

# Облікова картка дисертації

## I. Загальні відомості

**Державний обліковий номер:** 0826U000223

**Особливі позначки:** відкрита

**Дата реєстрації:** 03-02-2026

**Статус:** Наказ про видачу диплома

**Реквізити наказу МОН / наказу закладу:** наказ №425ст від 24 березня 2026 року



## II. Відомості про здобувача

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Грек Олександр Сергійович

2. Oleksandr S. Grek

**Кваліфікація:**

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0009-0001-0153-5416

**Вид дисертації:** доктор філософії

**Аспірантура/Докторантура:** так

**Шифр наукової спеціальності:** 136

**Назва наукової спеціальності:** Металургія

**Галузь / галузі знань:** механічна інженерія

**Освітньо-наукова програма зі спеціальності:** Металургія

**Дата захисту:** 11-03-2026

**Спеціальність за освітою:** Промислова теплоенергетика та енергосбереження

**Місце роботи здобувача:** Український державний університет науки і технологій

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

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

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

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

**Шифр спеціалізованої вченої ради (разової спеціалізованої вченої ради):** PhD 11856

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

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

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

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **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, Дніпро, Дніпровський р-н., 49010, Україна

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

### **V. Відомості про дисертацію**

**Мова дисертації:** Українська

**Коди тематичних рубрик:** 53.31, 53.03

**Тема дисертації:**

1. Розробка технології одержання заліза твердофазним відновленням залізо-рудно-вугільних брикетів в умовах індукційного нагріву
2. Development of technology for obtaining iron by solid-phase reduction of metal-ore-coal briquettes under induction heating conditions

**Реферат:**

1. Спираючись на проведений аналіз літературних джерел запропоновано нову схему процесу твердофазного відновлення оксидів заліза та подальшого виробництва високоякісної сталі з первородної залізної руди в одному металургійному агрегаті – індукційній печі. Запропоновано новий склад брикетів що мають у своєму складі первинну залізорудну складову, вугілля та складову з металізованого заліза. Такі брикети є самовідновлювальними оскільки мають у своєму складі відновник у стехіометричному співвідношенні до кисню оксидів заліза рудної складової усього брикету та саморозігріваючими в умовах змінного електромагнітного поля оскільки містять у своєму складі металеву складову. У запропонованому брикеті виключаються обмеження що присутні у сучасних технологіях прямого відновлення. Проведено аналіз механізмів нагріву металевих частинок у змінному електромагнітному полі, встановлено закономірності та граничні умови ефективного нагріву металевих часток сферичної форми в умовах індукційного впливу,

розраховано параметри геометричних розмірів частинок та наведено залежності частки заліза в шихті від частоти змінного струму в індукторі індукційної печі для матеріалу окатишів DRI. Встановлено що для індукційних печей середньої частоти змінного струму від 0,5 до 10 кГц є доцільним використання металізованих окатишів DRI з радіусом від 5 до 8 мм у якості нагрівача у складі залізо-рудно-вугільних брикетів. Побудовано математичну модель та проведено чисельне моделювання процесу нагріву та відновлення оксидів заліза у складі рудно-вугільної суміші брикету сферичної форми із металевим ядром. Дані моделювання показують, що свіже відновлене залізо буде утворювати нові зовнішні шари металевого ядра збільшуючи його діаметр та теплову потужність, це робить процес нагріву в такому брикеті автокаталітичним та вимагає зменшення теплової потужності індуктора печі через зміну або напруження магнітної індукції на 0-30% або частоти змінного струму на 0-50% від початкового значення. На базі аналізу кінетичних даних результатів експериментальних досліджень, спираючись на положення фізики твердого тіла та теорії магнетизму, висунуто уявлення про механізм впливу змінного електромагнітного поля на швидкість твердофазного відновлення оксидів заліза газами та вуглецем: форсується зовнішньо- та внутрішньо-дифузійний газообмін у ході відновлення, що випливає з результатів окремих експериментів. Під впливом електромагнітного поля відбувається «розхитування» кристалічної решітки твердих реагентів, утворюються додаткові структурні дефекти, що своєю чергою послаблює зв'язки Fe-O, полегшуючи зародження нових фаз та розвиток реакційної дифузії. Сукупність зазначених ефектів призводить до диспергування твердих продуктів відновлення, утворення розвиненої мережі транспортних каналів і збільшення поверхні, доступної газам. Виконано експериментальне дослідження процесів нагріву та твердофазного відновлення оксидів заліза вуглецем у сипучій дрібнодисперсній формі та у формі залізо-рудно-вугільного брикету. Доведено якісну можливість отримання відновленого заліза в індукційній печі в обох формах. Отримані експериментальні данні свідчать про вплив вмісту металеві складової у залізо-рудно-вугільному брикеті на швидкість нагріву та інтенсивність процесу твердофазного відновлення. Засвідчено зменшення температури початку реакцій відновлення оксидів заліза у присутності твердого вуглецю на 100-120°C в умовах зниження тиску у тиглі індукційної печі до  $5 \cdot 10^3 - 3 \cdot 10^2$  мбар. Експериментально показана можливість проведення інтенсивного нагріву та твердофазного відновлення рудного матеріалу у складі залізо-рудно-вугільного брикету з металевим ядром маса якого складала 5-10% від загальної маси брикету. Спираючись на експериментальні данні, результати аналітичних та математичних досліджень в роботі запропоновано ряд технологічних рішень для інтенсифікації існуючих процесів газового та карботермічного твердофазного відновлення оксидів заліза із застосуванням індукційного нагріву шихтових матеріалів, брикети для використання у таких рішеннях, технологічні схеми процесу виплавляння високоякісної сталі, який об'єднує твердофазне відновлення та розплавлення свіжовідновленого заліза, його легування та модифікування в індукційній печі. Результати числових та експериментальних досліджень наведених у роботі свідчать про високий потенціал запропонованих технологічних рішень та процесів. Ключові слова: екологія, викиди COп, губчасте залізо, газове відновлення, карботермічне відновлення, твердофазне відновлення оксидів заліза, окатиші, металізація, композитний рудно-вугільний брикет, залізорудна сировина, електромагнітне поле, електричний режим, руднотермічна індукційна піч, математична модель, теплопередача, газифікація вуглецю.

2. Based on the analysis of literary sources, a new scheme for the solid-phase reduction of iron oxides and the subsequent production of high-quality steel from primary iron ore in a single metallurgical unit—an induction furnace—has been proposed. A new composition of briquettes has been proposed, consisting of primary iron ore, coal, and metallized iron. Such briquettes are self-reducing because they contain a reducing agent in a stoichiometric ratio to the oxygen of the iron oxides of the ore component of the entire briquette and are self-heating in an alternating electromagnetic field because they contain a metal component. The proposed briquette eliminates the limitations present in modern direct reduction technologies. An analysis of the mechanisms of heating metal particles in an alternating electromagnetic field was carried out, the regularities and boundary conditions for the effective heating of spherical metal particles under the influence of induction were established, the parameters of the geometric dimensions of the particles were calculated, and the dependence of the iron

content in the charge on the frequency of the alternating current in the inductor of the induction furnace for DRI pellets was presented. It has been established that for induction furnaces with an alternating current frequency of 0.5 to 10 kHz, it is advisable to use metallized DRI pellets with a radius of 5 to 8 mm as heaters in iron-ore-coal briquettes. A mathematical model was constructed, and numerical modeling of the process of heating and reduction of iron oxides in the composition of a spherical briquette with a metal core made of an ore and coal mixture was carried out. The simulation data show that freshly reduced iron will form new outer layers of the metal core, increasing its diameter and thermal power. This makes the heating process in such a briquette autocatalytic and requires a reduction in the thermal power of the furnace inductor by changing the magnetic induction voltage by 0-30% or the alternating current frequency by 0-50% from the initial value. Based on the analysis of kinetic data from experimental studies, relying on the principles of solid-state physics and magnetism theory, a concept has been put forward regarding the mechanism of the influence of an alternating electromagnetic field on the rate of solid-phase reduction of iron oxides by gases and carbon: external and internal diffusion gas exchange is forced during reduction, as evidenced by the results of individual experiments. Under the influence of an electromagnetic field, the crystal lattice of solid reagents is 'shaken up,' additional structural defects are formed, which in turn weakens the Fe-O bonds, facilitating the nucleation of new phases and the development of reaction diffusion. The combination of these effects leads to the dispersion of solid reduction products, the formation of a developed network of transport channels, and an increase in the surface area accessible to gases. An experimental study of the processes of heating and solid-phase reduction of iron oxides with carbon in a loose, finely dispersed form and in the form of iron-ore-coal briquettes has been carried out. The qualitative possibility of obtaining reduced iron in an induction furnace in both forms has been proven. The experimental data obtained indicate the influence of the metal content in the iron-ore-coal briquette on the heating rate and intensity of the solid-phase reduction process. A decrease in the temperature at which the reduction of iron oxides begins in the presence of solid carbon by 100-120°C has been confirmed under conditions of reduced pressure in the crucible of the induction furnace to  $5 \cdot 10^{-3}$ – $3 \cdot 10^{-2}$  mbar. The possibility of intensive heating and solid-phase reduction of ore material in the composition of iron-ore-coal briquettes with a metal core weighing 5-10% of the total weight of the briquette has been experimentally demonstrated. Based on experimental data and the results of analytical and mathematical studies, the paper proposes a number of technological solutions for intensifying existing processes of gas and carbothermic solid-phase reduction of iron oxides using induction heating of charge materials, briquettes for use in such solutions, technological schemes for the smelting of high-quality steel, which combines solid-phase reduction and melting of freshly reduced iron, its alloying and modification in an induction furnace. The results of numerical and experimental studies presented in the paper indicate the high potential of the proposed technological solutions and processes. Keywords: ecology, CO<sub>2</sub> emissions, sponge iron, gas reduction, carbothermal reduction, solid-phase reduction of iron oxides, pellets, metallization, composite ore-coal briquette, iron ore raw materials, electromagnetic field, electrical mode, ore-thermal induction furnace, mathematical model, heat transfer, carbon gasification.

**Державний реєстраційний номер ДіР:**

**Пріоритетний напрям розвитку науки і техніки:** Фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного, соціально-економічного, суспільно-політичного, людського потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України у світі та сталого розвитку суспільства і держави

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

**Підсумки дослідження:** Новий напрямок у науці і техніці

**Публікації:**

- Грек О.С. Індукційна піч - універсальний металургійний агрегат для твердофазного відновлення та плавлення сталі і високо вуглецевого феромарганцю / Грек О.С., Величко К.О. // Теорія і практика металургії. -2023. -№4. -С.13–21.
- Грек О. С. Фізико-хімічні особливості твердофазного відновлення окатишів (брикетів) в умовах індукційного нагріву / Величко О. Г., Грек О. С., Гришин О. М., Величко К. О. // Питання хімії і хімічної технології. -2024. -№3. -С.37–45.
- Грек О. С. Вуглецевотермічне відновлення оксидів заліза в умовах електромагнітного впливу / Гришин О. М., Величко О. Г., Грек О. С., Надточій А. А. // Теорія і практика металургії. -2024. -№3. -С.20–27.
- Грек О. С. Вплив електромагнітного поля на кінетику твердофазного відновлення оксидів заліза газами / Гришин О. М., Величко О. Г., Грек О. С., Надточій А. А. // Теорія і практика металургії. -2025. -№3. - С.103–110.

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

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

**Охоронні документи на ОПВ:**

**Впровадження результатів дисертації:** Впроваджено

**Зв'язок з науковими темами:**

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

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Величко Олександр Григорович
2. Oleksandr G. Velychko

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, член-кор. НАН України, 05.16.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-0072-1460

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

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

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## **VII. Відомості про офіційних опонентів та рецензентів**

**Офіційні опоненти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Муравйова Ірина Геннадіївна

2. Irina G. Muravyova

**Кваліфікація:** д. т. н., старший науковий співробітник, 05.16.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0001-5926-7787

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова Національної академії наук України

**Код за ЄДРПОУ:** 00190294

**Місцезнаходження:** пл. Академіка Стародубова, Дніпро, Дніпровський р-н., 49050, Україна

**Форма власності:** Державна

**Сфера управління:** Національна академія наук України

**Ідентифікатор ROR:**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Кассім Дар'я Олександрівна

2. Dar'ia O. Kassim

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.16.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-1750-1237

**Додаткова інформація:**

**Повне найменування юридичної особи:** Державний університет економіки і технологій

**Код за ЄДРПОУ:** 43684645

**Місцезнаходження:** вул. Медична, Кривий Ріг, Криворізький р-н., 50005, Україна

**Форма власності:** Державна

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

**Ідентифікатор ROR:**

**Рецензенти**

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. Овчарук Анатолій Миколайович

2. Anatolii M. Ovcharuk

**Кваліфікація:** д.т.н., професор, 05.16.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0009-0007-0218-2513

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

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

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

**Власне Прізвище Ім'я По-батькові:**

1. М'яновська Яна Валеріївна

2. Yana V. Mianovska

**Кваліфікація:** д. т. н., професор, 05.16.02

**Ідентифікатор ORCID ID:** 0000-0002-5898-1169

**Додаткова інформація:**

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

**Код за ЄДРПОУ:** 44165850

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

**Форма власності:**

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

**Ідентифікатор ROR:** Не застосовується

## VIII. Заключні відомості

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

Іващенко Валерій Петрович

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

Іващенко Валерій Петрович

**Відповідальний за підготовку  
облікових документів**

Грек Олександр Сергійович

**Реєстратор**

Юрченко Тетяна Анатоліївна

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



Юрченко Тетяна Анатоліївна