

## РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Губинського Семена Михайловича на тему: «Удосконалення роботи високотемпературних агрегатів з електротермічним киплячим шаром з метою зменшення викидів парникових газів», яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика

### **Актуальність теми дисертації.**

У сучасних умовах посилення екологічних вимог до промислових виробництв особливої уваги набувають дослідження, що поєднують енергоефективність та зменшення шкідливого впливу на довкілля. У цьому напрямку тема дисертації Губинського С.М. є особливо актуальною, оскільки присвячена розробці та оптимізації високотемпературних процесів обробки вуглецевої сировини та піролізу метану в електротермічному киплячому шарі (ЕКШ). Робота базується на результатах експериментальних досліджень, що включають створення лабораторного обладнання, аналіз температурних полів і електричних характеристик псевдозрідженого шару, а також оцінку впливу технологічних параметрів на якість кінцевого продукту. Урахування екологічного чинника через аналіз емісії парникових газів значно підвищує прикладну значущість роботи. Таким чином, тема дисертаційної роботи є науково обґрунтованою і відповідає потребам сучасної теплоенергетики та екологічно орієнтованого виробництва.

### **Оцінювання обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій дисертації, їх достовірність й новизна.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- вперше на основі експериментальних досліджень отримано параметри роботи печей ЕКШ для графітації антрациту Донецького вугільного басейну та рафінування природного графіту, що забезпечують якість готового продукту;

- вперше при нагріві у ЕКШ експериментально підтверджено нерівномірний розподіл електричного опору за висотою шару. Величина питомого опору підвищується по мірі занурення у шар з його поверхні. Нерівномірність питомого опору за висотою шару зменшується з підвищенням температури. Різниця у розподілі потужності, яка пов'язана з нерівномірністю електричного опору по висоті шару, може призвести до перепаду температур 50-60 °C;

- вперше експериментально доведено неможливість нагріву у ЕКШ фракцій графіту малих розмірів у турбулентному режимі кипіння, що пов'язано зі значним ростом електричного опору киплячого шару на 1-2 порядки;

- вперше експериментально досліджено нагрів бінарної суміші «природний графіт + карбід кремнію» у ЕКШ. Визначено величини питомого електричного опору шару в залежності від температури. Отримано величину температури  $1000 \pm 50^{\circ}\text{C}$  при якій спостерігалось різке зменшення опору псевдозріженого шару у 8-10 разів, яке пов'язане з відновленням оксидної плівки на частках SiC;

- вперше на основі розрахунку викидів парникових газів при виробництві графіту анодного класу для умов України показано, що при термічному рафінуванні природного графіту замість хімічного рафінування емісія парникових газів практично залишається на одному рівні, а при виробництві штучного графіту дає змогу знизити викиди парникових газів на 40-50% порівняно з традиційними технологіями графітації у печах Ачесона і Кастнера.

Основні результати роботи були отримані експериментально, їх достовірність підтверджується виваженням методичним підходом до постановки й реалізації експериментів, а також використанням сучасних засобів вимірювання.

Матеріали дисертації розширюють та поглиблюють наукові знання про високотемпературні процеси нагрівання у електротермічному киплячому шарі, розподіл джерел теплоти, граничні значення розмірів частинок матеріалів, використання бінарних сумішей. Це дає можливість розробки ефективних агрегатів для отримання графіту високої якості та реалізації хімічних процесів, що потребують додаткового енергозабезпечення.

Дослідження були проведені на кафедрі енергетичних систем та енергоменеджменту Українського державного університету науки і технологій та базуються на результатах науково-дослідних робіт «Розробка технології виробництва інноваційних карбюраторів та отримання на їх основі синтетичних чавунів високої якості» (0122U001800), «Розробка інноваційної «зеленої» технології глибокої переробки вугілля з метою отримання термоантрациту та штучного графіту високої якості» (0121U109528), «Feasibility study of high temperature refining of anode material» (X077E10002), «Розроблення технології виробництва графіту для літій-іонних акумуляторів» (0118U005464), де автор дисертації був виконавцем.

Поставлене в дисертації наукове завдання підвищення ефективності печей з ЕКШ шляхом вдосконалення режимних та конструктивних параметрів їх роботи для зменшення викидів парникових газів повністю виконано, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

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

За своїм змістом та отриманими результатами робота Губинського С.М. повністю відповідає спеціальності 144 Теплоенергетика, є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у дослідженні теплоелектричних процесів у електротермічному киплячому шарі.

Виходячи зі звіту подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можливо зробити висновок, що дисертація Губинського С.М. є результатом самостійних досліджень.

## **Мова та стиль викладення результатів роботи**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Дисертація логічно структурована, складається з п'яти змістовних розділів, які пов'язані спільною науковою ідеєю. Ілюстративний матеріал належно оформлений і містить вичерпну інформацію. Він налічує 132 загальних сторінки та містить 18 таблиць, 45 рисунків, бібліографічний список з 122 джерел і 4 додатки.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, мета роботи, об'єкт та предмет дослідження. Сформульовано перелік наукових задач, методи досліджень і основні положення наукової новизни та практичної цінності результатів роботи.

Розділ 1 присвячений аналізу сучасних тенденцій «зеленої» енергетики та потребам у відмові від викопного палива. Розглянуто процеси піролізу метану для отримання бірюзового водню, термічного рафінування та графітації вуглецевих матеріалів. Обґрунтовано доцільність застосування ЕКШ, вказано на недоліки традиційних технологій і потребу в розробці нових ефективних конструкцій печей.

У другому розділі розроблено високотемпературну лабораторну піч, здатну забезпечити умови, близькі до ЕКШ. З її використанням проведено графітацію антрациту Донбаського родовища та рафінування природного графіту. В результаті отримано параметри роботи печей ЕКШ (температура та тривалість витримки), що забезпечують отримання вуглецевих матеріалів заданої якості.

Третій розділ включає розробку методики досліджень електропровідності та розподілу джерел теплоти та температурного поля у ЕКШ в діапазоні температур до 1200°C. Проведено дослідження розподілу електропровідності по висоті шару, впливу розміру часток графіту, а також дослідження бінарних сумішей «графіт–карбід кремнію». Вперше виявлено нерівномірність розподілу питомого електричного опору та зменшення його з підвищенням температури. Встановлено, що дрібні фракції значно

підвищують опір шару, а суміш з SiC демонструє критичну зміну провідності при 1000 °С.

У четвертому розділі наведено результати порівняння викидів парникових газів при виробництві природного та штучного графіту у традиційних і нових (ЕКШ) технологіях. Показано, що використання ЕКШ дає змогу знизити емісію на 40–50% при графітації штучного графіту та виключити використання кислот і вапна, одночасно зменшивши обсяги очищення стічних вод у 10 разів при рафінуванні природного графіту.

Розділ 5 присвячений розробці енергоефективних агрегатів з ЕКШ. Створено конструкції печей ЕКШ з утилізацією теплоти готового продукту для підігріву сировини при рафінуванні природного графіту. Доведено, що розроблені печі знижують енерговитрати на 15–23% при збереженні якості продукту. Для печей графітації штучного графіту запропоновано інженерне рішення, що забезпечує підвищення продуктивності печей та якості готового продукту за рахунок використання додаткової камери витримки.

У висновках узагальнено результати проведених досліджень. В додатках наведено експериментальні результати досліджень графітації та рафінування графіту; довідка щодо використання результатів дисертації та данні щодо приладів, які використано при експериментальних дослідженнях.

Дисертація 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 в достатній мірі висвітлені у 18 публікаціях серед яких: 4 публікації у журналах проіндексованих у базі даних Scopus, 4 статті у виданнях категорії «Б» переліку фахових видань МОН України, 4 – патенти України на корисну модель, 6 публікацій у матеріалах міжнародних конференцій. Апробація результатів роботи проведена на 4 міжнародних конференціях.

### **Зауваження до змісту дисертаційної роботи.**

1. В роботі наведено опис лабораторного устаткування та приладів, якими здійснювалися вимірювання під час проведення експериментальних досліджень, але відсутні дані, за якими можна оцінити точність вимірювань, а також відсутні данні щодо визначення достатності проведених опитів.

2. Рисунок 2.12 (стор. 55) «Залежність логарифму константи швидкості від зворотної температури». З рисунку незрозуміло, яким випадкам, або наборам даних відповідають 5 точок, за якими побудовано графік. Це важливо, тому що ці дані використовуються для визначення експоненціального коефіцієнту та уявної енергії активації.

3. Незрозуміло, чому відбувається різке зниження зовнішньої температури поверхні графітової труби на висоті теплообмінника біля 0,5 м.

4. Часто в роботі застосовується термін «екологічна ефективність процесу» та «оцінка екологічної ефективності» в значенні «оцінки зміни викидів парникових газів». Дослідження екологічної ефективності оцінюється за низкою екологічних показників, які відображають різні аспекти стану довкілля та життєздатності екологічних систем, збереження біологічної різноманітності, протидію зміні клімату, стан здоров'я населення і багато іншого.

### Висновок.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Губинського Семена Михайловича на тему «Удосконалення роботи високотемпературних агрегатів з електротермічним киплячим шаром з метою зменшення викидів парникових газів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, вирішує актуальну науково-прикладну задачу. 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 Губинський Семен Михайлович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 144 Теплоенергетика

Рецензент:

доцент кафедри екології,  
теплотехніки та охорони праці  
Українського державного  
університету науки і технологій

Олена Гупало

