

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

Державний обліковий номер: 0825U001723

Особливі позначки: відкрита

Дата реєстрації: 15-05-2025

Статус: Захищена

Реквізити наказу МОН / наказу закладу:



## II. Відомості про здобувача

Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Губинський Семен Михайлович

2. Semen M. Hubynskyi

Кваліфікація:

Ідентифікатор ORCID ID: 0000-0002-4598-5136

Вид дисертації: доктор філософії

Аспірантура/Докторантура: так

Шифр наукової спеціальності: 144

Назва наукової спеціальності: Теплоенергетика

Галузь / галузі знань: електрична інженерія

Освітньо-наукова програма зі спеціальності: Теплоенергетика

Дата захисту: 20-06-2025

Спеціальність за освітою: Теплоенергетика

Місце роботи здобувача: Український державний університет науки і технологій

Код за ЄДРПОУ: 44165850

Місцезнаходження: вул. Лазаряна, буд. 2, Дніпро, Дніпровський р-н., 49010, Україна

Форма власності: Державна

Сфера управління: Міністерство освіти і науки України

Ідентифікатор ROR:

### **III. Відомості про організацію, де відбувся захист**

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 9153

**Повне найменування юридичної особи:** Український державний університет науки і технологій

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

**Місцезнаходження:** вул. Лазаряна, буд. 2, Дніпро, Дніпровський р-н., 49010, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **IV. Відомості про підприємство, установу, організацію, в якій було виконано дисертацію**

**Повне найменування юридичної особи:** Український державний університет науки і технологій

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

**Місцезнаходження:** вул. Лазаряна, буд. 2, Дніпро, Дніпровський р-н., 49010, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 44.31.35

**Тема дисертації:**

1. УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ АГРЕГАТИВ З ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНИМ КИПЛЯЧИМ ШАРОМ З МЕТОЮ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ
2. Improvement of high-temperature units with electrothermal fluidized bed with the view to reducing greenhouse gas emissions

**Реферат:**

1. Дисертація спрямована на вирішення науково-технічних задач підвищення ефективності печей з електротермічним киплячим шаром (ЕКШ) та зменшення викидів парникових газів шляхом переходу з викопного палива на електроенергію. Дослідження охоплюють гідродинаміку й тепломасообмін у печах ЕКШ, а також вплив технологічних параметрів на процеси графітації й рафінування вуглецевих матеріалів. У першому розділі обґрунтовано доцільність використання ЕКШ у хімічній та металургійній галузях, зокрема для електронагріву замість викопного палива. Вказано на потенціал ЕКШ у виробництві бірюзового водню та термічного очищення графіту до анодної якості (вміст С  $\geq$  99,95%). Для цього необхідні достовірні дані щодо електричних характеристик бінарних сумішей частинок у шарі. У другому розділі розроблено інноваційну конструкцію лабораторної печі для моделювання термічних умов ЕКШ, проведено графітацію антрациту Донецького басейну. Встановлено, що попередня кальцинація не впливає на графітацію, а кінетичні

параметри процесу становлять:  $A = 1,79$ ,  $E_a = 103,85$  кДж/моль. Визначено оптимальні режими:  $3000\text{p}^\circ\text{C}$ , 55–60 хв. Експериментально досліджено термічне рафінування природного графіту в умовах шокowego нагрівання. Якість продукту визначається температурою ( $2800\text{--}3000\text{p}^\circ\text{C}$ ), часом (5–10 хв) і повнотою видалення домішок. Запропоновано вимоги до реалізації періодичного або безперервного процесу з уникненням агломерації частинок. У третьому розділі вперше експериментально підтверджено нерівномірний розподіл електропровідності шару по висоті, а також неможливість ефективного нагріву дрібнодисперсного графіту у турбулентному режимі через надмірний опір і дугові пробої. Встановлено граничне співвідношення провідник/діелектрик у бінарних сумішах для забезпечення стійкого електронагріву. Доведено, що при  $1000\text{p}\pm 50\text{p}^\circ\text{C}$  відбувається різке зменшення опору шару через відновлення оксидної плівки на SiC. У четвертому розділі виконано оцінку викидів парникових газів методом LCA. Встановлено, що термічне очищення графіту з використанням ЕКШ дає емісію на рівні хімічної технології, але без застосування кислот і вапна, що в 10 разів зменшує потребу в очищенні стоків. Графітація у печах ЕКШ дозволяє знизити викиди на 40–50% порівняно з традиційними печами Аченсона та Кастнера. У п'ятому розділі розроблено енергоефективні конструкції печей ЕКШ. Для графітації антрациту запропоновано дискретно-неперервні режими з камерою витримки. Для рафінування графіту розроблено піч з теплоутилізатором, що дозволяє підігрівати сировину до  $500\text{--}700\text{p}^\circ\text{C}$ , знижуючи енерговитрати на 15–23% без повторного забруднення продукту. Ключові слова: електротермічний киплячий шар, штучний і природний графіт, тепломасообмін, графітація, рафінування, викиди парникових газів, теплоутилізація.

2. The dissertation addresses scientific and technical challenges related to improving the efficiency of furnaces with electrothermal fluidized bed (EFB) and reducing greenhouse gas emissions by replacing fossil fuels with electricity. The research covers hydrodynamics and heat and mass transfer in EFB furnaces, as well as the influence of technological parameters on graphitization and refining processes of carbon materials. Chapter 1 substantiates the relevance of EFB in the chemical and metallurgical industries, particularly for electric heating as an alternative to fossil fuels. The EFB's potential for turquoise hydrogen production and thermal purification of graphite to achieve anode-grade quality ( $C \geq 99.95\%$ ) is highlighted. Reliable data on the electrical characteristics of binary particle mixtures in the bed are necessary. In Chapter 2, an innovative laboratory furnace design was developed to model EFB thermal conditions. Graphitization of Donbas anthracite was performed. It was found that pre-calcination has no effect on graphitization, with kinetic parameters  $A = 1.79$  and  $E_a = 103.85\text{kJ/mol}$ . Optimal conditions were identified:  $3000\text{p}^\circ\text{C}$  and 55–60 minutes. Thermal refining of natural graphite under shock heating was experimentally studied. Product quality depends on temperature ( $2800\text{--}3000\text{p}^\circ\text{C}$ ), duration (5–10 min), and impurity removal efficiency. Requirements for batch or continuous processing to prevent particle agglomeration were proposed. Chapter 3 presents the first experimental confirmation of uneven electrical conductivity distribution across the EFB bed height, and the inefficiency of heating fine graphite fractions in turbulent regimes due to excessive resistance and arc discharges. A critical conductor/dielectric ratio in binary mixtures was identified to ensure stable heating. A sharp drop in resistance was observed at  $1000\text{p}\pm 50\text{p}^\circ\text{C}$  due to oxide film reduction on SiC particles. Chapter 4 provides a greenhouse gas emission assessment using the LCA methodology. It was shown that thermal purification of graphite with EFB results in emissions comparable to chemical purification but eliminates the use of acids and lime, reducing wastewater treatment needs tenfold. Graphitization in EFB furnaces allows a 40–50% reduction in emissions compared to traditional Acheson and Castner technologies. In Chapter 5, energy-efficient designs of EFB furnaces were developed. For anthracite graphitization, discretely-continuous regimes with a holding chamber were proposed. For graphite refining, a furnace with a heat recuperator was designed, enabling raw material preheating to  $500\text{--}700\text{p}^\circ\text{C}$  and reducing energy consumption by 15–23% without secondary contamination of the product. Keywords: electrothermal fluidized bed, synthetic and natural graphite, heat and mass transfer, graphitization, refining, greenhouse gas emissions, heat recuperation.

**Державний реєстраційний номер ДіР:** 0122U001800, 0121U109528, X077E10002, 0118U005464

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Енергетика та енергоефективність

**Стратегічний пріоритетний напрям інноваційної діяльності:** Освоєння нових технологій виробництва матеріалів, їх оброблення і з'єднання, створення індустрії наноматеріалів та нанотехнологій

**Підсумки дослідження:** Нове вирішення актуального наукового завдання

### **Публікації:**

1. Semen Hubynskiy, Artem Sybir, Serhii Fedorov, Andrii Usenko, Mykhailo Hubynskiy and Tetyana Vvedenska Analysis of changes in global warming potential during enrichment and production of battery-grade graphite using electrothermal fluidized bed technology/ 2024 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1348 012028 DOI 10.1088/1755-1315/1348/1/012028
2. Губинський С.М., Сибір А.В., Федоров С.С., Форись О.М. Камерна піч для моделювання термічної обробки вуглецевих матеріалів у електротермічному киплячому шарі/ Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні, Опубліковано: 2024-04-24, С. 27-32. <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.006>
3. Губинський С.М., Сибір А.В., Федоров С.С., Рижков А.В. Експериментальні дослідження розподілу електричної провідності по висоті киплячого шару / Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні, Опубліковано: 2024-04-24, С. 33-38. DOI: 10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.005
4. Sybir A.V., Hubynskiy S.M., Fedorov S.S., Sukhoiy K.M., Hubynskiy M.V. , Vvedenska T.Y. Peculiarities of high-temperature refining of carbon materials. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2023. No. 6, P.177-186 <http://dx.doi.org/10.32434/0321-4095-2023-151-6-177-186>
5. Sybir A.V., Hubynskiy M.V., Balalaiev O.K., Burchak O.V., Sukhoiy K.M., Fedorov S.S., Pinchuk V.O., Hubynskiy S.M., Vvedenska T.Y. Effect of anthracite heat treatment parameters during shock heating on the properties of carbon materials. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2022. No. 5. P. 94-101 DOI:10.32434/0321-4095-2022-144-5-94-101, <https://udhtu.edu.ua/public/userfiles/file/VNHT/2022/5/Sybir.pdf>
6. Губинський М., Сибір А., Федоров С., Меркулов О., Губинський С., Коваль С. та Форись О. Оцінка зменшення викидів парникових газів при отриманні синтетичного графіту в електротермічному киплячому шарі // Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. 2022. Вип. 36. С. 455-465. DOI: 10.52150/2522-9117-2022-36-455-465.
7. Sybir, A., Hubynskiy, M., Fedorov, S., Hubynskiy, S., Vvedenska, T., & Bezuglyi, V. Effect of heat shock on graphitization of Donbass anthracite. *Mining of Mineral Deposits*, 2020. 14(3). С. 43-49. <https://doi.org/10.33271/mining14.03.043>
8. A.V. Sybir , S.S. Fedorov, M.V. Hubynskiy , S.M. Hubynskiy , S.V. Koval , K.M. Sukhyu , S.M. Foris Thermal purification of natural graphite by means of high-speed heating. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2020. No. 3, P. 178-182
9. Сибір, А. В., Губинський, М. В., Федоров, С. С., Губинський, С. М., & Гогоці, О. Г. Печі з електротермічним киплячим шаром. Конструктивні особливості. *Металургійна та гірничорудна промисловість*.2020. (2). С. 42-61. <https://doi.org/10.34185/0543-5749.2020-2-42-61>
10. Федоров С.С., Сибір А.В., Губинський М.В., Губинський С.М., Гогоці О.Г., Форись С.М. Дослідження процесу охолодження відхідних газів високотемпературних електротермічних печей киплячого шару/«Системні технології» 6 (131) 2020 «System technologies» ISSN 1562-9945 (Print) ISSN 2707-7977 (Online) 107 DOI 10.34185/1562-9945-6-131-2020-10
11. Федоров, С. С., Сибір, А. В., Губинський, М. В., Губинський, С. М., Форись, С. М., Гогоці, О. Г., & Коваль, С. В. Дослідження режимів роботи пілотної електротермічної печі киплячого шару продуктивністю 10кг/год. *Металургійна та гірничорудна промисловість*.2019. (3-4), С. 48-55. <https://doi.org/10.34185/0543-5749.2019-3-4-48-55>

- 12. Serhii Fedorov, Artem Sybir, Simon Hubinskyi, Lina Kieush, Andrii Koveria Operating Modes of the Advanced Purification Technology for Graphite Application in Lithium-Ion Batteries // Proceedings of the 2nd International Scientific Conference «Chemical Technology and Engineering»: June 24–28, 2019, Lviv: Lviv Polytechnic National University, 2018, pp. 285–287 DOI: <https://doi.org/10.23939/cte2019.01.285>
- 13. Губинський С.М. Розробка енергоефективних агрегатів та режимів роботи для виробництва штучного графіту Молода академія - 24. Т.І: зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, Дніпро, 23-24 травня. 2024 р.-Дніпро: УДУНТ, 2024,с.139.
- 14. Губинський С.М. Розробка енергоефективних агрегатів для рафінування природнього графіту Молода академія - 24. Т.І: зб. тез доп. Міжнар. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, Дніпро, 23-24 травня. 2024 р.-Дніпро: УДУНТ, 2024, с.140.

**Наукова (науково-технічна) продукція:** пристрої; технології

**Соціально-економічна спрямованість:** створення принципово нової продукції (матеріалів, технологій тощо) для забезпечення експортного потенціалу та заміщенню імпорту; економія енергоресурсів

**Охоронні документи на ОПВ:**

Винаходи, корисні моделі, промислові зразки

1. Електротермічна піч псевдозрідженого шару: пат. на корисну модель 154510 Україна. №u202205016; заявл. 26.12.2022, опубл. 22.11. 2023, Бюл. №47/2023. (Особистий внесок: співавтор винаходу).
2. Спосіб рафінування вуглецевого матеріалу у електротермічному киплячому шарі: пат. на корисну модель 142810 Україна. №u202000678; заявл. 04.02.2020, опубл. 25.06.2020, Бюл. №12/2020 (Особистий внесок: співавтор винаходу).
3. Електротермічна піч з псевдозрідженим шаром для високотемпературної обробки дисперсних вуглецевмісних матеріалів: пат. на корисну модель 156527 Україна. №u202400858; заявл. 20.02.2024, опубл. 03.07. 2024, Бюл. №27/2024. (Особистий внесок: співавтор винаходу).

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:** 0122U001800, 0121U109528, X077E10002, 0118U005464

## **VI. Відомості про наукового керівника/керівників (консультанта)**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Усенко Андрій Юрійович
2. Andrii Y. Usenko

**Кваліфікація:** к.т.н., доц., 05.14.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-7467-6220

**Додаткова інформація:** Scopus ID: 56992818200; Web of Science ResearcherIDLTF-7050-2024; <https://scholar.google.com.ua/citations?user=gOrD6c0AAAAJ&hl=uk>

**Повне найменування юридичної особи:** Український державний університет науки і технологій

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

**Місцезнаходження:** вул. Лазаряна, буд. 2, Дніпро, Дніпровський р-н., 49010, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

## VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів

### Офіційні опоненти

#### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Сімейко Костянтин Віталійович
2. Kostiantyn V. Simeiko

**Кваліфікація:** д. т. н., с.д., 05.17.08

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1590-6281

#### Додаткова інформація:

**Повне найменування юридичної особи:** Державна наукова установа "Київський академічний університет"

**Код за ЄДРПОУ:** 19477816

**Місцезнаходження:** бул. Вернадського, буд. 36, Київ, 03142, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

#### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Книш Людмила Іванівна
2. Liudmyla I. Knysh

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.14.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3525-4804

**Додаткова інформація:** ;<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55661424300>

**Повне найменування юридичної особи:** Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

**Код за ЄДРПОУ:** 02066747

**Місцезнаходження:** проспект Науки, буд. 72, Дніпро, Дніпровський р-н., 49045, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

#### Власне Прізвище Ім'я По-батькові:

1. Ганжа Антон Миколайович
2. Anton M. Ganzha

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.14.06

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3967-2421

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"

**Код за ЄДРПОУ:** 02071180

**Місцезнаходження:** вул. Кирпичова, буд. 2, Харків, Харківський р-н., 61002, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти****Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Гупало Олена В'ячеславівна

2. Olena V. Hupalo

**Кваліфікація:** к. т. н., доцент, 05.16.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0003-3145-9220

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Український державний університет науки і технологій

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

**Місцезнаходження:** вул. Лазаряна, буд. 2, Дніпро, Дніпровський р-н., 49010, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Міністерство освіти і науки України

**Ідентифікатор ROR:**

**VIII. Заключні відомості**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
голови ради**

Єрьомін Олександр Олегович

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові  
головуючого на засіданні**

Єрьомін Олександр Олегович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Губинський Семен Михайлович

**Реєстратор**

УкрІНТЕІ

**Керівник відділу УкрІНТЕІ, що є  
відповідальним за реєстрацію наукової  
діяльності**



Юрченко Тетяна Анатоліївна