

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА МЕТАЛУРГІЙНА АКАДЕМІЯ УКРАЇНИ

---

На правах рукопису

ОВЧАРУК Анатолій Миколайович

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ВИПЛАВКИ КОНКУРЕНТНОСПРОМОЖНИХ  
МАРГАНЦЕВИХ ФЕРОСПЛАВІВ У ПОТУЖНИХ  
ЕЛЕКТРОПЕЧАХ НА ОСНОВІ РАЦІОНАЛЬНОГО  
ВИКОРИСТАННЯ МАРГАНЦЕВИХ  
КОНЦЕНТРАТІВ ТА ВТОРИННИХ МАТЕРІАЛІВ**

Спеціальність 05.16.02 - "Металургія  
чорних металів"

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеню  
доктора технічних наук

Дніпропетровськ  
1997

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Державній металургійній Академії України та ВАТ "Нікопольський завод феросплавів".

Науковий консультант академік НАН України, доктор технічних наук, професор М.І.Гасик.

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ:

Член-кореспондент НАН України,  
доктор технічних наук, професор

Г.Г.Єфименко

Завідуючий кафедрою збагачення  
Криворізьського технічного університету,  
доктор технічних наук, професор

Г.В.Губін

Завідуючий кафедрою металургії  
чавуну ДМетАУ, доктор технічних  
наук, професор

Д.А.Ковальов

Провідне підприємство - Державний науково-дослідний та проєктний інститут металургійної промисловості "Діпросталь" (м.Харьків).

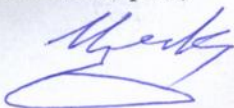
Захист відбудеться "03" 06 1997р. 12 30  
на засіданні спеціалізованої вченої ради (шифр Д 03.11.02 "Металургія чорних металів") по захисту дисертацій на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук при Державній металургійній Академії України, адреса: 320635, м.Дніпропетровськ, пр.Гагаріна, 4.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державної металургійної Академії України.

Автореферат розісланий "21" 04 1997р.

Вчений секретар спеціалізованої ради,  
д.т.н., професор

В.К.Цапко



ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00753501 (L)

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність проблеми.

В сучасних умовах структурних змін, пов'язаних з соціально-економічною реформою в Україні, однією з головних задач промисловості є поліпшення експортно-імпортного балансу країни на основі випуску конкурентноспроможної на світовому ринку продукції за рахунок підвищення її якості та зниження собівартості, раціонального використання енергетичних та мінерально-сировинних ресурсів.

Питома вага металургійної товарної продукції за останні роки зросла з 20%(1993р.) до 36%(1996р.), що зумовлено більш низькими темпами спаду виробництва в металургії, котра є базовою галуззю економіки, порівняно з іншими галузями промисловості.

В зв'язку з малим попитом металопродукції внутрішнім ринком, металургійна промисловість орієнтована на її експорт, котрий зараз складає понад 60% готового прокату. Із загального випуску продукції за 1996р. - 9,2 млрд.дол.США, обсяг експорту складав біля 5,4 млрд.дол., у тому числі в далеке зарубіжжя - 2,62 млрд.дол., із яких біля 7% припадає на долю електротермічних феросплавів.

У структурі експорту феросплавів понад 70% складають марганцеві, виробництво яких сконцентровано на двох підприємствах ВАТ "Запорізьський завод феросплавів" та ВАТ "Нікопольський завод феросплавів". Разом з тим, виробництво марганцевих феросплавів у період 1993-1996р.р. знизилося. Так, на ВАТ "НЗФ" - гайбільш великому виробнику марганцевих феросплавів масового сортаменту у світі, обсяг їх виплавки зменшився з 770 тис.т у 1993р. до 560 тис.т у 1996р. За цей же період на 15% знизився і експорт марганцевих феросплавів в далеке зарубіжжя.

Ситуація, яка склалася, пов'язана з рядом об'єктивних обставин: зниженням загального обсягу виплавляємої сталі у країнах СНД, відповідно, меншими витратами марганцю, зміненням марочного складу та засобів виробництва сталі, використанням у сталеплавильних цехах різноманітних позапічних методів рафінування продукції.

Крім того, зниження конкурентноспроможності марганцевих феросплавів, яке відбулося, зумовлено підвищенням вмістом у них найбільш шкідливої домішки - фосфору, а також високими матеріально-енергетичними витратами через низьку якість вітчизняної марганцевої сировини, зниженого вмісту у ній марганцю та високої концентрації фосфору і кремнезему. В світовій практиці виробництво марганцевих феросплавів базується на використанні високоякісних марганцевих руд з природно низькою концентрацією фосфору (0,05-0,1%) та кремнезему (5-8%) проти 0,18-0,22% P і 15-20% SiO<sub>2</sub> у концентратах Нікопольського родовища. Тому металургійна переробка вітчизняної сировини потребує додаткових матеріальних та енергетичних витрат, пов'язаних з його дефосфорацією та значними (15-20%) втратами марганцю з відвальними шлаками та іншими продуктами плавки.

Через обставини, що склалися, дуже актуальною задачею є дослідження та узагальнення багатопланових теоретичних, лабораторних експериментів, промислового освоєння та виробництва марганцевих феросплавів у аспекті науково-обґрунтованих технологічних рішень у попередньої дефосфорації марганцевих концентратів та комплексної утилізації вторинних

марганцевмісних матеріалів, які забезпечують необхідну якість марганцевих феросплавів, їх конкурентноспроможність, ресурсозбереження та охорону навколишнього середовища.

У загальній науково-технічній проблемі раціоналізації технологічних схем та процесів виплавки марганцевих феросплавів у рудовідновлювальних електропечах понадвисокої одиничної потужності, які вперше були введені в експлуатацію на ВАТ "НЗФ", було встановлення кількісних взаємозв'язків енерготехнологічних параметрів плавки, як основи їх оптимізації та комп'ютерної автоматизації управління ходом технологічного процесу та виробництвом.

Актуальність постановки та виконання роботи підтверджується тим, що теоретичні розробки та отримані практичні результати реалізовані за виконанням Постанов Ради Міністрів СРСР та УРСР, Держкомітетів з науки та техніки СРСР і УРСР, регіональної цільової програми "Сталь", розділ 2 "Марганець", затвердженої президіумом АН УРСР, Державної програми "Ресурсозбереження" (проекти Державного комітету з науки та технології №5-53/124-92 та 5.03.07/115-93), програми Міністерства освіти України (наказ №68 від 31.03.92), а також у рамках виконання науково-дослідних робіт за координаційними планами Мінпрому України, галузевих інститутів та тематичним планом Державної металургійної академії України.

**Мета роботи.** Науково обґрунтувати, дослідити, розробити та реалізувати у широких промислових масштабах на основі раціонального та ефективного використання марганцеворудної сировини та вторинних марганцевміщуючих матеріалів технологічні схеми виробництва конкурентноспроможних, найбільш великотонажних марганцевих феросплавів - силікомарганцю та високовуглецевого феромарганцю в закритих та герметичних рудовідновлювальних електропечах підвищеної одиничної потужності з використанням мінерально-сировинних ресурсів України. Поставлена у роботі головна мета досягнута завдяки вирішенню органічно пов'язаних фізико-хімічних (термодинамічних, термокінетичних) задач широкомасштабних дослідно-промислових досліджень та оптимізації технологічних і енергетичних факторів на основі статистичної обробки великих масивів даних промислового виробництва силікомарганцю та феромарганцю, удосконалення основних конструкційних елементів рудовідновлювальних електропечей, які забезпечують зниження енергетичних витрат та підвищення експлуатаційної надійності плавильних агрегатів в умовах Нікопольського заводу феросплавів.

У дисертації поставлені і отримані конкретні вирішення таких основних задач теорії та технології електротермії марганцевих феросплавів:

- узагальнено та проаналізовано вітчизняний і світовий досвід виробництва марганцевих феросплавів з використанням марганцеворудної сировини з різною концентрацією основного та домішного елементів. Виявлені можливі напрямки підвищення якості, конкурентноспроможності та ефективності виплавки сплавів масового сортаменту - силікомарганцю та високовуглецевого феромарганцю у закритих та герметичних рудовідновлювальних електропечах підвищеної одиничної потужності типу РПЗ-48(63), РПЗ-63И1, та РКГ-75 з використанням низькосортних постійно погіршуючихся за вмістом марганцю, кремнезему та фосфору руди Нікопольського родовища;

- досліджено фізико-хімічні властивості марганцеворудної сировини, їх мінералогічний та фазовий склад, кількісне співвідношення основних

компонентів, вплив вмісту марганцю у шихті на показники виплавки марганцевих феросплавів; розроблено методику і виконано порівняльний аналіз металургійної цінності вітчизняної та зарубіжної сировини;

-розвинуто наукові уявлення про природу фосфору, механізм його поведінки та розподіл при виплавці марганцевих феросплавів у закритих печах, дефосфорації марганцевої сировини у твердофазному стані та електрометалургійним засобом;

-досліджено особливості експлуатації рудовідновлювальних електропечей понадвисокої одиничної потужності, встановлено недоліки основних конструкційних елементів та вузлів плавильних агрегатів, складен енергетичний баланс процесу виплавки марганцевих феросплавів для усіх типів печей ВАТ "НЗФ", визначені напрямки зниження енерговитрат та підвищення експлуатаційної надійності печей;

-досліджено закономірності виплавки силікомарганцю, феромарганцю та малофосфористого шлаку у руднотермічних електропечах. Встановлено кількісний вплив електротехнологічних параметрів на показники плавки. Визначені оптимальні межі основних керованих змінних, які забезпечують підвищення ефективності виробництва і з'являються основою для створення автоматизованої системи управління технологічним процесом;

-розроблено та впроваджено технологічні схеми комплексної утилізації вторинних марганцевмісних матеріалів, які утворюються в умовах великотонажного виробництва марганцевих феросплавів на ВАТ "НЗФ", на основі досліджень їх фізико-хімічних властивостей, лабораторних експериментів та промислового освоєння довилучення марганцю з відвальних шлаків, шламів та пилу газоочисток;

-узагальнено та проаналізовано економічну та екологічну ефективність впровадження ресурсозберігаючих технологій дефосфорації марганцевої сировини електрометалургійним засобом, силікомарганцю та високовуглецевого феромарганцю, які забезпечують підвищення їх якості, конкурентноспроможності на світовому ринку, зниження енерговитрат та раціональне використання мінерально-сировинних ресурсів.

Теоретична цінність досліджень та їх новизна полягає в теоретичному узагальненні результатів власних досліджень, літературних даних та формування на їх основі фізико-хімічних і енерго-технологічних закономірностей карботермічного відновлення основних та домішних елементів при виплавці марганцевих феросплавів у рудовідновлювальних електропечах підвищеної одиничної потужності.

Розвинуто наукові основи, виконан термодинамічний аналіз реакцій відновлення фосфору в присутності елементів-осаджувачей, розкрит механізм розподілу фосфору поміж продуктами плавки при дефосфорації марганцеворудної сировини і феросплавів у твердофазному та рідкому стані.

Розроблено теоретичні основи та засіб твердофазної термомеханічної дефосфорації марганцеворудної сировини, яка забезпечує зниження у ній концентрації фосфору на 20-60%.

За допомогою математичної обробки з використанням ЕВМ великого масиву даних роботи промислових печей уперше визначено кількісний вплив вмісту марганцю у вихідній сировині на показники виробництва, встановлено раціональні межі основних керованих змінних: фактичної потужності печі, кількості відновника у шихтовій суміші та основності шлаків, забезпечуючих

мінімальне значення питомих витрат електроенергії - основного параметру оптимізації електротермічних процесів. Розроблено методику досліджень структури розподілу та витрат підведеної електричної потужності, реалізовано конструктивні змінення плавильних печей, які забезпечують підвищення їх енергетичного ККД.

На основі досліджень фізико-хімічних властивостей та параметрів вторинних марганецьвміщуючих матеріалів електротермічного виробництва марганцевих феросплавів (шлаків, шламів та пилу, а також продуктів їх переробки - шлакового піску, щебня, металоконцентрату), визначена їх споживча цінність, розроблено технологічні схеми їх комплексної утилізації у власному виробництві та суміжних галузях промисловості.

#### Практична цінність і реалізація роботи.

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження стали базою для освоєння, удосконалення та впровадження нових технічних рішень ресурсозберігаючих технологічних схем виробництва конкурентноспроможних марганцевих феросплавів масового сортаменту у рудовідновлювальних електropечях підвищеної одиничної потужності з використанням марганцевої сировини Нікопольського родовища.

Удосконалено технологію дефосфорації марганцевої сировини електрометалургійним засобом, яка забезпечує отримання малофосфористого шлаку з концентрацією фосфору не вище 0,012%, у промислових умовах освоєно виплавку МФШ з використанням металоосаджувачей, яка дозволила на 1% підвищити вилучення марганцю, на 3,6% вихід шлаку 1 сорту, на 25 кг/баз.т знизити витрати агломерату і на 5,9 кг/т коксую.

На основі оптимізації геометричних параметрів прямокутних рудовідновлювальних печей РПЗ-48(63), технологічних та електричних параметрів виплавки у них марганцевих феросплавів збільшено термін міжкапітальних ремонтів до 8-10 років, зменшені витрати електроенергії на 10-15%.

Розроблено та впроваджено технологічну схему комплексної утилізації вторинних марганецьвмісних матеріалів дозволила зі зниженням вмісту марганцю у вихідній сировині з 47,3%(1976р.) до 38,95%(1996р.) підвищити вилучення марганцю на виплавці силікомарганцю на 10,2% і щорічно повертати у власне виробництво 100-250 тис. т вторинних ресурсів.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи узагальнені та викладені на Всесоюзній конференції з підготовки та використанню спільно окускованих шихтових матеріалів (Тбілісі, 1970р.), Всесоюзній конференції з фізико-хімічних та технологічних основ пірометалургійної підготовки рудних матеріалів до відновлення у промислових процесах (Дніпропетровськ, 1973р.), Всесоюзній конференції з удосконалення технології виплавки феросплавів у потужних закритих печах (Єрмак, 1974р.), Всесоюзній нараді з металургії марганцю (Тбілісі, 1977р.), Всесоюзній нараді з удосконалення технології виробництва сплавів марганцю (Нікополь, 1980р.), Всесоюзній нараді з металургії марганцю (Москва, 1981р.), на 1-7 Республіканських конференціях феросплавників України (Дніпропетровськ, 1972, 1975, 1978, 1981, 1982, 1985, 1989 р.р.), на Всесоюзній нараді з металургії марганцю (Нікополь, 1991р.), на Міжнародних конференціях: "Сучасне становище та перспективи розвитку електротермічного виробництва кольорових і чорних металів та неорганічних матеріалів України" (Дніпропетровськ, 1994р.), "Теорія та практика

електротермії феросплавів” (Нікополь, 1996р.), на щорічних координаційних нарадах Мінпрому з проблем феросплавів, науковому семінарі кафедри електрометалургії та науково-технічних радах . ВТ “НЗФ”.

Публікації. Основний зміст дисертації опубліковано в 60 статтях і 2-х монографіях, новизна розробок захищена 24 авторськими свідоцтвами на винаходи, 9 патентами України, а також є 72 статті, тезів доповідей та авторських свідоцтв, які не ввійшли у доданий список трудів.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, шости глав, висновків та додання. Викладена на 274 сторінках машинописного тексту, вміщує 119 рисунків, 93 таблиці, список використаної літератури з 325 найменувань.

Основні положення, які виносяться автором на захист:

-узагальнення та аналіз сучасного становища і перспективи розвитку світової та вітчизняної марганцеворудної бази феросплавної промисловості, яка забезпечує потребу внутрішнього ринку, конкурентноспроможність експортованої продукції при постійному погіршенні якості марганцевих концентратів Нікопольського родовища;

-результати термодинамічних досліджень реакцій відновлення основних та домішних елементів при вишлавці марганцевих феросплавів, механізму поведінки та розподілу фосфору поміж продуктами плавки;

-розроблена технологія термомеханічної дефосфорації марганецьвмісної сировини у твердофазному стані;

-результати досліджень та удосконалення електрометалургійного засобу дефосфорації на базі оптимізації технологічних параметрів та використання вторинних металоосаджувачей;

-результати досліджень методами математичної статистики оптимізації технології виробництва марганцевих феросплавів масового сортаменту у рудовідновлювальних електропечах підвищеної одиничної потужності;

-методика та експериментальні дослідження структури розподілу підведеної потужності у плавильних агрегатах, технічні рішення, які забезпечують зниження енерговитрат та підвищення експлуатаційної надійності печей;

-розроблену технологію виробництва низькофосфористих марганцевих феросплавів з використанням брикетів із МФШ та вугілля.

-результати досліджень та освоєння в промислових умовах технології вишлавки високовуглецевого феромарганцю з заміною залізовмістивих матеріалів відвальними шлаками виробництва феронікелю;

-розроблені ресурсозберігаючі технологічні схеми комплексної утилізації вторинних марганецьвмісних матеріалів у власному виробництві та суміжних галузях промисловості.

Особистий внесок дисертанта у розробку наукових положень, методик досліджень, проведення лабораторних та дослідно-промислових експериментів і впровадження отриманих результатів у промислове виробництво укладається в тому, що всі вони здійснювалися за безпосередньою участю автора або під його науковим керівництвом.

Вважаю своїм обов'язком з глибокою вдячністю зазначити, що вирішення розглядаємої проблеми освоєння технології виробництва марганцевих феросплавів у понадпотужних рудовідновлювальних електропечах на найбільшому в світі електрометалургійному комплексі - НЗФ- було розпочато під

керівництвом Заслуженого діяча науки та техніки України, професора, доктора технічних наук Хитрика Спірідона Йосиповича.

Автор висловлює щиру вдячність науковому консультанту, професору, д.т.н., академіку НАН України Гасику М.І., академіку АІН Величко Б.Ф. та іншим співавторам монографії "Металургія марганцю України", своїм колегам, співробітникам НЗФ, ІМЕТ РАН, ВНІЕТО, ЦНДІЧМ, УкрНДІспецсталі, Діпросталі, Механобрчормету за підтримку та допомогу при проведенні досліджень, які узагальнено в дисертації.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**1. Узагальнення та аналіз вітчизняного та світового дослідження виробництва марганцевих феросплавів та основні напрямки підвищення їх конкурентноспроможності та ефективності виплавки на базі раціонального використання мінерально-сировинних ресурсів**

Проаналізовано та узагальнено дані про сучасний розвиток базової галузі чорної металургії України. Внаслідок кризи економіки рівень виробництва основних видів металопродукції знизився у 1988-1995 р.р. майже наполовину. Але в останні два роки темпи спаду зменшилися, і в 1996 році виробництво залишилося практично на рівні 1995р.(99,9%), а по виплавці сталі мається навіть підвищення на 0,4%(табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка змінювання обсягу та структури виплавки сталі в Україні за 1990-1996р.р., тис.т

|                      | Роки               |                    |       |       |       |       |       |
|----------------------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                      | 1990               | 1991               | 1992  | 1993  | 1994  | 1995  | 1996  |
| Сталь, усього        | 50321              | 42928              | 39883 | 31255 | 23350 | 21803 | 21899 |
|                      | 100                | 85,3 <sup>х)</sup> | 92,3  | 78,3  | 74,7  | 93,4  | 100,4 |
| у тому числі         |                    |                    |       |       |       |       |       |
| -мартенівська        | 27198              | 23220              | 21559 | 16669 | 11825 | 11438 | 10972 |
|                      | 54,0 <sup>х)</sup> | 54,0               | 54,0  | 54,7  | 50,7  | 52,5  | 50,1  |
| -киснево-конверторна | 21272              | 18007              | 16593 | 13174 | 10661 | 9523  | 1070  |
|                      | 42,3               | 42,0               | 42,0  | 40,9  | 45,6  | 43,7  | 460   |
| -електросталь        | 1849               | 1702               | 1729  | 1410  | 863   | 841   | 856   |
|                      | 3,7                | 4,0                | 4,3   | 4,3   | 3,7   | 3,8   | 3,9   |

х) - % до минулого року

хх) - % у загальному обсязі виплавки сталі

Декілька змінилася структура виплавляемого металу. На 4% знизилася доля мартенівської сталі за рахунок підвищення киснево-конверторної при незмінному обсязі (3,9%) виплавки електросталі. Змінювання структури виробництва сталі відбулося на характері споживання феросплавів.

У розвинених країнах спостерігається тенденція до зниження питомих витрат марганцю з 6,11 кг/т в 1980 р. до 5,31 кг/т сталі в 1992 р. Структура споживання марганцевих феросплавів змінюється в бік збільшення долі марганцю, який вноситься силікомарганцем. Середні витрати марганцю на металургійних заводах України вище світових показників (6,1 - 6,8 кг/т). Відзначено різке зростання в 1996 році долі марганцю, який вноситься доменним

феромарганцем до 43,3%(24,9% у 1995 р.). Основним споживачем вітчизняних феросплавів залишається Росія - 83% від загального експорту в країни СНД та 91% від експорту в країни дальнього зарубіжжя. На долю силікомарганцю припадає 61-72% експортних поставок.

Світові запаси марганцевої руди оцінюються в 18 млрд. тон і розподіляються наступним чином, %: Південна Африка - 57, Україна - 21, Габон - 7, Австралія - 4, решта - 11. Склад вихідної руди країн західного світу природно відрізняється високим вмістом провідного компоненту (49-52,2% Mn) та низьким вмістом домішних елементів - фосфору (0,04 - 0,1%) і кремнезему (2,5 - 11%).

Україна є основним утримувачем марганцевих запасів і виробником феросплавів у Євро-Азіатському регіоні. Але якість марганцевої сировини, яка постачається металургійним підприємствам, постійно погіршується. Так, за період з 1960 по 1980 р.р. вміст марганцю в товарних концентратах щорічно знижувався на 0,47%, а з 1980 по 1996 р.р. на 0,2%.

Вміст марганцю в оксидних концентратах Нікопольського родовища знаходиться в обратному взаємозв'язку з концентрацією кремнезему і описується рівнянням:

$$\langle \text{SiO}_2 \rangle = 38,8 - 0,455 \langle \text{Mn} \rangle, \quad R = 0,61 \quad (1)$$

Виконаними дослідженнями з визначення температури шлавління цих концентратів встановлено, що з підвищенням вмісту кремнезему вона знижується і практично збігається з лінією ліквідус діаграми стану MnO-SiO<sub>2</sub>.

Аналіз розподілу основних та домішних елементів поміж продуктами виплавки марганцевих феросплавів у понадпотужних рудовідновлювальних електропечах ВАТ НЗФ показав, що в метал переходить 80-85% фосфору при виплавці силікомарганцю та 90-95% - феромарганцю, вилучення марганцю відповідно складає 78-82% і 73-76%. Загальні витрати марганцю з вторинними матеріалами складаються з 18-27% (табл.2).

Таблиця 2

*Розподіл основних елементів поміж продуктами виплавки силікомарганцю (численник) і феромарганцю (знаменник), %*

| Продукти виплавки           | Марганець   | Кремній     | Фосфор      |
|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Метал                       | 78-82/73-76 | 40-48/8-10  | 80-85/90-95 |
| Шлак                        | 10-12/12-14 | 50-60/70-80 | 1-2/1-2     |
| Відходи                     | 4-6/5-8     | 3-5/6-8     | 4-6/2-5     |
| Скrap                       | 2-4/3-5     | 1-3/2-4     | 2-5/2-4     |
| Шлам                        | 2-5/4-6     | 2-4/3-5     | 4-6/2-4     |
| Ульот та невраховані втрати | 1-2         | 0,5-1       | 1-2         |

Встановлено, що концентрація фосфору в марганцевих феросплавах масового асортименту залежить від вмісту в них заліза. Ця залежність описується рівнянням:

$$[P] = 0,1 + 0,04[Fe], \quad R = 0,78 \quad (2)$$

Тому в високовуглецевому феромарганці, який виплавляється з більш якісної сировини за модулем фосфору (0,0045), вміст фосфору на 0,15-0,25% вище, ніж у силікомарганці (за модулем фосфору 0,0055-0,0060).

Розроблена автором номограма (рис.1) дозволяє визначити співвідношення марганцеворудної сировини різної якості для отримання феросплавів відповідного складу за фосфором і марганцем.

Комп'ютерні дослідження термодинаміки спільного відновлення марганцю, кремнію та фосфору з силікомарганцевих шихт методом мінімізації енергії Гібса рівноважного стану складної гетерогенної системи Mn-Si-Fe-Ca-Al-Mg-O-P-S-C дозволяє визначити вплив температури та витрати вуглецю на вилучення і розподіл елементів. Показано, що з точки зору термодинаміки відновлювальний процес необхідно вести при порівняльно низьких температурах (1600-1650<sup>o</sup>C) і високій наважці вуглецю. У реальних умовах ці визначені параметри процесу обмежуються технічними можливостями. Оптимізація їх є найважливішою практичною задачею електроферосплавного виробництва.

Виплавка марганцевих феросплавів масового сортаменту, які відповідають вимогам світових стандартів, із марганецьвмісної сировини Нікопольського родовища здійснюється із вводом у шихту малофосфористого шлаку - продукта електрометалургійного засобу дефосфорації марганцевих концентратів. Фізико-хімічні властивості малофосфористого шлаку - легкоплавкість і важковідновлюваність силікатів марганцю (основних складових компонентів МФШ) - зумовлюють зниження техніко-економічних показників процесу при його використанні в шихтовій суміші.

Рівняння регресії, які описують вплив вмісту фосфору у сплаві на показники виплавки силікомарганцю, мають вигляд:

$$Q_{уд} = 4756 - 1908 [P], \quad R = 0,42, \quad (3)$$

$$P_p = 41,4 + 162,7 [P], \quad R = 0,38, \quad (4)$$

$$\eta_{Mn} = 73,9 + 21,75 [P], \quad R = 0,33, \quad (5)$$

де  $Q_{уд}$ ,  $P_p$ ,  $\eta_{Mn}$  відповідно, питомі витрати електроенергії; кВт.г/баз.т; продуктивність печі, баз.т/змін, вилучення марганцю у сплав,%. З приведених рівнянь виникає, що при зниженні концентрації фосфору на 0,1% (з підшихтовкою МФШ)

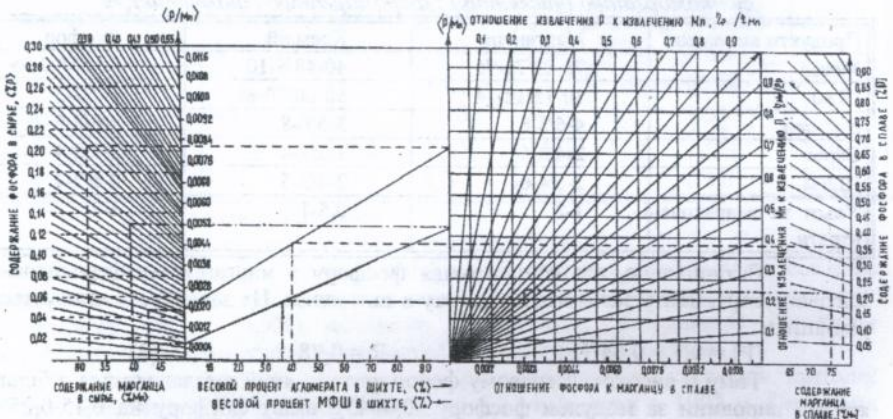


Рис.1 Номограма для визначення вмісту фосфору в марганцевих феросплавах у залежності від вмісту марганцю і фосфору в вихідній сировині

питомі витрати електроенергії зростають на 190 кВт.ч/т, а продуктивність печі і вилучення марганцю знижуються на 16,3 баз.т/змину і 2,17% відповідно.

Ще більш відчутно знижуються показники при виплавці високовуглецевого феромарганцю флюсовим засобом з використанням МФШ. Так, для зниження фосфору на 0,1% необхідно витратити 746 кг МФШ і додатково витратити 400 кВт.г/т електроенергії.

Для отримання феромарганцю, вміщуючого 0,1% Р і 76% Mn, за технологічною схемою НЗФ вимагається 2010 кг МФШ, 410 кг агломерату, 5900 кВт.г/т електроенергії, що на 3700 кВт.г/т, 300 кг коксу, 800 кг вапняка і 90 кг залізородних окативів більше, ніж при безфлюсовій плавці з високоякісної сировини зарубіжних родовищ.

За склавшимися цінами на вказані матеріали та електроенергію доля марганцевої сировини в структурі собівартості по статті "задане" повинна бути в 2,47 нижча, порівняно з безфлюсовим процесом.

## **2. Розвиток наукових основ, термодинамічний аналіз і фізико-хімічні дослідження процесу дефосфорації марганцевої сировини та феросплаві**

Узагальнено і доповнено сучасні уявлення про природу та розподіл фосфору в марганцеворудній сировині. Фундаментальний висновок М.І.Гасика про існування фосфору в марганцевих рудах у вигляді ортофосфат-іонів  $PO_4^{3-}$ , згрупованих навколо катіонів кальцію, підтверджено статистичними дослідженнями автора. Встановлено, що підвищення основності агломерату на 0,1 приводить до збільшення питомого вмісту фосфору в ньому на 0,0028%:

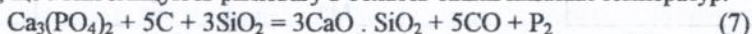
$$(P/Mn) = (4,19 + 2,85B) \cdot 10^{-3}, \quad R = 0,49 \quad (6)$$

За результатами мікрорентгеноспектрального аналізу зразків марганцевих агломератів зроблено висновок про прояву фосфору в двох формах: основну його частину становлять фосфати кальцію і в меншій ступені фосфати заліза та марганцю, друга частина - фосфатизовані залишки. Показано, що перспективним напрямком є дефосфорація марганцевої сировини у процесі термічної підготовки.

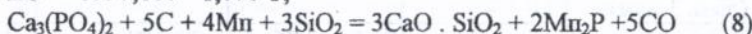
Розглядено теоретичні передумови і практичні результати дефосфорації феросплавів у рідкому стані. Показано, що, не дивлячись на принципову можливість вирішення проблеми фосфору такими методами, промислова їх реалізація видається проблематичною.

У роботі проведено дослідження і розроблено основні технологічні параметри процесу випалу марганцевих концентратів спільно з відновниками і металодобавками.

Виконані термодинамічні розрахунки реакцій відновлення трикальційфосфату вуглецем у присутності оксиду кремнію, марганцю і заліза, показали, що вони зміщують рівновагу в область більш низьких температур:



$$\Delta G^\circ = 1397,165 - 1,078 T;$$



$$\Delta G^\circ = 1057,185 - 0,875 T;$$



$$\Delta G^\circ = 1073,965 - 0,860 T.$$

Так, температура початку реакції (7) складає  $1023^{\circ}\text{C}$ . У той же час у присутності марганцю і заліза (реакції 8 і 9) вона знижується відповідно до  $935$  і  $975^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує більш повне відновлення та осаджування фосфору в супутній метал.

Практичні дослідження термомеханічної дефосфорації марганцевої сировини здійснювалися з використанням методів планування експерименту, які дозволили встановити оптимальні умови для твердофазної дефосфорації марганцевої сировини: температурний інтервал -  $1050-1100^{\circ}\text{C}$ ; % каталізатору - 14-17, % відновник - 15, час випалу - 30 хвилин. Максимальний ступінь дефосфорації при цих умовах складає для карбонатного концентрату - 67,3%, Чіатурського - 41,4%, Нікопольського 1 сорту - 39,7%, Нікопольського 2 сорту - 45,9%, вихідної руди - 34,0%.

Відпрацювання технологічних параметрів процесу термомеханічної дефосфорації проводилося в лабораторних та напівпромислових умовах. Максимальна ступінь дефосфорації (35,2%) концентрату 1 сорту отримана з використанням 30% чавуної стружки, концентрату 2 сорту (16,8%) досягається при випалі його з відновником, а також відновником і металоконцентратом.

Порівняльним петрографічним і рентгеноструктурним аналізом зразків марганцевої сировини та продуктів термодинамічної дефосфорації встановлено, що в процесі випалу відбувається перерозподіл фосфору. У немагнітній фазі фосфор зосереджується в вигляді домішок в кальційвмісному манганозиті. У магнітній фазі фосфор знаходиться в залізо-кальцій-марганцеворудній фазі.

Великолабораторні досліди з виплавки вуглецевого феромарганцю з використанням дослідних концентратів підтвердили перспективність розробленого термомеханічного засобу дефосфорації.

Статистичний аналіз виробничих даних виплавки малофосфористого шлаку в умовах НЗФ дозволив встановити оптимальні межі регульованих параметрів процесу. Для отримання шлаку марки КМФПІ відношення Ств/Мп в шихті необхідно підтримувати на рівні 0,23. Вміст марганцю в шлаці при цьому буде не вище 40%, вилучення марганцю - 78,5%, продуктивність - 129 т/зміну, витрати електроенергії - 1089 кВт.г/баз.т. Максимальний вихід шлаку може бути забезпечено при відношенні Ств/Мп і Мп/SiO<sub>2</sub> в шихті 0,19 і 2,65 відповідно.

У роботі виконано фундаментальний аналіз розподілу елементів у продуктах плавки малофосфористого шлаку. З використанням хімічного, мікрорентгеноспектрального, рентгеноструктурного аналізів вивчено структуру, гранулометричний склад фаз і розподіл елементів у пробах, відібраних під час випуску шлаку з печі, в період розливки та готовому продукті (табл. 3).

Таблиця 3

Склад корольків за даними мікрорентгеноспектрального аналізу

| Тип корольків              | Фаза       | Масова доля компонентів, % |             |             |
|----------------------------|------------|----------------------------|-------------|-------------|
|                            |            | Мп                         | Fe          | P           |
| Маленький<br>(діам. 3 мкм) | однофазний | 28,0                       | 62,93       | 15,08       |
| Великий<br>(діам. 3 мм)    | світла     | 72,56-78,96                | 22,8-26,4   | 1,11-1,47   |
|                            | плівочки   | 59,51-63,99                | 22,54-27,19 | 21,51-25,95 |

Основними фазами малофосфористого шлаку є довгопризматичні і глобулярні кристали манганозиту, тейроїту, глаукохроїту та скла.

Проведений комплекс досліджень фізико-хімічних властивостей малофосфористого шлаку (в'язкість, поверхневий натяг на межі метал-шлак, шлак-газ, швидкість осадження корольків супутного металу та ін.) дозволив розробити, опробувати та рекомендувати до впровадження технологію виплавки малофосфористого шлаку підвищеної якості. З цією метою запропоновано підшихтовувати супутний метал власного виробництва, металоконцентрат, феросплавну дрібнину, шлаковий пісок. Промислові іспити показали, що при використуванні, наприклад, супутного металу (50 кг/т шлаку) вилучення марганцю збільшується на 4%, а витрати електроенергії, агломерату і коксу знижуються на 23 кВт.г/баз.т, 59 кг/баз.т і 6,3 кг/баз.т відповідно.

### *3. Дослідження особливостей роботи та удосконалення конструкції рудовідновлювальних печей.*

У період освоєння печей великої потужності виявлено окремі недоліки конструктивних елементів печей та допоміжного обладнання головного зразка печі РПЗ-48МО1. Встановлено, що проектна конструкція вугільної подини прямокутних печей не забезпечує довгої безаварійної її роботи на потужності вище 45-47 МВт, що привело до ряду серйозних аварій у період пуску і освоєння печей типу РПЗ-48(63). Для усунення цього суттєвого недоліку рекомендовано футерувати подину обробленими вугільними блоками з установкою їх на торець без товстих швів на вугільній пасти.

Встановлено, що температура колошника печей РПЗ-48 досягає 850-1000<sup>0</sup>С, що значно вище, ніж на печах РКЗ-16,5 (350<sup>0</sup>С). У зв'язку з цим запропоновано поглибити ванну печей мінімум на 1 м, що й здійснено на усіх печах НЗФ.

Результати виконаних досліджень дозволили удосконалити конструкцію ряду вузлів та систем, до основних з котрих слід віднести:

- зміна системи підвіски своду печей та виготовлення деяких вузлів з немагнітної сталі;
- удосконалення системи завантаження шихти в піч на ділянці пічний бункер-завантажувальна воронка;
- удосконалення конструкції льоточних вузлів та обладнання машинами для їх обслуговування.

Проаналізовано роботу основних елементів конструкції, механізмів печей усіх типорозмірів, визначено основні причини та характеристика гарячих простой, показано шляхи підвищення стійкості та довговічності печей.

При зупинках печей РКЗ-16,5 і РПЗ-48 на капітальний ремонт вперше в вітчизняній практиці вивчено характер руйнування футеровки (рис.2), проведені відбори проб виломків шихти, продуктів процесу та їх петрографічні дослідження.

Дані цього дослідження дозволили порівняти характер руйнування футеровки круглих і прямокутних печей, встановити причини аварій подини на печах РПЗ-48, зробити заключення про змінення розмірів її ванни.

Петрографічні дослідження проб, відібраних по висоті печі, дозволили встановити визначну роль карбідоутворення в процесі отримання силікомарганцю.

Встановлено, що руйнування подини печі відбувається в результаті низької стійкості швів, через які йде проникнення шлакометалевого розплаву з

наступним підривом та впливанням блоків. Виявлення в пробах верхніх горизонтів колошника корольків металу та карбиду кремнію підтвердили висновки про недостатню глибину ванни печі.

З урахуванням сучасних теплотехнічних уявлень про теплообмін, визначено теплові витрати на рудовідновлювальних електропечах НЗФ. Розраховані витрати тепла через кожух ванни печі, витрати з відходящими газами та витрати з охолодженою водою.

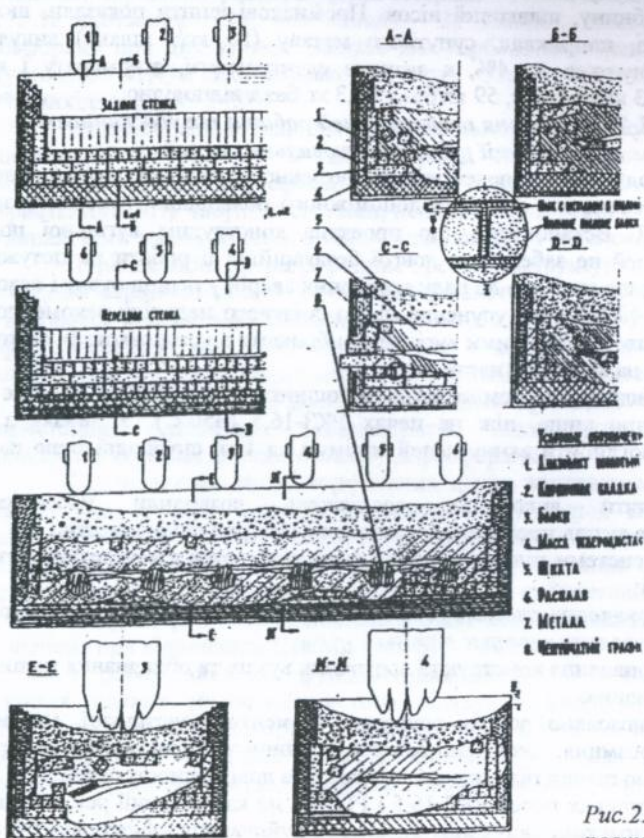


Рис.2. Руїнування футеровки головного зразка печі РПЗ-48МО1

Тепловий коефіцієнт корисної дії пічної установки визначається з виразу:  $\eta_{к.п.л.} = 100 (W_{\Sigma} : P_{ф}) \cdot 100$ , де  $W_{\Sigma}$  - загальні енергетичні витрати, МВт.г;  $P_{ф}$  - фактична потужність печі, МВт.

Узагальнені результати розрахунків теплових витрат і структури розподілу підведеної енергії на печах цеху №1 і 2 НЗФ приведено в таблиці 4.

Удосконалення конструкції печей на основі виконаних досліджень дозволило підвищити тепловий ККД плавильних агрегатів і збільшити

міжремонтний термін експлуатації. Так, тепловий ККД печей типу РПЗ-6311 виріс з 64 до 75%, печей типу РПЗ-48 - з 60 до 71%.

Таблиця 4

*Структура теплових витрат і розподіл підведеної енергії, %*

| № печі | Втрати через кожух і подину | Втрати з відходящими газами | Втрати з охоложуючою водою | Тепло техно-логічного процесу | Фактична потужність, МВт | Вид сплаву |
|--------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|------------|
| 1      | 1,7                         | 3,3                         | 21,5                       | 73,5                          | 52                       | СМн        |
| 2      | 1,8                         | 2,2                         | 20,7                       | 75,3                          | 54                       | СМн        |
| 3      | 2,1                         | 0,80                        | 27,1                       | 70,0                          | 40                       | ФМн        |
| 4      | 1,2                         | 0,90                        | 26,6                       | 71,3                          | 42                       | ФМн        |
| 5      | 1,1                         | 1,6                         | 22,4                       | 76,1                          | 56                       | СМн        |
| 6      | 0,86                        | 1,72                        | 23,7                       | 73,8                          | 50                       | СМн        |
| 7      | 1,57                        | 1,1                         | 15,9                       | 82,5                          | 44                       | СМн        |
| 8      | 1,62                        | 0,7                         | 13,8                       | 84,5                          | 42                       | СМн        |
| 11     | 3,6                         | 0,23                        | 12,6                       | 83,3                          | 21                       | МФШ        |
| 12     | 3,9                         | 0,10                        | 11,3                       | 84,3                          | 23                       | МФШ        |
| 13     | 4,5                         | 1,3                         | 24,6                       | 69,5                          | 51                       | СМн        |
| 14     | 6,9                         | 1,3                         | 24,1                       | 67,7                          | 58                       | СМн        |
| 15     | 1,22                        | 1,74                        | 24,0                       | 73,2                          | 50                       | СМн        |
| 16     | 0,5                         | 2,36                        | 22,1                       | 75,0                          | 54                       | СМн        |
| 17     | 0,95                        | 0,88                        | 22,0                       | 76,1                          | 48                       | СМн        |
| 18     | 0,92                        | 1,21                        | 20,4                       | 77,5                          | 44                       | СМн        |

**4. Багатофакторний аналіз, дослідження та оптимізація технологічних параметрів та режимів виплавки марганцевих феросплавів.**

Для визначення впливу основних технологічних факторів на показники процесу виплавки сплавів феромарганцю проведено спеціальні дослідження з використанням методів математичної статистики і сучасних ЕВМ

При виконанні розрахунків використовувалися дві програми; одна передбачала автоматичне виключення змінних, внесок яких у загальну дисперсію величини відгука незначний. Математичні моделі будувалися у вигляді рівнянь парної та множинної регресії (лінійні та у вигляді неповного поліному другого ступеню). Для кількісної оцінки впливу кожного фактора використовувалися рівняння часткової регресії. Статистичне оцінювання результатів розрахунків проводилося по коефіцієнту множинної та парної кореляції ( $R, r$ ), коефіцієнту множинної детермінації ( $R^2$ ), F-критерію (критерій Фішера) та по стандартній помилці залишків у процентах від середнього відгука ( $SE, \%$ ).

Отримані рівняння регресії, які описують вплив вмісту марганцю на основні показники виплавки силікомарганцю (питомі витрати електроенергії, вилучення марганцю в сплав і продуктивність печі), дозволили з високою ступінню вірогідності (критичне значення коефіцієнту кореляції для даного масиву спостережень складає 0,09-0,14) визначити їх кількісний взаємозв'язок для печей різних типорозмірів. Так, підвищення вмісту марганцю в сировині на 1% у межах 35-44%, приводить до наступних кількісних змін основних показників процесу для різних печей:

|   | РКГ-75 | РПЗ-48 | РПЗ-63 |
|---|--------|--------|--------|
| Вилучення марганцю в сплав, %               | +0,7   | +1,62  | +1,4   |
| Питомі витрати електроенергії, кВт.г /т.    | -51,6  | -69,5  | -50,1  |
| Продуктивність печі, баз.т/добу             | +3,19  | +5,03  | +3,9   |
| Питомі витрати марганцевої сировини, кг/б.т | -12,5  | -28,3  | -24,5  |

Кількісні питомі змінення основних параметрів виробництва силікомарганцю в промислових печах зведені в таблицю 5, з аналізу якої виходить, що якість сировини і кількість відходів позитивно впливають на основні показники, а фракціонування силікомарганцю, ввід у шихту малофосфористого шлаку і вихід низькокремністої марки сплаву (СМн14) призводять до значних виробничих збитків.

Встановлено оптимальні значення потужності печей різних типорозмірів, які виплавляють силікомарганець. Для печей РКГ-75 це значення лежить у межах 39-41 МВт, для печей типу РПЗ-48 - 48-50,5МВт, для печей РПЗ-63ПІ - 52-54 МВт. Дослідженнями статистичних закономірностей виплавки вуглецевого феромарганцю встановлено, що оптимальні значення відношення твердого вуглецю до марганцю в шихті для печей типу РПЗ-48 знаходяться у межах 0,34, а для РПЗ-63 - 0,29 (рис.3), тобто коксове навантаження в печах першого типу декілька вище, що і сприяє поліпшенню показників виплавки, а оптимальні межі основності складають 1,15-1,22. Кількісні залежності, які описують вплив цього параметру на вміст кремнію в сплаві, дають можливість забезпечити отримання сплаву потрібного складу (рис.4)

За питомими витратами електроенергії оптимальна потужність дорівнює 35,8 МВт, а за вилученням марганцю 37,1МВт. Отримані залежності дозволили визначити кількісний вплив різних технологічних факторів на основні виробничі показники і встановити оптимальні значення найважливіших керуємих параметрів, робота на яких дозволить значно підвищити ефективність виробництва високовуглецевого феромарганцю в понадпотужних рудовідновлювальних печах (табл.6).

Аналіз рівнянь 10 та 11 на екстремум показав оптимальні значення потужності печі при виплавці феромарганцю.

$$Q_{уд} = 39551 - 1998 P_{\phi} + 27,9 P_{\phi}^2; \quad R = 0,74 \quad (10)$$

$$\eta_{Мг} = -670,5 + 40,8 P_{\phi} - 0,55 P_{\phi}^2; \quad R = 0,57 \quad (11)$$

Експериментальні дослідження в'язкості ( $\eta$ ) та електропровідності ( $\varepsilon$ ) шлаків феромарганцю (промислових та синтетичних) проводилася на установці, яка дозволяє одночасно міряти ці властивості в широкому інтервалі температур. В'язкість визначалася вібраційним віскозиметром (погрішність  $\pm 4,5-7,5\%$ ), а електропровідність методом ампер-вольтметр (погрішність  $\pm 7,8\%$ ).

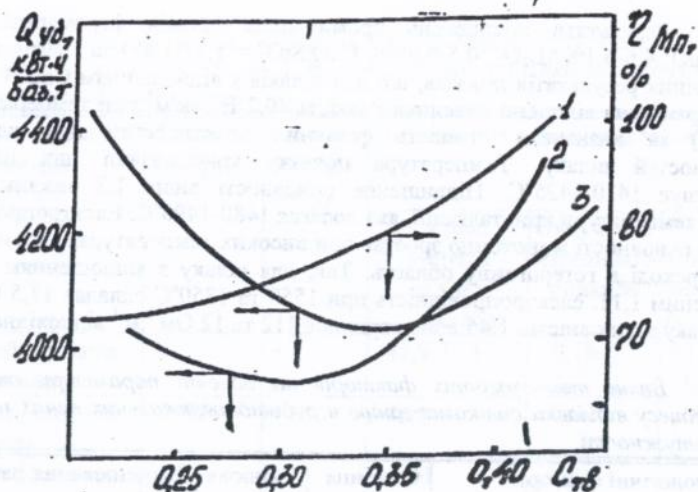


Рис. 3. Вплив відношення твердого вуглецю до марганцю в шихті на питомі витрати електроенергії (1 - піч РПЗ-48), (2 - піч РПЗ-63) та вилучення марганцю у сплав (3)

- 1)  $Q_{уд} = 6564 - 14936 C_{тв} + 21823 \cdot C_{тв}^2$ ;  $R = 0,40$
- 2)  $Q_{уд} = 6016 - 14129 C_{тв} + 23978 \cdot C_{тв}^2$ ;  $R = 0,45$
- 3)  $\eta_{Мп} = 89,96 - 137,9 C_{тв} + 336,9 C_{тв}^2$ ;  $R = 0,35$

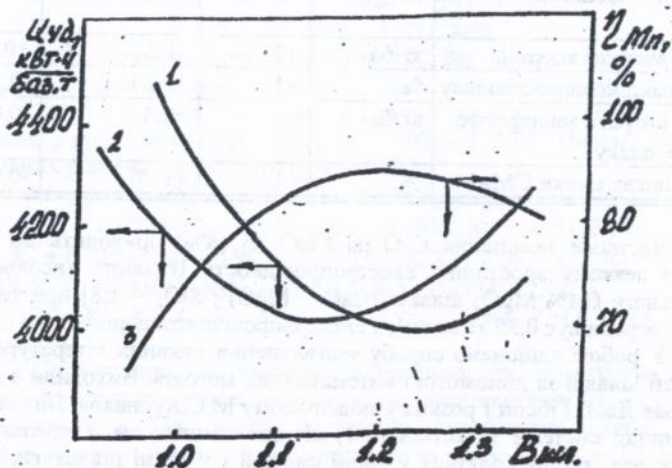


Рис. 4. Залежність питомих витрат електроенергії (1 - піч РПЗ-48, 2 - РПЗ-63) та вилучення марганцю від основності шлаку,  $(CaO + MgO)/SiO_2$

- 1)  $Q_{уд} = 16135 - 19950 V_{шл} + 8189 V_{шл}^2$ ,  $R = 0,40$
- 2)  $Q_{уд} = 12124 - 14160 V_{шл} + 6188 V_{шл}^2$ ,  $R = 0,39$
- 3)  $\eta_{Мп} = -532 + 1056 V_{шл} - 451,4 V_{шл}^2$ ,  $R = 0,37$

Результати досліджень промислових шлаків феромарганцю (1,8-3,3% $MgO$ ; 4,6-6,1% $Al_2O_3$ ; 0,5-0,9% $S$ ;  $CaO:SiO_2 = 1,11-1,45$ ) та графічний аналіз отриманих результатів показав, що для шлаків з відношенням  $CaO:SiO_2 = 1,11-1,25$  характерна відносно невелика в'язкість (0,2 Н.сек/м<sup>2</sup> при температурі вище 1500<sup>0</sup>С) та визначена стійкість фізичних властивостей при коливаннях властивостей шлаку. Температура початку кристалізації цих шлаків не перевищує 1410-1425<sup>0</sup>С. Підвищення основності вище 1,3 викликає різкий скачок температури кристалізації, яка досягає 1480-1490<sup>0</sup>С. Електропровідність з ростом основності монотонно зростає при високих температурах і швидко падає при переході в гетерогенну область. Так, для шлаку з відношенням  $CaO:SiO_2$  дорівнює 1,11, електропровідність при 1550 та 1350<sup>0</sup>С складає 17,5 Ом<sup>-1</sup>.м<sup>-1</sup>, а для шлаку з основністю 1,45 вона дорівнює 112 та 12 Ом<sup>-1</sup>.м<sup>-1</sup> відповідно.

Таблиця 5

*Вплив технологічних факторів на основні параметри оптимізації процесу виплавки силікомарганцю в рудовідновлювальних печах підвищеної потужності*

| Технологічні фактори                  | Одиниця виміру | Змінювання фактору | Змінювання параметру оптимізації               |                               |
|---------------------------------------|----------------|--------------------|--|-------------------------------|
|                                       |                |                    | Питомі витрати електричної енергії, кВт.г/б.т. | Вилучення марганцю в сшлав, % |
| Вміст Mn в вихідній сировині          | %              | +1                 | -50,1-69,5                                     | +0,7-1,62                     |
| Питомі витрати відходів               | кг/баз.т       | +1                 | -3,2   | +0,051                        |
| Доля фракційованого сшлаву            | %              | +1                 | +5,33  | -0,196                        |
| Питомі витрати малофосфористого шлаку | кг/баз.т       | +1                 | +0,4   | -0,0062                       |
| Вихід сшлаву марки СМn14              | %              | +1                 | +1,96  | -0,06                         |

Часткове заміщення  $CaO$  на  $MgO$  до (8%) приводить до зниження в'язкості і деякому зростанню електропровідності. В'язкість високоосновного магнезійного (14%  $MgO$ ) шлаку [ $(CaO + MgO) : SiO_2 = 1,8$ ] при температурі 1400<sup>0</sup>С не перевищує 0,35 Н.сек/м<sup>2</sup>, а електропровідність дорівнює 44 Ом<sup>-1</sup>.м<sup>-1</sup>.

У роботі здійснено спробу узагальнення наявних літературних даних по в'язкості шлаків за допомогою математичних методів. Виходили з положень, які висказав Дж.В.Гібсон і розвив у подальшому М.С.Курнаков. Він показав, що склад q-мірної системи задається (q-1)-мірним сімплексом, а кожній фазі або комплексу фаз, які знаходяться у даній системі і у стані рівноваги, відповідає визначений геометричний образ або своє рівняння, які виявляються безперервними.

Для опису залежностей властивостей шлаків від їх складу вибрана модель неповного поліному третього ступіню типу

Таблиця 6

Кількісний вплив технологічних факторів на основні показники виплавки високовуглецевого феромарганцю в рудовідновлювальних печах підвищеної потужності

| Технологічні параметри                | Одиниця виміру | Змінюваня параметру | Змінювання показників виробництва   |                               |                               |
|---------------------------------------|----------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                                       |                |                     | Питомі витрати ел.енерг. кВт.г/б.т. | Вилучення марганцю в сплав, % | Продуктивність печі баз.т/сут |
| Вміст марганцю в сировині             | %              | +1                  | -45,9-76,4                          | +0,76-1,5                     | +1,56-3,72                    |
| Питомі витрати відходів               | кг/баз.т       | +1                  | -1,14                               | +0,026                        | +0,008                        |
| Питомі витрати малофосфористого шлаку | кг/баз.т       | +1                  | +0,51                               | -0,0033                       | -0,03                         |
| Витрати мокрого вапняка               | кг/баз.т       | +1                  | +1,16-1,82                          | -                             | -0,051-0,057                  |

$$Y = b_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \sum \beta_{ijk} X_i X_j X_k \quad (12)$$

$$1 < i < j < k \quad 1 < i < j < k \quad 1 < i < j < k < q$$

де  $b_0$  - вільний член рівняння;  $\beta_i, \beta_{ij}, \beta_{ijk}$  - розраховані коефіцієнти;  $X_i, X_{ij}, X_{ijk}$  - вміст компонентів у шлаці, %;  $q$  - число компонентів.

Було отримано рівняння, які описують в'язкість шлаків у залежності від їх складу при температурі 1400, 1450, 1500 та 1550<sup>0</sup>C. Нижче приведено одне з отриманих рівнянь для температури 1400<sup>0</sup>C:

$$Y(\tau) = -124,211 + 4,382 X_1 + 2,389 X_2 - 12,527 X_3 + 1,336 X_4 + 13,0398 X_5 - 0,099 X_1 X_2 + 0,076 X_1 X_3 - 0,053 X_1 X_4 - 0,494 X_1 X_5 + 0,311 X_2 X_3 - 0,020 X_2 X_4 - 0,267 X_2 X_5 + 0,317 X_3 X_4 + 0,963 X_3 X_5 - 0,032 X_4 X_5 - 0,0025 X_1 X_2 X_3 + 0,0009 X_1 X_2 X_4 + 0,010 X_1 X_2 X_5 - 0,0064 X_2 X_3 X_4 - 0,0222 X_2 X_3 X_5 - 0,0049 X_3 X_4 X_5;$$

Тут  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5$  - вміст у шлаці  $\text{SiO}_2, \text{CaO}, \text{MgO}, \text{MnO}$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$  відповідно, %.

Сполученням комплексу теоретичних та практичних досліджень розроблено раціональні режими отримання феромарганцю з регламентованим вмістом кремнію. На основі фактичних виробничих даних розраховували залежність коефіцієнтів розподілу марганцю та кремнію  $L_{\text{Mn}} = (\text{Mn}) / [\text{Mn}]$ ;  $L_{\text{Si}} = (\text{Si}) / [\text{Si}]$ ;  $K_{\text{Mn, Si}} = [\text{Mn}]^2 \cdot (\text{SiO}_2) / (\text{MnO}) [\text{Si}]$  від деяких технологічних змінних:

#### Зміни:

Вміст марганцю, %:

|                        |                         |        |
|------------------------|-------------------------|--------|
| сировина $<\text{Mn}>$ | 41,0/51,8 <sup>x)</sup> | (45,6) |
| сплав $[\text{Mn}]$    | 76,0/82,0               | (78,9) |
| шлак $(\text{Mn})$     | 6,3/18,8                | (13,6) |

|   |           |         |
|---|-----------|---------|
| Основність шлаку (В),<br>(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub> | 0,8/1,33  | (1,15)  |
| Вміст у сплаві, %                                   |           |         |
| [Si]  | 0,1/4,5   | (1,36)  |
| [P]   | 0,39/0,57 | (0,497) |

х) - межі змінення: у численнику - мінімум, у знаменнику - максимум, у дужках - середне.

Графічну інтерпретацію отриманих залежностей показано на рис.5, 6.

Встановлено також, що для отримання в сплаві кремнію до 1% за вмістом марганцю в сировині 44-46%, основність шлаку повинна бути не нижча 1,2, відношення Ств/Мп у шихті - в межах 0,36-0,38, потужність печі - не більш 40 МВт.

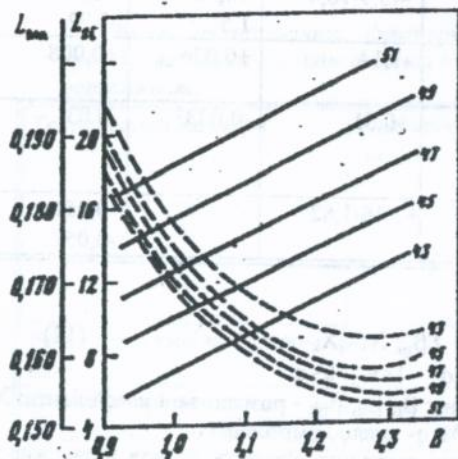


Рис.5. Вплив основності шлаку та якості сировини на розподіл марганцю і кремнію. Цифри біля кривих - вміст Mn в сировині, %

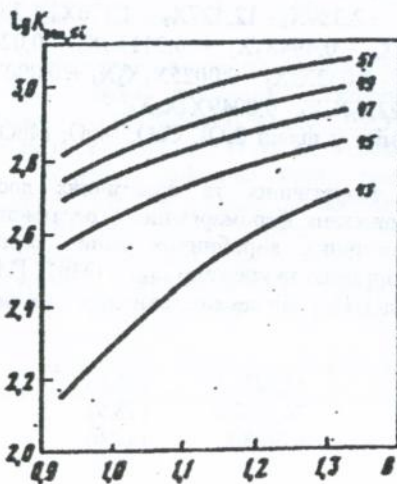


Рис.6. Залежність логарифму удаваної константи рівноваги від основності та якості сировини

Поряд з цими дослідженнями показано ефективність виплавки та отримання сплаву з підвищеною концентрацією кремнію. Окремі рівняння регресії, які дозволяють оцінювати кількісний вплив кремнію в сплаві на показники процесу виплавки феромарганцю, мають вигляд:

$$Q_{\text{уд}} = 5465 - 1063 [\%Si] + 152 [\%Si]^2;$$

$$P_p = 203,28 + 48,6 [\%Si] - 7,5 [\%Si]^2;$$

$$\eta_{\text{Ма}} = 68,2 + 4,08 [\%Si];$$

$$[\%P] = 0,47 - 0,030 [\%Si].$$

Виплавка феромарганцю з вмістом кремнію понад 2% збільшує продуктивність печі на 10%, вилучення марганцю в сплав на 4%, а питомі витрати електроенергії знижуються на 2%.

Дослідження фізико-хімічних властивостей даного сплаву показали, що температура плавлення його знижується на 4°C, а густина наближається до густини рідкої сталі. Використання цього сплаву при розкислюванні та легуванні сталі у ковші дозволяє знизити угар марганцю у 2-2,5 рази. Розроблені нові марки високремністого феромарганцю включені у ГОСТ 4755-80.

### *5. Розробка та впровадження технологічної схеми комплексного використання вторинних матеріальних ресурсів виробництва марганцевих феросплавів.*

З використанням сучасних методів досліджень (спектральний, диференційно-термічний, мікрорентгеноспектральний та ін.) вивчені відходи виробництва марганцевих шлаків. Відвальні шлаки та шлаковий пісок представлені силікатами марганцю, марганцево-силікатним склом, крупними (0-3 мм) та дрібними (<0 мм) частками металу (рис.7).

Вивчення фізичних властивостей відходів показало, що ці властивості лежать у широкому діапазоні значень, а це означає, що для кожного конкретного матеріалу потрібен індивідуальний підхід при розробці засобів його утилізації.

Дослідження хімічної взаємодії в оксидній системі Mn-Si-Ca-O у середовищах з різним окислювально-відновним потенціалом показали можливість використання вторинних матеріалів дрібних класів (шламу, пилу) сумісно з граншлаком феромарганцю при виробництві марганцевого агломерату у якості флюсоуючої домішки.

Введення у шихту при агломерації 9-10% шламів збільшує вихід придатного на 4-5%, а при введенні шлаку з пилом ветсистем цей показник збільшується до 20%. Поліпшує якість агломерату і введення у аглошихту 10-15% граншлаку феромарганцю, оптимальна кількість якого складає 3-6 кг/т агломерату. За таким співвідношенням міцність агломерату підвищується на 2,5-3%, а вміст фракції - 2 мм знижується на 3%. Найбільш високою механічною міцністю і підвищеною температурою плавлення володіє агломерат, отриманий з використанням шлакового піску

Для отримання агломерату з металоконцентратом оптимальний вміст останнього встановлено у межах 10%. Характерною особливістю мікроструктури цього агломерату є наявність захисної плівки поміж металевою та шлаковою фазами (рис.8).

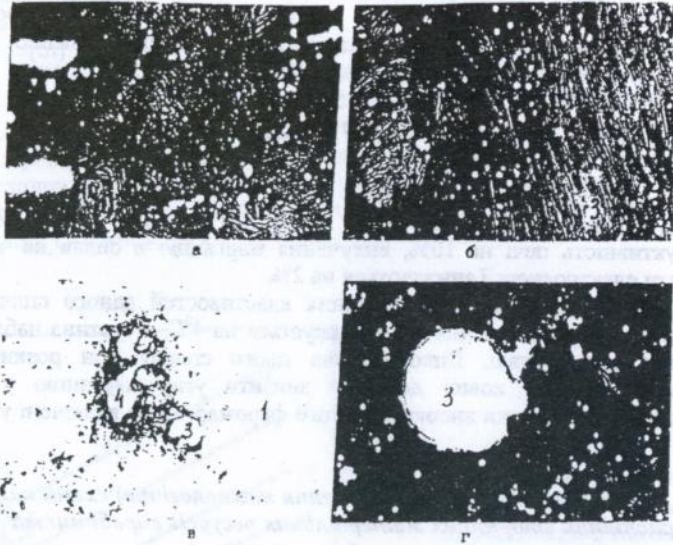


Рис.7.Мікроструктура відсівів шлакопереробки. 1 - силікати, 2 - скло, 3 - корольки металу, 4 - карбід кремнію, 5 - сульфід марганцю. Світло відбите, x320.



Рис.8.Часткове окислення корольків металу, запечених у агломераті. 1 - метал, 2 - окраець, 3 - марганцево-рудний розплав. Світло відбите, x500.

Обґрунтовано можливість та практично впроваджено використання вторинних матеріалів при виробництві сталі на металургійних підприємствах

України. Так, в умовах металургійного комбінату ім.Дзержинського у 25-т конверторах засвоєно технологію розкислювання киягчої та напівспокійної сталі (3кп і 3нс) у ковші з використанням металоконцентрату (віс.%): 45,7 Mn, 19,1 Si, 0,4 C, 0,23 P, 5,0 Fe, 3,5 Al<sub>2</sub> 2<sub>3</sub>, 7,3 CaO та некондиційної дрібниної силікомарганцю (віс.%: 66,5 Mn; 18,4 Si; 0,3 C; 0,36 P; 00,4 Fe; 07CaO). Доведено принципову можливість використання цих матеріалів у сталеплавильному виробництві. При цьому забезпечується економія 0,197-0,791 кг/т сталі силікомарганцю, а засвоєння марганцю підвищується на 1,1-1,4 порівняно з діючою технологією. Вміст сірки, фосфору і газів у дослідній сталі знаходиться на рівні плавок поточного виробництва.

### *6. Аналіз техніко-економічної та екологічної ефективності впровадження ресурсозберігаючої технології марганцевих феросплавів в умовах ВАТ "ІЗФ"*

За склавшимися в Україні масштабах виробництва продукції гірничо-металургійним комплексом проблема захисту навколишнього середовища та мінімізація відходів потребує постійної уваги.

Основним джерелом пилугазових викидів при виробництві марганцевих феросплавів є металургійна переробка, пов'язана з агломерацією концентратів, виплавою сплавів марганцю в рудовідновлювальних печах, їх розливкою та фракціонуванням.

Аглофабрика заводу обладнана двухступінчатою очисткою газів після агломерації при спіканні марганцевого агломерату. На першому ступені газів очищають у сухих поодиноких циклонах діаметром 1,5 м, на другому - низьконапорній трубі Вентурі (0,55 x 4,2 м) та центробіжному скрубєрі - кашеуловлювачу діаметром 6,5 м.

Для очистки технологічних газів рудовідновлювальних печей виробництва марганцевих феросплавів використовують мокру та суху схеми газоочисток. Фактична кількість газів, які поступають на очистку, складає 800-900 нм<sup>3</sup>/т сплаву.

При роботі заводу на проектній потужності сумарний вихід складає близько 192 тис.т у рік, із яких понад 97% уловлюється. Уловлений пил і шлаки використовуються в основному виробництві шляхом їх підшиховки у аглошихту і деяка частина відвантажується металургійним заводам для виробництва залізорудного агломерату з підвищенням вмістом марганцю.

Найбільша кількість твердих викидів при виробництві феросплавів утворюють відвальні шлаки, яких накопичилося за час роботи понад 8 млн.т. Розроблена та впроваджена на заводі схема комплексного використання вторинних ресурсів дозволяє повністю перероблювати шлаки поточного виробництва і почати їх утилізацію з шлакового відвалу. Впровадження розроблених заходів у виробництво дозволяє не тільки підвищити ефективність виплавки марганцевих феросплавів при постійному зниженні якості використовуємої сировини, але й значно знизити шкідливий вплив відходів виробництва на навколишнє середовище.

Вміст зважених речовин у атмосфері міста і на межах санітарної зони заводу не перевищує ПДК (0,5 мг/м<sup>3</sup>) і складає 0,13-0,35 мг/м<sup>3</sup>, у межах допустимих норм знаходиться і концентрація інших сполучень. Кількість викидів, забруднюючих навколишнє середовище, знизилася в 1996р. на 17% порівняно з 1995р.

Розроблена технологія виробництва низькофосфористого силікомарганцю з використанням у шихту брикетів із гранульованого малофосфористого шлаку і газового вугілля, яка забезпечує підвищення вилучення силікомарганцю на 20-25%, дозволяє не тільки поліпшити техніко-економічні показники процесу, але й значно знизити техногенне навантаження за рахунок різкого скорочення кількості відвального шлаку.

Перспективною є технологія виробництва високовуглецевого феромарганцю з заміною залізорудних окатишів відвальними шлаками виробництва феронікелю. Освоєна у промислових умовах технологія дозволяє підвищити продуктивність печі на 2,7%, вилучення марганцю на 1%, знизити витрати вапняка на 6% і електроенергії на 1,68%.

Виконані з участю автора багаточисленні дослідження, спрямовані на визначення: фізико-хімічних властивостей марганцеворудної сировини та її мінерального складу; відпрацювання раціональної технологічної схеми підготовки сировини до металургійного переробу; визначення розподілу основних та домішних елементів; встановлення оптимального співвідношення основних компонентів шихти та, перед усім, кількості відновника і його фракційного складу; удосконалення технології випуску і розливки сплаву; розробку та впровадження технологічної схеми утилізації вторинних матеріальних і енергетичних ресурсів; визначення кількісного впливу основних електротехнологічних параметрів процесу на показники виплавки та встановлення їх оптимальних меж; впровадження АСУ ТП у режимі управління роботою герметичними печами нового покоління та ін., дозволили при використанні низькосортної марганцевої сировини Нікопольського родовища забезпечити виробництво конкурентноспроможних сплавів та вивести завод до числа основних світових виробників марганцевих феросплавів.

Реальний економічний ефект від впровадження технології утилізації вторинних матеріалів склав у 1996 році 9,9 млн.грн. Розроблена ресурсозберігаюча технологічна схема комплексного використання марганцевмісних вторинних матеріалів відзначена Державною премією України.

### *Заклучення та основні висновки.*

Узагальнені і проаналізовані результати теоретичних та експериментальних досліджень і виконані на їх основі технологічні, дослідно-конструкторські і екологічні розробки, економічне обґрунтування вишлавки найбільш крупнотонажних марганцевих феросплавів - силікомарганцю і високовуглецевого феромарганцю - у понадпотужних рудовідновлювальних електropечях різноманітного типу: РПЗ-48, РПЗ-63, РПЗ-63ІІ, РКЗ-22,5 і РКГ-75, дозволяють зробити наступні основні висновки і принципові положення, совокупність і органічний взаємозв'язок яких і визначає актуальність роботи, головний науковий результат, практичну корисність і значимість, які заключаються у вирішенні найважливішої народно-господарської задачі феросплавної підгалузі чорної металургії України - впровадження ресурсозберігаючих технологічних схем виробництва конкурентноспроможних марганцевих сплавів на основі раціонального використання мінерально-сировинних та енергетичних ресурсів.

1. Всебічно проаналізований і узагальнений дослід вітчизняного і світового промислового виробництва та перспектив розвитку марганцеворудної

бази і виплавки феросплавів дозволяє заключити, що в складшихся умовах соціально-економічних реформ в Україні, в яких відбуваються реструктуризація економіки країни, феросплавна підгалузь чорної металургії та її основна складова - марганцеві феросплави - є одними з найбільш значних джерел валютних надходжень у бюджет України. Подальше нарощування експортних поставок марганцевих феросплавів пов'язано з необхідністю підвищення їх конкурентноспроможності за рахунок поліпшення якості за вмістом фосфору та зниження мінерально-сировинних і енергетичних витрат. На долю України припадає 21% світових запасів марганцеворудної сировини і вона є основним їх утримувачем у Євро-Азіатському регіоні. Основним імпортером марганцевих сплавів є Росія (295 тис.т у 1996р.), що у 1,17 рази більше, ніж усі країни дальнього зарубіжжя.

Приведено динаміку змінення якості марганцевих товарних концентратів, які виробляються гірничо-збагачувальними комбінатами Нікопольського басейну і постачаються заводу. Показано, що з 1960 до 1980 р.р. вміст марганцю у товарних концентратах щорічно знижувався у середньому на 0,47%, а у період з 1980 до 1996 р.р. - на 0,2%.

2. Виконаними дослідженнями розподілу основних та домішних елементів поміж продуктами плавки марганцевих феросплавів у понадпотожних рудовідновлювальних електропечах показано, що при виплавці силікомарганцю у метал переходить 80-85% фосфору і 78-82% марганцю, а при виробництві феромарганцю - 90-95% і 73-76% відповідно. Встановлено, що підвищення вмісту заліза на 1% приводить до зросту концентрації фосфору на 0,04%. Загальні втрати марганцю з вторинними матеріалами складають 18-27% від заданого.

Статистичною обробкою промислових результатів виплавки конкурентноспроможних марганцевих феросплавів із зниженим вмістом фосфору з використанням малофосфористого марганцевого шлаку виявлено, що при зниженні концентрації фосфору у силікомарганці на 0,1% питомі витрати електроенергії зростають на 190 кВт.г/баз.т, продуктивність печі та вилучення марганцю знижується відповідно на 16,3 баз.т/змін у і 2,17%. Порівняльною оцінкою металургійної цінності марганцеворудної сировини Нікопольського і зарубіжних родовищ визначено, що для отримання рівноцінного за якістю (0,1%P і 76%Mn) високовуглецевого феромарганцю з використанням вітчизняної сировини по технологічній схемі НЗФ потрібно додатково витратити: 3700 кВт.г/т електроенергії, 300 кг коксу, 800 кг вапняка і 90 кг залізорудних окатипів. Це знижує споживчу цінність марганцеворудної сировини вітчизняних родовищ у 3,5 рази.

3. Узагальнено і доповнено сучасні уявлення про природу фосфору у марганцеворудній сировині вітчизняних родовищ. Дослідженнями зразків марганцевих агломератів методом мікрорентгеноструктурного аналізу підтвержено, що фосфор виявляється у двох формах: основну його частину становлять індивідуальні фосфати кальцію і в меншій мірі фосфати заліза і марганцю, друга частина - фосфатизовані залишки. Виконан докладний аналіз даних науково-обґрунтованих експериментів і багаточислених розробок по виведенню фосфору із марганцевих феросплавів шляхом їх рафінування у рідкому стані. Показано, що не дивлячись на уявну простоту процесу позапічної обробки рідких марганцевих феросплавів металевим кальцієм (або кальційвміщуючими сплавами, фторидними флюсами), реалізація цих

технологій у промислових умовах в теперішній час виключена з-за технічної складності відбудови у реакторі дуже низького значення окислювального потенціалу, який виключає процес рефосфорації.

4. Термодинамічними розрахунками теоретично обґрунтовано інтенсифікаційний вплив металевого заліза і марганцю на відновлення фосфору вуглецем з трикальційфосфату, які зсувають рівновагу в область більш низьких температур. Так, температура початку відновлення трикальційфосфату вуглецем складає  $1023^{\circ}\text{C}$ , а у присутності марганцю і заліза вона знижується відповідно до  $935^{\circ}$  і  $975^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує більш повне відновлення і осаджування фосфору у металеву фазу.

Розроблено, досліджено і засвоєна технологія дефосфорації марганцевмісної сировини термомеханічним засобом, яка передбачає її відновлений випал в твердофазному стані в присутності металодобавок з наступним розподілом продуктів відновлення на оксидну та металеву фази. Використання математичного планування експерименту дозволило встановити оптимальні параметри твердофазної дефосфорації: температура випалу -  $1050-110^{\circ}\text{C}$ , кількість відновника - 15%, навантажка металоосаджувача - 14-17%, час випалу - 30 хвилин, що забезпечило в лабораторних умовах зниження концентрації фосфору у марганцевих концентратах на 34-67%. Виплавка високовуглецевого феромарганцю у великолабораторній електропечі (160 кВА) з використанням концентратів термомеханічної дефосфорації дозволила отримати сплав, який відповідає світовим стандартам за вмістом фосфору (нижче 0,45%), що вказує на перспективність розробленого засобу дефосфорації сировини.

5. Проведені комп'ютерні дослідження термодинаміки відновлювальних реакцій (процесів) при випалці силікомарганцю у руднотермічних електропечах у інтервалі температур  $1600-1800^{\circ}\text{C}$  методом мінімізації енергії Гібса дозволили розрахувати склад чотирьохфазної системи "газ-метал-шлак-кокс". Підвищення температури мало впливає на рівноважний вміст  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  і  $\text{SO}_2$  у газовій фазі, але збільшує майже на порядок долю  $\text{SiO}_2$  і пару марганцю (з 1 до 10% мол.) і магнію (з 0,02 до 0,2% мол.). У плаці підвищення температури відновлення практично не впливає на концентрацію  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , знижує долю окиду кремнію і збільшує долю  $\text{MnO}$  (приблизно у 1,1 рази). У метали зріст температури викликає деяке підвищення вмісту марганцю, заліза, фосфору, помітне збільшення концентрації кремнію та зниження вуглецю, тобто зниження долі  $\text{SiO}_2$  у плаці пов'язано з відновленням його до  $\text{SiO}$  і до кремнію, як в той же час мольна доля марганцю збільшується в усіх трьох фазах.

Розрахунки рівноваги за фіксованою температурою  $1650^{\circ}\text{C}$  і зміненою кількістю коксу у шихті показали, що збільшення витрат відновника (вуглецю) за постійною температурою веде до зростання долі  $\text{SiO}$  та пару магнію, але практично не впливає на долю пару марганцю і  $\text{SiO}_2$ .

Визначення розміру вилучення марганцю, кремнію і коефіцієнту розподілу елементів поміж шлаком і металом показало, що вплив температури у інтервалі  $1600-1800^{\circ}\text{C}$  слабкий, у той же час температура і витрати вуглецю сильно позначаються на вилученні марганцю і фосфору. У реальних умовах ці розміри будуть обмежені енерготехнологічними особливостями процесу.

6. З використанням методів математичної статистики досліджено кількісний вплив основних технологічних параметрів на показники виплавки та

якість малофосфористого марганцевого шлаку (40-42% Mn, 0,013-0,025%P) у промислових печах РКЗ-16,5 і РКЗ-22,5. Показано, що для забезпечення отримання шлаку з зниженим вмістом фосфору необхідно працювати на відношеннях: твердого вуглецю до марганцю (Ств/Mn) - 0,19; Mn/SiO<sub>2</sub> у шлаці 1,97. Виконаними фундаментальними дослідженнями фазового складу шлаку і розподілу елементів за ходом його розливки встановлено, що якість малофосфористого шлаку визначається наявністю у ньому супутного металу, який поданий як мікрокорольками (0,001-0,005 мм), так і більш великими (3-4 мм) включеннями. Як правило, мікрокорольки, які представляють собою первинний метал, вміщують підвищену кількість заліза 55-60%, марганцю 25-30% і фосфору 13-15%, а більш великі мають складний склад і подані двома фазами: світлою, яка складається із марганцю (73,4%), заліза(17,3%) і фосфору(0,14%), і темною відповідно 57-60%, 20-28% і 11-32%. Концентрація фосфору в оксидних фазах малофосфористого шлаку - манганозиті, глаукохроті і склі близька до рівня фону. На основі досліджень комплексу фізико-хімічних властивостей малофосфористого шлаку - в'язкість; поверхневий натяг на межі розподілу метал-шлак, шлак-газ, швидкість осадження корольків супутного металу- розроблена, досліджена і впроваджена у промислових умовах технологія виплавки малофосфористого шлаку з використанням у шихті в якості металоосаджувача супутного металу. Показано, що введення у шихтову суміш непідготовленого за фракційним складом супутного металу у кількості 50 кг на базову тону шлаку, дозволяє підвищити вилучення марганцю на 1%, вихід шлаку із зниженим вмістом фосфору на 3,6%, знизити витрати агломерату на 15 кг/баз.т і коксу на 5,9 кг/баз.т. Показано перспективність використання вторинних металоосаджувачей для поліпшення якості шлаку і показників його виплавки.

7. У період вводу експлуатацію і освоєння головного зразку штифелектродної, закритої, прямокутної рудовідновлювальної електропечі РПЗ-48МО1, який вперше у світовій практиці був використаний для виробництва феросплавів, виявлено цілий ряд суттєвих конструктивних недоліків, котрі усувалися при будівництві та реконструкції діючих плавильних агрегатів.

Проведено унікальні дослідження характеру руйнування футеровки печей типу РКЗ-16,5 і РПЗ-48 дозволили суттєво розширити уявлення про фізико-хімічні процеси, які протікають у промислових високотемпературних агрегатах, дати цілком однозначні рекомендації по усуненню конструктивних недоліків. Встановлено, що руйнування суцільності у період засвоєння печей РПЗ-48(63) проходило по швах між вугільними блоками з наступним їх підривом та впливанням.

Збільшення глибини плавильного простору ванни печі з 2850 мм до 3800-4500 мм; футеровка поду печі обробленими вугільними блоками з укладкою на торець і захисним набивним шаром із подової маси спеціального складу; відбудова буферного шару на подині від 350 до 500 мм; змінення системи підвіски своду, яка знижує енергетичні витрати з вихровим струмом; удосконалення конструкції льоточних вузлів та впровадження машин для закриття і відкриття льоток, змінення загрузки шихти в піч, яка виключає сегрегацію шихтових матеріалів на колошнику, забезпечили надійну і стабільну роботу рудовідновлювальних електропечей підвищеної однинної потужності та подовжили міжремонтний термін їх експлуатації до 8-10 років.

8 За допомогою петрографічних досліджень проб виломків, відібраних за висотою печі при її зупинці на капітальний ремонт, уточнено механізм та послідовність перетворення шихтових матеріалів та формування розплаву по мірі пересування їх від колошника до подини ванни. Показано, що на глибині 1300 мм від верхньої крошки ванни печі знайдено продукти відновлення - корольки металу, карбід кремнію (SiC) та монооксид кремнію (SiO) у склі. Із збільшенням глибини (2000 мм) відзначено розчинення кварциту у шлаці, наявність бустамиту ( $\text{Ca}_3\text{Mn}_3\text{Si}_3\text{O}_9$ ) та тейфруту ( $\text{Mn}_2\text{SiO}_4$ ). У шлаці знайдено значну кількість манганозиту (MnO) та сульфідів марганцю (MnS), вміст яких у шлаці силікомарганцю раніш виключався, тому що як вважалося сірка при електроплавці досить повно виводиться за рахунок випаровування. При подальшому просуванні матеріалів до подини інтенсивно протікають процеси карбидоутворення.

9. Розроблено методику комплексних досліджень температурного режиму роботи рудовідновлювальних електропечей різних типів, які вводилися у різні періоди часу - шостиелектродних з прямокутною ванною РПЗ-48(63) та РПЗ-63ІІ, круглих трьохелектродних РКГ-75 та РКЗ-16,5(22,5). Виконано розрахунки по визначенню теплоенергетичних характеристик, що дозволили вперше кількісно оцінити тепловий баланс роботи печей. Встановлено, що тепловий ККД печей різних типорозмірів коливається від 67%(РПЗ-48) до 85%(РКГ-75) і залежить, поперед усього, від геометричних параметрів ванни печей, фактичної потужності та виду виплавляемого сплаву; у структурі енергетичних витрат основна доля припадає на витрати з охолоджуючою водою - 79,2%(РКГ-75) та 88,9%(РПЗ-48). Впровадження рекомендацій по змінненню геометричних параметрів печей (збільшення глибини ванни з 2850 до 3850-4500 мм) і забезпеченню їх роботи на оптимальних межах фактичної потужності (при виплавці силікомарганцю - 48-50 МВт, феромарганцю - 36-38 МВт) дозволило підвищити коефіцієнт використання підведеної потужності для печей РПЗ-48 з 60% до 71% і печей РПЗ-63ІІ з 64% до 75%.

10. Багатофакторним аналізом великого масиву статистичних даних роботи промислових печей визначено кількісні взаємозв'язки основних енерготехнологічних параметрів процесу виплавки марганцевих феросплавів у сучасних рудовідновлювальних електропечах та встановлено оптимальні межі основних керуємих змінних.

Досліджено вплив фактичної потужності печей на основні показники процесу виплавки силікомарганцю, визначено оптимальні межі цього найважливішого електричного параметру, які складають для печей РКГ-75 - 39-41 МВт та РПЗ-48(63) - 48-50 МВт, а для печей, які виплавляють високовуглецевий феромарганець - 36-38 Мвт. Встановлено кількісний вплив концентрації марганцю у вихідній сировині на основні виробничі показники виплавки силікомарганцю. Підвищення вмісту марганцю на 1% збільшує вилучення його у сплав на 0,7-1,62%, знижує питомі витрати електроенергії на 50-69,5 кВт.г/т, підвищує продуктивність печі на 3,2-5,03 баз.т/добу та зменшує витрати марганцевої сировини на 12,7-28,3 кг/т.

Утилізація одного кілограму металовміщуючих відходів власного виробництва дозволяє заощадити на кожній тоні силікомарганцю 3,2 кВт.г електроенергії і підвищити на 0,05% вилучення марганцю.

Показано, що використання для виплавки силікомарганцю агломерату, спілкаемого з суміші оксидних концентратів П сорту і карбонатних, доля яких за

останній час зросла з 18 до 46% привело до підвищення вмісту фосфору у сплаві вище 0,60%. Порівняльною оцінкою металургійної цінності оксидних і карбонатних концентратів показано, що при виплавці силікомарганцю із карбонатного концентрату на 1 т силікомарганцю однакової якості за вмістом фосфору необхідно додатково витратити 320 кг малофосфористого шлаку, 12 кг кварциту, 30 кг коксую і 274 кВт.г електроенергії.

11. Встановлено, що при виплавці високовуглецевого феромарганцю у промислових електропечах підвищення вмісту марганцю у вихідній сировині на 1% збільшує вилучення марганцю на 0,7-1,5% і продуктивність печі на 1,56-3,72 баз.т/добу, питомі витрати електроенергії при цьому знижуються на 45,9-76,4 кВт.г/баз.т. Збільшення витрат мокрого вапняка на 1 кг/баз.т підвищує питомі витрати електроенергії на 1,16-1,82 кВт.г/баз.т і знижує продуктивність печі на 0,05-0,057 баз.т/добу, а 1 кг малофосфористого шлаку і металовмістивих відходів власного виробництва змінюють ці показники на 0,51, 1,14 кВт.г/баз.т та 0,03, 0,008 баз.т/добу відповідно.

Встановлено оптимальні значення основних управляючих технологічних факторів, забезпечуючих мінімальні витрати електроенергії та максимальне вилучення марганцю у сплав при виплавці вуглецевого феромарганцю: відношення твердого вуглецю до марганцю у шихтовій суміші 0,29-0,34, основність кінцевого шлаку  $[(CaO+MgO)/SiO_2]$  1,17-1,22 і вміст кремнію у сплаві 2,47-2,67%.

12. Виконаними дослідженнями в'язкості та електропровідності окисних систем встановлено, що в'язкість шлаків вуглецевого феромарганцю, виплавляемого в електропечах великої потужності, за температурою  $>1500^{\circ}C$  складає 0,2 Н.сек/м<sup>2</sup>, а електропровідність 8—90 Ом<sup>-1</sup>.м<sup>2</sup>. З зростанням основності  $[(CaO + MgO)/SiO_2]$   $>1,3$  в'язкість підвищується, а електропровідність знаходиться у межах 110-115 Ом<sup>-1</sup>.м<sup>-1</sup>. Температура початку кристалізації високоосновних шлаків досягає 1480-1490<sup>o</sup>C. З цієї точки зору оптимальною є основність кінцевого шлаку, яка лежить у межах 1,15-1,25. Показано принципову можливість узагальнення досліджень фізичних властивостей багатокомпонентних систем за допомогою математичних методів. Отримано рівняння у вигляді неповного поліному третього ступеня, які дозволяють розраховувати в'язкість групи шлаків за температурою 1400, 1450, 1500 і 1550<sup>o</sup>C.

Досліджено розподіл марганцю і кремнію у залежності від якості марганцьовмісної сировини і основності шлаку. Встановлено, що для отримання сплаву з концентрацією кремнію до 1%, при вмісті марганцю у сировині 44-46% основність шлаку повинна бути не нижче 1,2, відношення вуглецю до марганцю в шихті у межах 0,36-0,38, потужність печі - не більш 40 МВт. Експериментально встановлено, що з збільшенням вмісту кремнію у сплавах системи Mn-Fe-Si-C температура плавлення і густина їх знижуються. Так, температура плавлення високовуглецевого феромарганцю, вміщуючого 3-8%Si, на 40-70<sup>o</sup>C нижча ніж у сплаві з кремнієм до 1%. Виплавка високремністого феромарганцю у промислових електропечах дозволяє підвищити вилучення Mn на 4-5%, продуктивність електропечі на 3-5% і знизити питомі витрати електроенергії на 4-6% та вміст фосфору на 0,03-0,05%.

13. Проведеними дослідженнями із залученням сучасних методів хімічного, спектрального, диференційнотермічного, мікрорентгеноспектрального і петрографічного аналізів визначено основні фізико-хімічні

властивості і речовий склад вторинних матеріалів виробництва марганцевих феросплавів. Розроблено основні напрямки комплексного використання марганцевмісних відходів - шлаків (16-28%Mn), шлаків (10-14%Mn) і металомістивих матеріалів у власному виробництві та суміжних галузях промисловості. Досліджена, розроблена і впроваджена в умовах ВАТ "ІЗФ" наскрізна технологія сумісної агломерації концентратів нікопольських руд і вторинних марганцевмістучих матеріалів феросплавного виробництва і виплавки силікомарганцю MnC17 з його використанням. Показано ефективність використання шлаків, пилу та відсівів шлакопереробки сумісно з первинною марганцевмісною сировиною. Засвоєно технологію виплавки силікомарганцю з використанням металоконцентрату (44-50%Mn, 0,3-0,4%P), введення якого у кількості 3,2% від маси марганцевмісної сировини дозволяє підвищити вилучення марганцю на 1,9%; продуктивність печі РПЗ-48 на 8,9%; а питомі витрати електроенергії знизити на 8,3%. У промислових умовах Дніпровського металургійного комбінату ім. Дзержинського відпрацьована технологія виробництва сталі з використанням ковшових залишків, некондиційної дрібнини силікомарганцю і металоконцентрату замість стандартного силікомарганцю, яка дозволяє підвищити засвоєння марганцю на 3,4-5,1% і знизити загальні витрати марганцевих феросплавів.

14. Розроблена, освоєна та впроваджена технологія виробництва марганцевих феросплавів у понадпотужних рудовідновлювальних електропечах з використанням низькосортної марганцевої сировини Нікопольського родовища, яка забезпечує виробництво конкурентноспроможних на світовому ринку сплавів масового сортаменту, раціональне використання мінерально-сировинних і енергетичних ресурсів на основі утилізації вторинних марганцевмісних матеріалів у власному виробництві і суміжних галузях промисловості, підвищення ефективності виплавки за постійною знижкою якості вихідної сировини. Повернення у виробництво вторинних марганцевих матеріалів дозволяє щорічно економити від 50 до 100 тис.т марганцевих концентратів у перерахунку на базовий вміст марганцю (48%) і довести вилучення марганцю при виплавці силікомарганцю до світового рівня (82-85%). Реальний економічний ефект у 1996 р. склав 9,9 млн.грн. За розроблену ресурсозберігаючу технологію присуджена Державна премія України у галузі науки та техніки.

15. Отримані у дисертаційній роботі результати широко використані при плануванні виробництва і розробці ТЕО нових технологічних схем і Державних стандартів на марганцеві сплави, а також в учбовому процесі при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виконанні дипломних та курсових робіт у Державній металургійній академії України.

#### *Основний зміст дисертації відображено у наступних публікаціях*

1. Металургія марганцю України. / Величко Б.Ф., Гаврилов В.О., Гасик М.І., Грищенко С.Г., Коваль О.В., Овчарук А.М.// Київ, "Техніка", 1996, -471 с.

2. Овчарук А.М. Теоретичні основи і технології виробництва марганцевих феросплавів вуглеводотермічним процесом.// Дніпропетровськ. ДНВП "Системні технології", 1977. -105с.

3. Пуск потужної закритої печі на Нікопольському заводі феросплавів та освоєння технології виробництва силікомарганцю з використанням агломерату./ М.М.Деханов, Б.Ф.Лобжандзе, В.А.Кравченко, А.М.Овчарук та ін.// Сталь.-1970.-№8.- С.34-39.

4. Піонтковський О.Д., Гринберг Л.Я., Пашков Ю.П., Овчарук А.М./ Про гарнісаж у ванні феросплавної печі при виплавці малофосфористого марганцевого шлаку безперервним процесом.// Вогнетриві.-1970.-№7.-С.27-35.

5. Дослідження впливу кількості агломерату у шихті на техніко-економічні показники виплавки силікомарганцю./ В.І.Матюшенко, С.І.Хитрик, Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук та ін.// Бюлетень ЦНДІЧМ.-1971.-№13(657).-С.37-39.

6. Освоєння виплавки силікомарганцю у прямокутних феросплавних печах РПЗ-48./ В.І.Матюшенко, С.І. Хитрик, Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук та ін.// Бюлетень ЦНДІЧМ.-1972.-№2 (670).-С.30-33.

7. До питання електричного режиму та параметрів печей РПЗ-48, які виплавляють товарний силікомарганець./ В.І.Матюшенко, В.А.Кравченко, А.М.Овчарук та ін.// Металургія і коксохімія: К. Техніка. 1972.-Вип.31-С.38-41.

8. Вплив фактичної потужності печі РПЗ-48 на основні техніко-економічні показники процесу виплавки силікомарганцю./ В.І.Матюшенко, Ю.В.Чепеленко, В.О.Кравченко, А.М.Овчарук та ін.// Металургія і коксохімія: К.: Техніка. 1972.-Вип.31.-С.32-34.

9. Економічна оцінка якості марганцевої сировини при виплавці силікомарганцю у потужних електропечах./ С.І.Хитрик, Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук та ін.// Бюлетень ЦНДІЧМ. 1973.-№6.-С.32-33.

10. Використання методів математичної статистики для аналізу процесу виплавки товарного силікомарганцю./ А.М.Овчарук, С.І.Хитрик, Ю.В.Чепеленко, Л.Ф.Петлеваний.// Вісті вузів. Чорна металургія, 1974.-№2-С.77-81.

11. Технологічні особливості виплавки товарного силікомарганцю у закритих печах РКЗ-16,5 та РПЗ-48./ Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук, Л.Ф.Петлеваний та ін.// 36. Марганець.-Тбілісі.-1974.-№1(38).-С.

12. Оптимізація виплавки силікомарганцю у печах РПЗ-48./ А.М.Овчарук, Ю.В.Чепеленко, С.І.Хитрик та ін.// 36. НДІМ. Виробництво феросплавів.-Металургія, 1974.-№3, С.14-18.

13. Робота реконструйованої печі РПЗ-48 на проектній потужності./ Ю.В.Чепеленко, В.І.Матюшенко, А.М.Овчарук та ін.// 36. НДІМ. Виробництво феросплавів.-Металургія, 1974.-№3, С.5-10.

14. Вплив якості сировини на показники процесу виплавки силікомарганцю у закритих печах високої потужності./ А.М.Овчарук, С.І.Хитрик, Ю.В.Чепеленко та ін.// Металургія і коксохімія: К.: Техніка, 1974.-Вип.39.-С.12-14.

15. Поведінка фосфору при виплавці силікомарганцю у закритих печах високої потужності./ А.М.Овчарук, Ю.В.Чепеленко, А.Г.Кучер та ін.// Металургія і коксохімія: К.: Техніка.-Вип.39.-С.17-20.

16. Виплавка силікомарганцю із малофосфористого шлаку./ В.Й.Ішутін, Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук та ін.// 36.НДІМ. Виробництво феросплавів.-Металургія, 1974.-№3. С.19-22.

17. Підвищення якості малофосфористого марганцевого шлаку./ Ю.В.Чепеленко, О.Г.Ганцеровський, В.І.Ішутін, А.М.Овчарук.// Бюлетень ЦНДІЧМ, 1974.-№20.-С.44-45.

18. Оптимальні технологічні умови виплавки силікомарганцю у печах високої потужності./ Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук, В.Т.Зубанов та ін.// 36.Марганець, - Тбілісі, 1975.- №6(47).-С.44-45.

19. Ефективність виробництва та використання високоекремністого вуглецевого феромарганцю./ І.П.Рогачов, Ю.В.Чепеленко, І.П.Казачков, А.М.Овчарук.// Інформація ін-та Чорметінформація, 1977.-серія 5.-Вип.4.-С.1-12.

20. Ганцеровський О.Г., Чепеленко Ю.В., Овчарук А.М./ Використання математичних методів для узагальнення даних про в'язкість шлаків.// Вісті вузів. Чорна металургія, 1977.-№10-С.38-41.

21. Виплавка низькокремністого вуглецевого феромарганцю у електропечах високої потужності./ Ю.В.Чепеленко, О.Г.Ганцеровський, А.М.Овчарук, Б.Ф.Величко.// Інформація ін-та Чорметінформація.-1977.-серія 5.-Вип.4.-С.13-17.

22. В'язкість та електропровідність шлаків феромарганцю електротермічного виробництва./О.Г.Ганцеровський, С.І.Хитрик,

- Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук.// Виробництво феросплавів.-Межвузівський республіканський Зб.-Кемерово, 1976.-Вип.3.-С.56-65.
- 23.Вплив основних технологічних факторів на показники процесу виплавки феромарганцю в електропечах РПЗ-48М2./ О.Г.Ганцеровський, Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук та ін.// Сталь.-1978.-№15.С.434-436.
- 24.Розподіл елементів при виплавці вуглецевого феромарганцю в печах типу РПЗ-48./ О.Г.Ганцеровський, С.И.Хитрик, А.М.Овчарук та ін.// Металургія і коксохімія: К.: Техніка, 1978.-Вип.56.-С.51-53.
- 25.Виплавка висококремністого вуглецевого феромарганцю в електропечах./ І.П.Рогачов, А.М.Овчарук, Ю.В.Чепеленко та ін.// Сталь.-1978.-№11-С.1018-1019.
- 26.Отримання та промислові іспити висококремністого феромарганцю при виробництві конструкційної сталі./ І.П.Рогачов, І.Б.Паримончик, А.М.Овчарук та ін.// Зб.Виробництво феросплавів.-Кемерово: РІВ КузПІ., 1978.- №4.- С.81-87.
- 27.Ефективність розкислення спокійної сталі висококремністим феромарганцем./ І.П.Рогачов, І.Б.Паримончик, І.П.Казачков, А.М.Овчарук.// Бюлетень ЦНДІЧМ Чорметінформація.- 1980.- №2.-С.33-34.
- 28.Овчарук А.М., Рогачов І.П./ Дослідження та розробка раціонального складу нових легкоплавких марганцевих феросплавів.// Зб.:Теорія та практика металургії.-М.:Наука, 1980.-С.33-34.
- 29.Дослідження технології виплавки легкоплавких марганцевих феросплавів та їх використання при виробництві сталі./ А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, І.П.Казачков та ін.// Зб.: Теорія та практика металургії.-М.: Наука, 1980.-С.118-123.
- 30.Вплив якості марганцевої сировини на ефективність виробництва феросплавів у електропечах./ А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, О.Г.Ганцеровський.// Експрес-інформація ін-та Чорметінформація. Феросплавне виробництво.- 1981.- Вип.5.-12с.
- 31.Рогачов І.П., Овчарук А.М. Розподіл кольорових металів при виплавці марганцевих сплавів із руди Ушкатинського родовища.// Зб.: Фізико-хімічні процеси у електротермії феросплавів.-М. Наука, 1981.- С.119-123.
- 32.Багатофакторний аналіз виробництва електрошного феромарганцю./ О.Г.Ганцеровський, Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук, С.И.Хитрик // У кн.: Фізико-хімічні процеси в електротермії феросплавів.- М. Наука, 1981.- С.19-25.
- 33.Освоєння виплавки силікомарганцю у герметизованій електропечі./ В.І.Матюшенко, Л.Ф.Петлеваний, Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук.// Металургія і коксохімія.- К., Техніка.-1981.- Вип. 74.- С.45-47.
- 34.Виробництво та використання вуглецевого феромарганцю з підвищеним вмістом кремнію./ І.П.Рогачов, Ю.В.Чепеленко, А.М.Овчарук та ін.// Сталь.- 1981.-№10.-С.41-42.
- 35.Утилізація марганцевмісних відходів феросплавного виробництва./ І.П.Рогачов, А.М.Овчарук, М.А.Рунов та ін.// Експрес-інформація ін-та Чорметінформація. Феросплавне виробництво.- 1982.- Вип.8.- 4с.
- 36.Зневоднювання, окискування та утилізація марганцевмісних шламів./ А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, М.І.Гасик, О.Г.Ганцеровський.// Зб.: Зниження витрат при виробництві феросплавів.- М., Металургія, 1982.- С. 153-158.
- 37.Дослідження речовинного складу та фізичних властивостей марганцевмісних відходів./ І.П.Рогачов, А.М.Овчарук, А.В.Петров та ін.// Зб.: Фізико-хімія та металургія марганцю.- М. Наука, 1983.- С.77-80.
- 38.Порівняльний аналіз структури енергетичних витрат герметичних рудовідновлювальних електропечей, які вищлавають силікомарганець./ А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, Л.Ф.Петлеваний та ін.// Зб.: Удосконалення технології виробництва марганцевих сплавів.- Тбілісі.- Сабчота Сакартвел.- 1983.- С.39.
- 39.Технологія отримання марганцевого агломерату з використанням вторинних матеріалів./ А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, Л.Ф.Петлеваний та ін.// Зб.: Удосконалення технології виробництва марганцевих сплавів.- Тбілісі.- Сабчота Сакартвел.- 1983.- С.28.

40. Дослідження технології металургійного переробу піску силікомарганцю.// А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, В.А.Гладких та ін.// *Металургія і коксохімія*. - К. Техніка, 1983. - Вип. 81, С.53-60.
41. Маловідходна технологія виробництва марганцевих сплавів.// С.Г.Грищенко, І.П.Рогачов, А.М.Овчарук та ін.// *Металург.* - 1984, №5. - С.2226-27.
42. Технологія виплавки трубної сталі з використанням марганцевмісних відходів феросплавного виробництва.// Є.М.Кривко, І.П.Рогачов, П.І.Чуб, Ю.М.Гладилин, А.М.Овчарук та ін.// *Бюлетень ЦНДІЧМ Чорметінформація*. 1984. - №9. - С.39.
43. Рогачов І.П., А.В.Петров, Овчарук А.М./ Дослідження процесу спікання марганцеворудної сировини з відходами феросплавного виробництва.// *Металургія і коксохімія*. - К. Техніка, Вип.85. - С.50-52.
44. Рогачов І.П., Овчарук А.М./ Речовинний склад марганцевмісного пилу газоочищення аспіраційних систем.// У кн.: *Фізико-хімічні дослідження маловідходних процесів у електротермії*. - М. Наука, 1985. - С.65-67.
45. Шляхи утилізації некондиційних марганцевмісних матеріалів.// І.П.Рогачов, А.М.Овчарук, Б.Ф.Величко та ін.// *Обзорна інформація*. - Чорметінформація, сер. Феросплавне виробництво, 1986. - Вип.3. - 24с.
46. Речовинний склад марганцевмісного металоконцентрату.// І.П.Рогачов, К.Д.Івченко, А.М.Овчарук, С.Г.Грищенко.// *Металургія і коксохімія*. - К. Техніка, 1986. - Вип.90. - С.53-56.
47. Дослідження мікроструктури марганцевого агломерату з металовмістивими добавками.// А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, В.С.Ляшенко, А.В.Петров.// *Вісті вузів*. - Чорна металургія, 1988. - №10. - С. 78-84.
48. Дослідження технології виплавки силікомарганцю з використанням металоконцентрату.// І.П.Рогачов, А.М.Овчарук, С.Г.Грищенко, К.Д.Івченко.// 36. праць НДІМ: Підвищення ефективності та якості феросплавів. - М. Металургія, 1986. - С.52-56.
49. Використання шлаків виробництва силікомарганцю та металоконцентрату при виплавці сталі у конверторі.// І.П.Рогачов, Є.М.Кривко, П.І.Чуб, А.М.Овчарук та ін.// *Сталь*, 1987. - №2. - С.29-31.
50. Дослідження технології отримання неокислого марганцевого агломерату з використанням вторинних матеріалів.// А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, А.В.Петров, С.Г.Грищенко.// 36. праць Сибірського металургійного інституту. Виробництво феросплавів. - Новокузнецьк, 1987. - С. 32-35.
51. Утилізація некондиційних марганцевмісних матеріалів у сталеплавильному виробництві.// І.П.Рогачов, П.І.Чуб, І.І.Люборець, А.М.Овчарук та ін.// *Металургійна і гірничорудна промисловість*. - Дніпропетровськ. Промінь, 1987. - №3. - С.43.
52. Технологічні особливості виплавки та шляхи підвищення якості малофосфористого шлаку.// П.Ф.Мироненко, О.Г.Гандзеровський, А.М.Овчарук, І.П.Рогачов.// *Металургія і коксохімія*. К. Техніка, 1989. - Вип.99. - С.61-64.
53. Перспективи виробництва низькокремистого феромарганцю.// О.Г.Гандзеровський, А.М.Овчарук, І.П.Рогачов, П.Ф.Мироненко.// *Металургія і коксохімія*. К. Техніка, 1989. - Вип.99. - С.68-70.
54. Овчарук А.М., Рогачов І.П., Кузнецова А.А./ Термічна дефосфорація марганцевих концентратів.// *Матеріали національної науково-технічної конференції: Нові та удосконалені технології для окускування сировини і виробництва чавуну та феросплавів*. - Варна, Болгарія. -1990.-С. 15.
55. Овчарук А.М., Величко Б.Ф., Рогачов І.П./ Рациональні схеми підготовки та утилізації вторинних ресурсів виробництва марганцевих феросплавів.// *Матеріали національної науково-технічної конференції: Нові та удосконалені технології для окускування сировини і виробництва чавуну та феросплавів*. - Варна, Болгарія. 1990. - С. 37.
56. Формування структури офлюсованого марганцевого агломерату у процесі спікання.// М.І.Гасик, П.Ф.Мироненко, А.М.Овчарук та ін.// *Теорія та практика металургії марганцю*. 1981. М. Наука, С.126-131.
57. Комплексна технологія утилізації відвальних шлаків, пилу і шлаків, які утворюються при виплавці марганцевих сплавів і електроплавлених флюсів.// Б.Ф.Величко, М.І.Гасик, О.В.Коваль, Г.Д.Ткач, А.М.Овчарук та ін.// *Сталь*, 1991. - №10. - С.74-77.

58. Передовий досвід утилізації вторинних ресурсів виробництва марганцевих феросплавів./ Б.Ф.Величко, І.П.Рогаčov, А.М.Овчарук та ін.// Дніпропетровськ.- Редвігдлі облполіграфвддатництва, 1991.- 55с.

59. Ресурсозберігаюча технологія виплавки високовуглецевого феромарганцю./ Коваль О.В., Овчарук А.М., Люборець І. та ін.// Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Сучасний стан і перспективи розвитку електротермічного виробництва кольорових металів, феросплавів та інших неорганічних матеріалів". - Дніпропетровськ, 1994. - С.40-41.

60. Узагальнення досвіду освоєння технології силікомарганцю у рудовідновлювальних печах підвищеної потужності./ Величко Б.Ф., Гасик М.І., Овчарук А.М. та ін.// Труды міжнародної науково-практичної конференції "Теорія та практика електротермії феросплавів.- Нікополь, 1996.- С.165-166.

61. Ресурсозберігаюча технологія виплавки високовуглецевого феромарганцю. /А.В.Коваль, А.М.Овчарук, І.І.Люборець та ін.// Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Сучасний стан та перспективи розвитку електротермічного виробництва кольорових металів, феросплавів та інших неорганічних матеріалів".- Дніпропетровськ, 1994. - С.40-41.

62. Узагальнення досвіду освоєння технології силікомарганцю у рудовідновлювальних електропечах підвищеної потужності./ Б.Ф.Величко, М.І.Гасик, А.М.Овчарук та ін.// Праці Міжнародної науково-практичної конференції "Теорія та практика електротермії феросплавів.- Нікополь, 1996.- С. 1265-166.

По темі дисертації отримані авторські свідоцтва СРСР: 4511776, 8833185, 952983, 973631, 975819, 985067, 998555, 1070190, 1157079, 1178789, 1276674, 1291619, 1296619, 1321754, 1342927, 1375672, 1446181, 1458411, 1468596, 1467092, 1541293, 1621522, 1650749, 1691417, 1693106 и патенти України 940, 9198, 9199, 9385, 9386, 9388, 9389, 9384, 9392.

**Овчарук А.М. Ресурсозберігаючі технології виплавки конкурентноспроможних марганцевих феросплавів у потужних електропечах на основі раціонального використання марганцевих концентратів та вторинних матеріалів.**

Дисертація на здобуття вченого ступеню доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.02 - Металургія чорних металів, Державна металургійна академія України, м.Дніпропетровськ.

Робота присвячена вирішенню актуальної проблеми виробництва конкурентноспроможних марганцевих феросплавів масового асортименту у понадпотужних рудовідновлювальних електропечах з використанням низькосортної вітчизняної сировини. Досліджено розподіл основних і домішних елементів поміж продуктами плавки, визначені основні статті витрат марганцю та можливі шляхи їх зниження. Виконано термодинамічний аналіз і фізико-хімічні дослідження процесів дефосфорації марганцевої сировини і сплавів у різних агрегатних станах. Оптимізовано електротехнологічні параметри виплавки малофосфористого шлаку, силікомарганцю та високовуглецевого феромарганцю, розроблена та впроваджена технологічна схема комплексного використання марганцевмісних матеріалів у власному виробництві і суміжних галузях промисловості, яка забезпечує раціональне використання марганцю та охорону навколишнього середовища.

*Ключові слова: електротермія, марганець, фосфор, термодинаміка, дефосфорація, оптимізація, ресурсозбереження, конкурентноспроможні сплави, охорона навколишнього середовища.*

**Ovcharuk A.N. Resourcesaving technology of melting the competitive manganese ferroalloys in powerful electricfurnace cu the base of rational utilization of manganese con contrite and secondary materials.**

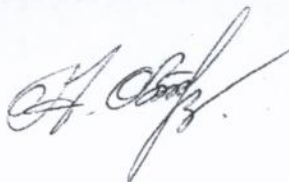
A dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, speciality 05.16.02. - Metallurgy of Ferrous Metals, State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk.

The paper is devoted to solution of actual problem of production the competitive manganese ferroalloys of mass sort in superpowerful tltctric furnace with utilization of low grade native raw material. The distribution of basic and

admixture elements between melting products is investigated, determined the basic items of manganese loss and possible ways of their lowering.

The thermodynamics analysis and physico-chemical investigation of dephosphorization process of manganese low material and alloys in the different aggregate conditions are carrying out. The electrootechnological parameters of lowphosphorated slag meeting, silicomanganese and highcarbon ferromanganese were optimizing, the technological scheme of comply utilization of secondary manganiferous materials in property production and adjacent industrial breach were created and instigated, thisscheme provides the rational utilization of manganese and saving of environment.

**Key words:** *electrothermics, manganese, phosphorus, thermodynamic, dephosphorization, optimizing, resouarrcesavings, competitive alloys, saving of environment.*



Подписано к печати 16.04.97 Формат 60x84/16  
 Бумага типогр. №2. Печать ризограф. Уч.-изд. л. 349  
 Зак. № 17 Тираж 100 экз.

ГНПП "Системные технологии"  
 320635, Днепропетровск, пр. Гагарина, 4

