної безпечності та надійності. Відмічено, що на основі даних пальників можна здійснити модернізацію низькотемпературних печей малої потужності. Наведено класифікацію промислових печей малої потужності в харчовій промисловості.

У другому розділі описано методологію та методику проведення досліджень на наступних експериментальних стендах в лабораторних умовах та

промислових об'єктах: промислова піч із випікання кексів на фабриці Haas-Meincke в Копенгагені (Данія); піч випалення вапна КМ-14 на ММК ім. Ілліча у Маріуполі; промислова піч із випікання вафельного листу на фабриці Домінік у Полтаві. Також описано методологію та методику проведення досліджень на експериментальних стендах лабораторії НВО СНТ та КПП ім. Ігоря Сікорського роботи плоских та циліндричних пілонів.

У третьому розділі виконано дослідження закономірностей та особливостей робочого процесу пальникового пристрою вихрового типу, що працює в імпульсному режимі на дослідно-промисловому зразку печі з випікання кексів на фабриці Haas-Meincke в Копенгагені (Данія). Описано конструкцію та робочий процес печі та для оцінки ефективності її роботи і складання теплового балансу були проведенні вимірювання параметрів. Аналіз отриманих даних показав, що існуючий пальниковий пристрій з закруткою потоку окислювача, який працює в імпульсному режимі для підтримки необхідної технологічної температури у топковому просторі печі в процесі роботи має великі втрати метану від 10% до 40% в перерахунку на годинний інтервал та зафіксовано наднормативні викиди чадного газу.

В четвертому розділі виконано підбір нового пальникового пристрою СНТ-11 для кекс-печі на фабриці Haas-Meincke та проведено досліджень його роботи на машині КМ-14 випалу вапна на ММК ім. Ілліча. В результаті обробки результатів випробувань побудовано витратну характеристику пальникового пристрою СНТ-11. При порівнянні витратних характеристик СНТ-11 з існуючим штатним пальником кекс-печі фабрики Haas-Meincke показано можливу економія палива до 40% на перехідних режимах роботи печі. Досліджено роботу базового модуля пальників СНТ на мінімальних режимах по потужності. Визначено критичні геометричні параметри прямокутного модуля пальника при яких треба переходити до циліндричної форми пілону.

В розділі п'ять проведено опис робочого процесу печей по виготовленню вафельного листа фабрики HAAS (м. Відень; Австрія) та фабрики Домінік (м. Полтава; Україна). Топковий процес у цих печах організований з використанням мікрофакельної технології спалювання газу, яка призводить до ряду суттєвих недоліків: локальний перегрів вафельниць, перегрів та руйнування підшипників коліс вафельниць, надмірні викиди чадного газу. Запропоновано схему модернізації даних печей на основі струменево-нішової технології.

В шостому розділі дисертаційної роботи показано організацію топкових процесів в печах GOCMEN і HAAS. Встановлено, що потужність модуля СНТ-11 велика, а зменшення його потужності, обмежено критичною шириною пальникового пристрою, що обумовлено руйнуванням рівномірності течії внаслідок крайових ефектів. Вказано на необхідність застосування пальника циліндричної форми, де крайові ефекти відсутні. Для вибору оптимальних

параметрів пальника було проведено математичне моделювання. Визначено мінімальний критичний розмір і критичний кут співвідношення струменів газу. Підбрано оптимальну конфігурацію амбразури пальника та виявлено її вплив на форму та довжину факелу.

Загальні висновки висвітлюють одержані наукові результати, а також включають основні рекомендації щодо їх використання.

В додатках наведено таблиці теплофізичних характеристик промислових горючих газів, класифікацію пальникових пристроїв конструкції кафедри ТАЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського; зведені таблиці параметрів роботи та результатів оброблених даних печі Haas-Meincke; акти впровадження; результати досліджень циліндричного пальника в SolidWorks.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 7 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus.

Також результати дисертації були апробовані на 3 наукових фахових конференціях.

Всі публікації здобувача мають високий науковий рівень та розкривають окремі частини представленої дисертації, що свідчить про вагомий особистий внесок здобувача. Статті опубліковані в спеціалізованих фахових виданнях рівня «Б» та в базі даних Scopus. Особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих у співавторстві та зарахованих за темою дисертації, є вагомим. В усіх публікаціях дотримуються принципи академічної доброчесності.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Суттєво завищений обсяг роботи. Вона не втратила б своєї практичної та наукової цінності, якби обсяг був зменшений. Недостатньо виокремлена наукова новизна результатів, наведені дані виглядають більш практично ніж науково. При посилянні на досліджуванні процеси горіння палива у пальниках бажано покладатись на об'єктивні параметри, числа подібності, відносні значення величин. Четвертий і п'ятий пункти наукової новизни більшою мірою відображають практичну цінність результатів роботи.

2. Було б доцільно навести в роботі емісійні характеристики (CO та NOx) досліджуваних циліндричних пілонів.

3. На рис. 6.27 наведенні витратні характеристики циліндричних пілонів, де основний параметр паливорозподілу – відносний крок розташування отворів

подається як для плоского пілону. Доцільно цей параметр представити у вигляді кута між осями паливних отворів.

4. Чи є доцільним використовувати результати дослідження агломераційної печі КМ-14 випалу вапна на ММК ім. Ілліча для верифікації результатів роботи пальників з використання технології на основі струменево-нішової технології для об'єктів харчової промисловості, оскільки це різні об'єкти (потужність, температури, продукція агрегату).

5. Яка ціль математичного моделювання робочого процесу циліндричного пальника? Чи проводилася верифікація результатів випробування циліндричного пілону з результатами математичного моделювання полів концентрації природного газу та швидкостей?

6. Висновки дисертації в значній мірі повторюють наукову новизну.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Бетіна Юрія Олексійовича на тему «Підвищення ефективності печей малої потужності за рахунок струменево-нішової технології» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 14 Електрична інженерія. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6-9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Бетін Юрій Олексійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика.

Рецензент:

доцент кафедри теплової та альтернативної енергетики
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
кандидат техн. наук, доцент



Наталія ПРИТУЛА

«19» січня 2024 року