

ВІДГУК

офіційного опонента Ганжі Антона Миколайовича на дисертаційну роботу
Губинського Семена Михайловича «Удосконалення роботи
високотемпературних агрегатів з електротермічним киплячим шаром з метою
зменшення викидів парникових газів», яка подана на здобуття ступеня доктора
філософії, за спеціальністю 144 – Теплоенергетика,
галузь знань 14 – Електрична інженерія.

1. Актуальність теми дослідження

Дисертаційна робота Губинського С.М. присвячена важливій проблемі — підвищенню енергоефективності та екологічної безпеки високотемпературних технологічних процесів з використанням електротермічного киплячого шару (ЕКШ). Актуальність теми зумовлена зростаючими екологічними вимогами до промислового виробництва та необхідністю декарбонізації економіки. Одним із ефективних шляхів зменшення викидів парникових газів є заміна традиційних джерел енергії, що ґрунтуються на спалюванні викопного палива, альтернативними, зокрема електричними. Дослідження автора спрямоване на вдосконалення теплотехнологічних процесів за допомогою ефективних конструкцій агрегатів з ЕКШ, що дозволяють не лише інтенсифікувати тепло- та масообмін, а й забезпечити утилізацію теплових втрат, знизити витрати енергії та викиди шкідливих речовин.

Дисертація, що розглядається, тісно пов'язана з науковими напрямками досліджень кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту Українського державного університету науки і технологій (УДУНТ) і базується на результатах досліджень, які виконувались в 2018-2023 роках в рамках виконання міжнародного проекту та господарчих договорів.

2. Загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертаційна робота є комплексним дослідженням, що охоплює розробку, аналітичне обґрунтування, експериментальне випробування та екологічну оцінку роботи високотемпературних агрегатів з електротермічним киплячим шаром (ЕКШ). Робота складається зі вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих технологій графітації та рафінування вуглецевих матеріалів. Проведено ґрунтовний огляд конструкцій традиційних високотемпературних печей, висвітлено їх енергетичні характеристики та екологічні обмеження. За допомогою методів порівняльного енерготехнічного аналізу сформульовано переваги використання ЕКШ: гнучкість керування, висока швидкість нагріву, зменшення теплових втрат, можливість роботи у безперервному режимі. Обґрунтовано вибір об'єкта дослідження та визначено основні проблеми, які вирішуються в дисертації.

У другому розділі представлено розробку лабораторної високотемпературної печі для імітації умов ЕКШ. Використано методи теплотехнічного розрахунку циліндричної системи з тепловою ізоляцією та

модельовання розподілу температур. Експериментально підтверджено можливість досягнення температур до 3000 °С зі швидкістю нагріву понад 1000 °С/хв. Проведено серію випробувань із використанням «температурних свідків» для побудови режимної карти печі. Далі, на основі цієї установки досліджено процес графітації антрациту та високотемпературного рафінування природного графіту. В результаті отримано параметри роботи печей з ЕКШ для реалізації цих технологій з одержанням готового продукту відповідної якості.

Третій розділ дисертації присвячено експериментальному аналізу електричної провідності псевдозрідженого шару природного графіту в умовах високотемпературного нагріву. Вперше комплексно досліджено вплив висоти занурення центрального електрода, гранулометричного складу графіту та наявності в суміші діелектричних компонентів на електропровідність шару. Основна увага зосереджена на практично важливих аспектах стабільності нагріву й рівномірності температурного поля в ЕКШ. Дослідження проведено на створеній експериментальній установці з можливістю нагріву шару до 1200°С.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено кількісній оцінці впливу технологій термічного очищення та графітації в електротермічному киплячому шарі на обсяг викидів парникових газів. Автором виконано порівняння емісії парникових газів між діючими технологіями отримання штучного графіту та термічного рафінування природного графіту з технологією ЕКШ. Розрахунки виконано з урахуванням технологічних ланцюгів, усіх стадій виробничого процесу, характеру сировини, джерел енергії та матеріалів, що використовуються.

У п'ятому розділі дисертаційної роботи викладено результати розробки і обґрунтування нових конструкцій енергоефективних агрегатів з електротермічним киплячим шаром для термічної обробки вуглецевих матеріалів. Автор запропонував два принципово різних підходи до підвищення технологічної стабільності та енергетичної ефективності: для штучного графіту — модифікацію процесу з урахуванням кінетики графітації; для рафінування природного графіту — утилізацію вторинної теплоти продукту. На розроблені конструкції печей з ЕКШ отримано патенти.

Завершують дисертаційну роботу висновки, список літературних джерел, на які є посилання в роботі, та додатки.

Текст дисертації викладено послідовно. Робота виконана відповідно поставленій меті та завданням і є завершеною науковою працею.

3. Оцінка наукової новизни дисертаційної роботи

Значна частина результатів дослідження отримана вперше експериментальним шляхом. Детально ці результати викладені у вступній частині дисертації. Далі приводяться найбільш вагомі з них.

В результаті досліджень теплотехнологічних процесів графітації та рафінування автор отримав параметри роботи печей ЕКШ, які забезпечують

якість графітових матеріалів і є основою для створення ефективних режимів та конструкцій агрегатів.

Особливо слід віднести до наукових результатів дослідження розподілу джерел теплоти у ЕКШ в залежності від висоти шару, гранулометричного складу матеріалу та бінарної суміші на основі графіту та карбиду кремнію, а саме:

- Встановлено, що величина питомого опору киплячого шару підвищується по мірі занурення у шар з його поверхні. Нерівномірність питомого опору за висотою шару зменшується з підвищенням температури.
- 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.
- Визначено величини питомого електричного опору шару бінарної суміші в залежності від температури. Отримано величину температури $1000 \pm 50^{\circ}\text{C}$, при якій спостерігалось різке зменшення опору псевдозрідженого шару у 8-10 разів, яке пов'язане з відновленням оксидної плівки на частках SiC.

4. Значення результатів для науки і практики

Дисертаційна робота містить ряд оригінальних науково-практичних рішень, новизна яких підтверджена трьома патентами на корисні моделі. Вони включають удосконалені конструкції безпосередньо печі та системи охолодження готового продукту. Також розроблено рекомендації щодо дискретно-непереривного режиму термічної обробки вуглецевої сировини.

Результати експериментальних досліджень використані при проектуванні реактора з ЕКШ в рамках проекту Горизонт Європа.

Відповідні результати роботи використані у навчальному процесі кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту УДУНТ.

5. Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

Наукові положення і висновки, які наведені у дисертації, отримані автором на основі теоретичного аналізу та експериментальних досліджень процесів теплообміну, гідрогазодинаміки та електропровідності у печі з електротермічним киплячим шаром та її елементів.

Експерименти виконувались на лабораторній високотемпературній печі та установці ЕКШ створеної в рамках роботи. Достовірність та обґрунтованість результатів забезпечувались використанням сучасних методик проведення експериментальних досліджень та засобів вимірювання.

Адекватність математичного моделювання забезпечувалась коректністю постановки задач, використанням в роботі фундаментальних закономірностей тепломасообміну та гідродинаміки, відомих сучасних методів математичного моделювання.

Порушень академічної доброчесності у дисертації та публікаціях автора не виявлено. Використання результатів інших досліджень супроводжується посиланням на відповідні джерела.

6. Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих роботах

Особистий внесок автора роботи полягає у підготовці та проведенні експериментальних досліджень на лабораторних та пілотній установках, обробці та аналізу отриманих експериментальних результатів, теоретичного дослідження та створення високотемпературної лабораторної печі, математичної моделі теплоутилізатора, проведення чисельних досліджень, аналізі отриманих результатів та доведенні наукових положень.

Зміст дисертації повністю висвітлений у 18-х опублікованих наукових працях. В тому числі – 4 роботи у виданнях, які індексуються у наукометричній базі SCOPUS. Результати роботи пройшли апробацію на 4-х міжнародних конференціях.

Стиль і виклад результатів досліджень послідовний та відповідає вимогам до наукових праць. Текст роботи повністю відтворює результати наукових досліджень.

7. Дискусійні положення та зауваження

1. У першому розділі роботи автор обґрунтовує завдання дослідження які носять комплексний характер, це створення високотемпературної лабораторної печі, обґрунтування теплотехнологічних параметрів роботи печей ЕКШ, дослідження розподілу джерел теплоти у ЕКШ, вплив гідродинамічного режиму, бінарні суміші, а також енергетична ефективність процесів у ЕКШ та питання викидів парникових газів. Всі ці завдання пов'язані між собою, але потребують більш детального обґрунтування, на мій погляд.

2. У другому розділі автором проведено розробка конструкції високотемпературної лабораторної печі для моделювання шокowego нагріву у ЕКШ. Автор провів моделювання температурного поля нагрівача з вуглецевого композиту малої густини, але в роботі відсутні дані щодо експериментальної перевірки отриманих теоретичних результатів температурного поля. Крім того в роботі нема аналізу впливу торців печі на розподіл температур в робочій камері.

3. Порівняльний аналіз викидів парникових газів при рафінуванні природнього графіту та отриманні штучного графіту є важливим етапом впровадження нових технологій і агрегатів що прийнято у світовій практиці. Данні для таких розрахунків як правило отримують на рівні пілотних проектів. Наскільки обґрунтовані дані що до роботи печей з ЕКШ що використані при розрахунках?

4. Не зрозуміло, чому склад багатьох металів при термічному рафінуванні зменшується, а алюмінію зростає (рис. 2.14)?

5. Зауваження щодо оформлення. По тексту трапляються орфографічні та стилістичні помилки. На мою думку, застосування терміну «холодильник» у розділі 5 є не зовсім коректним, більш вдалим буде термін «охолоджувач».

Однак, зазначені зауваження не змінюють загальну позитивну оцінку дисертації та не знижують її наукову та практичну цінність.

Висновок

Дисертація 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 завершеною науково-дослідною роботою, в якій отримані нові науково обґрунтовані результати, що мають теоретичну та практичну цінність та вирішують задачу підвищення ефективності роботи печей з електротермічним киплячим шаром та зменшення викидів парникових газів.

Основні наукові результати роботи повно представлені в публікаціях в журналах, рекомендованих МОН України та у достатній мірі апробовані на міжнародних конференціях.

За напрямом і змістом досліджень дисертаційна робота відповідає спеціальності 144 – Теплоенергетика та відповідному Стандарту вищої освіти третього (доктор філософії) рівня, затвердженого наказом Міністерства освіти і науки України від 24.12.2021р № 1437.

Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в пп. 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 2022р №44.

Здобувач – Губинський Семен Михайлович – заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 Теплоенергетика.

Офіційний опонент, д.т.н., професор,
професор кафедри теплотехніки
та енергоефективних технологій,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

