

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра безпеки праці та охорони довкілля

«Допущено до захисту»  
Гарант ОПП «Інноваційні технології та  
системи захисту навколишнього  
середовища»

Дмитро ПІКАРЕНЯ

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інноваційні технології та системи захисту навколишнього  
середовища»  
за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища

**на тему «Альтернативна сировина для використання у  
виробничому процесі на металургійному підприємстві»**

Керівник роботи

Наталія Єсіпова

Консультант від  
бази практики

Альона КОПІЙКА

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Вікторія Зінченко

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Альона КОПІЙКА

Кам'янське 2024

**mip** metinvest  
polytechnic

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	гірничо-металургійний
Кафедра	безпеки праці та охорони довкілля
Ступінь вищої освіти	магістр
Спеціальність	183 Технології захисту навколишнього середовища
ОПП	Інноваційні технології та системи захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

\_\_\_\_\_ Дмитро ПІКАРЕНЯ

«23» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Зінченко Вікторії Вікторівни

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Альтернативна сировина для використання у виробничому процесі на металургійному підприємстві

керівник роботи Єсіпова Наталія Борисівна, доцент, канд. біол. наук,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08. 2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 19.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукова література, методична література зі спеціальних дисциплін та дипломування, наукові звіти з тематики використання шлакорозріджуючих речовин у металургійному виробництві, літературні джерела, результати власних досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Досвід використання аналогів плавикового шпату на металургійних підприємствах України та світу. Актуальність використання шлакорозріджуючих флюсів у сучасній металургії. 2. Характеристика об'єкта досліджень. Опис методів і схеми досліджень. 3. Результати власних досліджень (3.1. Технологія використання шлакорозріджуючих флюсів при повній заміні плавикового шпату. 3.2. Технологія використання шлакорозріджуючих флюсів при частковій заміні плавикового шпату. 3.3. Технологічні показники дослідних і контрольних плавок. 3.4. Практичні рекомендації щодо застосування шлакорозріджуючих флюсів на металургійному підприємстві «КАМЕТ-СТАЛЬ»). 4. Економічне обґрунтування

запропонованих технологічних схем. Висновки. Перелік використаних джерел.  
Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Схема проведення експериментальних досліджень. Діаграми показників дослідних і контрольних плавок. Фотографії шлакорозріджуючих флюсів і етапів технологічних процесів застосування флюсів. Результати економічних розрахунків.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 23.11.2023

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Розділ 1. Досвід використання аналогів плавикового шпату на металургійних підприємствах України та світу	27.11.2023 – 09.12.2023
2	Розділ 2. Розробка схеми експериментальних досліджень, вибір технологічних показників і опрацювання методів досліджень	04.12.2023 – 09.12.2023
3	Розділ 3. Експериментальна частина. Технологія використання шлакорозріджуючих флюсів при повній і частковій заміні плавикового шпату	11.12.2023 – 30.12.2024
4	Розділ 4. Розробка практичних рекомендацій та їх економічне обґрунтування.	02.01.2024 – 06.01.2024
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, автореферат, доповідь, презентація	08.01.2024 – 18.01.2024
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	19.01.2024 – 20.01.2024
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу	20.01.2024 – 21.01.2024
8	Рецензування завершеної роботи. Захист	22.01.2024 – 23.01.2024

Здобувач

(Вікторія ЗІНЧЕНКО)

Керівник роботи

(Наталія ЄСІПОВА)

## Реферат

Кваліфікаційна робота містить: 42 с., 15 рис., 5 таблиць, 45 літературних джерел.

**Об'єкт дослідження:** технологія використання шлакорозріджуючого флюсу, при частковій або повній заміні плавикового шпату під час виробничих процесів на металургійному виробництві.

**Мета роботи:** дослідити ефективність використання шлакорозріджуючого флюсу в якості альтернативної сировини плавиковому шпату на основі металургійного виробництва.

У вступі розглянута проблема використання плавикового шпату в металургійному виробництві та необхідність пошуку його аналогів.

В теоретичному розділі розкриті проблеми використання плавикового штапу як критичної сировини та досвід використання його аналогів у вітчизняних і закордонних металургійних підприємствах.

В дослідницькому розділі надається характеристика об'єкту досліджень, схема проведення експериментів і перелік технологічних показників, що оцінювались.

У технологічному розділі представлені показники ефективності використання шлакорозріджуючого флюсу як аналогової речовини плавиковому шпату.

У розділі «Охорона праці» розглянуті питання безпеки праці при роботі на металургійному виробництві.

В економічному розділі розрахована ефективність заміни плавикового шпату на шлакорозріджуючий флюс.

У висновках наведені основні результати кваліфікаційної роботи.

МЕТАЛУРГІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО, ПЛАВИКОВИЙ ШПАТ,  
ШЛАКОРОЗРІДЖУЮЧИЙ ФЛЮС, ШЛАК, СТАЛЬ

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	
РОЗДІЛ 1 Аналіз літератури щодо використання аналогів плавикового шпату на металургійних підприємствах.....	8
1.1 Проблеми використання плавикового шпату як критичної сировини.....	8
1.2 Досвід використання аналогів плавикового шпату на металургійних підприємствах України та світу.....	12
РОЗДІЛ 2 Об'єкт і методи досліджень.....	16
2.1 Характеристика шлакорозріджуючого флюсу.....	16
2.2 Схема досліджень.....	17
2.3 Методи досліджень.....	
РОЗДІЛ 3 Особливості технології застосування плавикового шпату для утилізації шлаків на металургійному підприємстві «КАМЕТ-СТАЛЬ»...	
РОЗДІЛ 4 Результати власних досліджень.....	
4.1 Технологічні показники використання шлакорозріджуючих флюсів при повній заміні плавикового шпату.....	
4.2 Технологічні показники використання шлакорозріджуючих флюсів при частковій заміні плавикового шпату.....	
РОЗДІЛ 5 Охорона праці.....	
РОЗДІЛ 6 Екологічні та економічні переваги.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасна металургійна промисловість стоїть перед викликом забезпечити не тільки високу продуктивність, але й відповідність вимогам сталого розвитку та екологічної безпеки. У цьому контексті постає проблема пошуку аналогів природних матеріалів, які забезпечують функціонування стратегічних галузей і визначені в законопроекті Європейської комісії (European Critical Raw Materials Act) як «критична сировина», що потребує збереження і захисту [6]. До переліку таких «критичних» природних матеріалів відноситься і плавиковий шпат, який використовується в металургійній промисловості як шлакорозріджуюча флюсова речовина.

Україна – є державою з потужним потенціалом розвитку металургійної галузі. Забезпечення металургійного виробництва флюсовою сировиною є однією з головних проблем його розвитку [2]. Не дивлячись на наявність природних запасів, сучасні потреби в шпаті в Україні задовольняються завдяки імпорту, оскільки видобутку власного плавикового шпату поки не розпочато. Однією з причин є складні гірничотехнічні умови [3].

Недоліками використання плавикового шпату є те, що фториди в умовах обробки сталі в ковші випаровуються і тим самим погіршують екологічну обстановку. Крім того, після випаровування розріджувальний ефект шпату знижується [15].

В даний час у металургійній промисловості України існують також проблеми, пов'язані зі складуванням шлаків та інших відходів виробництва [4]. У зв'язку з цим, виникає необхідність у збільшенні обсягів використання розріджувачів шлаку.

Таким чином, оскільки плавиковий шпат є критичною сировиною, яка необхідна для забезпечення сталого функціонування підприємств гірничо-металургійного комплексу, гостро постає питання пошуку його

штучного аналогу. Однією з ключових альтернатив в металургійному виробництві є шлакорозріджуючі флюси. Ці матеріали, які можуть входити до складу шлаку під час виробництва сталі, відіграють важливу роль у покращенні технологічних характеристик плавлення та видаленні шлаку з печей. Таким чином, застосування шлакорозріджуючих флюсів є перспективним для раціонального використання сировинних ресурсів та зменшення викидів у металургійному виробництві.

**Об'єктом** нашого дослідження була технологія використання шлакорозріджуючого флюсу, при частковій або повній заміні плавикового шпату під час виробничих процесів на металургійному виробництві.

**Предмет дослідження:** можливість повної або часткової заміни плавикового шпату альтернативними матеріалами.

**Метою** кваліфікаційної роботи було дослідити ефективність використання шлакорозріджуючого флюсу в якості альтернативної сировини плавиковому шпату на основні технологічні параметри металургійного виробництва. Для досягнення поставленої мети були використані методи теоретичного аналізу наукової літератури і експериментальні дослідження на металургійному підприємстві ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

Під час роботи виконувались наступні **завдання:**

- аналіз існуючих методів використання флюсів як альтернативної речовини;
- оцінка впливу використання флюса на якість виробленої продукції;
- оцінка впливу використання флюса на якість утворюваних шлаків;
- визначення ефективності використання флюсів в режимах повної і часткової заміни плавикового шпату;

- розробка практичних рекомендацій щодо використання шлакорозріджувачих флюсів у металургійному виробництві на ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ».

**Практична цінність роботи.** Запропонована у роботі схема повної і часткової заміни плавикового шпату на шлакорозріджувальний флюс має вагоме практичне значення для металургійного виробництва, оскільки дозволяє зменшити собівартість продукції і покращити екологію технологічного процесу.

**Особистий внесок здобувача:** проведений аналіз наукової літератури за дослідженою проблемою; розроблена схема поетапних експериментальних досліджень; здійснений аналіз отриманих результатів, проведений розрахунок економічної ефективності; підготовлені висновки.

За результатами кваліфікаційної роботи опублікована наукова праця:

Зінченко В.В. Актуальність і перспективи використання альтернативної сировини у металургійному виробництві. Міжнародна науково-технічна конференція «MININGMETALTECH 2023 – Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти», листопад 2023 року. 29-30 листопада, 2023 рік. URL: DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-142>

## **РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ АНАЛОГІВ ПЛАВИКОВОГО ШПАТУ НА МЕТАЛУРГІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

Сучасна промисловість стикається з необхідністю збереження обсягів виробництва і конкурентоспроможності одночасно зі збереженням ресурсів і підтримки екології. Критична сировина є незамінною для економіки ЄС в таких галузях, як відновлювана енергетика, цифрові технології, космос і оборона. Критична сировина має велике економічне значення для Європи, але водночас має проблеми з постачанням, оскільки стикається зі зростаючим глобальним попитом.

Пропонуються різні шляхи захисту і збереження запасів критичної сировини [1]. Надійним шляхом є розробка ефективної системи інвестицій щодо заохочення країн-імпортерів у оптимізації і екологізації технологічних процесів видобутку природної сировини. Велика увага приділяється пошуку інноваційних технологій переробки відходів і пошуку альтернативних штучних матеріалів, які б дозволили повністю або частково замінити «критичні» природні матеріали.

Україна на шляху до ЄС є зацікавленою стороною в налагодженні співпраці з європейськими країнами щодо використання і збереження критичної сировини. Це стосується, насамперед, металургійної промисловості, оскільки вона своєю продукцією забезпечує розвиток усіх стратегічних секторів.

### **1.1 Проблеми використання плавикового шпату як критичної сировини**

За літературними даними, використання плавикового шпату в Україні станом на 2015 рік становить 60 тис. тонн на рік, з них близько

половини використовує металургійна промисловість. Не дивлячись на наявність запасів, потреби у шпаті в Україні задовольняються завдяки імпорту. Видобуток власного шпату пов'язаний з великими фінансовими витратами внаслідок складних гірничотехнічних умов [3], а також воєнних дій, що відбуваються в Україні, починаючи з 2014 року.

Проблемою є також те, що металургійний плавиковий шпат повинен містити не менше 65 % флюориту  $\text{CaF}_2$  і досить великі розміри кусків (рис. 1). Такі вимоги до шпату роблять його дефіцитним. Штучне збільшення кусків та брикетування приводить до збільшення собівартості шпату [12].



Рис. 1. Плавиковий шпат

Потреби чорної металургії в кусковому флюориті задовільняються виключно за рахунок поставок імпортного матеріалу з Замбії, Пакістану, Мексики та інших країн за ціною флюоритового концентрату близько 750-800 ам. дол./т.

Флюоритова мінералізація в Україні зафіксована в зоні зчленування Дніпровсько-Донецької западини з Українським щитом, в Подільській та Суццано-Пержанській зонах, у Приазовському мегаблоці, в межах Коростенського плутону та інших місцях УЩ. Найперспективнішою флюоритиносною зоною є смуга зчленування Донбасу з Українським щитом (рис. 2).

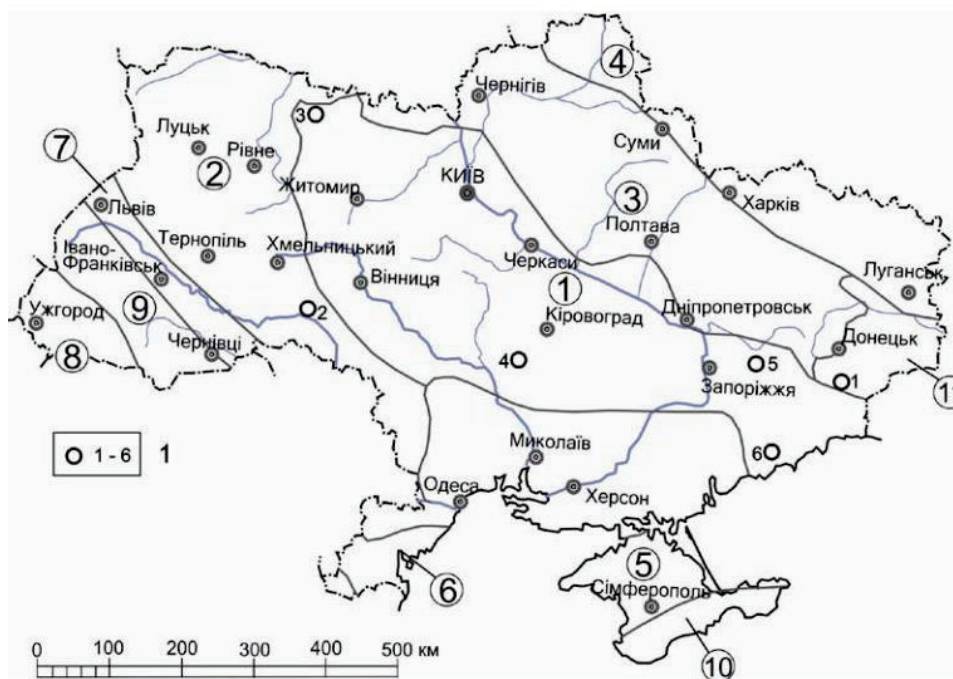


Рис. 2. Мінерально-сировинна база флюориту

Умовні позначення: 1 — зона зчленування Українського щита з Дніпровсько-Донецькою западиною (Покрово-Киреевське родовище, Докучаєвський, Каракубський, Новотроїцький та інші прояви); 2 — Подільська зона (Бахтинське родовище, Новоселківський, Сказинецький, Посухівський та інші прояви); 3 — Суццано-Пержанська зона; 4 — Бобринецький прояв; 5 — Малотерсянська група проявів; 6 — Кам'яномогильсько-Катеринівська група проявів; 7 — Передкарпатський прогин; 8 — Закарпатський прогин; 9 — складчаста область Карпат; 10 — складчасті споруди Гірського Криму; 11 — складчаста область Донбасу; 12 — Південноукраїнська моноклінал

Державним балансом запасів корисних копалин України станом на 2013 рік враховано два родовища плавикового шпату — Покрово-Киреевське та Бахтинське. Загальні запаси флюориту оцінюються майже у 20 млн т, прогнозні ресурси — в 50 млн т. Покрово-Киреевське родовище у Приазов'ї (Старо-Бешівський район Донецької області) за запасами корисної копалини відноситься до середніх, за вмістом плавикового шпату — до багатих, за технологічними властивостями руд — до легкозбагачуваних, за економічними умовами — розташоване в легкодоступному районі поблизу металургійних центрів України. Родовище, при цьому, характеризується складними гідрогеологічними

та інженерно-геологічними умовами майбутньої розробки, що робить проблематичним питання про його освоєння. Станом на 2013 рік воно рекомендоване до виключення з Державного балансу та переведення до резерву Державного фонду родовищ як таке, що не підготовлене до промислового освоєння. У Муровано-Куриловецькому районі Вінницької області розвідане велике Бахтинське родовище флюориту, яке у недалекому майбутньому може стати основою для створення бази плавикового шпату України.

Покрово-Киреевське та Бахтинське родовища належать до гідротермального малосульфідного стратиформного типу, а їх руди є метасоматичними карбонатно-флюоритовими та кварц-польовошпат-флюоритовими і можуть бути джерелом флотаційних плавиковошпатових концентратів. Перспективними рудопроявами флюоритової мінералізації вважаються прояви Суцано-Пержанської зони, зони зчленування Донбасу із Приазовським блоком Українського щита та Бобринецький рудопрояв.

Перспективні на флюорит структури виявлено також у Східному Приазов'ї (Петрово-Гнутівський рудопрояв), в Кальміуській тектонічній зоні та ін. Масштаби зруденіння залишаються на цей час не встановленими [22].

Основними споживачами флюоритових концентратів є чорна і кольорова металургія, оскільки ця добавка значно знижує температуру плавлення руд, сприяє плинності шлаків, перекладу домішок сірки і фосфору в шлак. Флюорит використовується також в електролітичному виробництві алюмінію, хімічній промисловості, електротехніці, медицині, реактивній, лазерній, радіотехніці та інших областях. У хімічній промисловості його використовують для добування флуору, плавикової кислоти, різних флуорвмісних продуктів: штучного кріоліту, флуориду натрію і флуориду застосовуються в різних галузях господарства.

Світовий досвід також свідчить про активний пошук та впровадження альтернатив плавиковому шпату. Багато європейських та азіатських компаній впроваджують нові матеріали для оптимізації виробничих процесів та підвищення конкурентоспроможності. Застосування аналогів на міжнародному рівні дозволяє розвивати більш стійкі та ефективні методи виробництва.

Використання аналогів плавикового шпату має свої переваги, такі як зниження витрат, розширення джерел постачання та підвищення екологічної стійкості виробництва. Однак, важливо враховувати технічні особливості кожного аналога та його взаємодію з іншими компонентами металургійного процесу.

## **1.2. Досвід використання аналогів плавикового шпату на металургійних підприємствах України та світу**

Металургійна промисловість постійно розвивається, вдосконалюючи технології виробництва для підвищення продуктивності та покращення якості виготовленого металу. Однією з інноваційних технологій, яка востаннє здобуває популярність у світовій металургії, є використання шлакорозріджуючих флюсів. Ця техніка відіграє ключову роль у вирішенні проблем шлакоутворення та поліпшенні технологічних характеристик плавлення.

Шлак, утворюваний під час виробництва сталі, може стати значним обмеженням для процесів плавлення та вплинути на якість кінцевого продукту. Висока в'язкість шлаку може спричинити затримки у виробництві та знижувати теплопередачу в печах, що негативно впливає на продуктивність підприємства [7].

Шлакорозріджуючі флюси є спеціально розробленими матеріалами, які використовуються для зниження в'язкості та полегшення розрідження шлаку. Їхня дія полягає в зменшенні

температури плавлення шлаку та стимулюванні його ефективного видалення з печі. Це важливо для підтримання найвищої ефективності процесів плавлення і забезпечення високої якості сталі. [11]. Процес виплавки чавуну зображено на рисунку 3.

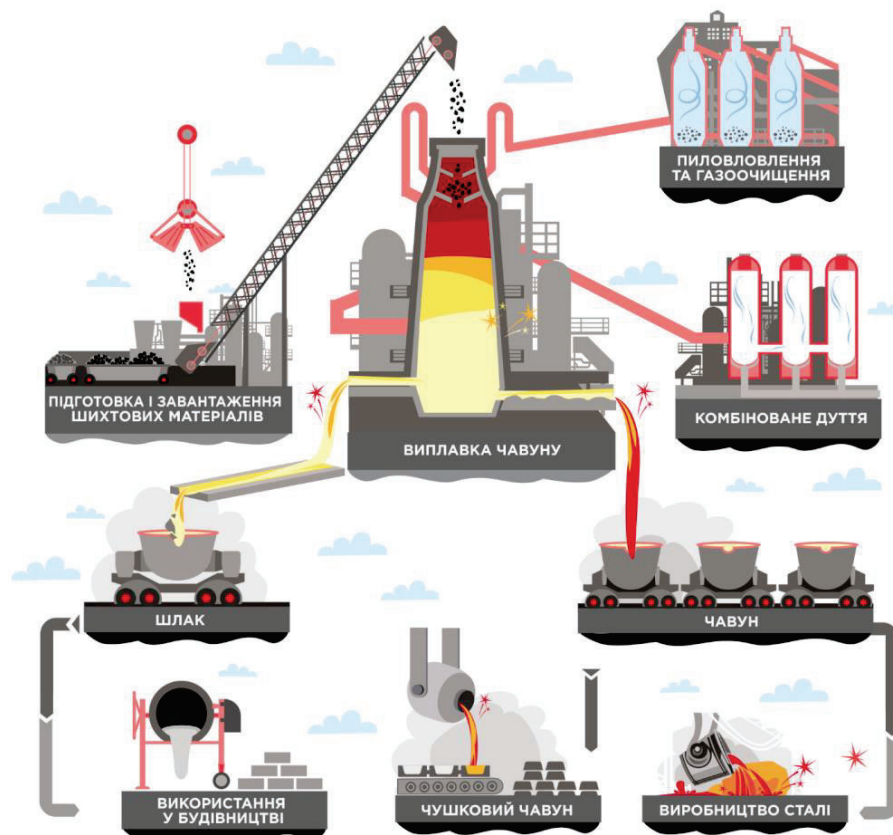


Рис. 3. Процес виплавки чавуну [21]

Основні властивості флюсів, які забезпечують процеси шлакорозрідження, полягають у наступному [24]:

Хімічний склад: шлакорозріджуючі флюси, зазвичай, містять оксиди кальцію, магнію, алюмінію та інших елементів. Цей склад сприяє активній взаємодії зі шлаком, знижуючи його температуру плавлення та полегшуючи розрідження.

Фізичні властивості: фізичні властивості флюсів, такі як температура плавлення та в'язкість, важливі для ефективного

використання в металургійному процесі. Вони впливають на загальну реакцію шлакорозрідження та визначають його ефективність

Реакції зі шлаком: в основі шлакорозріджуючої дії лежать хімічні реакції флюсу з утвореним шлаком. Такі реакції можуть включати утворення комплексних сполук, які розріджують шлак та полегшують його видалення.

Однією з ключових аспектів є розгляд властивостей шлакорозріджуючих флюсів. У працях Е. В. Парусова висвітлено, що хімічний склад та фізико-хімічні властивості цих флюсів є критичними факторами, які визначають їхню ефективність у металургійних процесах. Інтерес до цієї теми пояснюється бажанням підвищити ефективність розплавлення шлаків та поліпшити умови для металургійних процесів [11].

Також важливо зазначити дослідження щодо впливу використання шлакорозріджуючих флюсів на формування шлаків у процесах металургії, де продемонстровано, що оптимальний вибір флюсів може призвести до зниження температури плавлення шлаків та покращення їхньої структури, що в свою чергу може позитивно позначитися на якості металевої продукції [7,13].

З іншого боку, дослідження В. Явойського вказує на необхідність урахування екологічних аспектів використання шлакорозріджуючих флюсів. Оскільки ці речовини можуть взаємодіяти зі складовими шлаків та металевого виробу, їхнє неконтрольоване використання може призвести до утворення шкідливих викидів та забруднення навколишнього середовища [15].

Таким чином, використання шлакорозріджуючих флюсів дозволяє не лише підвищити технічні показники виробництва, але й зменшити негативний екологічний вплив шляхом ефективного управління шлаковими відходами.

## РОЗДІЛ 2 ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 2.1 Характеристика шлакорозріджуючого флюсу

Шлакорозріджуючі флюси – це матеріали, які застосовуються для полегшення розрідження шлаку, утвореного під час виробництва металу. Їх основна функція полягає у зниженні в'язкості шлаку та поліпшенні його текучості під впливом високих температур у печах. Хімічні властивості шлакорозріджуючих флюсів залежать від їх хімічного складу, до якого можуть входити силікати, фосфати, карбонати тощо. Вибір конкретного флюсу залежить від властивостей вироблюваного металу та конкретних умов виробництва.

Об'єктом досліджень була технологія використання шлакорозріджуючого флюсу, при частковій або повній заміні плавикового шпату під час виробничих процесів на металургійному виробництві. Загальний вигляд флюсу представлений на рисунку 4.



Рис. 4. Загальний вигляд флюсу марки N

Хімічний склад флюсу марки N згідно з даними сертифіката наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад флюсу марки N

Показники	Хімічний склад, %				
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> загальн.	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O	Alмет	Волога
ТУ У 24.4.-40274616-001:2020	25-50	max 20	max 25	5-20	max 3
Сертифікат якості №07/04/23-1 від 07.04.23	34,33	15,8	14,18	14,2	1,35

З даних таблиці 1 випливає, що поставлений матеріал за даними сертифікату якості відповідає вимогам нормативної документації.

## 2.2 Схема досліджень

Прикладом операційної надійності і безперервного вдосконалення, пов'язаним з моєю сферою діяльності, а саме закупівлі плавикового шпату, є дослідження можливості скорочення використання у виробничих процесах цього дефіцитного і коштовного матеріалу з заміною частково або повністю його альтернативними матеріалами. При прогнозованому дефіциті шпату було прийнято рішення додавати альтернативну сировину при виробництві, таким чином скоротивши споживання основного матеріалу.

Спочатку нами був розроблений поетапний план випробування і впровадження нового матеріалу у якості альтернативної сировини для використання у виробництві у якості заміни/часткової заміни плавикового шпату. Його графічне відображення представлено на рисунку 5.

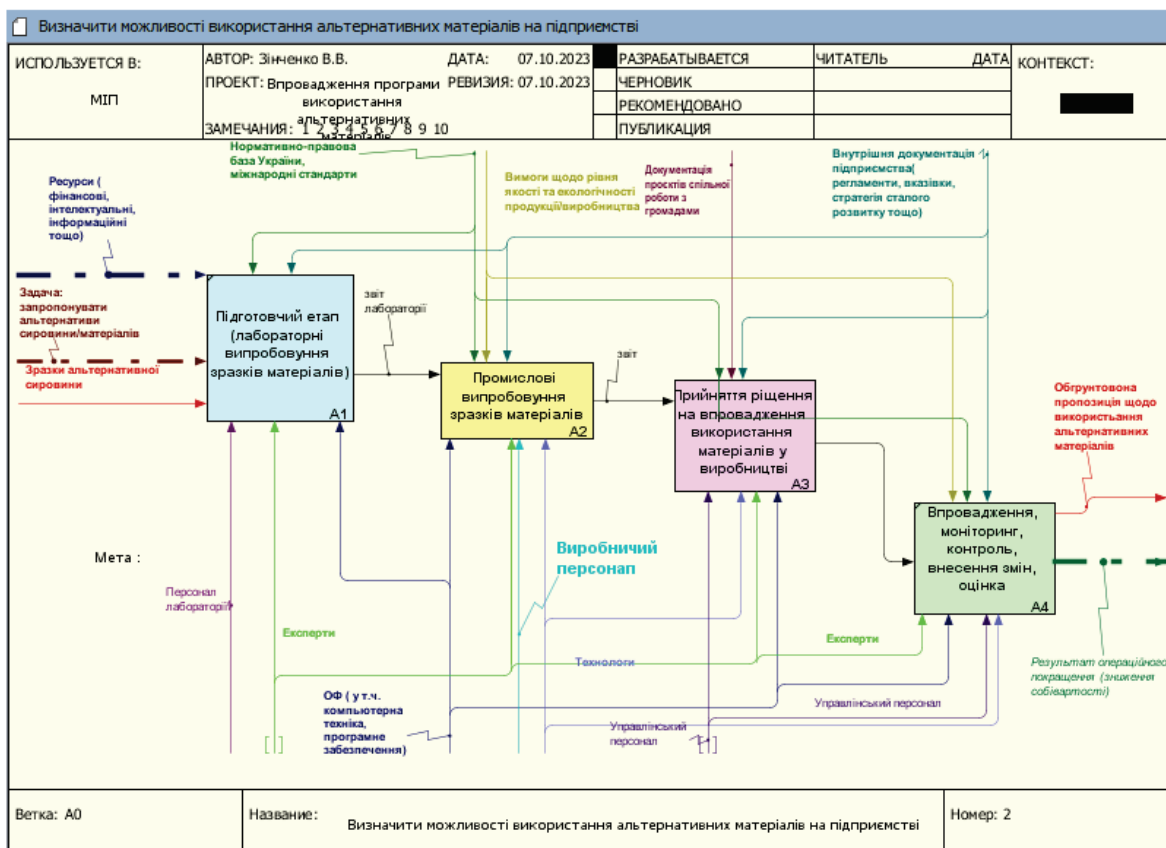


Рис. 5. Перша декомпозиція бізнес-процесів логістичної системи діаграми «AS IS» (побудовано автором на платформі «Ramus Modeler» за стандартом IDEF0) [23].

Розглянемо поетапний план випробування і подальшого впровадження флюсу марки N у виробничий процес на ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»:

- Підготовчий етап - надання зразків сировини разом з сертифікатами якості для виконання лабораторних досліджень. У разі позитивних результатів лабораторних досліджень ми переходимо до наступного етапу.
- Промислові випробування зразків матеріалів виконуються безпосередньо на виробництві, використовуючи сировину у звичайних виробничих процесах. Якщо матеріал отримає позитивну оцінку з технічного і виробничого персоналу, переходимо до процесу прийняття рішення.

- Прийняття рішення на впровадження використання матеріалу у виробництві відбувається із залученням технологів, експертів, управлінського персоналу. Визначається економічна складова використання запропонованої сировини, враховуючи її вплив на собівартість кінцевої продукції.
- Впровадження, моніторинг, контроль, внесення змін, оцінка проводяться протягом використання запропонованої сировини у виробництві.

Експериментальні випробування флюсу марки N проводились у два етапи (табл. 2). На першому етапі досліджувались технологічні показники при повній заміні плавикового шпата на флюс, на другому етапі – при частковій заміні шпата на флюс (50 %).

Таблиця 2 – Схема експериментальних досліджень

Номер плавки	Шпат, тонн	Флюс, тонн
I етап - повна заміна шпату		
1	0	0,590
2	0	0,602
II етап – часткова заміна шпату		
3	0,306	0,374
4	0,320	0,285
5	0,363	0,481
6	0,441	0,453
Контроль	0,414	0

За першим етапом було здійснено 2 плавки, за другим – 4 плавки. У другому варіанті заміна плавикового шпату на флюс складала 50 %.

## 2.3 Методи досліджень

Під час досліджень визначались наступні технологічні показники:

- димовиділення та задимленість під час присадки флюсу;
- розріджувальна здатність флюсу;
- зниження витрати плавикового шпату при обробці на УПК;
- ступінь десульфурації на УПК;

– показники розливу сталі на МНЛЗ (кількість плавок зі зниженням швидкості розливання, через затягування склянок-дозаторів, виведення струмків з роботи, розливання плавок без захисної труби через незадовільну підготовку металу);

- якість макроструктури безперервнолитої заготівлі. Присадка дослідного флюсу на УПК-1 виготовлялася з бункера №8 зберігання матеріалів.

## РОЗДІЛ 3 Особливості технології застосування плавикового шпату для утилізації шлаків на металургійному підприємстві «КАМЕТ-СТАЛЬ».

ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «КАМЕТ-СТАЛЬ» (ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ») – металургійне підприємство повного циклу, розташоване у м. Кам'янське Дніпропетровської області. Входить до складу ТОВ «МЕТІНВЕСТ ХОЛДІНГ». Комбінат спеціалізується на виробництві безперервнолитої заготовки, фасонного і сортового прокату, в тому числі арматури, катанки, шарів та профілів. Єдиний у світі виробник катаної осьової заготовки (рис. 6).



Рис. 6. Основна металургійна і коксохімічна продукція

ПРАТ «КАМЕТ-СТАЛЬ»

Тимчасове призупинення роботи морських портів України після лютого 2022 року унеможливило пряму доставку матеріалів і сировини на підприємства, тому логістику повністю опрацьовували заново.

Шпат, що постачається на Камет-Сталь, транспортували через порти Констанца, Гданськ, Бремерхафен, з декількома перевантаженнями, комбінованими маршрутами, контейнерами, баржами, вагонами, самоскидами. Окрім Мексики і Монголії, - виробників, з родовищ яких раніше постачали плавиковий шпат, також було здійснено поставку матеріалу із Замбії і Пакістану. На даний час підприємство забезпечено матеріалом згідно потреби в повному обсязі.

## **РОЗДІЛ 4 Результати власних досліджень.**

Відповідно до схеми досліджень проведено експериментальне випробування флюсу N поставки в кількості 3-х тонн.

Опробування флюсу марки N проведено на УПК-1 на 6 плавках з наступним розливом на МНЛЗ №3. Марки стали дослідних плавок: ЗПСс4 (4пл) та ЗСП (2пл).

### **4.1 Технологічні показники використання шлакорозріджуючих флюсів при повній заміні плавикового шпату**

Очищення печі від шлаку за допомогою шлакорозріджуючих флюсів є важливою операцією в металургійному виробництві, оскільки дозволяє покращити процеси плавлення та підвищити якість виготовленої сталі.

Процес використання шлакорозріджуючих флюсів включав кілька етапів:

#### **1. Визначення типу флюсу.**

Перший крок - вибір шлакорозріджуючого флюсу, який найкраще підходить для конкретного металургійного процесу. Флюси можуть варіюватися за своєю хімічною композицією та фізичними властивостями, тому важливо вибрати оптимальний склад для досягнення бажаного ефекту.

#### **2. Підготовка флюсу.**

Флюс може постачатися у формі порошку або гранул, і його необхідно підготувати до використання. Це може включати суміш флюсу з іншими компонентами або розчинення його у воді чи іншому розчиннику для отримання рідини або густої суміші.

### 3. Додавання флюсу до печі.

Флюс може бути доданий безпосередньо до печі або входити до складу шлаку, який використовується в процесі плавлення. Додавання флюсу допомагає зменшити температуру плавлення шлаку, полегшуючи його розрідження та видалення з печі.

### 4. Взаємодія зі шлаком.

Під час експлуатації печі флюс починає взаємодіяти з утвореним шлаком. Цей процес може включати хімічні реакції, які сприяють зниженню в'язкості шлаку та розрідженню його структури.

### 5. Розрідження шлаку.

Результатом є менші залишки шлаку в металі, що виробляється, і поліпшена якість кінцевого продукту.

### 6. Видалення шлаку.

У виплавленому металі відділені шлакові частинки повинні бути ефективно видалені. Це може бути досягнуто за допомогою спеціальних систем видалення шлаку або механічних засобів, таких як лопаті чи струмини повітря.

У початковий період відпрацювання технології на перших двох плавках присадка N (плавки №1; 2) проводилась при повній заміні шпату.

Візуально до присадки флюсу шлак був гетерогенним та мав чорний колір. Перша присадка флюсу проводилася після 5 хвилин попереднього нагрівання кількості 168 кг і 187 кг відповідно.

Стан шлаку після присадки флюсу показаний на рисунках 7 і 8.

Графічне зображення зміни вмісту сірки на 1 і 2 плавках та контрольній плавки з використанням шпату можна побачити на рис. 9.

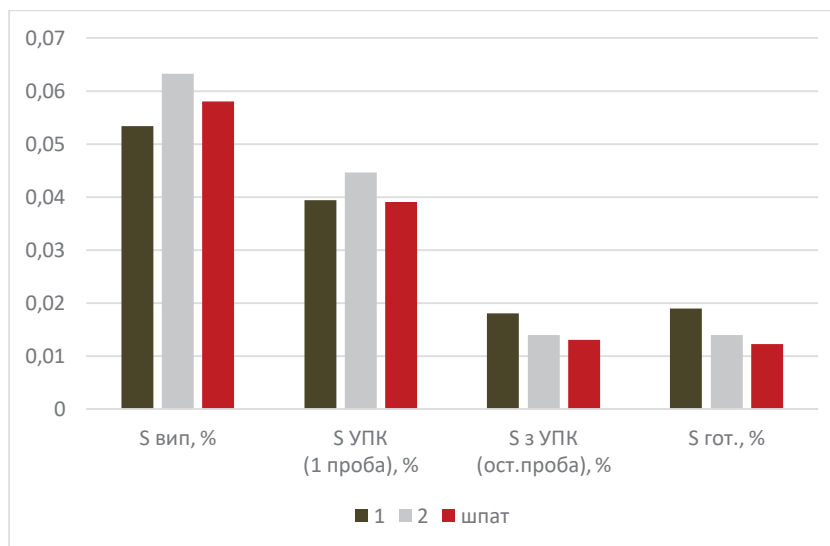


Рис. 9. Вміст сірки в зразках сталі експериментальних (флюс 100 %) і контрольної (шпат 100 %) плавок.

Таким чином, при повній заміні плавикового шпату на флюс ефективність десульфурації складала у середньому 71 %, а вміст сірки в зразках сталі 0,016 %. У контрольному варіанті при використанні виключно шпату (100 %) ці показники становили відповідно 78 % і 0,012 %. Тобто, зниження показника ефективності десульфурації при повній заміні шпата на флюс не перевищувало 10 %.

#### 4.2 Технологічні показники використання шлакорозріджуючих флюсів при частковій заміні плавикового шпату

На другому етапі випробування проводилися при частковій заміні шпату на флюс (50 %).

Візуально до присадки флюсу шлак був гетерогенним та мав чорний колір. На плавках №3; 4; 6, перша присадка флюсу проводилася перед попереднім нагріванням у кількості 158-285 кг надалі проводилися присадки флюсу спільно з присадкою вапна та шпату. На

Нижче представлений графік, який відображає ефективність десульфурації сталі при повній і частковій заміні шпата на флюс (рис.12).

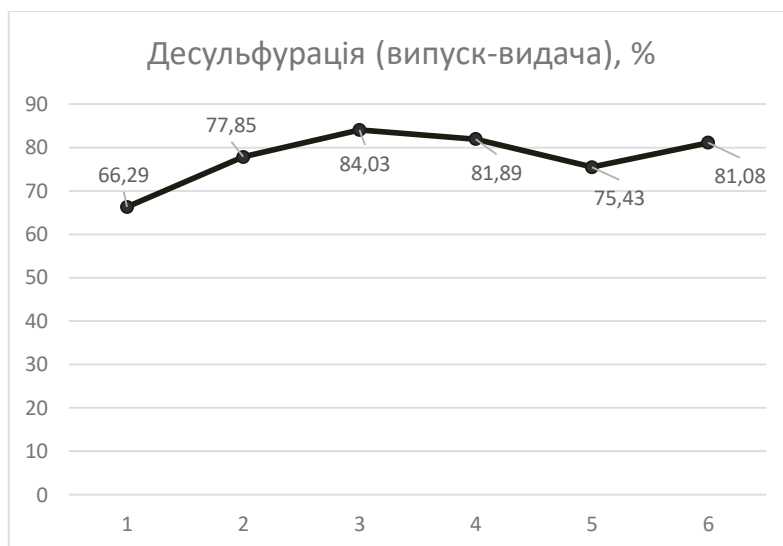


Рис. 12. Показники ефективності десульфурації сталі (випуск-видача), при частковій (плавки 1, 2) і повній (плавки 3 – 6) заміні шпата на флюс.

На графіку видно, що ефективність десульфурації при повній заміні шпата на флюс коливається у межах 66 – 78 %, а при частковій заміні – збільшується до 84 %.

При застосуванні флюсу на всіх дослідних плавках відзначалося нетривале димовиділення (1-2 хв) і горіння матеріалу тривалістю 1-2 хвилини (рис. 13).

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Група Метінвест створює максимально безпечні умови праці для своїх працівників та підрядників. Спеціалісти з охорони праці і промислової безпеки створюють контролюють, щоб кожен, хто потрапляє на підприємства Групи, дбав про здоров'я й охорону праці та дотримувався культури безпеки.

Для досягнення нульового травматизму іде праця над створенням позитивних змін у поведінці працівників та підрядників, спонукаючи їх усвідомлювати особисту відповідальність за власне здоров'я та безпеку й покращувати індивідуальні показники охорони праці.



Рис. 15. Використання засобів індивідуального захисту

Політика та принципи Групи Метінвест у сфері охорони праці, здоров'я й навколишнього середовища визначають довгострокові пріоритети для постійного вдосконалення у сфері охорони праці і промислової безпеки.

Група Метінвест має 15 корпоративних стандартів з охорони праці і промислової безпеки, котрі засновані на найкращих світових практиках

та окреслюють комплексний підхід у цьому напрямі. Відповідальні практики з охорони праці розподіляються від вищого рівня Групи, починаючи з Комітету з промислової безпеки, охорони праці та екології Наглядової Ради, що забезпечує ефективний нагляд за дотриманням відповідних вимог і світових стандартів. Дирекція зі сталого розвитку та взаємодії з колективом, координує роботу з охорони праці і промислової безпеки на рівні Групи, а підрозділи з охорони праці та безпеки – на рівні кожного окремого підприємства.

На підприємствах Групи Метінвест запроваджено систему повідомлення про інциденти з метою інформування керівників на постійній основі: 24 години на добу 7 днів на тиждень. Це дає можливість швидко вживати заходів і мінімізувати наслідки інцидентів. Відповідно до внутрішніх процедур Метінвесту Генеральний директор має бути поінформований про летальний випадок протягом двох годин після інциденту, а про нещасний випадок з тимчасовою втратою працездатності – протягом 24 годин.

Група Метінвест ретельно розслідує кожен інцидент відповідно до законодавчих вимог і внутрішніх процедур. У разі виявлення небезпечних умов праці або травмування співробітників проводиться аналіз причин та обставин інциденту, за результатами якого вживаються відповідні профілактичні заходи.

Працівники та підрядники зобов'язані повідомляти про нещасні випадки або небезпечні ситуації своїм керівникам і фахівцю з охорони праці. Навмисне приховування інформації вважається серйозним дисциплінарним правопорушенням. [39]

Першочергові заходи з охорони труда і промислової безпеки, які стосувалися мене, як відвідувача комбінату:

- пройти обов'язковий інструктаж з охорони труда і промислової безпеки, за необхідності – додатковий;

- застосовувати засоби індивідуального захисту (спецодяг, захисні окуляри, каска, спеціальне взуття – рис.15);
- дотримуватись правил внутрішньої безпеки і розпорядку (слідування по комбінату тільки у супроводі відповідальної особи, не заходити за захисні лінії, не торкатися працюючих машин і механізмів тощо)

З 2013 року на підприємствах Метінвесту введено "Кардинальні правила з охорони праці та промислової безпеки". Вони називаються Правилами порятунку життя. Недотримання цих правил може призвести до тяжких наслідків для життя і здоров'я співробітників. П'ять із десяти правил однакові для всіх, інші п'ять – враховують специфіку кожного виробництва. За недотримання правил передбачена дисциплінарна відповідальність, можливо навіть звільнення.

Також на підприємствах Групи Метінвест розміщені стенди "Кількість днів без травм" – це визнання заслуги підприємств і структурних підрозділів з нульовим травматизмом і стимулювання інших працювати безпечно.

## РОЗДІЛ 6 ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ

### Екологія

Проблеми збереження навколишнього середовища та раціонального використання природних ресурсів стають все актуальнішими у світі. Металургійна галузь, одна з найбільш енергоефективних, активно вивчає можливості використання альтернативних матеріалів, таких як аналоги плавикового шпату, з метою зменшення негативного впливу на довкілля.

Застосування аналогів плавикового шпату, таких як вапняк, доломіт, силікати та інші матеріали, може значно зменшити негативний вплив на довкілля. Вони часто є відходами інших галузей та можуть бути використані як екологічно чисті альтернативи природному плавиковому шпату.

Світовий досвід показує, що використання аналогів плавикового шпату в металургії може призвести до значного зменшення викидів та іншого негативного впливу на навколишнє середовище. Багато країн активно впроваджують екологічно стійкі технології для поліпшення екологічної ефективності свого металургійного сектору.

Застосування аналогів плавикового шпату на металургійних підприємствах може призвести до зниження впливу на довкілля та створення більш екологічно стійких виробничих процесів. За нашими дослідженнями, повна і часткова заміна плавикового шпату на флюс зменшувала час димовиведення та горіння шлаків до 1 – 2 хвилин, що сприяло зменшенню викидів у навколишнє середовище.

Сучасні тенденції виробництва спрямовані на зменшення витрат та підвищення сталості виробничих процесів. В контексті металургійної галузі, питання заміщення природного плавикового шпату аналогами стає актуальним в контексті досягнення економічної ефективності та сталого розвитку.

## **Економічні переваги використання шлакорозріджуючих флюсів:**

### **1. Зменшення витрат сировини**

Використання шлакорозріджуючих флюсів дозволяє знижувати температуру плавлення шлаків та поліпшує їхню текучість. Це призводить до зменшення витрат сировини, так як знижується необхідна кількість енергії та ресурсів для проведення металургійних процесів.

### **2. Підвищення продуктивності**

Використання оптимально підібраних флюсів може підвищити ефективність розплавлення шлаків, знизити в'язкість та полегшити видалення забруднень. Це сприяє підвищенню продуктивності обладнання та зменшенню часу циклу виробництва.

### **3. Покращення якості продукції**

Використання шлакорозріджуючих флюсів може призвести до формування менш крихких та більш однорідних шлаків. Це позитивно позначається на якості отриманого металевого виробу, зменшуючи його вміст домішок та покращуючи механічні властивості.

### **4. Оптимізація витрат енергії**

Завдяки зменшенню температури плавлення шлаків та покращенню їхньої рідкості, використання шлакорозріджуючих флюсів може призвести до оптимізації процесів розплавлення та, отже, зменшення витрат енергії, що є суттєвим фактором для економії коштів у виробництві.

### **5. Зниження витрат на обробку шлаків**

Оптимально вибрані флюси сприяють утворенню менш кількості та меншої маси шлаків, що знижує витрати на їхню подальшу обробку та утилізацію. Це може призвести до значного зниження витрат на вивіз та обробку відходів.

## 6. Підвищення конкурентноспроможності

Загальне поліпшення технологічних показників та зниження витрат роблять виробництво більш конкурентноспроможним на ринку. Ефективне використання шлакорозріджуючих флюсів може забезпечити економічні переваги для підприємства порівняно з конкурентами.

## 7. Розширення джерел постачання.

Використання аналогів дозволяє залучити нові джерела сировини, що може знизити ризики від підвищення цін на природний плавиковий шпат.

## 8. Зниження собівартості готової продукції.

Для проведення розрахунків економічних переваг використання аналогів, необхідно врахувати вартість природного плавикового шпату, витрати на його транспортування та обробку, а також порівняти ці показники з аналогічними витратами на аналоги.

В середньому витрати на природний плавиковий шпат становлять \$800 за тонну.

Шлакорозріджуючі суміші вартістю в середньому \$265-300 за тону мають аналогічні технічні характеристики.

Якщо підприємство розглядає використання 1000 тонн аналогів, економія складатиме:

$$800 - (300+265)/2 * 1000 = \$517,500$$

Таким чином, можна зробити висновок, що використання аналогів плавикового шпату матиме суттєвий вплив на зменшення собівартості продукції.

Отже, використання шлакорозріджуючих флюсів у металургійному виробництві не лише сприяє покращенню технологічних параметрів та якості продукції, але і має значні економічні вигоди, що робить цей підхід досить привабливим для підприємств галузі.

Проведена експериментальна робота показала, що впровадження шлакорозріджуючих флюсів дозволяє збільшити робочий цикл печей та знизити витрати енергії. Зменшення в'язкості шлаку полегшує видалення його з печі, що дозволяє прискорити та оптимізувати виробництво сталі, а також покращити її якість.

Використання шлакорозріджуючих флюсів у металургійній галузі є перспективним. Дослідження та розробки нових формул флюсів, їх оптимізація та адаптація до конкретних технологічних процесів відкривають шлях до ефективних рішень у сфері виробництва сталі.

Таким чином, використання шлакорозріджуючих флюсів у сучасній металургії має великий потенціал для покращення технологічних процесів та підвищення якості сталі. Активне впровадження цієї технології може бути сприятим підвищенню конкурентоспроможності підприємств та зменшенню екологічного відбитку виробництва. Використання шлакорозріджуючих флюсів дозволяє не лише підвищити технічні показники виробництва, але й зменшити негативний екологічний вплив шляхом ефективного управління шлаковими відходами.

Для подальшого розвитку в цьому напрямку рекомендується проведення додаткових досліджень та впровадження нових технологій.

## ВИСНОВКИ

1. Використання флюсу дозволяє проводити розкислення та розрідження покривного шлаку на УПК, що сприяє успішному перебігу процесу десульфурації. Десульфурація сталі (випуск-готова) на дослідних плавках і контрольних плавках була практично на одному рівні - 78 – 84 %. Спінювання шлаку не відзначалося.

2. При випробуванні шлакорозріджуючого флюсу відзначалося нетривале димовиділення (1-2 хв) та горіння матеріалу тривалістю 1-2 хвилини.

3. Якість макроструктури безперервнолитої заготівлі на дослідних плавках задовільна.

4. На дослідних плавках із застосуванням флюсу не відзначалося погіршення розливу сталі на МНЛЗ.

5. Впливу флюсу на футеровку не виявлено.

6. Враховуючи вищевикладені висновки та задовільні результати використання шлакорозріджуючого флюсу N, рекомендується для підтвердження отриманих результатів провести випробування матеріалу на більшій кількості плавок (50 плавок).

7. Використання флюсу в якості аналогу плавикового шпату сприяв зменшенню собівартості продукції і поліпшенню екологічного стану навколишнього середовища.



11. Парусов В. В., Сычков, Парусов Э. В. Теоретические и технологические основы производства высокоэффективных видов катанки. Дн. : Арт-пресс, 2012. 376 с.
12. Бордюгов В.П. Плавиновый шпат. Справочник. К.: ГПП “Геоінформ”, 2000. 35 с.
13. Журавлева С. В., Паниотов Ю. С., Мамешин В. С. Оценка процесса десульфурации металла на АКП по бивариативному механизму. *Металл и литье Украины*. 2015. № 2 (261). С. 8 – 11.
14. Меджибожський М. Я. Основи термодинаміки і кінетики сталеплавильних процесів. Київ-Донецьк: «Вища школа», 1986. 280 с.
15. Явойський В. І. Теорія процесів виробництва сталі. М.: Металургіздат, 1963. 820 с.
16. Zhouhua J., Heyan Z., Dong-ping Z. Determination of the parameters of the process refining process. *J. Northeast Univ. Natur. Sci.* 2002. № 10. P. 952 – 955.
17. Патент: Шлакоутворювальна суміш для рафінування сталі: пат. **53811** Україна: МПК: [C21C 7/064](#); опубл. [17.02.2003](#), Бюл. № 4. 4 с.
18. Патент: Шлакоутворювальна суміш для розливу сталі: пат. **28470** Україна: МПК: [B22D 11/108](#), [B22D 7/10](#); опубл. [16.10.2000](#), Бюл. № 4. 4 с.
19. Патент: Рафінувальна суміш: пат. 53809 Україна: МПК: [C21C 7/064](#); опубл. [17.02.2003](#), Бюл. № 4. 4 с.
20. Вакульчук В. В. Розробка енергоефективної технології продувки конвертерної ванни різноімпульсними над- і звуковими кисневими та азотними струменями при частковому допалюванні відхідних газів / Дис... канд. тех. наук: 05.16.02. Дн., 2019. 192 с.
21. <https://metinvest.media/ru/page/metalurgyna-kuhnya>

22. Сивий М., Паранько І., Іванов Є. Географія мінеральних ресурсів України : монографія. Львів: Простір М, 2013. 684 с.
23. Микитюк П. П. Управління проектами: навч. пос. Тернопіль, 2014. 270 с.
24. Робоча програма, методичні вказівки та індивідуальні завдання до вивчення дисципліни “Основи металургії” для студентів напряму 6.050503 – машинобудування / Укл.: Л.В. Камкіна, А.А. Надточій, Р.В. Анкудінов, Ю.Д. Стогній. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 27 с.
25. Металлургия чугуна / Е.Ф. Вегман та ін. // Под ред. Ю.С. Юсфина. М.: ИКЦ Академкнига, 2004. 774 с.
26. Коротич В.И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. М.: Metallurgia, 1978. 208 с.
27. Семакова В.Б. Методические указания по самостоятельной работе над выполнением курсового проекта по дисциплине “Теория процессов подготовки сырья к доменной плавке ” (для студентов специальности 6.050401 “Металлургия черных металлов” специализации “Металлургия чугуна” дневной и заочной форм обучения). Мариуполь: ПГТУ, 2010. 42 с.
28. <http://www.nbu.gov.ua>.
29. Семакова В.Б. Конспект лекций по дисциплине “Теория процессов подготовки сырья к доменной плавке ” (для студентов специальности 6.050401 “Металлургия черных металлов” специализации “Металлургия чугуна” дневной и заочной форм обучения) Мариуполь: ПГТУ, 2010. 44 с.
30. Товаровский И.Г., Севернюк В.В., Лялюк В.П. Анализ показателей и процессов доменной плавки. Днепропетровск: Пороги, 2000. 420 с.
31. Товаровский И.Г., Лялюк В.П. Эволюция доменной плавки. Днепропетровск: Пороги, 2001. 424 с.

32. Про відходи: З а к о н у к р а ї н и. – База даних "Законодавство України" / Веб-сайт Верховної Ради України. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua>
33. <http://www.mlu.com.ua/pub/> Журнал «Метал та лиття України».
34. <http://www.metaljournal.com.ua/> Журнал "Металургічна та гірничорудна промисловість".
35. Без чавуну не буде сталі. URL: <https://metalurg.online/prometal/bezchavunu-ne-bude-stali> (дата звернення 24.04.2023).
36. Металургійний комплекс України. URL: <https://svitppt.com.ua/rizne/metalurgiyniy-kompleks-ukraini.html>.
37. Промышленные отходы. Проблемы и решения. Технологии и оборудование: Учебное пособие / А.М.Касимов, А.М. Семенов, Н.Г. Щербань, В.В.Мясоедов; под ред. А. М. Касимова. Харьков: ХНАМГ, 2007. 411 с.
38. Бригінець К.Д., Абашина К.О. Утилізація промислових відходів. Основи утилізації відходів: конспект лекцій (для студентів 3 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.040106 „Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування”). Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. Х.: ХНАМГ, 2012. 58 с.
39. Офіційний сайт Метінвест [ОХОРОНА ПРАЦІ Metinvest SR 2019 UKR WEB s7B.pdf \(metinvestholding.com\)](https://www.metinvest.com.ua/ukr/web/s7B.pdf)
40. Профспілка металістів [Про профспілку | ПРоФСПІЛКА “МЕТАЛІСТІВ” - На захисті трудових і соціально-економічних прав членів профспілки з 1906 року. \(pro-metallistiv.dp.ua\)](http://pro-metallistiv.dp.ua/)
41. Металіді В. С., Шепель І. В. Сировинна база фосфатів України. *Мін. ресурси України*. 1998. № 4. С. 14–19.

42. Міщенко В. Ринково-економічні критерії раціонального надрокористування в Україні. *Наука: нові погляди*. К., 2006. С. 48–60.
43. Сивий М.Я. Ресурсна база нерудної сировини для металургії в Україні: сучасний стан, перспективи. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. 2017. Т. 22, вип. 2. С. 118-130.
44. Гурський Д. С., Шепель І. В., Металіди В. С., В. Л. Приходько. *Мінеральні ресурси України*. 1999. № 2. С. 3–7.
45. Костенко М. М. Мінерально-сировинна база України. Стан мінерально-сировинної бази неметалічних корисних копалин України та основні напрями геологорозвідувальних робіт. *Мінеральні ресурси України*. 2014. № 4. С. 6–13.



