

**На правах рукопису**

**ЛАПІН Євген Володимирович**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРОБКА  
РАЦІОНАЛЬНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА  
СИЛІКОМАРГАНЦЮ ЗІ ЗНИЖЕНИМ ВМІСТОМ  
ФОСФОРУ В ПОТУЖНИХ РУДОВІДНОВНИХ  
ЕЛЕКТРОПЕЧАХ**

**Спеціальність 05.16.02 — «Металургія чорних металів»**

**А в т о р е ф е р а т**

**дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук**

ДВ 34.67

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Державній металургійній Академії України

Науковий керівник:

Доктор технічних наук, професор

П.Ф. Мироненко

Науковий консультант:

Доктор технічних наук,  
академік АІН України

О.В. Коваль

Офіційні опоненти:

Доктор технічних наук, професор

Д.А. Ковальов

Кандидат технічних наук,  
чл.-кор. АІН України

В.О. Гаврилов

Провідне підприємство - Інститут "Дніпросталь"

Захист відбудеться "21" 05 1996 р. в 12<sup>30</sup> год.  
на засіданні спеціалізованої вченої ради К 03.11.03 при Державній  
металургійній Академії України  
(320635, Дніпропетровськ, пр.Гагаріна,4).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державної металургійної Академії України.

Автореферат розісланий "19" 04 1996 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
ради, кандидат технічних наук,  
доцент

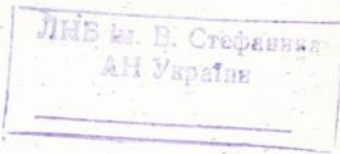


В.С. Павлов

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00760260 (L)



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Вудівництво та зростання електропідних потужностей на Нікопольському заводі феросплавів (НЗФ) вивели Україну на перше місце з обсягу виробництва марганцевих феросплавів. Особливе місце серед них належить силкомарганцю, обсяг виплавки якого в 1992 році склав 70% світового виробництва. Задовольняючи власні потреби і країни СНД Україна експортує біля 30% сплаву в країни далекого зарубіжжя. Однак, низька якість вітчизняної марганцевої сировини стримує зростання виробництва та експорту силкомарганцю з 0,35% Р, так як його виплавка для експорту потребує додаткової переробки - одержання малофосфористого шлаку (МФШ) і пов'язана з великими технологічними труднощами та підвищеними затратами.

В умовах постійного зниження якості марганцеворудної сировини, та залучення карбонатних руд підвищується актуальність науково-обґрунтованих розробок, спрямованих на підвищення ефективності виробництва силкомарганцю зі зниженням вмісту фосфору та його конкурентноспроможності на світовому ринку.

Основні наукові розробки та практичні результати дисертаційної роботи одержані під час виконання науково-дослідних робіт за тематичним планом Державної металургійної Академії України та реалізовані в межах комплексних програм науково-технічного прогресу на ВАТ НЗФ, а також у відповідності з наказом Державного комітету України з питань науки і технологій №15 від 01.03.93 р. та програмою №21, затвердженою Міністерством освіти України, наказ №68 від 31.08.92 р.

Ціль роботи. Дослідження, розробка та впровадження технології виробництва силкомарганцю із бідної марганцеворудної сировини в потужних рудовідплавних електропечах, забезпечуючий конкурентноспроможну якість та економічну ефективність.

Наукова новизна:

- методом рентгенофотоелектронної спектроскопії одержані додаткові уявлення про фізико-хімічну природу фосфору в оксидних і карбонатних марганцевих концентратах Нікопольського родовища;

- з використанням сучасних термодинамічних даних дослідження послідовність сумісного відновлення марганцю та кременію, визначено кількісний вплив технологічних факторів на вміст марганцю в шлаках при виплавці силкомарганцю з регламентованим вмістом фосфору;

- обробкою методами математичної статистики промислових даних одержанні рівняння для оцінки показників виплавки МФШ та силкомарганцю в потужних електропечах з урахуванням якості шихтових матеріалів і технологічних особливостей виробництва;

- обґрунтовані і експериментально визначені потреби до технологічних параметрів для виробництва марганцевого агломерату з використанням гранульованого МФШ;

- на підставі теоретичного узагальнення та особистих експериментальних досліджень обґрунтовані оптимальні електричні і геометричні параметри потужних рудовідновних електропечей для виплавки МФШ і силкомарганцю.

#### Практична цінність і реалізація результатів роботи.

Удосконалені геометричні та електричні параметри печей РК3-16,5 і РКГ-23. Визначені оптимальні електротехнологічні параметри виплавки поліпшеної якості МФШ ( $\leq 0,012\%$  Р і  $\geq 40,0\%$  Мп).

Розроблена та впроваджена технологія виплавки шлаку з підвищеною наважкою відновника, дозволяюча збільшити в 1,5-1,7 рази вихід шлаку з фосфором менше 0,012% (Патент РФ № 2031134). Досліджена, розроблена та освоєна в промислових умовах технологія одержання марганцевого агломерату з використанням гранульованого МФШ (Патент РФ № 2031178). Розроблена, досліджена і впроваджена технологія одержання силкомарганцю з вмістом фосфору менш ніж 0,35% із бідної марганцевої сировини (Патент РФ № 20447664) з використанням МФШ підвищеної якості ( $\leq 0,012\%$  Р і  $\geq 40,0\%$  Мп), що дозволило знизити на 10-15% витрати МФШ та підвищити вилучення марганцю на 0,4-0,5%.

Практична реалізація розробок дисертації та впровадження результатів досліджень в умовах ВАТ НЗФ дозволили за періоди 1993-1994 р.р. і 1994-1995 р.р. одержати реальний економічний ефект в розмірі 1 млрд. 114 млн. 467 тис. крб. та 15 млрд. 380 млн. 286 тис. крб. в цінах 1994 и 1995 років відповідно.

Апробація роботи. Основні наукові положення та практичні результати роботи доповідалися на Всесоюзній нараді по металургії марганцю (Нікополь 1991 р.); Міжнародній науково-практичній конференції з сучасного стану та перспектив розвитку електротермічного виробництва кольорових металів, феросплавів та інших неорганічних матеріалів (Дніпропетровськ, 1994 р.); засіданнях науково-технічної ради ВАТ НЗФ та научних семінарах кафедри електрометалургії ДМетАУ.

Публікації. Основний зміст роботи опубліковано в 10 печатних трудах, новизна розробок захищена 4 патентами на винаходи.

Структура та обсяг роботи. Робота складається із вступу, п'яти глав і висновків, списку літератури з 102 найменувань, додатку 1 містить 145 сторінок машинописного тексту, 22 малюнка і 32 таблиці.

До захисту виносяться наступні основні положення:

- результати досліджень форм проявлення фосфору в марганцевих концентратах Нікопольського родовища;
- теоретичні і експериментальні дослідження фізико-хімічних процесів, що мають місце під час отримання силікомарганцю, та розроблені на їх основі оптимальні умови ведення електроплавки;
- експериментальні дослідження та впровадження удосконаленої технології виплавки МФШ підвищеної якості;
- розробка та промислове освоєння технології одержання марганцевого агломерату з використанням в шихту гранульованого МФШ;
- розробка та впровадження технології виробництва силікомарганцю в електропечах великої одиничної потужності, забезпечуючий високу якість та економічну ефективність.

Особистий вклад автора дисертації в розробку наукових положень та досягнення практичних результатів висловлюється в тому, що усі дослідження і промислові експерименти проведені при безпосередній участі автора або під його керівництвом. Узагальнення результатів робіт проведено автором самостійно.

Автор щиро дякує докт.техн.наук, проф.П.Ф.Мироненку, академіку АН України, докт.техн.наук О.В. Ковалю, співробітникам ДМетАУ та Нікопольського заводу феросплавів за допомогу в проведенні досліджень, узагальнених в дисертації.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

1. Аналіз сучасного стану марганцеворудної бази феросплавної промисловості та технології виробництва силікомарганцю в потужних електропечах.

Систематизовані і узагальнені дані по марганцеворудній базі феросплавного виробництва України, якісних і кількісних характеристик нинішнього і перспективного випуску марганцевих концентратів і потреби в них для виробництва феросплавної продукції. Показано, що в порівнянні з зарубіжною марганцевою сировиною, якість якої є значно високою, вміст марганцю в добутий руді Нікопольського родовища за період з 1975 по 1992 р.р. знизився з 25% до 22,2%, в той же час

відбулось падіння марганцю в загальному концентраті з 41,0% до 35,3%, а вміст фосфору в деяких видах марганцевої сировини підвищився на 0,01-0,04%. По прогнозним даним до 2000 року вміст марганцю в руді знизиться до 21,5%, а в концентраті - до 34,1%. В цих умовах, з урахуванням підвищення потреб до марганцевих феросплавів по якості, при необхідності використання все більшої долі низькосортних карбонатних руд, ставить перед феросплавною промисловістю України рішення проблеми зниження фосфору в силікомарганці.

Дослідженнями по удосконаленню технології виплавки силікомарганцю в печах РПЗ-48 встановлено кількісний вплив вмісту марганцю в марганцевій частині шихти, дійсної потужності пічної установки, кількості вуглецевого відновника в шихті та інших факторів на продуктивність печі, питому витрату електроенергії та вилучення марганцю в сплав.

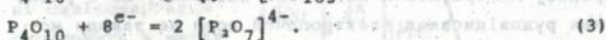
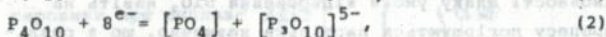
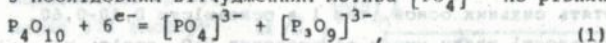
Показано, що при збільшенні вмісту марганцю в марганцевій сировині на 1% продуктивність печі підвищується на 2,9 т/доб., вилучення марганцю на 0,5% і знижується питома витрата електроенергії на 56,9 кВт.г. Збільшення відношення маси сухого коксу до маси шихти на 0,01 підвищує вилучення марганцю на 2,66%. Встановлено, що при одержанні силікомарганцю з пониженим вмістом фосфору, де в якості марганцевої сировини використовується МФШ, знижуються показники виплавки з підвищенням кількості шлаку в шихті. Із виконаного аналізу сучасної технології виробництва силікомарганцю з вмістом 0,35% P слідує також, що подальше її удосконалення може бути найбільш ефективним тільки при існуванні розробленого науково-обґрунтованого фізико-хімічного процесу електрометалургічної дефосфорації марганцевої сировини.

2. Узагальнення і експериментальні дослідження мінеральної та фізико-хімічної природи фосфору в марганцевих рудах Нікопольського родовища.

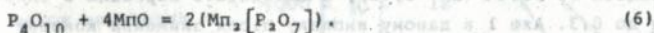
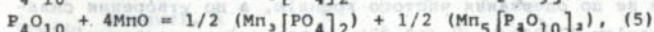
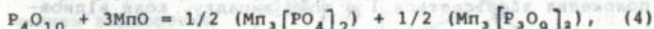
З використанням рентгенофотоелектронної спектроскопії (РФЕС) і ядерного магнітного резонансу (ЯМР) проведені дослідження природи фосфору в основних мінеральних різновидностях екстрагованих із оксидних марганцевих руд Нікопольського родовища - піролюзіт ( $\beta$ - $MnO_2$ ), псиломелан ( $Mn \cdot MnO_2 \cdot nH_2O$ ), манганіт ( $MnPO_4 \cdot Mn(OH)_2$ ), а також оксидний марганцевий концентрат, що містить: 42,40% Mn; 2,71% CaO; 11,60%  $SiO_2$ ; 2,94% MgO; 0,53%  $P_2O_5$  і карбонатний концентрат: 28,90% Mn; 12,10% CaO; 11,90%  $SiO_2$ ; 2,0%  $Al_2O_3$ ; 0,48%  $P_2O_5$ ; 29,6% ПП.

Встановлено, що фосфор знаходиться в чотирьох енергетичних станах, визначених енергіями зв'язку внутрішніх електронних 2 р-рівнів фосфору, котрі складають 132,4; 133,3; 134,5 та 135,8 еВ, що обумовлено поліструктурністю фосфоркисневих комплексів.

Чотири енергетичні стани фосфору визначаються присутністю хімічного зв'язку між фосфоркисневими мотивами  $[\text{PO}_4]^{3-}$  і катіонами модифікаторами - основними складаючими марганцеворудних матеріалів, які знаходяться у різному валентному стані:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ ; формування більш складних орто- та діортофосфатних мотивів безпосередньо пов'язаних з катіонами - модифікаторами  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{4+}$ , переносом електронної густини до атому фосфору - елементу-структуроутворювачу, пов'язаному через кінцевий кисень з атомом елемента-модифікатора, який має меншу електронегативність порівняно з фосфором. Показано, що фосфор як сильний елемент - структуроутворювач може формувати з оксидом-модифікатором, наприклад з оксидом марганцю - манганозитом, складні діфосфатні  $[\text{P}_2\text{O}_7]^{4-}$  і ортофосфатні кільцеві  $[\text{P}_3\text{O}_9]^{3-}$  та ланцюгові  $[\text{P}_3\text{O}_{10}]^{5-}$  мотиви. З підвищенням ступеня негативності мотива зростає енергія хімічного зв'язку основних електронних рівнів фосфору з 130,2 еВ для елементарного фосфору до 135,9 еВ для  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Утворення більш складних мотивів іде на базі дімера  $\text{P}_4\text{O}_{10}$  з послідовним відчуженням мотива  $[\text{PO}_4]^{3-}$  по рівнянням:



Утворення комплексних фосфатів марганцю, оксиди якого складають основу марганцевих концентратів, мінеральних різновидностей і малофосфористого шлаку, описуються відповідними реакціями:



Встановлено, що для виводу атому фосфору з аніонного скелету підвищеної негативності, тобто для його відновлення, необхідно збільшити введення атомів акцепторів - відновників і паралельно відновити інші оксиди марганцю, кількість яких підвищується з зростанням складності (негативності) фосфор - кисневого мотива. Причому складність комплексів зростає із зменшенням концентрації фосфору у розчині. Розкрита природа переважного зв'язку фосфору з марганцем в

марганцевих рудах свідчить про обмежені можливості механічного збагачення марганцевої сировини по фосфору і потребує розробки високоєфективних технологічних схем і процесів дефосфорації, націлених на виведення фосфору.

### 3. Дослідження фізико-хімічних процесів отримання силкомарганцю

Теоретично пояснені особливості відновлення  $MnO$  вуглецем, що до одержання товарного силкомарганцю в потужних рудовідновних електропечах із бідної марганцеворудної сировини. Показано, що однією з головних причин значних витрат невідновленого марганцю, є раннє шлакоутворення, викликане утворенням силкатів марганцю і кальцію по екзотермічним реакціям з виділенням значної кількості тепла. Встановлено, що екзотермічні реакції утворення силкатів  $MnO-SiO_2$  і  $CaO-SiO_2$ , інтенсивно відбуваються у твердих фазах при  $900-1000^\circ C$  і самоприскорюються.

Для вибору оптимального складу шлаку, із використанням теорії регулярних розчинів, розглянуті умови відновлення кремнезему і оксиду марганцю під шлаками основністю 0,1-0,8. Встановлено, що при виплавці силкомарганцю утворюються сприятливі умови для відновлення не тільки вільного кремнезему із кварциту і золи коксу, а й із шлаків які не містять сильних основ, так і з основністю 0,40-0,60. При підвищенні основності шлаку умови відновлення  $SiO_2$  навіть на кінцевій стадії процесу погіршуються настільки незначно, що в реальних умовах потужних рудовідновних електропечей вони не завжди можуть бути визначеними. Відновлення  $MnO$  при виплавці силкомарганцю іде важче ніж відновлення  $SiO_2$ . Показано, що рівноважний тиск  $P_{CO}(SiO_2)$  істотно вище ніж  $P_{CO}(MnO)$  навіть при концентрації 35-45%  $MnO$ . Подібне положення зберігається і в тому випадку, коли відновлення приводе не до одержання чистого кремнію, а до утворення сплаву з концентрацією 17-20%  $Si$  ( $a_{Si} \sim 0,02$ ), а активність марганцю в сплаві знижується до 0,3. Але і в даному випадку після зниження концентрації марганцю в шлаці умови для відновлення  $SiO_2$  із шлаку стають кращими, ніж умови відновлення  $MnO$ . Все це є ознакою, що метою регулювання складу шлаку при виплавці силкомарганцю є не створення умов для відновлення кремнію, а навпаки, створення умов для максимального відновлення марганцю та зменшення його витрат із шлаком.

Встановлено, що концентрація кремнію в силікомарганці в вагових відсотках може бути описана рівнянням:

$$Si = 44 - 22(X_{MnO} + X_{CaO} + X_{MgO} + X_{Al_2O_3} / X_{SiO_2}), \quad (7)$$

де:  $X_{MnO}, X_{CaO}, X_{MgO}, X_{Al_2O_3}, X_{SiO_2}$  - молярні долі відповідних оксидів у шлаці. Концентрацію марганцю у шлаці можливо визначити із рівняння:

$$(Mn)_{шл} = (1,83 - 0,416 Si - 0,982 \frac{CaO + MnO + 0,73 Al_2O_3}{SiO_2}) \cdot (SiO_2), \quad (8)$$

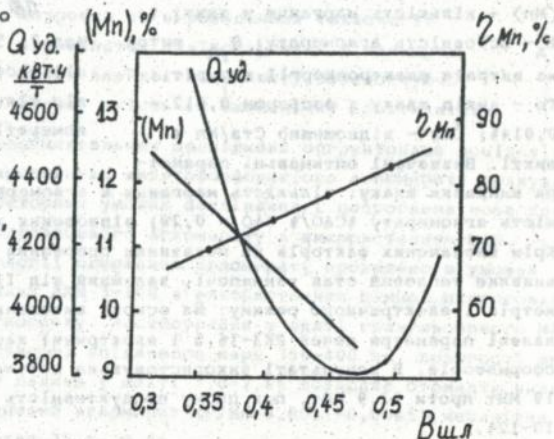
яке є визначним при виборі складу шлаку для виплавки силікомарганцю. Підтверджено позитивний вплив росту основності шлаку ( $B_{шл}$ ) на питому витрату електроенергії ( $Q_{уд}$ ), концентрацію марганцю в шлаці (Mn) та вилучення його в метал ( $J_{Mn}$ ), (мал.1).

Показано, що для підвищення вилучення марганцю основність шлаку при виробництві силікомарганцю необхідно підбирати з урахуванням особливостей пустої породи марганцевої сировини, її якості, та електричного режиму плавки.

Виконано термодинамічний аналіз відновлення фосфору і дослідження його поведінки при виплаві силікомарганцю в потужних рудовідновних електропечах. Встановлено, що для оцінки, концентрації фосфору в силікомарганці можливо використовувати рівняння:

$$[P] = 84,5 \langle P \rangle \cdot [Mn] \cdot 93 \langle Mn \rangle \cdot 80 \langle SiO_2 \rangle \cdot (Mn). \quad (9)$$

Показано, що практично майже 97% фосфору сировини при виплаві силікомарганцю переходить в метал і на зменшення його концентрації в сплаві, при рівних умовах, чинить відношення  $C_{ТВ}/Mn$  в шихті, а також вилучення марганцю і кремнію.



Мал.1. Вплив основності шлаку на показники виплавки силікомарганцю.

#### 4. Експериментальні дослідження та удосконалення технології виробництва малофосфористого шлаку

Аналіз багаторічної практики і теоретичні дослідження процесу виробництва МФШ свідчать, що ступень дефосфорації марганцевої сировини визначається, в основному, концентрацією фосфору в початковій сировині та в супутньому продукті - фосфориті металі. З метою підвищення якості та ефективності виробництва МФШ в роботі, з використанням статистичних методів досліджень, проаналізовані основні управляючі змінні роботи печі РКЗ-16,5 МВА.

Одержано взаємозв'язок між технологічними параметрами та якістю МФШ по кількості фосфору і марганцю (мал.2). Одержані наступні рівняння регресії:

$$(P) = 0,0174 - 0,83 \times 10^{-3} \langle Mn \rangle, \quad (10)$$

$$(P) = 0,025 - 0,06 \text{ Ств}, \quad (11)$$

$$\langle Mn \rangle = -959,9 + 46,68 \langle Mn \rangle - 0,55 \langle Mn \rangle^2, \quad (12)$$

$$T_{\text{ш}} = 438,35 - 2033 V_{\text{А}} + 25926 V_{\text{А}}^2, \quad (13)$$

$$Q_{\text{уд}} = 808 + 3593 \text{ Ств}, \quad (14)$$

де:  $(P)$  - кількість фосфору в шлаці, %;

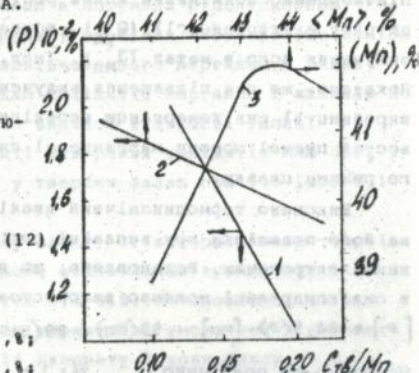
$\langle Mn \rangle$  - кількість марганцю в шихті, %;

$V_{\text{А}}$  - основність агломерату;  $Q_{\text{уд}}$  - питома витрата електроенергії, кВт.г/т.;

$T_{\text{ш}}$  - вихід шлаку з фосфором 0,012 - 0,014%; Ств - відношення Ств/Мп в шихті.

Визначені оптимальні параметри виплавки шлаку: кількість марганцю в агломераті 41-43%; основність агломерату  $\%CaO/\%SiO_2 = 0,28$ ; відношення в шихті Ств/Мп  $> 0,15$ . Крім визначених факторів на показники одержання МФШ значний вплив виявляє тепловий стан ванни печі, залежний від її геометричних параметрів і електричного режиму. На основі виконаних досліджень удосконалені параметри печей РКЗ-16,5 і електричні характеристики їх трансформаторів. В результаті використовувана потужність доведена до 19 МВт проти 12,9 МВт, при цьому продуктивність печі підвищилась на 10-12%.

Розроблена і впроваджена в виробництво технологія виплавки МФШ з використанням підвищеної наважки відновника (Ств/Мп=0,15-0,175), що дозволило збільшити вихід шлаку марки П1 ( $< 0,012\%P$ ;  $> 40\%Mn$ ) у два рази, при незначному збільшенні виходу супутнього металу (Табл.1).



Мал.2. Залежність концентрації фосфору і марганцю в МФШ від кількості марганцю в агломераті і Ств/Мп в шихті.

З метою підвищення виробництва низькофосфористих марок силіко-марганцю в умовах ВАТ НЗФ, запропонована і впроваджена технологія виплавки МФШ в потужних герметичних електропечах РКГ-75 і РПЗ-48М2 з одержанням гранульованого МФШ фракції 0-5 мм та подальшого його використання для отримання низькофосфористого марганцевого агломерату.

Показники виплавки МФШ

Таблиця 1.

Показники	Діюча технологія	Впроваджена технологія
Потужність, МВт	18,8	18,7
Продуктивність, т/д	469	444,1
Витрати електроенергії, кВт.г/т	962	1011
Відношення Ств/Мп	0,135	0,155
Вихід марок, %:		
-П1	23,7	54,6
-П2	45,2	18,7
Вихід супутнього металу, кг/т	131	156
Вилучення марганцю в шлак, %	81,5	77,2
Наскрізне вилучення марганцю, %	92,1	92,6

#### 5. Розробка та впровадження технології виробництва силікомарганцю в електропечах великої потужності, забезпечуючої високу якість та економічну ефективність

На основі експериментальних досліджень обґрунтована доцільність використання для виробництва низькофосфористого агломерату гранульованого МФШ. В лабораторних умовах досліджена і розроблена нова технологія одержання марганцевого агломерату з використанням МФШ.

Освоєння технології одержання агломерату проведено в умовах ВАТ НЗФ на агломашинах АКМ-3-100 з використанням діючої підготовки шихти та обробки аглоспеку. Застосування у шихті гранульованого МФШ фракції 5-0 мм при висоті злітаючого шару 350-400 мм, вологості шихти 12-14% та вмісту палива у шихті 7,0-7,6% дозволяє отримати низькофосфористий марганцевий агломерат ( $P/Mp=0,0031-0,0045$ ), механічна міцність якого складає 77,6-78,3%.

В роботі досліджені електротехнологічні параметри виплавки силікомарганцю в потужних електропечах. Встановлено, що при відношенні

діаметра ванни до діаметра розпаду електродів  $\geq 2,0$ , забезпечується мінімальне виділення тепла в крайових областях ванни і підвищується в 1,2-1,5 рази мікроекономічний строк роботи рудовідновних електропечей.

Показано, що використання в шихту для виплавки силікомарганцю ( $\leq 0,35\%P$ ) малофосфористого шлаку зв'язано з капітальними, сировинними та енергетичними втратами. Визначено кількісний вплив вмісту марганцю в сировині  $\langle Mп \rangle$ , затрат МФШ ( $Q_{МФШ}$ ) та вилучення марганцю ( $\delta_{Мп}$ ) на концентрацію фосфору в металі.

$$[P] = 0,594 - 0,0047 \times \langle Mп \rangle, \quad (15)$$

$$[P] = 0,468 - 0,00015 \times Q_{МФШ}, \quad (16)$$

$$[P] = 1,541 - 0,0137 \times \delta_{Мп}. \quad (17)$$

Встановлено, що зниження концентрації фосфору в сплаві на 0,1% потребує витрат близько 640 кг/б.т шлаку марки П2 ( $>38\%Mп; \leq 0,017\%P$ ). При цьому питома витрата електроенергії збільшується на 190 кВт.г/баз.т, а вилучення марганцю знижується на 2-2,4%. Виходячи з результатів проведених в роботі досліджень, запропонована технологія одержання силікомарганцю ( $P \leq 0,35\%$ ) з використанням вітчизняної марганцевої сировини і МФШ підвищеної якості. Освоєння технології проводили в печах РПЗ-48М2. В якості марганцевої сировини використовували агломерат АМНВ-2 ( $Mп-39,0\%; P-0,21-0,23\%$ ) і МФШ підвищеної якості. Основні показники виплавки приведені в табл.2.

Таблиця 2.

Показники виплавки силікомарганцю ( $P 0,35\%$ ) за існуючою (І) і розробленою (П) технологіям

Показники	Силікомарганець	
	І	П
Використана потужність, МВт	50,2	46,7
Питома продуктивність, т/МВт	5,82	5,94
Питома витрата електроенергії, кВт.г/б.т.	4039	3980
Вилучення марганцю, %	80,1	81,5
Концентрація Мп в шлаці, %	11,2	10,8
Кратність шлаку	1,33	1,27

Розроблена технологія дозволяє одержувати силікомарганець з вмістом фосфору менше ніж 0,35% без використання низькофосфористих марганцевих концентратів із зниженням розходу МФШ. Так, за періоди

1993-1994 р.р. і 1994-1995 р.р. питома витрата МФШ на одну базову тону силікомарганцю була зменшена на 194 кг і 171 кг відповідно. При цьому вилучення марганцю в сплав зросло на 0,4%, а витрата електроенергії зменшилась приблизно на 1,5%. Економічний ефект від впровадження розробленої технології в умовах ВАТ НЗФ склав 1114467 тис. крб. і 15380286 тис. крб. в цінах 1994 і 1995 р.р. відповідно.

#### ВИСНОВКИ

1. Систематизовані і узагальнені дані що до марганцеворудної бази феросплавного виробництва України, якісні і кількісні характеристики поточного і перспективного випуску марганцевих концентратів і потреби в них для виробництва феросплавної продукції. Критично проаналізовані і підсумковані результати експериментальних і промислових досліджень виплавки силікомарганцю в електропечах великої одиначної потужності, які дозволили обґрунтувати основні напрямки експериментальних розроблень по підвищенню ефективності виробництва силікомарганцю зі зниженням вмістом фосфору.

2. З використанням рентгенофотоелектронної спектроскопії та ядерного магнітного резонансу проведені дослідження фізико-хімічної природи фосфору в оксидних та карбонатних рудах Нікопольського родовища, а також їх мінеральних різновидів - піролюзиту, манганіту і піломелану, екстрагованих із оксидних руд. Підтверджено переважний зв'язок фосфору з марганцем і вперше установлені чотири форми присутності фосфору, пов'язаних зі змінами ступеня полімеризації фосфорокисневого аніону від  $[PO_4]^{3-}$  до  $[P_3O_7]^{4-}$ , ступеня окислення його найближчих сусідів від  $Na^{+}(K^{+})$ ,  $Ca^{2+}$  до  $Mn^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$  і координації P-O від тетраедричної до октаедричної і змішаної і підвищенням ступеня полімеризації  $[P_3O_9]^{5-}$  та  $[P_3O_9]^{3-}$ . Експериментально підтверджений безпосередній зв'язок марганцю і фосфору в марганцеворудних природних матеріалах, дозволив розробити високоефективний процес одержання переробного малофосфористого шлаку.

3. Проведено термодинамічний аналіз спільного відновлення марганцю та кремнію з низькоосновних марганцевих шлаків. Виявлена послідовність зміни активності оксиду марганцю в шлаці. Показано, що при виплавці силікомарганцю створюються сприятливі умови для відновлення не тільки вільного кремнезему із кварциту та золи коксу, а також із шлаків основністю 0.40-0.60. Встановлено, що головною метою регулювання складу шлаку є створення умов не для відновлення кремнезему, а для максимального відновлення марганцю і скорочення його втрат зі шлаком.

4. Проведені термодинамічні і експериментальні дослідження умов поведінки фосфору при виплавці силікомарганцю. Встановлена закономірність розподілу фосфору між металевом та шлаковою фазами. Визначено кількісний вплив головних змінних на якість сплаву і одержані рівняння для оцінки концентрації в ньому фосфору. Показано, що основний вплив на концентрацію фосфору чинить відношення  $C_{ТВ}/Mп$  у шихті та вміст кремнію в сплаві.

5. На основі великих комплексних досліджень і оптимізованих параметрів, реконструйовані геометричні розміри печей РКЗ-16,5 та електричні характеристики їх трансформаторів. Обробкою методами математичної статистики даних роботи промислових печей РКЗ-16,5 та РКГ-22,5 визначені оптимальні електротехнологічні параметри виплавки якісного малофосфористого шлаку ( $\leq 0,012\% P > 40,0\% Mп$ ). Розроблена і впроваджена в умовах НЗФ технологія виплавки шлаку на підвищенняй наважці відновника ( $C_{ТВ}/Mп$  в шихті 0,15-0,175), дозволяюча збільшити в 1,5-1,7 рази вихід шлаку з фосфором менше 0,012%.

6. Досліджена, розроблена та впроваджена в промислових умовах технологія отримання марганцевого агломерату, задовольняюча потребам електроплавки з використанням гранульованого малофосфористого шлаку. Посліднім шляхом визначені параметри процесу спікання агломерату і показано, що застосування в шихту до 50% гранульованого МФШ дозволяє отримувати агломерат з високою механічною міцністю (77-80%, по класу +5мм) при зниженні витрати коксової дрібниці на 10-15%.

7. Досліджені електротехнологічні параметри виплавки силікомарганцю в потужних електропечах. Показано, що використання споживчої із мережі потужності, як і продуктивність при інших рівних умовах, значно залежить від кількості вуглецю в шихті. На основі обробки експериментальних даних що до стійкості вуглецевої футеровки печей, виплавляючих силікомарганець та малофосфористий шлак, встановлено, що при відношенні діаметру ванни до діаметру розпаду електродів  $\geq 2,0$ , забезпечується мінімальне виділення тепла в краєвих областях ванни і збільшується у 1,2-1,5 рази міжремонтний строк роботи рудно-відновних електропечей.

8. Розроблена і впроваджена в умовах НЗФ технологія отримання силікомарганцю з вмістом фосфору менше ніж 0,35% з бідної марганцевої сировини Нікопольського родовища з використанням МФШ поліпшеної якості. Встановлені оптимальні шихтовки, що забезпечують стабільний електротехнологічний режим роботи потужних електропечей, що дозволило при скороченні на 10-15% витрат малофосфористого шлаку підвищити вилучення марганцю на 0,4% і знизити на 1,5% витрати електроенергії.

9. Результати проведених досліджень впроваджені в умовах Нікопольського заводу феросплавів, що дозволило за періоди 1993-1994 р.р. і 1994-1995 р.р. одержати реальний економічний ефект в розмірі 1 млрд.114 млн.467 тис.крб. і 15 млрд.380 млн.286 тис.крб. в цінах 1994 та 1995 років відповідно.

Одержані в роботі результати використовуються в учбовому процесі Державної металургійної Академії України при підготовці студентів за спеціальністю 7.090401 "Металургія чорних металів".

Основний зміст дисертації опубліковано

у роботах:

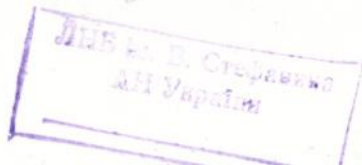
1. Совершенствование технологии производства малофосфористого шлака //А.В.Коваль, П.Ф.Мироненко, Т.Д. Ткач, Е.В.Лапин, В.А.Гладких/Сталь,1995, №6,С.34-38.

2. Формирование структуры офлюсованного марганцевого агломерата и поведение его в процессе восстановления //А.В.Коваль,П.Ф.Мироненко,В.А.Кладких,В.В.Кривенко, Е.В.Лапин/Проблемы металлургического производства. - К.Техника:1993,С.43-49.

3. Оценка форм проявления фосфора в марганцевых оксидных материалах методами РФЭС и ЯМР //М.И.Гасик, А.В.Коваль, В.А.Гладких, П.Ф.Мироненко, И.П.Нагибин, Е.В.Лапин, А.М.Кордубан, В.В.Трачевский /"Современное состояние и перспективы развития электротермического производства цветных металлов, ферросплавов и других неорганических материалов":-Тез. докл. междунар. науч. практ. конф.-Днепропетровск.-1994г.С70-71.

4. Исследование и внедрение технологии выплавки малофосфористого шлака повышенного качества//А.В.Коваль, П.Ф.Мироненко,Е.В.Лапин, Т.Д.Ткач, В.А.Гладких,И.И.Люборец/"Современное состояние и перспективы развития электротермического производства цветных металлов, ферросплавов и других неорганических материалов".-Тез. докл. междунар. науч. практ. конф.-Днепропетровск.-1994г.С.36-37.

5. Повышение эффективности производства силикомарганца с пониженным содержанием фосфора//А.В.Коваль,П.Ф.Мироненко,Т.Д.Ткач, В.А.Гладких,Е.В.Лапин /"Современное состояние и перспективы развития электротермического производства цветных металлов, ферросплавов и других неорганических материалов".-Тез. докл. междунар. науч. практ. конф. Днепропетровск.-1994г.С.124-125.



6. Освоение технологии выплавки малофосфористого шлака в герметичной электропечи РКГ-22, 5МВА. // А. В. Коваль, П. Ф. Мироненко, Е. В. Лапин / "Современное состояние и перспективы развития электротермического производства цветных металлов, ферросплавов и других неорганических материалов": - Тез. докл. междунар. науч. практ. конф. - Днепропетровск. - 1994г. С. 121-122.

7. Промышленное освоение технологии производства силикомарганца с пониженной концентрацией фосфора. // И. Г. Кучер, А. В. Коваль, Т. Д. Ткач, Б. Ф. Величко, И. И. Люборец, Е. В. Лапин, П. Ф. Мироненко / Современное состояние и перспективы развития электротермического производства цветных металлов, ферросплавов и других неорганических материалов: - Тез. докл. междунар. науч. практ. конф. - Днепропетровск. - 1994г. С. 145-146.

8. Экспериментальные исследования физико-химической природы фосфора в марганцевом сырье / М. И. Гасик, А. В. Коваль, П. Ф. Мироненко, Е. В. Лапин, В. А. Гладких // ГМетАУ: - Днепропетровск. - 1995г. - 18с. Рус. деп. в ДНТБ Украины, №660- УК 95.

9. Исследование поведения фосфора при выплавке марганцевых сплавов / А. В. Коваль, П. Ф. Мироненко, И. И. Люборец, Е. В. Лапин // ГМетАУ, - Днепропетровск, - 1995. - 16с. Рус. деп. в ДНТБ Украины, №658 - УК 95.

10. Регулирование восстановления кремния при получении высокоуглеродистого ферромарганца и силикомарганца в мощных рудовосстановительных печах / П. Ф. Мироненко, А. В. Коваль, Т. Д. Ткач, Е. В. Лапин // ГМетАУ. - Днепропетровск. - 1995. - 17с. Рус. деп. в ДНТБ Украины, № 659- УК 95.

По диссертации одержаны патенты Російської Федерації:  
 №2031134, 2031178, 2047664, 2048581.

#### АННОТАЦИЯ

Лапин Е. В. Исследование и разработка рациональной технологии производства силикомарганца с пониженным содержанием фосфора в мощных рудовосстановительных электропечах.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02. - "Металлургия черных металлов", Государственная металлургическая Академия Украины, Днепропетровск, 1996 г.

Работа посвящена решению актуальной проблемы повышения качества и эффективности производства силикомарганца из бедного марганцево-рудного сырья. Исследована природа фосфора в марганцевых рудах

Никопольского месторождения, экспериментально и теоретически обоснованы особенности восстановления марганца и кремния при выплавке силикомарганца в мощных рудовосстановительных электропечах, исследована и усовершенствована технология выплавки малофосфористого шлака, разработана и освоена технология получения марганцевого агломерата с гранулированным малофосфористым шлаком, освоена и внедрена в промышленность технология выплавки силикомарганца с пониженным содержанием фосфора, обеспечивающая его конкурентоспособность на мировом рынке.

Фосфор, кремний, марганец, термодинамика, агломерация, дефосфорация, выплавка силикомарганца.

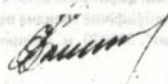
#### ANNOTATION

Lapin Yevgeni Vladimirovich. Research and development of rational technology of SiMn production with reduced phosphorus content into high-powered reduction electric furnaces.

Thesis for competition of technical candidate's degree on the speciality 05.16.02 - "Metallurgy of ferrous metals", State Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1996.

This work is intended for solution of actual problem of quality and efficiency increase while making SiMn of low-grade manganese ore and reflects the following technical and production phenomena: phosphorus nature in the manganese ores in Nikopol manganese ore deposit has been analysed and studied; peculiarities of manganese and silicon reduction while smelting silicomanganese into high-powered reduction electric furnaces have been theoretically and experimentally researched and substantiated; technology of low-phosphorus content slag smelting has been studied and updated; technology of manganese sinter production with granulated low-phosphorus content slag has been developed and put into practice; technology of SiMn smelting with reduced phosphorus content has been developed and put into production that provided its competitiveness at the world market.

Phosphorus, silicon, manganese, thermodynamics, sintering, dephosphorization, silicomanganese smelting.



#### АВТОРЕФЕРАТ

Відповідальний за випуск Ю. С. Паніотюк

Підписано до друку 16.04.96. Формат 60x84/16. Папір друкарський. Офсетний друк. Умовн. друк. арк. 0,93. Умовн. фарб.-виб. 0,93. Тираж 50. Замовлення N 318.

Видавничо-поліграфічне орендне підприємство "Дніпро"  
ВПОП "Дніпро", 320070, м. Дніпропетровськ, вул. Серова, 7.



AB 34.619

**AB 34.619**

STATE OF CALIFORNIA

OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL

LEGISLATIVE COUNSEL

1. The bill is necessary for the  
2. proper functioning of the  
3. State of California.  
4. The bill is necessary for the  
5. State of California.

OFFICE OF THE ATTORNEY GENERAL

LEGISLATIVE COUNSEL

STATE OF CALIFORNIA

LEGISLATIVE COUNSEL

LEGISLATIVE COUNSEL