

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategical adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАУКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЇ ІМ. АКАДЕМІКА М. І. ГАСИКА
ПРИДНІПРОВСЬКИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ ВИРОБНИКІВ ФЕРОСПЛАВІВ ТА ІНШОЇ
ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЙНОЇ ПРОДУКЦІЇ
АКАДЕМІЯ НАУК ВИЩОЇ ШКОЛИ УКРАЇНИ



Матеріали

Міжнародної науково-практичної конференції
“Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності
і сталого розвитку”

присвячена
100-річчю кафедри електрометалургії ім. академіка М. І. Гасика

22-23 квітня, 2025

ДНІПРО

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
UKRAINIAN STATE UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGIES
DEPARTMENT OF ELECTROMETALLURGY NAMED AFTER
ACADEMICIAN MYKHAILO GASIK
PRYDNIPROVSKYI SCIENTIFIC CENTER OF THE NAS OF UKRAINE
UKRAINIAN ASSOCIATION OF MANUFACTURERS OF FERROALLOYS AND
OTHER ELECTROMETALURGICAL PRODUCTS
ACADEMY OF SCIENCES OF HIGHER EDUCATION OF UKRAINE



The Proceedings
of the International scientific and practical conference
“Innovation in Metallurgy and Strategic adjacent industries for energy efficient
and sustainable development”

dedicated to the
100th anniversary of the Department of Electrometallurgy named after Academician
Mykhailo Gasik

22-23 April 2025

DNIPRO

УДК 669:[005.591.6:620.92](082)

I 66

Рекомендовано до друку вченою радою Українського державного університету науки і технологій

(Протокол № 12 від 28.05.2025)

Рецензенти:

Грищенко С. Г. – голова ради директорів об'єднання “Укркольормет”, проф., д.т.н.

Камкіна Л. В. – декан факультету металургійних процесів та хімічних технологій Українського державного університету науки і технологій, проф., д.т.н.

I 66 Інновації в металургії і суміжних стратегічних галузях для енергоефективності і сталого розвитку : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 22–23 квітня 2025 р. / за заг. ред. Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса. – Електрон. вид. – Дніпро : УДУНТ, 2025. – 198 с.

У збірнику подано матеріали, що висвітлюють актуальні проблеми розвитку сучасних технологій в металургійному виробництві, на залізничному транспорті, хімічних виробництвах. Значна увага приділена питанням цифрової трансформації, математичному моделюванню, мультидисциплінарним дослідженням.

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)

Recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian State University of Science and Technologies

(Minutes No. 12 dated May 28, 2025)

Reviewers:

Hryshchenko S. G. – Chairman of the Board of Directors of the Association "Ukrkolormet", Professor, Doctor of Technical Sciences

Kamkina L. V. – Dean of the Faculty of Metallurgical Processes and Chemical Technologies, Ukrainian State University of Science and Technology, Professor, Doctor of Technical Sciences

Innovations in Metallurgy and Related Strategic Industries for Energy Efficiency and Sustainable Development : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, April 22–23, 2025 / edited by Yu. S. Proidak, O. V. Zhadanos. – Electronic edition. – Dnipro : USUST, 2025. – 198 p.

The collection presents materials highlighting current issues in the development of modern technologies in metallurgical production, railway transport, and chemical industries. Significant attention is paid to digital transformation, mathematical modeling, and multidisciplinary research.



Цей твір ліцензовано на умовах Ліцензії Creative Commons

[«Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International \(CC BY-NC-SA 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

[\(«Із зазначенням авторства – Некомерційна – Поширення на тих самих умовах» 4.0 Міжнародна\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

ISBN 978-617-8314-05-7(PDF)
DOI 10.15802/978-617-8314-05-7

© Укр. держ. ун-т науки і технологій, 2025

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	14
СЕКЦІЯ 1. СУЧАСНА ЕЛЕКТРОМЕТАЛУРГІЯ: ПРОБЛЕМИ ТА РІШЕННЯ	15
ПРОДУВАННЯ ВАННИ КОНВЕРТЕРА ПРИ РАФІНУВАННІ ФЕРОНІКЕЛЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ОДНОСОПЛОВИХ ТА ТРИСОПЛОВИХ ФУРМ Акрєєв В.В., Приходько С.В., Мельник С.О., Овчарук А.М.	15
ОГЛЯД ДОСТУПНИХ ДЖЕРЕЛ МАРГАНЦЕВОЇ СИРОВИНИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ УКРАЇНИ Аносов О.В., Гладких В.А., Рубан А.В., Рябцев О.О.	21
ШЛЯХИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОВИТРАТ ПІД ЧАС ВИПЛАВКИ МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ В УМОВАХ АТ НІКОПОЛЬСЬКИЙ ЗАВОДУ ФЕРОСПЛАВІВ Бабуцький В.І., Зінченко О.М.	25
РОЗРОБКА ЕФЕКТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИПЛАВКИ СПЛАВІВ МАРГАНЦІУ Величко К.О.	30
ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕФЕКТИВНОГО НАГРІВУ ЗАЛІЗО-РУДО-ВУГІЛЬНОГО БРИКЕТУ В ІНДУКЦІЙНОМУ ПОЛІ Грек О.С.	35
ІНТЕНСИФІКУЮЧИЙ ВПЛИВ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЮ НА ПРОЦЕС ВІДНОВЛЕННЯ ОКСИДІВ Гришин О.М., Надточій А.А., Губа Р.М., Хромовський С.А.	40
ВПРОВАДЖЕННЯ НОВИХ ЕКОЛОГІЧНИХ В'ЯЖУЧИХ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ВУГЛЕГРАФІТОВИХ ВИРОБІВ Дерев'яно І.В., Жаданос О.В., Агєєв О.Г.	46
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЛАВЛЕННЯ ВУГЛЕЦЬКАРБІДОКРЕМНІЄВИХ БРИКЕТІВ В СТАЛЬ-КОВШІ ПРИ ПОЗАПІЧНІЙ ОБРОБЦІ СТАЛІ Жаданос О.В., Дерев'яно І.В., Шепетяк Є.О., Мацишин В.Г., Петренко М.С.	49
АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНТЕГРАЦІЇ ПРОЦЕСІВ БЕЗПЕРЕРВНОГО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ У МОДУЛЬНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ СИСТЕМАХ Ціколія А.З., Кононов Д.О.	54
ХАРАКТЕРИСТИКА ВУГЛЕЦЕВИХ ВІДНОВНИКІВ ДЛЯ ВИПЛАВКИ ФЕРОСИЛІЦІУ З ПІДВИЩЕНИМ ВМІСТОМ КРЕМНІЮ Кравченко В.П., Гладких В.А., Рубан А.В., Малий Є.Д.	59

ОГЛЯД ДОСТУПНИХ ДЖЕРЕЛ МАРГАНЦЕВОЇ СИРОВИНИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА МАРГАНЦЕВИХ СПЛАВІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ УКРАЇНИ

О.В. Аносов¹, В.А. Гладких¹, А.В. Рубан¹, О.О. Рябцев¹

1. Український державний університет науки і технологій, Україна, м. Дніпро, просп. Науки, 4, 49600

Анотація. Розглянуто актуальну ситуація та перспективи забезпечення марганцевою сировиною світових виробників. Особливу увагу приділено: проблемі вмісту фосфору у вітчизняних рудах; методам отримання феросилікомарганцю з низьким вмістом фосфору. Порівняльна оцінка використання імпортованих руд замість традиційної технології електрометалургійної дефосфорації марганцевої сировини – виплавки малофосфористого шлаку свідчить про перспективність даного підходу.

Ключові слова: ФЕРОСИЛІКОМАРГАНЕЦЬ, МАРГАНЦЕВА СИРОВИНА, ФОСФОР, МАЛОФОСФОРИСТИЙ ШЛАК.

REVIEW OF AVAILABLE MANGANESE RAW MATERIAL SOURCES AND FEATURES OF MANGANESE ALLOYS PRODUCTION BY UKRAINIAN ENTERPRISES

O.V. Anosov¹, V.A. Gladkikh¹, A.V. Ruban¹, O.O. Riabtsev¹

1. Ukrainian State University of Science and Technology, ave. Nauky, 4, Dnipro, Ukraine, 49600

Abstract. This report examines the current situation and prospects for manganese raw material supply for global producers. Special attention is given to the issue of phosphorus content in local ores and methods for obtaining low-phosphorus ferrosilicomanganese. A comparative assessment of the use of imported ores instead of the traditional electrometallurgical dephosphorization of manganese raw materials – slag smelting with low phosphorus content – indicates the promise of this approach.

Keywords: FERROSILICOMANGANESE, MANGANESE RAW MATERIAL, PHOSPHORUS, LOW-PHOSPHORUS SLAG.

У 2023 році у світі було вироблено та використано майже 23 млн. т. різних марганцевих сплавів, з яких 17,5 млн. т. феросилікомарганцю, що вимагало відповідного збільшення видобутку марганцевої руди. У 2023 році було вироблено понад 60 млн. т. марганцевих руд та концентратів різної якості. Світові запаси марганцевих руд оцінюються приблизно 4,8 млрд. т., з яких лише 11% це є бідні руди, основні запаси яких (близько 80 %) перебувають у Україні [1].

Найбільші з наземних покладів марганцевої руди знаходяться в Південній Африканській Республіці (ПАР), Гані, Австралії, Габоні, Бразилії, Китаї, Індії, Мексиці, Україні та Казахстані. У Грузії розташоване перше у світі родовище, що промислово

розробляється [2]. Кожна з наведених вище країн має свої родовища марганцевої сировини, які сконцентровані на певних ділянках та у конкретних містах.

ПАР. Родовище Калахарі містить 78% світових наземних запасів марганцевої руди. Основні поклади розташовані в районах Постмасбург і Курумун-Калахар, за тисячу кілометрів від найближчих портів. У численних шахтах, таких як Маматван і Весселз, видобуваються різні види металургійних або залізистих руд [3].

Австралія. Грунт Айлендське родовище розташоване на острові в затоці Карпентарія на півночі Австралії. Значна кількість руди проходить збагачення.

Габон. Родовище Моанда розташоване в районі Франсвіль. Це дуже значне родовище високоякісної руди.

Бразилія. У Бразилії кілька марганцевих родовищ, але основне виробництво було розпочато у 2001 році на шахтах Ігарап Азул та Урукум. Ігарап Азул розташована в тропічному лісі, за 25 км від Карахаса, штат Пара на північному сході Бразилії. Інша шахта, Урукум, розташована поблизу Болівійського кордону. Ще одну відому шахту – Амапа – було закрито наприкінці 1997 року внаслідок повного вироблення руди.

Мексика. родовище Моланго є прикладом великого карбонатного депозиту. Особливістю є виробництво з руди так званих нодулів [3].

Гана. велике родовище карбонатної руди Нсута, що розробляється.

Китай. Володіє найбільшою здобиччю марганцевої руди у світі Розвідані запаси становлять 13% загальносвітових. За останні 30 років відбулося значне збільшення видобутку марганцевої руди. Рудні депозити переважно розміщуються у трьох провінціях: Гуанкжі, Хунан, Гуїжу. З усіх родовищ, тільки одне (Guangxi Xialei) має запаси більше 100 млн. т., ще на шести родовищах запаси руди перевищують 20 млн.т. Близько 60 китайських родовищ відносно невеликі та мають запаси у кількості близько 2 млн.т. кожне. На додаток до цього, є кілька родовищ меншого розміру. Середній вміст марганцю в китайських родовищах 22%, високим також є вміст фосфору та заліза.

Індія. В індійських штатах Орїсса, Карнатака, Мадхья Прадеж, Махараштра та інших є численні невеликі родовища марганцю. У 2000 року експлуатувалося 135 марганцевих шахт та кар'єрів. Більшість руди, що видобувається, є низько- і середньосортною з невисоким вмістом марганцю. Колись Індія була одним із головних експортерів марганцевої руди. У зв'язку з виробленням родовищ, нині від 80 до 90% металургійних руд використовують на внутрішньому ринку виробництва феросплавів [4].

Україна. Нікопольське родовище є одним з найбільших у світі. В 2003 році на території цього родовища працювало 11 шахт та кар'єрів [5].

Казахстан. Має у своєму розпорядженні кілька родовищ. Хоча в рудах низький вміст марганцю, вони містять низький вміст шкідливих домішок. Більшість руд, що добуваються, використовується для внутрішнього виробництва феросилікомарганцю.

Грузія. Чіатурське родовище на цей час є малорентабельним через виснаження. Вміст марганцю низький і становить 17-25%. Руди з високим вмістом марганцю майже повністю вироблені. На зараз руда видобувається, переважно, для внутрішнього виробництва феросплавів.

Насправді майже всі металургійні руди піддаються збагаченню. Руди дробляться, просіюються і промиваються (у разі потреби). Часом використовується збагачення у важкому середовищі для руд з високим вмістом кремнію та алюмінію. Середня кількість марганцю, що вдається зберегти в результаті цієї операції, знаходиться в межах 60% - 75% [3].

Відомі світові виробники використовують високоякісні руди, що забезпечує отримання низькофосфористих марганцевих феросплавів з відносно низькою витратою електроенергії, незначними втратами марганцю з відвальним шлаком. Крім того, високоякісні руди ПАР, Бразилії, Габона, Австралії поставляються, найчастіше, у вигляді необхідної фракції і використовуються в металургійному виробництві без дороговартісної попередньої підготовки [4].

Марганцеві руди Нікопольського басейну - це руди осадового походження. Вони характеризуються відносно низьким вмістом марганцю (21-32%), високою концентрацією фосфору (0,13-0,25%), значними домішками кремнезему (38-40%) та порожньої породи. Робота з рудами українського родовища потребує використання складних схем збагачення та агломерації отриманих концентратів для використання у потужних закритих та герметичних рудовідновлювальних печах. При існуючих методах збагачення марганцевих руд ступінь дефосфорації сягає не більше 35%. Це викликано через неможливість повного поділу мінеральних складових марганцю і фосфору.

Основною перевагою виробництва феросилікомарганцю перед виплавою феромарганцю є значно вище вилучення марганцю та можливість використовувати в процесі низькоякісні марганцеві руди. Тому, з огляду на особливості хімічного складу місцевих руд, виробництво високомарганцевого та високофосфористого феросилікомарганцю отримало в Україні пріоритет. Присутність на світовому ринку марганцевих сплавів та реалізація всієї продукції українських підприємств в умовах жорсткої конкуренції неможлива без підвищення якості феросилікомарганцю.

Найбільш проблематичною характеристикою феросилікомарганцю, що виробляється українськими підприємствами, є вміст у них фосфору. Ця проблема зумовлена природно високим вмістом фосфору в місцевих рудах, яка є найбільш доступною і відносно дешевою марганцевою сировиною для АТ НЗФ і АТ ЗФЗ. Особливістю процесу виплавки феросилікомарганцю є практично повний перехід фосфору з шихти у сплав [5]. Розроблений та реалізований в умовах АТ НЗФ та АТ ЗФЗ спосіб дефосфорації марганцевої сировини шляхом електрометалургійного виробництва малофосфористого шлаку частково вирішує питання зниження фосфору в кінцевому сплаві, але він є високовитратним. Технологія супроводжується додатковими втратами марганцю та високими витратами електроенергії та коксу.

Альтернативою дефосфорації через виплаву МФШ для АТ НЗФ стало придбання та використання у складі шихти низькофосфористих імпорتنих руд. На цей час, у зв'язку зі значним зростанням ціни на електроенергію, виплавка та подальше використання МФШ економічно не є ефективним. Залучення імпорتنих низькофосфористих руд для процесу виплавки феросилікомарганцю зі зниженим вмістом фосфору дозволило значно покращити основні показники виробництва феросплавів в умовах АТ НЗФ та АТ ЗФЗ. Доцільність

придбання та використання імпортованих руд для українських підприємств багато в чому визначається їх доступністю та вартістю.

У процесі освоєння виплавки феросилікомарганцю з використанням імпортованих руд також було зазначено, що наявні в літературі залежності показників від вмісту марганцю для печей АТ НЗФ мають відносно вузький діапазон 38-41% і коректні тільки для агломератів з місцевих концентратів [2]. Процеси сумісного використання в якості компоненти шихти агломератів, вітчизняних концентратів, МФШ та різних імпортованих руд потребують більш глибокого вивчення та оцінки.

Бібліографічний список

1. Нікопольські феросплави. М.І. Гасик, В.С. Куцін, Є.В. Лапін та ін. Дніпропетровськ: «Системні технології», 2004, 204 с.
2. О.В. Аносов, В.А. Гладких, А.В. Рубан та ін. Порівняльна оцінка якості сировини для виплавки сплавів марганцевих. Дніпро. - Теорія і практика металургії. - №3, 2023.
3. Рудовідновлювальні електропечі та технології виробництва марганцевих феросплавів. Куцін В.С., Величко Б.Ф., Гасик М.І. та ін. Дніпропетровськ, НМетАУ, 2011
4. Феросплави України-2000. М. І. Гасик, О.Г. Ганцеровський, А.М. Овчарук, І.П. Рогачов. - Дніпропетровськ: Системні технології, 2001, 87 с.
5. Production of Manganese Ferroalloys. S.E. Olsen, M. Tangstad, T. Linstad // SINTEF and Tapir Academic Press, Trondheim, 2017.
6. Zhou Jian. Review and Prospect of Global Manganese Ore Market // International Forum on Manganese Electrolytic Products Market Summit, March 1st, 2024.

Наукове видання

Загальна редакція Ю. С. Пройдака, О. В. Жаданоса

**ІННОВАЦІЇ В МЕТАЛУРГІЇ І СУМІЖНИХ СТРАТЕГІЧНИХ ГАЛУЗЯХ ДЛЯ
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ І СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

МАТЕРІАЛИ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

Електронне видання

Відповідальні за випуск: Пройдак Ю. С., Жаданос О. В.
Комп'ютерна верстка та дизайн: Жаданос О. В.

*Відповідальність за достовірність інформації, представленої в збірнику,
несуть автори*

Видавець: Український державний університет науки і технологій
вул. Лазаряна, 2, ауд. 2216, ауд. 263 (наукова бібліотека)
м. Дніпро, 49010.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7709 від 14.12.2022