

## **ВІДГУК**

офіційного опонента Книш Людмили Іванівни на дисертаційну роботу  
Гогоці Олексія Георгійовича на тему  
**«Удосконалення режимних і конструктивних параметрів**  
**високотемпературних печей з електротермічним киплячим шаром для**  
**термічної обробки вуглецевих матеріалів»** що подана на здобуття на  
здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика  
галузі знань 14 – Електрична інженерія.

### **Загальна характеристика роботи**

Дисертаційна робота є рукописом загальним обсягом 123 сторінки основної текстової частини; містить 14 таблиць і 51 рисунок, 5 додатків. Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків за результатами досліджень і переліку використаних літературних джерел з 102 найменувань.

Дисертацію виконано в Національній металургійній академії України (НМетАУ).

### **Актуальність теми**

Останнім часом в світі спостерігається стала тенденція розвитку та удосконалення промислових технологій в напрямку скорочення споживання викопних видів палива та широкого впровадження нових інноваційних агрегатів, робота яких забезпечується електричною енергією від відновлюваних джерел. З іншого боку, подібні промислові установки стають в значній мірі залежними від незбалансованого графіку генерації та споживання електричної енергії, що обумовлює необхідність застосування буферних станцій, акумуляторів електричної енергії на основі літій-іонних акумуляторів. Останні, як відомо, містять в своєму складі графітові матеріали із ступенем чистоти  $> 99.95\%$ .

Робота здобувача О. Гогоці спрямована на вирішення важливої науково-технічної проблеми, пов'язаної саме з цими двома актуальними питаннями подального розвитку науки і техніки: отриманням високочистих вуглецевих матеріалів, в тому числі батарейних марок та пристосуванням для цих потреб високотемпературних електротермічних печей киплячого шару. Отже, обрані тема та напрям наукових досліджень повністю відповідають сучасним викликам розвитку суспільства та мають перспективи подального впровадження на відповідних підприємствах виготовної, машинобудівної, хімічної та енергетичної галузей як в Україні, так і в світі в цілому.

## **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Результати дисертації були отримані у рамках виконання наукових досліджень за конкурсними держбюджетними роботами (0217U002973, 0118U005464) відповідно до тематичних планів НМетАУ на кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту.

**Ступінь обґрутованості наукових положень і висновків та їх достовірність** Наукові положення і висновки, наведені у дисертації, отримані автором шляхом експериментальних досліджень на холодній гідродинамічній моделі – пілотній печі електротермічного киплячого шару (ЕКШ) продуктивністю 10 кг/год та на основі математичного моделювання процесів охолодження матеріалу у холодильниках готового продукту з щільним шаром та охолодження й очищення відхідних запилених газів.

Достовірність результатів роботи забезпечено коректністю математичних постановок задач, використанням в роботі фундаментальних положень теорій тепломасообміну та гідродинаміки, загальноприйнятих сучасних методів математичного моделювання та перевіркою адекватності математичних моделей.

## **Наукова новизна роботи та важливість одержаних результатів для науки і практики**

Дисертація спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі підвищення ефективності та надійності печей для термічної обробки вуглецевих матеріалів з електротермічним киплячим шаром (ЕКШ) шляхом вдосконалення режимних та конструктивних параметрів їх роботи.

Нові наукові результати отримані автором полягають в наступному:

1. Вперше на основі аналізу конструкцій печей з електротермічним киплячим шаром запропоновано їх класифікацію за конструктивними та технологічними параметрами, в тому числі: за температурою термічної обробки, напрямом руху електричного струму через киплячий шар, типу газорозподільчих решіток, організацією поточного процесу.
2. Вперше на основі експериментальних досліджень визначено ефективний гідродинамічний режим роботи ЕКШ для високотемпературної обробки вуглецевих матеріалів, який повинен відповісти порозності шару  $\varepsilon = 0,55-0,65$  для робочої зони печі.
3. Вперше на основі математичного моделювання отримано залежність безрозмірної середньомасової температури вуглецевого матеріалу при охолодженні в прямотрубному холодильнику від режимних і конструктивних параметрів

його роботи (швидкості руху матеріалу, діаметру каналів охолодження, кількості секцій безперервного руху та їх висоти). Залежність може бути використана для оптимізації показників роботи холодильника подібного типу.

4. Вперше запропоновано систему очищення та охолодження відхідних газів без їх допалення; шляхом математичного моделювання визначено ефективність її роботи на рівні 65-85% в діапазоні параметрів: температура та витрати відхідних газів  $t_r = 2500-3000^{\circ}\text{C}$ ,  $V_r = 50-150 \text{ нм}^3/\text{год}$ , концентрації пилу  $\mu = 400-2000 \text{ г}/\text{нм}^3$ , діаметру часток пилу  $d_q = 100-300 \text{ мкм}$ .

**Практична цінність отриманих результатів** полягає у наступному:

1. Розроблено методику розрахунку теплового балансу печі ЕКШ для високотемпературної термічної обробки вуглецевих матеріалів.
2. Результати роботи використані при проектуванні пілотної печі ЕКШ продуктивністю 10 кг/год ТОВ «Центр матеріалознавства» м. Київ, що підтверджено актом впровадження.
3. Запропоновано методику розрахунку перехреснотокового холодильника готового продукту від температури  $900-1000^{\circ}\text{C}$  до  $300^{\circ}\text{C}$ , яку використано при проектуванні холодильника продуктивністю 1000 кг/год.
4. Розроблено рекомендації щодо конструкції прямотрубного холодильника готового продукту з щільним шаром.
5. Експериментально визначено ерозійний вплив вуглецевих матеріалів на трубчасті теплообмінні поверхні холодильнику готового продукту в залежності від швидкості та тиску.
6. Результати роботи використані у навчальному процесі кафедри енергетичних систем та енергоменеджменту НМетАУ при викладанні курсу «Високотемпературні теплотехнологічні процеси та установки».

**Особистий внесок здобувача** полягає в розробці класифікації печей з ЕКШ; розробці методики проведення та обробці результатів експериментальних досліджень гідродинамічних режимів ЕКШ; безпосередній участі в розробці пілотної печі ЕКШ продуктивністю 10 кг/год, її випробуваннях та узагальненні отриманих результатів; розробці математичних моделей охолодження готового продукту, охолодження та очищення відхідних газів печей ЕКШ, а також проведенні розрахунково-теоретичних досліджень на їх основі.

**Повнота викладення основних положень дисертації в опублікованих роботах**

Основні матеріали дисертації представлені у 18-ти друкованих працях, в тому числі: 10-ти статтях у фахових журналах, (з яких 4 статі входять до наукометричної бази Scopus); 2-х патентах України; 6-ти матеріалах

конференцій. Всі публікації містять результати безпосередньої роботи автора на окремих етапах досліджень та відображають основні положення та висновки дисертаційної роботи. Основні положення і результати роботи доповідались і обговорювались на 5 міжнародних наукових конференціях.

### **Недоліки та зауваження по дисертаційній роботі**

1. В першому розділі, п. 1.1.1 (стор. 19) дещо декларативно стверджується про перспективи майбутнього впровадження високотемпературних печей на основі електротермічного киплячого шару. Незважаючи на беззаперечну коректність даного твердження, з боку автора не приведено жодних пояснень з цього приводу та порівняльних характеристик щодо роботи аналогів. Зокрема мова йде про переваги прямого резистивного нагріву та відповідну компактність агрегатів з ЕКШ; інтенсифікацію тепломасообмінних процесів – що загалом істотно зменшує питомі витрати електроенергії.
2. У другому розділі автор досліжує гідродинамічні режими псевдозрідження вуглецевих матеріалів, таких як антрацит (0,8-2 мм; 2-5 мм; 4-8 мм) та природний графіт марки ГТ-1 (0,2-0,3 мм). Необхідні пояснення, чому обрані саме ці вуглецеві матеріали та саме цього гранулометричного складу.
3. У дисертації автор багато разів згадує температуру 3000°C як верхню межу рафінування та графітації вуглецевих матеріалів. Виникає питання, чим обумовлене саме це обмеження і чому у третьому розділі експериментальна піч продуктивністю 10 кг/год розрахована на температуру 2700°C.
4. Стосовно методики теоретичних досліджень на основі математичних моделей теплового стану футеровки експериментальної печі 10 кг/год (розділ 2, ф-ла 3.18) та охолоджувача готового продукту (розділ 3, ф-ла 4.1) необхідно звернути увагу, що рівняння використані автором є однаковими за свою сутністю. Тому, з методологічної точки зору, було б доцільно обмежитися узагальненою постановкою задачі процесів теплообміну у відповідних пристроях. Крім того, слід зазначити, що використання одномірної постановки задачі як для умов охолоджувача за істотним температурним градієнтом, так і в експериментальній печі, де присутній торцевий ефект зверху та низу печі, знижує точність моделі. В цьому разі було б доцільно перейти до двомірно або тримірної моделі.
5. В розділі 4 автор наголошує, що одним з основних елементів, які забезпечують адекватність математичної моделі є вибір розрахункової залежності ефективної тепlopровідності шару вуглецевого матеріалу, що охолоджується. В роботі запропонована залежність, але не доведено чому саме її вибрал дисертант і хто є автором цієї залежності.

6. В розділі 5 автором вирішується задача охолодження запиленого газового потоку, що залишає високотемпературну піч. Логіка фізичної постановки задачі передбачає, що возгони печі десоблімуються саме на поверхні твердих частинок, які вже присутні в виду графітного пилу або додаються окремо. З огляду на це, на поверхні частинок має виділятися додаткового теплота фазового переходу, яка впливає на тепловий стан цих частинок та їх теплообмін зі стінками охолоджувача. Нажаль з роботи неясно, як враховані ці процеси при моделюванні.

7. При валідації моделі охолодження запиленого потоку у радіаційному охолоджувачі автор порівнював свої розрахунки з результатами відомої задачі. Було доведено, що похибка по розробленій моделі незначна. Але і в відомій задачі і в моделі дисерганта прийнято, що газ сіре тіло. Наскільки це припущення може впливати на результати розрахунків неясно.

Водночас слід зазначити, що зроблені зауваження не впливають на науковий рівень дисертації, новизну та достовірність її результатів.

## ВИСНОВОК ОПОНЕНТА

Представлена на відгук дисертація Гогоці О.Г. є завершеною науково-дослідною роботою, у якій на основі виконаних експериментальних та теоретичних досліджень вирішено важливе науково-технічне завдання підвищення ефективності та надійності печей для термічної обробки вуглецевих матеріалів з електротермічним киплячим шаром (ЕКШ) шляхом вдосконалення режимних та конструктивних параметрів їх роботи.

Сформульовані наукові положення дисертації, висновки і рекомендації є достовірними та відповідають об'єктивній дійсності. Основні досягнення висвітлені в фахових джерелах, визнаних МОН України. Матеріали дисертації у достатній мірі були представлені на міжнародних конференціях. Мова та стиль дисертації відповідають вимогам до науково-технічних текстів та публікацій.

Здобувачем дотримані вимоги академічної добросердечності – дисертація не містить елементів plagiatu та запозичень, має посилання на відповідні джерела інформації у випадку використання ідей, результатів та текстів інших авторів. Робота відповідає вимогам чинного законодавства про авторське право, містить повну і достовірну інформацію про результати наукової діяльності, а також використані методики досліджень.

За напрямом обраних і вирішених питань дисертаційна робота відповідає спеціальності 144 – Теплоенергетика, галузі знань 14 – Електрична інженерія.

За науковим рівнем, науковою новизною отриманих результатів, їх теоретичною та практичною значимістю та обсягом виконаних досліджень, дисертаційна робота відповідає вимогам пп. 9, 10, 11, 12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 р. №167 «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» зі змінами (Постанова Кабінету Міністрів України від 21 жовтня 2020 р. №979), а її автор Гогоці Олексій Георгійович заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика.

Офіційний опонент  
професор кафедри комп’ютерних технологій  
Дніпровського національного університету  
імені Олеся Гончара,  
д.-р. тех. наук, професор

Людмила КНИШ

Підпис професора Книш Л.І. засвідчую

Вчений секретар  
Дніпровського національного університету  
імені Олеся Гончара,  
канд. фіз.-мат. наук, доцент

Тетяна ХОДАНЕН

