

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

**Швачка Дениса Григоровича**

на тему **«Теплова ефективність футерівки обортових печей  
для виробництва будматеріалів»**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 13 Механічна інженерія  
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

### **Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота присвячена дослідженню і вдосконаленню конструкції одних з найбільш ресурсоємних та високопродуктивних видів обладнання для виробництва будівельних матеріалів, зокрема цементної промисловості – обортових печей. Через високе споживання енергоносіїв будь-яке науково-практичне обґрунтування його зменшення у відсотковому вимірі дозволяє досягти суттєвої економії в абсолютному вимірі. Актуальність роботи зумовлена створенню досконаліших для виробника технологій та обладнання виробництва будівельних матеріалів, що особливо важливо в наш час через необхідність масштабної відбудови країни за умов обмежених енергоресурсів.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Задекларована автором наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні методів розрахунку і вдосконалення процесу та обортових печей для виробництва будівельних матеріалів, що забезпечує визначення конструктивних параметрів футерівки і конструктивних параметрів обортових печей в цілому, а також раціональних технологічних режимів обпалення сировинних силікатних матеріалів, зокрема клінкера, що супроводжується складними тепломасообмінними процесами. Достовірність отриманих числовими методами результатів підтверджується їх верифікацією, порівнянням з раніше відомими результатами та експериментальним шляхом. В роботі виконано оцінку похибок вимірювання згідно усталених методик.

Отримано такі наукові результати:

1. Пропоноване вдосконалення обортових печей шляхом підвищення теплової ефективності футерівки забезпечує підвищення продуктивності та зменшення теплових затрат, можливість вибору раціональних параметрів та режимів їх роботи;

2. Доповнена та реалізована математична модель для дослідження теплової ефективності обертових печей, яка дозволяє враховувати вплив додаткової теплоізоляції на теплові процеси в них та їхню продуктивність. Цей підхід може бути застосований також до інших типів обертових теплотехнологічних агрегатів;

3. Встановлено закономірності впливу додаткової теплоізоляції на виникнення ефекту теплових пульсацій, які інтенсифікують теплові та масообмінні процеси в печі;

4. Встановлено якісно та кількісно позитивний вплив підвищення термічного опору футерівки на передачу тепла матеріалу. Отримані результати свідчать про можливість покращення ефективності процесу обробки матеріалу в обертовій печі за рахунок застосування раціональних технологічних та технічних параметрів;

5. Визначено напружено-деформований стан печі в разі використання стандартного та фасонного вогнетриву з врахуванням термосилових навантажень;

6. Встановлено, що при використанні додаткової теплоізоляції в футерівці збільшення продуктивності є більш дієвим методом енергозбереження, ніж заощадження палива за тієї ж продуктивності.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі хімічного, полімерного і силікатного машинобудування КПП ім. Ігоря Сікорського під керівництвом професора кафедри хімічного, полімерного і силікатного машинобудування д. т. н., професора Щербини Валерія Юрійовича. у відповідності до науково-технічних тематик Міністерства освіти і науки України: НДР ІХФ–1–2016-2020 «Моделювання та удосконалення конструкційних матеріалів, технологічних процесів і хімічного обладнання» (державний реєстраційний номер 0115U005592) та НДР ІХФ–9–2022-2027 «Підвищення енерго- і ресурсозберігаючих показників в технології та обладнанні об'єктів хімічного, полімерного та силікатного машинобудування» (державний реєстраційний номер 0122U201697).

Поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання, а саме розроблення теоретичних основ для дослідження процесу теплообміну в фасонних вогнетривах футерівки обертової печі, визначення впливу особливостей геометрії комірок з теплоізоляцією на процес теплообміну і створення науково обґрунтованих методів розрахунку та розробка на цій основі вискоефективних конструкцій вогнетривів з підвищеним тепловим опором, повністю виконано, здобувач повністю оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Швачка Д.Г. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Галузеве машинобудування».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача до пріоритетного наукового напрямку «Підвищення енерго- і ресурсозберігаючих показників в технології та обладнанні об'єктів хімічного, полімерного та силікатного машинобудування» із Закону України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки" № 2859-IX від 12 січня 2023 року.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Швачка Дениса Григоровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати й тексти інших авторів мають належні посилання на відповідні джерела.

## **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана академічною українською мовою з використанням наукового стилю. У роботі використано загальноприйняті сучасні технічні терміни. Стилiстика викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує логічність і доступність їх сприйняття.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації 169 сторінок.

У вступі наведено актуальність роботи, сформульовано мету й завдання дослідження, висвітлено методи досліджень, наукову новизну і практичну значущість роботи, наведені дані щодо апробації, впровадження та публікації матеріалів дисертації.

Перший розділ присвячено розгляду конструктивних й технологічних засобів підвищення енергетичної ефективності обертових печей, зокрема збільшенню термічного опору футерівки. Встановлено, що в наявних теоретичних моделях, що описують протікання теплових процесів в печах, не враховується вплив зміни термічного опору вогнетриву в процесі його зношування на тепловий режим в них. На основі аналізу наявних теоретичних та експериментальних досліджень зроблено висновок про можливість збільшення термічного опору футерівки шляхом зміни конфігурації вогнетриву шляхом розміщення між ним та корпусом печі додаткового шару

теплоізоляційного матеріалу. Також відзначено, що для вибору доцільної конструкції вогнетиву необхідно мати дані щодо напружено-деформованого стану печі, що і визначено однією з задач дисертаційної роботи. За підсумком аналізу розглянутих джерел зроблені відповідні висновки та визначені основні задачі і методи дослідження.

В другому розділі на базі математичного моделювання досліджено теплові процеси в різних енергетичних зонах обертових печей двох основних методів виробництва – сухого і мокрого. На основі вирішення рівнянь теплового та матеріального балансів для кожної зони з використанням відомих та вдосконалених методів розрахунку були визначені основні показники енергоефективності печей з футерівкою і теплоізоляційним шаром різних конструкцій. Були виконані числові дослідження процесів теплообміну в робочому просторі печі при різних значеннях її продуктивності та різного ступеня зношування футерівки. Аналіз отриманих результатів числового моделювання показав, що при використанні додаткової теплоізоляції футерівки в зоні випалювання за рахунок зменшення теплових втрат в навколишнє середовище тепла ефективність зростає, що призведе до економії витрати палива. Збільшення потоку тепла в високотемпературній зоні призведе до збільшення коефіцієнта використання палива в цілому. Загалом встановлення додаткової теплоізоляції в футерівці згідно виконаних розрахунків дозволить підвищити ККД печі більш ніж на 9 %.

Третій розділ присвячено аналізу числових досліджень впливу теплоізоляції футерівки на теплові режими роботи печі. Розподіл температур у футерівці визначався з урахуванням теплообміну між перероблюваним матеріалом, газовим теплоносієм і футерівкою та втрат теплоти від зовнішньої поверхні корпусу в навколишнє середовище. Для розв'язання задачі застосована вдосконалена здобувачем математична модель, встановлено й обґрунтовано граничні і початкові умови. За результатами числового моделювання корпусу печі з теплоізоляцією в футерівці та без неї виявлено, що з її використанням втрати теплоти в навколишнє середовище знижуються на 22-54%, залежно від методу виробництва. Додатково виявлено ефект виникнення теплових пульсацій за наявності комірок з додатковою теплоізоляцією, що може сприяти інтенсифікації процесів тепло- масообміну в печі. Встановлено найбільш раціональні форми теплоізоляційних комірок в футерівці для різних зон печі з точки зору впливу на напружено-деформований стан та теплові втрати у навколишнє середовище.

Четвертий розділ присвячений експериментальним дослідженням температурних полів в футерівці з теплоізоляційними комірками із кремнеземистої вати. Випробування проводились в лабораторії ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва». За результатами аналізу

отриманих експериментальних даних встановлено, що при порівнянні з результатами числового моделювання похибка експериментальний вимірювань температурних полів не перевищує 6%.

В додатках наведені програми числових розрахунків та оцінка похибки експериментальних досліджень.

Висновки і практичні рекомендації логічно випливають з виконаних досліджень, змістовні, мають теоретичне та практичне значення.

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 здобувачем у 8 наукових публікаціях, серед яких зокрема: 7 статей у наукових виданнях України, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України та мають категорію Б; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus, яка віднесена до третього квартиля (Q3) відповідно до класифікації Journal Citation Reports.

Також результати дисертаційної роботи були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Публікації здобувача характеризуються високим науковим рівнем, при їх підготовці до видання проходили відповідні рецензування та перевірку на плагіат згідно з умовами видавництва. Вагомим також є особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих із співавторами. Публікації охоплюють усі результати наукового дослідження.

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

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Деякі пункти наукової новизни відповідають скоріш визначенню практичної цінності, і навпаки.

2. Дослідження ефекту виникнення теплових пульсацій за наявності комірок з додатковою теплоізоляцією не є метою даної роботи і заслуговує окремого дослідження.

3. Недостатньо докладно описано методику підготовки та проведення експерименту, зокрема встановлення та калібрування термодатчиків за різних температур, контроль теплоінерційності нагрівальної печі, що могло вплинути на точність вимірювання результатів.

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.

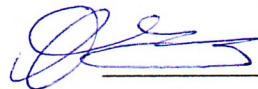
### Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Швачка Дениса Григоровича на тему «Теплова ефективність футерівки обертових печей для виробництва будматеріалів» 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 13 Механічна 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.

На підставі вище наведеного, вважаю що здобувач Швачко Денис Григорович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування.

### Рецензент:

Зав. каф. ХПСМ  
КПІ ім. Ігоря Сікорського  
д.т.н., доцент



Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ

М.П.

«26» 01 2024 року

