

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.

Промислові печі малої потужності широко зустрічаються у різних галузях життєдіяльності людства. При цьому топковий процес в обладнанні такого типу має ряд характерних особливостей. Зокрема, це порівняно невеликі габарити печей, жорсткі вимоги щодо рівномірності температурного поля в середині них, часта зміна режимів роботи паликових пристроїв. Разом з тим печі малої потужності повинні відповідати і вимогам характерним для печей середньої та великої потужності – ефективність використання палива, стійкість процесу горіння, низьке екологічне навантаження продуктів згоряння на навколишнє середовище. Дисертаційна робота Бетіна Ю. О. присвячена вдосконаленню топкових процесів в печах випалення вапна та в кількох різних печах пекарської промисловості, що є актуальною задачею, як з наукової, так і з практичної точки зору.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Вирішення поставлених у дисертаційній роботі задач здійснювалось з використанням загальних положень термохімії, теорії горіння та тепломасообміну, методів теорії планування експерименту та фізичного моделювання при експериментальних дослідженнях на реальних промислових об'єктах та в лабораторних умовах. Додатково використовувались методи математичного моделювання, основою яких є числове розв'язання нелінійних диференціальних рівнянь для встановлення умов аеродинаміки та масопереносу в робочому просторі промислових печей малої потужності.

Узгодження отриманих результатів підтверджує адекватність запропонованих методів та результатів досліджень, що були отримані експериментальним шляхом. В роботі міститься аналіз похибок вимірювання контрольних приладів та методів узагальнення отриманих даних, здійснено порівняння окремих результатів фізичних експериментальних досліджень з методами математичного моделювання. Більшість наукових та практичних здобутків впроваджені в підприємства, про що наявні відповідні акти.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Знайшли подальшого розвитку дослідження імпульсного режиму роботи пальникових пристроїв. Експериментально отримані унікальні дані щодо вмісту в продуктах згоряння недогорілого метану, наднормативних викидів чадного газу та нерівномірності температурного поля в топковому просторі протягом періодів інерційного переходу від роботи пальника до простою та навпаки.

2. Вперше досліджено вплив крайових явищ на ефективність роботи базового плоского модуля, що працює за струменево-нішовою технологією, при зменшеній ширині його газорозподільної поверхні. Виявлено критичну ширину модуля 50 мм, що здатна забезпечити теплову потужність 10 кВт.

3. Вперше оцінено вплив конструктивних параметрів циліндричного модуля, що працює за струменево-нішовою технологією, на робочий процес пальникового пристрою. Виявлено критичний мінімальний діаметр пілона 13 мм, при куті між осями газорозподільних отворів $22,5^\circ$, який забезпечує стабілізацію факела в струменево-нішовій системі. При цьому теплова потужність пальникового пристрою складає 4 кВт.

4. Вперше реалізовано можливість скоротити довжину факела циліндричного пальникового модуля до двох калібрів, за рахунок спеціального профілювання його амбразури.

Практичне значення отриманих результатів полягає в такому:

1. Проведено дослідження ефективності роботи промислових кондитерських печей на фабриці Naas-Meinske з пальниками вихрового типу, що працюють в імпульсному режимі. Розроблено промислові пальники на базі струменево-нішової технології для роботи в аналогічних умовах, які були прийняті керівництвом компанії, про що наявні відповідні референції в дисертації.

2. Розроблено пальниковий пристрій малої потужності для модернізації машин випалу вапна КМ-14 на ММК ім. Ілліча, що працюють у діапазоні навантажень $8-40 \text{ м}^3/\text{год}$. Запропоноване рішення дозволило скоротити споживання газу вдвічі зі збереженням продуктивності та якості продукції, про що є акти впровадження в дисертаційній роботі.

3. Для потреб топкового процесу кондитерських печей створено пальник з циліндричним пілоном, що працює за струменево-нішовою технологією. Розроблений пальниковий пристрій успішно випробувано в лабораторних умовах при різних конструктивних конфігураціях та виявлено найбільш раціональну з них.

4. Розширено номенклатуру пальникових пристроїв, що працюють за струменево-нішовою технологією, модулями малої потужності до 4 кВт, які забезпечують існуючі потреби вогнетехнічного устаткування.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках науково-дослідної роботи «Розробка методів та засобів підвищення ефективності обладнання теплових електростанцій та газотурбінних установок», державний реєстраційний номер 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 щодо дослідження методів підвищення ефективності організації топкового процесу в низькотемпературних печах малої потужності за рахунок створення пальникових пристроїв на базі 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 Юрія Олексійовича 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, логічно структурована та доступно викладена. Основний текст підготовлено технічною мовою, з використанням професійної термінології. Наукова робота достатньо забезпечена рисунками та таблицями. Інколи в роботі зустрічаються граматичні, пунктуаційні та семантичні неточності. До прикладу, вживається слово напруги замість напруження, закон Гвинта – закон Віна, іспити – випробування тощо. Іноді зустрічаються слова російською мовою, або застосовуються невірні відмінки слів. В розділі 1 трапляються пропущені

номери рисунків, зокрема, рис. 1.3-1.7, 1.10, 1.13, 1.15, 1.16. Окремі рисунки наведені двічі, наприклад, рис. 3.2 і рис. 2.1, рис. 3.3 та рис. 2.2, рис. 4.2. і рис. 2.7 тощо. Деякі рисунки не мають підрисункового підпису (рис. 5.1, 5.2, 6.11), або не мають посилання на себе в тексті (рис. 6.8 і 6.9). Наводяться два різні рисунки, які мають однаковий номер (рис. 4.1). Назву таблиць 6.1-6.3 наведено знизу. В розділі 3 у багатьох рисунків, таблиць та формул відсутні підписи. Позначення одиниць вимірювання деяких величин відрізняється протягом основного тексту дисертації, наприклад, одиниці об'єму – м^3 , куб. м, м.куб, м^3 .

Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Кожен з розділів містить значну кількість підрозділів, які доцільно було б об'єднати. До прикладу, підрозділи 2.1.10.1, 2.1.10.2 та 2.1.10.3 містять в собі лише по одному рисунку та по одному реченню з посиланням на ці рисунки.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність теми запропонованого дослідження, сформульовано мету та основні задачі, підкреслено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, вказано особистий внесок здобувача та наведено апробацію результатів.

У першому розділі автором проаналізовано фактори які впливають на ефективність топкового процесу в низькотемпературних печах малої потужності, оглянуто наукові праці присвячені імпульсному режиму роботи пальникових пристроїв, розглянуто конструкційні особливості та технологічні вимоги, які ставляться до низькотемпературних печей харчової промисловості.

Другий розділ присвячено детальному опису експериментальних стендів, що використовувались для випробування пальникових пристроїв в промислових та лабораторних умовах: промислова піч із випікання кексів на фабриці Naas-Meinske в Копенгагені; піч випалення вапна КМ-14 на ММК ім. Ілліча у Маріуполі; промислова піч із випікання вафельного листу на фабриці Домінік в Полтаві; експериментальні лабораторні стенди для дослідження роботи плоских та циліндричних пілонів; експериментальний стенд для дослідження можливості управління формою факелу завдяки профілюванню амбразури пальникового пристрою. Наведено основні вимірювальні прилади, що застосовувались в експериментах та оцінено похибки вимірювання різних характеристик.

У третьому розділі наведено результати дослідження топкового процесу промислової печі данської фабрики Naas-Meinske для випікання кексів. Дана піч обладнана пальниками вихрового типу, що працюють у імпульсному режимі. Проведені вимірювання узгоджених термодинамічних, кінематичних та екологічних параметрів роботи печі дозволили побудувати циклограми роботи пальникових пристроїв та виявити основні закономірності. Аналіз отриманих

даних показав, що існуючий пальник має великі втрати чистого метану (від 10 % до 40 %) та має наднормативні викиди чадного газу в певні періоди своєї роботи.

Четвертий розділ дисертації присвячено модернізації пальникових модулів машини для випалювання вапна КМ-14 на ММК ім. Ілліча в м. Маріуполь. Проведено експериментальні випробування шести прямокутних модулів СНТ-11 та отримано їхню витратну характеристику. Встановлено, що діапазон стійкої роботи одиничного пальника складає 1-40 м³/год. Проведена модернізація дозволила скоротити витрату газу при роботі машини КМ-14 на номінальній потужності на 50 % та зроблено висновок, що застосування аналогічного пальникового пристрою на промисловій печі Haas-Meincke дозволить скоротити витрату палива до 20 %.

У п'ятому розділі досліджено топковий процес печей випічки вафельних листів, що застосовують мікрофакельну технологію спалювання газу. Відмічено, що недоліком таких пальників є недостатня якість попереднього сумішоутворення, що призводить до утворення значних шарів сажі на внутрішній поверхні форсунок. У свою чергу, це призводить до збільшення довжини факелу та накидання його на технологічне обладнання та збільшення градієнтів температур в металі вафельних форм. Запропоновано схему модернізації даних печей на основі струменево-нішової технології. Виконано попередній розрахунок базового пальника.

Шостий розділ містить дослідження крайових ефектів які виникають у плоскому пальниковому модулі, що працює за струменево-нішовою технологією, при зменшенні ширини пілона. Визначено критичну ширину пілона, яка призводить до руйнування рівномірності течії паливної суміші. Оскільки пілон критичної ширини має надлишкову потужність для потреб печей з випікання вафельних листів, прийнято рішення розробити циліндричний пальник меншої потужності. Здійснено дослідження топкового процесу в циліндричному пілоні для різних конструктивних виконань на базі математичного моделювання в середовищі SolidWorks. Отримана раціональна композиція конструктивних параметрів циліндричного пальникового модуля з метою верифікації додатково досліджена експериментально в лабораторних умовах. Для скорочення довжини факелу здійснено проектування амбразури пальникового пристрою раціональної конфігурації.

Загальні висновки висвітлюють основні отримані наукові результати, а також містять рекомендації щодо їх практичного застосування.

У додатках наведено таблиці теплофізичних характеристик промислових горючих газів, класифікацію пальникових пристроїв конструкції кафедри теплової та альтернативної енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського, результати

моніторингу експлуатаційних параметрів печі Haas-Meincke, акти впровадження результатів роботи на ММК ім. Ілліча та Haas food equipment GmbH, а також результати математичного моделювання циліндричного пілона різного конструктивного виконання.

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.

Публікації Бетіна Юрія Олексійовича мають високий науковий рівень, проходили рецензування та перевірку на унікальність згідно з умовами видавництва. Особистий внесок здобувача до поданих наукових публікацій є вагомим. Публікації охоплюють усі основні результати дисертаційного дослідження.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Дисертаційна робота містить об'єкт дослідження, що складається з трьох пунктів та предмет дослідження – з двох. Доцільно було б об'єднати ці пункти в єдиний об'єкт та предмет дослідження.

2. В методах дослідження вказано: «Достовірність отриманих даних порівнювалась з результатами лабораторних експериментів», доречніше було б застосувати слово «забезпечувалась» замість «порівнювалась з». Також слід вказати використані загальнонаукові та спеціальні методи дослідження.

3. П'ятий пункт наукової новизни більшою мірою відображає практичну цінність роботи. Його доречно об'єднати з пунктами 5 і 6 практичного значення одержаних результатів.

4. Значна частина першого розділу присвячена фундаментальним питанням термохімії та теорії горіння. Доцільно було б пропустити частину зазначених положень та розширити огляд наукових праць останніх років, присвячених питанням роботи пальників малої потужності та імпульсному режиму експлуатації. В першому розділі відсутній підрозділ постановки задачі дослідження.

5. Розділи 2.1.3, 2.1.6, 2.1.9 називаються «Методика обробки експериментальних даних» і в них наводиться лише опис параметрів, що

будувались на циклограмах. Варто розширити ці розділи аналітичною складовою методики.

6. В розділі 4.5 наведено розрахунок витрати палива в перехідній зоні згідно зміни показів лічильника на $0,01 \text{ м}^3$ за 4 с. Не вистачає більш точного вимірювання, оскільки значення $0,006-0,014 \text{ м}^3$ також заокруглюються до $0,01 \text{ м}^3$, однак забезпечують дуже відмінну витрату газу на рівні $5,4-12,6 \text{ м}^3/\text{год}$.

7. Розділ 6.3 називається «Математичне моделювання. Вибір оптимальних параметрів ПП циліндричної форми». Оскільки в тексті відсутня постановка оптимізаційної задачі з вибором цільової функції та факторів оптимізації, більш правильно було б застосувати термін «раціональних». В розділі відсутній опис граничних умов для дослідження розробленого циліндричного пальникового модуля та обговорення отриманих результатів, які представлені в додатку 3.

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

«19» січня 2024 року



Віталій ПЕШКО

