

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти перший бакалаврський рівень

(другий (магістерський) рівень)

на тему Вдосконалення технології виробництва силікокальцію  
вуглетермічним процесом

Виконав: студент 4 курсу, групи 6.1361

Холодний О.О.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія

(шифр і назва)

Керівник Нестеренко Т.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент Проценко В.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2024 року

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ  
іМ Ю.М. ПОТЕБНІ**

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти перший бакалаврський рівень  
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма металургія  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

“ 12 ” 02 2024 року

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ**

Холодний Олександр Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Вдосконалення технології виробництва силікокальцію вуглетермічним процесом

керівник роботи (проекту) Нестеренко Тетяна Миколаївна к.т.н.,  
доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “26” 12 2023 року № 2215-с

2. Строк подання студентом роботи (проекта) 14.06.2024

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Вдосконалення технології феросілікокальцію

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Реферат. Вступ. Загальна частина. Дослідницька частина. Охорона праці та техногенна безпека, Висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Креслення, презентаційний матеріал 14 слайдах (на 14 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		завдання прийняв
<i>Розділ 1 назва розділу</i>	<i>Нестеренко Т.М., доцент</i>	
<i>Розділ 2 назва розділу</i>	<i>Нестеренко Т.М., доцент</i>	
<i>Розділ 3 назва розділу</i>	<i>Нестеренко Т.М., доцент</i>	
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Белоконь Ю.О. завідувач кафедри</i>	

7. Дата видачі завдання 12.02.2024

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>15-20.04.2024</i>	
2	<i>Реферат</i>	<i>21-12.05.2024</i>	
3	<i>Розділ 1</i>	<i>13-26.05.2024</i>	
4	<i>Розділ 2</i>	<i>27-02.06.2024</i>	
4	<i>Розділ 3</i>	<i>03-09.06.2024</i>	
5	<i>Висновки</i>	<i>10-16.06.2024</i>	

Студент \_\_\_\_\_ **О. О. Холодний**  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи) \_\_\_\_\_ **Т.М. Нестеренко**  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

На пояснювальну записку дипломної роботи на тему «Розробка технології виробництва силікокальцію вуглетермічним процесом», яка включає 83 стор. машинописного тексту, 9 рис., 32 табл., 17 найменувань списку використаних джерел.

Мета роботи – розробка технології виробництва силікокальцію вуглетермічним методом.

У розділі 1 проведений аналіз сучасного стану виробництва силікокальцію, розглянуті технологічні особливості виплавки, призначення та галузь застосування силікокальцію, приведений огляд існуючих способів виплавки силікокальцію.

У розділі 2 описані матеріали і методи досліджень, описан механізм і кінетика та вплив вуглецевих відновників на процес утворення карбідів кальцію. Вибрана технологія виплавки силікокальцію. Проведено аналіз і узагальненні результатів досліджень.

У розділі 3 дається характеристика шкідливих умов виробництва, санітарно-гігієнічних умов праці, описуються заходи, які забезпечують комфортні умови праці. Навели розрахунок заземлення в лабораторії.

СИЛІКОКАЛЬЦІЙ, ДЕРЕВНЕ ВУГІЛЛЯ, КОКСОВИЙ ГОРІШОК, КАРБІД КАЛЬЦІЮ, ШИХТА, КІНЕТИКА, РУДОВІДНОВЛЮВАЛЬНА ПІЧ, КОЛОША, СИСТЕМА.

## ВМІСТ

Введення	7
Розділ 1 Аналіз сучасного стану виробництва силікокальцію	10
1.1. Актуальність проблеми виробництва силікокальцію	10
1.2. Призначення і область застосування силікокальцію	11
1.2.1. Вимоги до хімічного складу феросилікокальцію	11
1.2.2. Вплив феросилікокальцію на якість сталі	12
1.3. Шихтові матеріали для виплавки силікокальцію	12
1.4. Огляд існуючих способів виплавки силікокальцію	16
1.5. Виплавка силікокальцію вуглецево-термічним методом	20
1.6. Висновки	26
Секція 2 Дослідження технологічних можливостей виплавки силікокальцію вуглецево-термічним методом	27
2.1. Методи і методи дослідження	27
2.2. Розробка технології отримання силікокальцію вуглецево-термічним методом	29
2.2.1. Термодинамічний аналіз реакцій в системі Si – O – C – Ca	29
2.2.2. Кінетика високотемпературних перетворень в системі CaO-SiC та SiO <sub>2</sub> -CaC <sub>2</sub>	33
2.2.3. Кінетика утворення карбїду кальцію	36
2.2.4. Інтенсифікація виплавки силікокальцію за рахунок раціональної підготовки шихти	41
2.3. Розрахунок шихти з урахуванням балансу матеріалів силікокальцієвої плавки	46
2.4. Вибір і опис обладнання для виробництва феросилікокальцію	51
2.5. Технологія виплавки силікокальцію вуглецево-термічним методом	56
2.5.1. Заміна вапна при виплавці силікокальцію карбїдом кальцію	56

	6
2.5.2. Заливка силікокальцію в форми	59
2.6. Техніко-економічне обґрунтування виробництва силікокальцію	63
2.7. Висновки	66
Розділ 3 Охорона праці та техніка безпеки	68
3.1. Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища при проведенні досліджень в лабораторії	68
3.2. Розробка заходів щодо захисту від впливу небезпечних і шкідливих факторів лабораторного середовища	70
3.3. Електричних	72
3.4. Пожежна та техногенна безпека	74
3.5. Конструкція захисного заземлення	76
3.6. Висновки	79
Висновки	80
Посилання	82

## ВВЕДЕННЯ

Феросплавне виробництво є невід'ємною частиною металургійного комплексу більшості промислово розвинених країн, а ступінь використання феросплавів багато в чому визначає рівень і якість металопродукції цього комплексу.

Оскільки феросплави є продуктами переробки, то рівень їх споживання визначається загальним станом металургійного виробництва як всередині країни, так і в світовому масштабі.

Динаміка виробництва феросплавів у 2019-2023 роках показана на рис.1 [1].

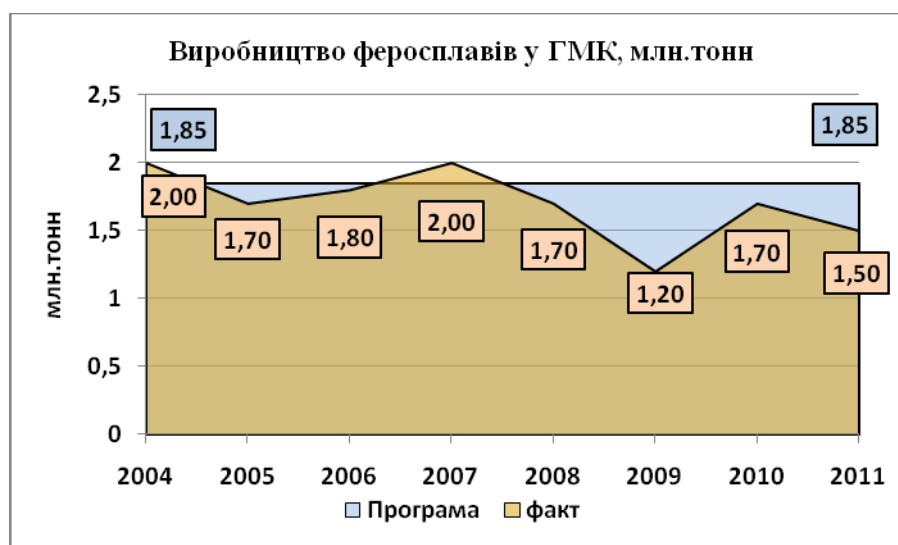


Рисунок 1 – Динаміка обсягів виробництва феросплавів з програмно-цільовим рівнем на 2011 рік

Порівняння виробництва феросплавів з програмно-плановим показником 2011 року показало, що в 2007 році він був перевищений на 8,1%. Позитивна тенденція збільшення темпів виробництва феросплавів, а також інших видів металопродукції (чавуну, сталі та ін.) була перервана економічною кризою. Таким чином, програмно-цільовий рівень приблизно на 23,3% вищий,

ніж у 2011 році. Однією з причин такої ситуації є конкуренція з боку імпортової продукції. Так, у порівнянні з 2008 роком обсяг імпорту у 2011 році зріс у 10 разів – з 21 тис. тонн до 216 тис. тонн (рис. 2). У порівнянні з 2009 роком (106 тис. тонн) – у 2 рази (на 110 тис. тонн), а порівняно з 2010 роком (75 тис. тонн) – у 3 рази (на 141 тис. тонн). У 2011 році поставки феросплавів в Україну склали: феросиліцію – 32 973 тис тонн, високовуглецевого феромарганцю – 42 432 тис тонн, середньовуглецевого феромарганцю – 4 595 тис тонн, ферокремнієвомарганцю – 136 054 тис тонн.

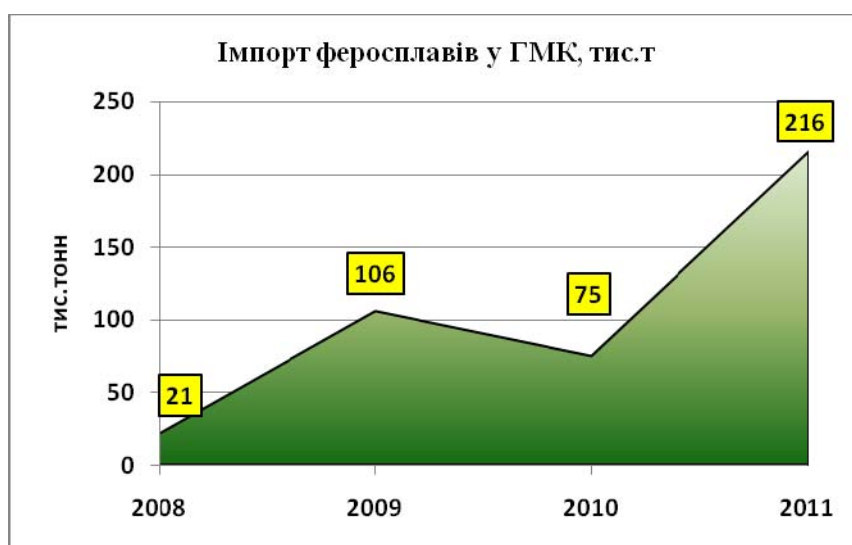


Рисунок 2 – Динаміка імпорту феросплавів у гірничо-металургійний сектор, тис.

У 2010 році імпортні феросплави займали лише 25% внутрішнього ринку феросплавної продукції, в 2011 році їх частка становить 52%. Основною причиною збільшення частки імпорту феросплавів є підвищення тарифу на електроенергію.

Аналіз роботи феросплавних заводів в Україні показує, що обсяги та номенклатура виробництва традиційних феросплавів у майбутньому змінюватимуться залежно від розвитку вітчизняного виробництва чавуну та сталі, їх якісних та структурних змін, а також від ситуації на зовнішньому ринку та



можливості експорту вироблених феросплавів марганцю та кремнію. Значною мірою ці зміни залежатимуть від цін на сировину та електроенергію [2].

Метою роботи є розробка технології отримання силікокальцію вуглецево-термічним методом.

Для вирішення мети дипломної роботи необхідно вирішити наступні завдання:

А. Проаналізувати сучасний стан феросплавної промисловості України та визначити шляхи стратегічного напрямку розвитку феросплавної промисловості.

Б. Проаналізувати технологічні особливості виплавки силікокальцію.

В. Визначити оптимальний склад шихти для отримання силікокальцію вуглецево-термічним методом і вибрати оптимальний режим електроплавки.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ВИРОБНИЦТВА СИЛІКОКАЛЬЦІЮ

#### А.А. Актуальність проблеми виробництва силікокальцію

Стратегічними напрямками розвитку підприємств, що виробляють феросплави, спеціальні сталі та сплави, є: впровадження нових технологій підвищення якості та конкурентоспроможності феросплавів та спеціальних сталей, що дозволить знизити залежність від імпорту; технічне переоснащення, модернізація обладнання у виробництві феросплавів, спеціальних сталей і сплавів; збільшення виробництва феросплавів, постачання яких здійснюється за рахунок імпорту; застосування брикетування дрібних фракцій феросплавів для збільшення обсягів виробництва; збільшення обсягів виробництва, а також освоєння виробництва нових марок феросплавів і головних сплавів, таких як силікозирконій, силікокальцій, ферованадій, комплексні феросплави з ванадієм, молібденом, титаном, хромом та ін.

Для розкислення, десульфурзації і дегазації сталі і чавуну, для регулювання неметалічних включень в сталі, для графітизації і отримання однорідного сірого чавуну застосовують силікокальцій - сплав кальцію з кремнієм або потрійний сплав кальцію, кремнію і заліза, який має підвищену щільність і кальцій краще засвоюється рідкою сталлю.

Таким чином, визначення стратегічних напрямів розвитку внутрішнього ринку металопродукції, підприємств чорної та кольорової металургії, коксохімічної промисловості, виробництва феросплавів дозволяє не допустити падіння цін та збільшити частку світового ринку, що належить українським виробникам [3].

## А.Б. Призначення і область застосування силікокальцію

### А.Б.А. Вимоги до хімічного складу феросилікокальцію

У виробництві високоякісних конструкційних і нержавіючих сталей, а також сплавів з особливими фізичними властивостями широко використовуються сплави кальцію з кремнієм (феросилікокальцій).

Згідно ГОСТ 4762-71 хімічний склад феросилікокальцію повинен відповідати вимогам, наведеним в таблиці 1.1 (витяг з ГОСТ 4762-71 «Технічні умови на силікокальцій») [4].

Таблиця 1.1 – Вимоги до хімічного складу феросилікокальцію

Штамп	Масова частка, %				
	Са	Так	До	С	Р
	не менше ніж		Більше ні		
SK10	10	45	1,0	0,2	0,2
SK10R	10	50	1,5	0,5	0,4
SK15	15	45	1,0	0,2	0,2
SK15R	15	50	1,5	0,5	0,4
SK20	20	45	1,0	0,5	0,2
SK20R	20	50	2,0	1,0	0,4
CK25	25	50	2,0	0,5	0,2
SK25R	25	55	2,0	1,0	0,4
SK30	30	50	2,0	0,5	0,2
SK30R	30	55	2,0	1,0	0,4

Споживачі феросплавів отримують феросилікокальцій, упакований в залізні бочки, залізні бочки, контейнери або поліетиленові мішки, в штуках масою не більше 15 кг.

#### А.Б.Б. Вплив феросилікокальцію на якість сталі

Кальцій широко використовується як графітовий глобулятор в чавунних виливках, знижуючи вміст кисню і сірки, що перешкоджають утворенню вузлового графіту, і як модифікатор при виплавці сталей і сплавів. Обробка металевих розплавів чистим кальцієм або його сплавами покращує фізико-механічні властивості металу, внаслідок зміни форми і зовнішнього вигляду оксидних і сульфідних включень в готовому прокаті і виливках.

Для розкислення сталі часто використовують сплав кальцію з кремнієм - феросилікокальцій. Кальцій використовується для модифікації сталі (зміна форми і зовнішнього вигляду оксидних і сульфідних неметалевих включень), а також для глобуляризації графіту і відновлення кисню і сірки в чавуні. Фактичний склад сплаву наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Фактичний склад феросилікокальцію

Штамп	Масова частка, %						
	Його	Доповнена Реальність	Fe	Аль	S	R	З
SK30	64,12	30,52	3,77	1,59	0,09	0,02	1,29
CK25	67,60	28,24	3,19	1,57	0,05	0,02	0,97
SK15	59,0	17,64	19,43	0,71	0,01	0,016	0,05
SK15	61,79	16,43	21,21	0,49	0,01	0,010	0,06

#### А.В. Шихтові матеріали для виплавки силікокальцію

Шихта для вуглецево-термічного виробництва кремній-кальцієвого кальцію складається з кварциту, вапна, коксу, деревного вугілля, кам'яного вугілля. Вимоги до кварциту і відновника, що застосовуються у виробництві силікокальцію, аналогічні вимогам до виробництва феросиліцію.

Розмір плавильних матеріалів повинен бути наступним:

- кварцит 50-100 мм;
- кокс 5-20 мм;
- деревне вугілля 8-100 мм;
- вугілля слід < 60 мм шматками і просіяти від дрібної фракції < 10 мм
- вапно з шахтних печей розміром 40-100 мм.

Кварцит повинен містити 97-99% кремнезему з мінімальним вмістом шкідливих і шлакоутворюючих домішок - оксидів кальцію і магнію і особливо оксидів алюмінію і фосфору ( $\leq 0,02\%$ ), а при дробленні і нагріванні повинен давати мінімальну кількість дрібних частинок.

Кварцити, що використовуються в даний час на Толкачівському родовищі згідно ТУ У 14.5-01056244-001:2007, за хімічним і гранулометричним складом повинні відповідати вимогам, зазначеним у таблиці 1.3 [5].

Таблиця 1.3 – Кварцити Толкачівського родовища згідно ТУ У 14.5-01056244-001:2007

Показників	Норми для марок	
	ТК 97-100	ТК 97-90
Масова частка SiO <sub>2</sub> , %, не менше	97,0	97,0
Масова частка Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %, не більше	1,6	1,6
Масова частка Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %, не більше	0,60	0,60
Гранулометричний склад, мм	25-100	25-90

Відновник повинен володіти достатньою механічною міцністю, високою реакційною здатністю, низьким вмістом шкідливих і шлакоутворюючих оксидів в золі, низьким вмістом летких речовин, високим електричним опором і бути дешевим. Деревне вугілля є хорошим відновником, який зменшує спікання шихти.

У виплавці силікокальцію найбільшого поширення набула найдешевша марка відновника - металургійний коксовий горіх. Бажано використовувати кокс з максимальною реакційною здатністю, що характеризується розвинутою поверхнею, високим питомим електричним опором і мінімальною кількістю шкідливих і шлакоутворюючих оксидів в золі.

За якісними показниками коксівних горіхів ТУ Б 322-00190443-120-97 повинні відповідати нормам і вимогам, зазначеним у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Коксування горіха згідно ТУУ 322-00190443-120-97

Назва індикатора	Норма для класу і марки			
	10 x 25 мм			8 x 25 мм
	КО1	КО2	КО3	КО4
Зольність тіла, %, не більше	11,0	13,0	15,0	16,0
Масова частка загальної вологи, %, не більше	20,0	20,0	20,0	22,0
Масова частка штук за розміром:				
більше 25 мм	10,0	10,0	10,0	10,0
менше 10 мм	9,0	12,0	15,0	-
менше 8 мм	-	-	-	13,0

Застосування коксівних горіхів дозволило значно поліпшити техніко-економічні показники феросплавного виробництва.

Залізовмісним компонентом шихти є стружка вуглецевої сталі. Не можна допускати застосування чавунної стружки і стружки легованих ста-

лей, а також забруднення кольорових металів стружкою, так як фосфор з чавунної стружки, легуючих і кольорових металів переходить в сплав.

Підготовка шихтових матеріалів до виплавки зводиться до їх дроблення і сортування з метою отримання заданого однорідного гранулометричного складу.

Кварцит подрібнюють і промивають водою для видалення глинистих домішок, а потім просівають, щоб відсіяти дрібниці і розсортувати на фракції.

Кокс подрібнюють і просівають до отримання фракції 5-20 мм.

Скручену сталеву стружку подрібнюють до розміру 50 мм. Необхідно прагнути до того, щоб розміри кварциту і коксу в підготовленій шихті були максимально однорідними і щоб не попалися як великі, так і дрібні шматки того й іншого. Наявність дрібної фракції погіршує газопроникність верхівки, крупнозернистий кокс різко негативно позначається на глибині загортання електродів, а крупнозернистий кварцит призводить до електродного прогорання, труднощів в експлуатації лютка.

Вапно має бути свіжовипаленим і містити не менше 94% CaO. Погано обпалена вапно різко збільшує витрату електроенергії і відновника, знижує продуктивність печі, призводить до порушення її протікання і до зменшення тривалості роботи підприємства.

Приблизний хімічний склад вапняку, використовуваного для виробництва вапна, наведено в таблиці 1.5 [6].

Таблиця 1.5 – Хімічний склад флюсових вапняків з деяких родовищ СНД

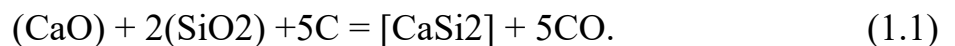
Депозит	Масова частка, %							
	Сап	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>3</sub>	N...
Пікалевське	53,0	1,1	1,4	0,2	0,50	0,02	0,05	43,73
Барсуківське	54,5	0,78	0,79	0,12	0,55	Сліди	0,13	43,13

Оленівське	53,5	0,70	1,60	0,80	0,70	0,02	0,30	42,37
Агаповське	54,0	0,7	1,70	0,50	0,50	0,03	0,04	42,53
Тургоякское	54,77	0,3	0,54	0,438	0,74	0,017	0,01	43,18

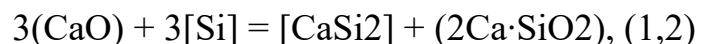
У практиці виробництва силікокальцію шихтовим матеріалом часто служить технічний карбід кальцію наступного хімічного складу: 78% CaC<sub>2</sub>, 17% CaO і 5% MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> та ін.

А.Г. Огляд існуючих способів виплавки силікокальцію

У промисловій практиці існує три способи виплавки силікокальцію. Вуглецево-термічний метод є найбільш поширеним. Суть його полягає в спільному відновленні кальцію і кремнію з їх оксидів вуглецем за допомогою реакції:



Силікотермічний метод заснований на реакції відновлення кальцію з оксиду кальцію феросиліцієм кремнію:



і карбиду кальцію на відновленні кремнієвого кварциту карбідом вуглецю CaC<sub>2</sub>.

Карбонотермічний метод. При вуглецево-термічному способі використовується шихта, яка складається з металургійного вапна ( $\geq 87\%$  CaO і  $\leq 0,010\%$  P) розміром 40...100 мм, кварциту (95% SiO<sub>2</sub>) розміром 25-100 мм, коксового горіха (кількість золи 11-13%) розміром 5- і кам'яного вугілля. 44,46% S). Стандартна теплотворна здатність сульфідів – CaSΔ20 ммГн  $\overset{\circ}{\text{у}}_{\text{тв}} = -475,68$  кДж/моль, ентропія  $S_{298}^{\circ} = -56,43$  Дж/(моль·К). Вміст сірки в силіко-



кальції може досягати 0,2%. Основними джерелами сірки є кварцит (50-55%), кокс (20-30%) і кам'яне вугілля (10-15%).

Висококальцієві марки силікокальцію (СК20-СК30) отримують відновленням вапна і кварциту коксом у відкритих електропечах потужністю 16,5 МВА. Процес в цілому можна представити схемою:



Утворення термодинамічно сильних груп атомів, близьких до  $\text{CaSi}_2$ , знижує активність кальцію і кремнію і полегшує умови відновлення цих елементів з їх оксидів ( $PKO = 0,1$  МПа досягається при  $1600^\circ\text{C}$ ).

Проміжні реакції протікають з утворенням  $\text{SiC}$  і  $\text{CaC}_2$ . Однак необхідно уникати надлишку вуглецю в шихті, щоб не допустити заростання пічної ванни карбідами. Кварцит; вугілля; вугілля; 85 - кокс. При виплавці сплавів марок СК10, СК15 200 кг 30 кг50 кг95 кг~в колос додають 40 кг залізної стружки. Розрахунок шихти проводиться з урахуванням корисного використання кожного елемента, досягнутого на практиці. Так, при розрахунку складу шихти для сплаву СК30 екстракція кальцію становить 67%, а кремнію - 75%. Вона осідає на дині, що призводить до її зростання і виходу з ладу плити. У таблиці 1.6 наведено склад силікокальцієвих шлаків СК30 і СК15, виплавлених вуглецево-відновлювальним методом.

Таблиця 1.6 – Хімічний склад силікокальцієвих шлаків СК30 і СК15

Вміст компонентів в шлаку для сплаву, %	Компонент				
	Сап	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Так	CaC <sub>2</sub>
СК30	15-20	45-55	2-3	10	10-15
СК15	63-68	30-33	0,3-0,7	–	C=0,5-0,7

Шлаки з високим вмістом карбїду кальцію більш текучі, що знижує концентрацію сірки в силікокальції. Однак вони ускладнюють лиття сплаву через погане відділення шлаку від металу.

Електричний режим роботи печей потужністю 14 МВА наступний: струм 54,4 кА, напруга 134 В. Незважаючи на дотримання оптимальних параметрів технології отримання силікокальцію, з часом пічна лазня обростає гарнітажем, який складається з напіввідновленої шихти. Необхідно зупинити піч і замінити футеровку лазень. Щоб уникнути простоїв на практиці, ця проблема частково вирішується періодичним перемиканням печі на виплавку 45% феросиліцію. Випуск сплаву і шлаку при нормальному ході плавки здійснюється кожні 2 години в ківш з вуглецевою футеровкою, стінки і шамотне дно. Сплав розливають в футеровані форми.

Застосування вуглецевих відновників з підвищеним вмістом сірки і золи ( $Al_2O_3$ ) супроводжується підвищенням концентрації сірки і алюмінію в сплаві. При високих температурах алюміній відновлюється вуглецем до карбїду  $Al_4C_3$  ( $\Delta H_{298}^{\circ} = -215,49$  кДж/моль,  $S_{298}^{\circ} = 86,18$  Дж/(моль·К) і розчиняється в сплаві. Тому застосування компонентів шихти з високим вмістом домішок  $Al_2O_3$  ускладнює отримання силікокальцію з допустимою концентрацією по ГОСТ 4762-71 алюміній ( $\leq 2\%$ ) [7].

Силікотермічний спосіб отримання силікокальцію заснований на реакції відновлення оксиду кальцію феросиліцієм кремнію за загальною реакцією:



Оскільки хімічна спорідненість кремнію до кисню нижче, ніж у кальцію, реакція може протікати в напрямку отримання силікокальцію за рахунок значного зниження активності кальцію, що досягається високим вмістом кремнію в сплаві.

Рівновага реакції досягається при відносно низьких концентраціях кальцію в сплаві, тому силікотермічний метод може бути використаний для отримання силікокальцію (феросилікокальцію) з вмістом кальцію  $20 \leq \%$ .

Силікотермічна виплавка кальцію виплавляється у відкритих печах періодичним способом. Склад вуха наступний: по 200 кг вапна, феросиліцію ФС75 і плавикового шпату ( $\text{CaF}_2$  196 кг 30 кг<sub>2</sub>). Застосування дефіцитного плавикового шпату обумовлено тим, що високоосновні шлаки в'язкі і нетехнологічні. 75-85%. У сплав переходить заряд 25-35% Al, 15-30% S, 15-35% P, 25-30% Mg; Частина кальцію переходить в газову фазу. Якість силікотермічного силікокальцію за вмістом сірки і вуглецю вище, ніж у карбоно-термічного кальцію. Порівняльні техніко-економічні показники виплавки силікокальцію вуглецевим і силікотермічним методами наведені в таблиці 1.7.

Силікокальцій надходить на сталеплавильні заводи різного гранулометричного складу (< 2; 2-5; 5-20 і 20-200 мм). Застосування силікокальцію кальцію при виплавці сталі для її розкислення в шматках або у вигляді дрібних фракцій супроводжується великими втратами кальцію в зв'язку з його малою об'ємною масою і високою активністю по відношенню до кисню повітря і ковшових шлакових оксидів. Найкраще застосування силікокальцію досягається при його використанні у вигляді порошкового дроту.

Таблиця 1.7 – Витрата шихтових матеріалів при виплавці силікокальцію

Ім'я	SK15	SK30	SK15	SK10
	Вуглецево-термічний метод		Силікотермічний метод	
Витрата матеріалу, кг:				
Кварцит	1436	1875	–	–
вапна	456	748	960	940
Вугілля	281	265	–	–
Вугілля	244	370	–	–
сухий кокс	388	600	–	–
Феросиліцій FS65	–	–	917	805

Сталева стружка	318	–	–	–
Вага електрода	107	134	–	–
Електроди	–	–	12,5	10,5
Споживання електроенергії, кВт·г/т	8893	11800	1670	1415

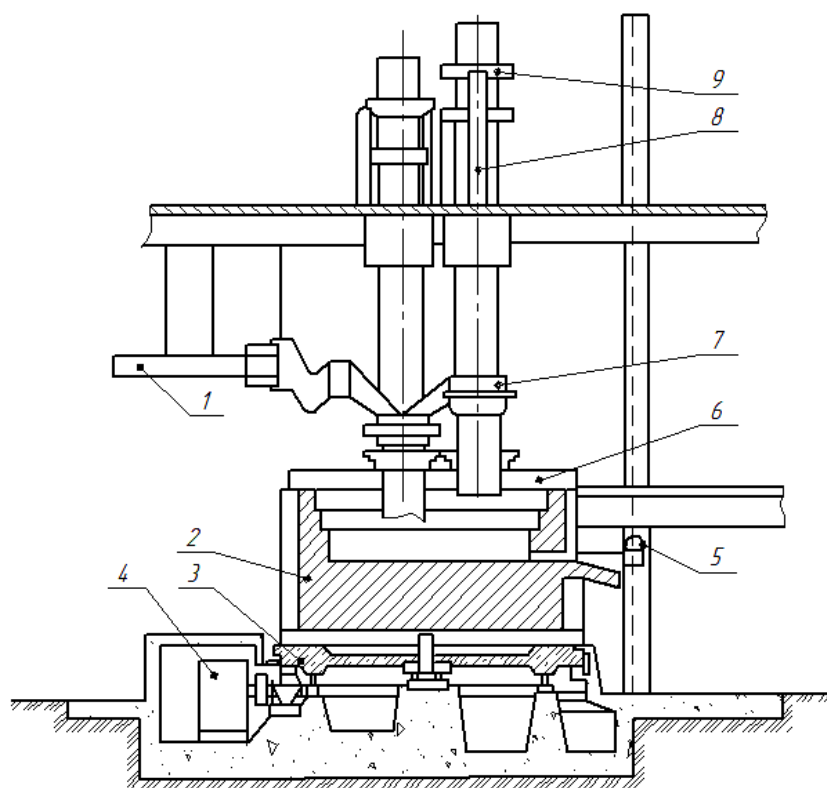
Метод карбїду кальцію. Описаний вище карботермічний спосіб виплавки силікокальцію шляхом спільного відновлення Si і Ca з кварциту і вапна (вапняку) з вуглецем, незважаючи на гадану простоту, має ряд істотних недоліків. Перш за все, цей спосіб ускладнює виплавку силікокальцію з вмістом 32-35% Ca за рахунок накопичення в топкової ванні на дні і стінках ванни складного складу гарнізону, який складається з розплавлених продуктів взаємодії  $\text{SiO}_2$  і  $\text{CaC}_2$ . Гарисажний ніж має складний неоднорідний склад, сплав під електродами розташований над дном, яке обростає ганісажем. Це порушує електричний режим розплаву і роботу печі в цілому. Як зазначалося вище, з цих причин печі змушені періодично переходити на виплавку феросиліцію ФС45, щоб довести ванну до необхідного стану для подальшої виплавки силікокальцію або для ремонту печі.

Ці недоліки в значній мірі усуваються отриманням кремнезему кальцію двостадійним методом карбїду кальцію. На першому етапі з вапна (вапняку) і коксу виплавляють технічний карбїд кальцію, а на другому етапі - силікокальцій з карбїду кальцію і кварциту. Технологія двостадійного методу виплавки силікокальцію відома, але не знайшла широкого застосування [8].

#### А.Д. Виплавка силікокальцію вуглецево-термічним методом

Силікокальцій кальцію виплавляють вуглецево-термічним процесом в трифазних вугільних футерованих печах (рис. 1.1) потужністю 10-15 МВА при лінійній напрузі ланцюга  $\sim 135$  В і струмі на електродах  $\sim 58$  кА. Напруга дуги в середньому становить 30 В, корисна напруга  $\sim 55$  В, що визначається

необхідністю глибокої і стійкої посадки електродів в заряді, в нормі  $> 700$  мм.

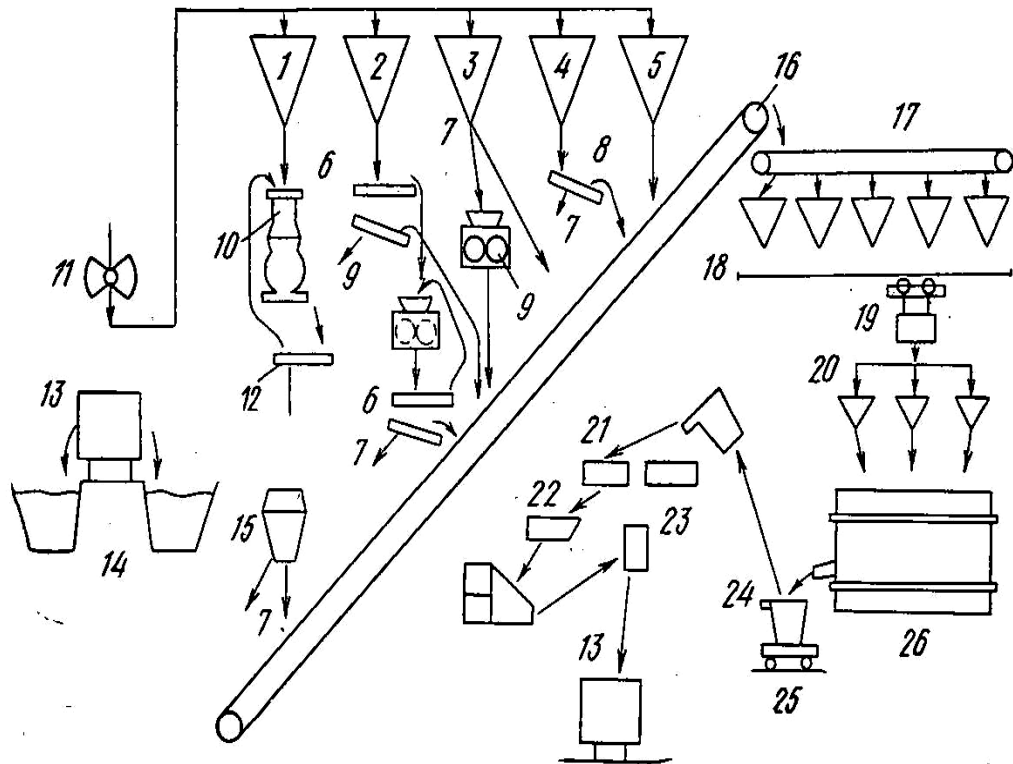


1 - коротка сітка; 2 - піч-лазня; 3 - опорна плита; 4 – механізм повороту ванни; 5 – льотний пальник; 6 - арка; 7 - подача струму; 8 – гідравлічний підйомник; 9 – пристрій обходу електродів.

Рисунок 1.1 – Кругла закрита феросплавна піч з обертовою ванною.

При сильному заростанні ванни карбідами кут повороту зменшують до 10-150. Обертання ванни дозволяє виплавляти силікокальцій-силікокальцій за три-чотири кампанії тривалістю 2,5-3 місяці, між якими для руйнування «козла» з карбідів і шлаку, що утворився в печі, піч необхідно перевести на виплавку ФС45 на один-півтора місяці. Обертання топкової лазні дозволяє скоротити кількість капітальних ремонтів до одного на рік замість трьох на стаціонарній печі.

Технологічна схема виробництва показана на рис. 1.2.



1 - кварцит; 2 - кокс; 3 - кам'яне вугілля; 4 - деревне вугілля; 5 - вапно; 6 - двухситне сито; 7 - відсічення; 8 - односитове сито; 9 - двовалкова дробарка; 10 - конусна дробарка; 11 - грейферний кран; 12 - екран; 13 - залізничний вагон; 14 - бункери; 15 - пральний барабан; 16, 17 - транспортер; 18 - бункери-дозатори; 19 - візок-дозатор; 20-пічні бункери; 21 - форми; 22 - коробка; 23 - барабан для упаковки сплаву; 24 - ківш для сплаву; 25 - Електрична піч.

Рисунок 1.2 – Технологічна схема виробництва силікокальцію вуглецево-термічним методом.

Після капітального ремонту нагрівальна піч працює в плавильному цеху ФС45 близько одного місяця. У печі обертової ванни переведення на силікокальцієву виплавку здійснюється з плавкою вапняної ванни (перша фірма після зміни футеровки печі), причому без проходки. Виплавка силікокальцію здійснюється в безперервному процесі, шихта завантажується в піч у міру її плавлення. В електродах підтримуються невеликі конуси, що дозволяє виділяти рівномірні гази по всій поверхні, покращує утилізацію тепла відпрацьованих газів, зменшує вигорання кальцію і кремнію.

Для забезпечення хорошої роботи печі необхідно якомога довше утримувати верхній рівень на низькому рівні, тому шихту завантажують вручну (при плавці СК10 і СК15 шихту завантажують відливальною машиною), без-

перервно згрібають лопатями зверху до електродів і знімають карборундовий настил з поверхні верху. При розрахунку заряду береться використання кальцію 62% (для СК15 - 75%) і кремнію 67%. Надлишок твердого вуглецю (включаючи добавки) повинен становити 16-20%.

Деревне вугілля і вугільні форсунки в колосі встановлюються постійними, а кількість коксу змінюється в залежності від ваги вапна, фактичного вмісту вологи в відновниках і ходу печі. Приблизний склад сплеску заряду наступний [9]:

Кварцит	200 кг;
ВАПНО	85 кг;
Вугілля	50 кг;
кам'яне вугілля	40 кг;
Коксік	90-100 кг.

При виплавці СК15 шип шихти складається з:

Кварцит	200 кг;
ВАПНО	60 кг;
Вугілля	50 кг;
кам'яне вугілля	35 кг;
Залізна стружка	35 кг.

Збільшення концентрації CaO в шихті до співвідношення CaO/SiO<sub>2</sub> ~ 0,35 призводить до збільшення концентрації кальцію в сплаві до 31-35%, подальше збільшення цього співвідношення призводить до різкого зниження використання кальцію, концентрація кальцію в сплаві вже не збільшується.

Відновні процеси при виплавці силікокальцію протікають в найбільш гарячих зонах печі, а саме в електродах, навколо яких утворюються газові порожнини, що мають в нижній частині твердосплавні «чашечки». Отриманий сплав накопичується в порожнині ( «щілині»), яка розташована на рівні вихідного отвору. Збереження цих «чашечок» і наявність порожнини ( «щілини») є обов'язковою умовою нормального перебігу процесу. Цьому сприяє робота з великим надлишком відновника, але надмірний розвиток

процесу карбідоутворення призводить до заростання печі карбідами, головним чином карборундом, і закупорки порожнини і ходів з неї, т. Е. До припинення виділення сплаву і газу з льотка. Щоб цього не допустити, в піч періодично вводять кварцит, в деяких випадках вапно. При холодному пуску печі вапно не вносять, тому що це призведе тільки до утворення рідкого шлаку. При нормальній роботі печі після кожного випуску в тигель на електроди одночасно подається кварцитова добавка (400-600 кг) для руйнування наявних карбідів.

Слід прагнути до виплавки сплаву з більш високим вмістом кальцію, так як це знижує витрати на відновлення кремнію. Однак зі збільшенням концентрації кальцію в сплаві втрати кальцію і кремнію збільшуються, приблизно на 20% від маси зарядженого заряду, тому вміст кальцію в сплаві слід вважати 30-33%. З печі має виходити мінімальна кількість шлаку наступного хімічного складу: 45-55% SiO<sub>2</sub>, 15-20% CaO, 10% SiC, 10-15% CaC<sub>2</sub>, а також Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, FeO та ін. 60 л

Основними відхиленнями від нормальної роботи печі є:

- надлишок відновника вище нормального, при якому зменшується глибина залягання електродів в шихті і швидкість потоку заряду, спостерігається спікання верхівки, льоток погано відкривається і туго шарудить (іноді взагалі не шарудить), збільшується вихід карборунду при випуску. Збільшується вміст кальцію в сплаві. Для регулювання ходу печі необхідно зменшити зависання коксу в шипі і при необхідності збільшити зависання вапна в колосі або вага одноразових добавок кварциту. При великому надлишку відновника, коли пічна ванна швидко заповнюється карбідом кремнію, і при неможливості збільшення одноразових добавок кварциту (низький вміст кальцію в сплаві) необхідно ввести в піч під електрод 200-300 кг вапна для корекції ходу печі. Цю операцію можна використовувати один-два рази на день. Якщо при всіх інших ознаках надлишку відновника з печі виходить рідкий шлак, забороняється давати одноразові добавки вапна;



- недостатня кількість відновника, що збільшує вихід шлаку при вивантаженні, верх працює мляво з великою витратою шихти, вміст кальцію в сплаві зменшується, сплав холодний, льоток закривається з працею. Необхідно збільшити зависання коксу в вухах і збільшити кількість кварциту. Також можливе збільшення суспензії деревного вугілля до 60-80 кг на колос;
- надлишок вапна в шихті, що зменшує глибину закладення електродів в шихту і з'являється рідкий шлак, кількість якого збільшується від виходу до випуску; необхідно зменшити висіння вапна;
- недостатня кількість вапна в шихті викликає зниження вмісту кальцію в сплаві, необхідно збільшити вагу вапна;
- інтенсивне заростання топкової ванни карбідом кремнію, в результаті чого припиняється вихід газу з льотка. Необхідно припинити завантаження шихти в піч і плавити тиглі електричними дугами протягом декількох годин. Якщо ця операція не виправляє ситуацію, то нове місце розрізу випаляють приблизно на 100 мм вище попереднього.

Температура на виході сплаву становить  $\sim 1900^{\circ}\text{C}$ , що значно перевищує температуру його плавлення і викликає додаткові втрати кальцію в польоті. Зниження вмісту кальцію становить 0,5-1,5% при вивільненні. Сплав відливають в чавунні піддони. Або, в крайньому випадку, обпектися киснем, враховуючи, що з вікна (газового пальника) з'являється полум'я.

Сплав містить значну кількість сірки (до 0,2%), так як кальцій утворює з нею сильний сульфід. Найбільша кількість сірки додається в сплав кварциту (53%), коксу (25%) і кам'яного вугілля (11%). Сплавний злиток виймається з піддону, в залежності від його товщини, через 1-1,5 години після випуску. Подрібнений і очищений сплав упаковується в альпіністські барабани. При відносно повільному охолодженні (густий злиток) відбувається значне розрідження елементів в силікокальцієвом злитку (табл. 1.8).

При цьому карбід кремнію утворює тверду фазу, що містить 70% Si і має щільність 3,2 г/см<sup>3</sup>, тобто вище, ніж у розплаву, внаслідок чого занурюється в нижню зону злитка.

Таблиця 1.8 – Зміна висоти повільно охолоджуваного 1,5-тонного силікокальцієвого злитка (h – відстань від вершини)

h, мм	Масова частка, %						
	Са	Ба	С	Віра	До	S	Так
<70	29,34	0,83	0,25	5,60	1,31	0,055	62,62
70-140	30,32	1,12	0,08	4,46	1,36	0,005	62,66
170-220	29,92	1,23	0,34	4,39	1,67	0,150	62,3
250-320	28,42	0,10	1,36	4,99	1,65	-	63,48
320-400	26,42	0,82	3,70	4,99	1,41	0,152	63,33

## А.Е. Висновки

1. Проаналізовано сучасний стан феросплавної промисловості України та визначено шляхи стратегічного напрямку розвитку феросплавної промисловості.

2. Запропоновано виплавляти силікокальцій вуглецево-термічним методом, який є основним способом отримання силікокальцію різних марок, переважно з високим вмістом кальцію (>30%).

## РОЗДІЛ 2

### ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИПЛАВКИ СИЛІКОКАЛЬЦІЮ ВУГЛЕЦЕВО-ТЕРМІЧНИМ МЕТОДОМ

#### 2.1. Методи і прийоми дослідження

Основними методами дослідження та аналізу при написанні експериментальної частини дипломної роботи були порівняльні методи, методи синтезу, методи індукції та дедукції, математичні методи, методи спостереження та інші.

Використано комплекс сучасних методів фізико-хімічних досліджень, термодинамічний аналіз взаємодії компонентів металеві та шлакової фаз, методи петрографічного та мікрорентгенівського спектрального аналізу.

Дослідження механізму взаємодії оксидів і карбідів кремнію і карбідів кальцію проводили при температурі 1900-2100 °С в печі з графітовим нагрівачем в атмосфері аргону. Вихідними матеріалами були оксиди і карбіди кальцію і кремнію. Фракційний склад становив 0,1-0,2 мм. Перед дослідженнями компоненти шихти брикетували, використовуючи в якості сполучної речовини борну кислоту. Ізотермічний час витримки становив 10 хвилин. взаємодії піддавали рентгенівському дифракційному аналізу.

Методом математичного моделювання експерименту в печі з графітовим нагрівачем в атмосфері аргону з безперервною автоматичною реєстрацією втрати маси зразка на діаграму електронного потенціометра проведено дослідження впливу технологічних параметрів (температура, молярне співвідношення С:СаО, вуглецева та вапняна фракції, ізотермічний час витримки). Брикети виготовляли з паленого вапна і графіту. Сполучним матеріалом послужила борна кислота в кількості 2% від ваги шихти. Застосування набору матриці і пуансона дозволило отримати брикети діаметром 8 і висотою 15 мм. Після виробництва брикети сушили при температурі 150-200 °С і зважували. Після сушіння молібденовий тигель з брикетом опускали в зону заданої температури і витримували певний час. Відповідні вимірювання на стрічці потенціометра були використані для розрахунку втрати ваги оригінального брикету, що висить у часі.

Дослідження кінетики утворення карбіду кальцію проводили при температурах 1800-2000 °С. В якості відновників вуглецю використовували графіт, деревне вугілля, кокс. Фракція компонентів заряду становила 0,1-0,2 мм. Досліди проводили протягом 10-15 хв в графітовому тиглі. Отримані ре-

зультати впливу різних вуглецевих відновників на вихід карбїду кальцію при температурах 1800-2000 °С показують, що при температурі 1800 °С утворюється більше 50% теоретично можливого карбїду кальцію.

Кінетику відновлення кремнію і кальцію вуглецем вивчали гравіметричним методом в печі з графітовим нагрівачем в молібденовому тиглі і очищеним від вологи і кисню аргоном.

Проведено дослідження кінетики взаємодії кварцового скла та вапна з графітом при різних розмірах вапна. Продукти реакції піддавали хімічному та рентгеноструктурному аналізу.

Виплавка силікокальцію здійснювалася шляхом раціональної підготовки шихти. У першому варіанті всі шихтові матеріали мали розмір менше 1 мм, в наступних дослідних партіях брикетів розмір вапняку становив <3 і 3 відповідно. У другому варіанті дослідна партія шихти була представлена брикетами, що складаються з піску і вугілля. Для того щоб виключити відділення шихти в печі, вапняк застосовували в кусковому вигляді двох фракцій: 10-15 і 30-. Експериментальні розплави проводилися в трифазній електродуговій лабораторній печі потужністю 160 кВА. 6 мм40 мм

Виробництво кальцієвого феросиліку здійснюється у відкритих феросплавних печах з вуглецевою футеровкою потужністю близько 10-25 МВА при робочій напрузі 120-160 В і електродному струмі 50-75 кА, що забезпечує глибоке і стійке прилягання електродів в шихті, зазвичай 500 мм.

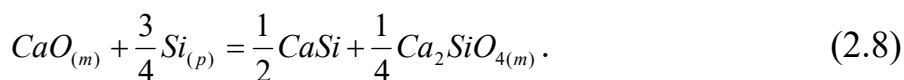
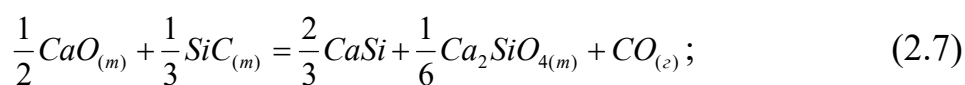
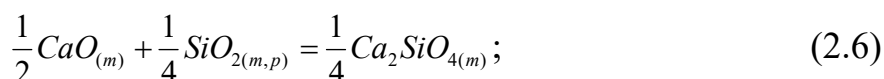
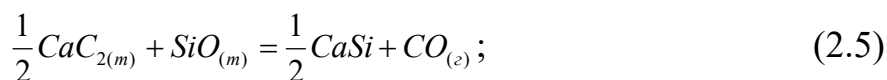
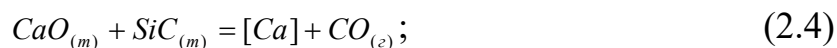
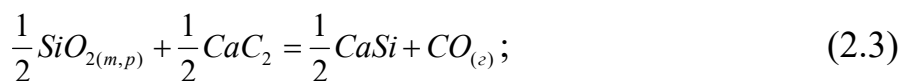
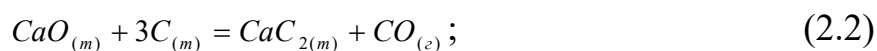
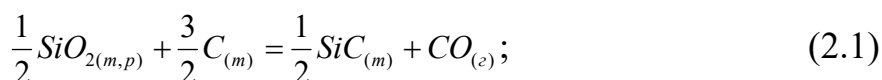
2.2. Розробка технології отримання силікокальцію вуглецево-термічним методом

2.2.1. Термодинамічний аналіз реакцій в системі Si–O–C–Ca

З усіх існуючих методів отримання складних методів кремнієвих феросплавів, зокрема силікокальцієвої рідини, найбільш економічним може виявитися одностадійний вуглецево-термічний спосіб. Однак при виплавці цих феросплавів за допомогою кускової шихти виникають великі труднощі, пов'язані з розвитком побічних реакцій, що призводить до різкого погіршення всіх техніко-економічних показників виробництва.

Узагальнення експериментального матеріалу дозволяє успішно розв'язувати задачу керування хімічними реакціями при сумісному відновленні металів з метою оптимізації технологічного процесу. Важливу інформацію може дати термодинамічний аналіз реакцій, який досить повно описує систему.

У системі Si–O–C–Ca розглянемо такі реакції:



Температурну залежність ізобарично-ізотермічного потенціалу реакцій визначають методом комбінування хімічних реакцій, використовуючи дані довідника [11].

З розрахунків отримуємо, що ортосилікат кальцію може утворюватися як за рахунок взаємодії кремнезему з оксидом кальцію, так і в результаті реакцій кремнезему з карбідом кальцію і оксиду кальцію з кремнеземом. утворення ортосилікату кальцію небажано, так як подальша екстракція елементів з нього можлива тільки при високих температурах (2300 K).

З двох систем отримання силікокальцію кальцію (через SiC або CaC<sub>2</sub>) найбільш вірогідним є взаємодія карбіду кальцію з оксидами кремнію. Це суперечить рекомендаціям про те, що виплавка силікокальцію з кварциту і карбіду кальцію споживає більше електроенергії, ніж виплавка з кварциту і вапна.

Взаємодія карбіду кальцію з кремнеземом може розвиватися за шлакової і безшлакової схемами. До температури > 2273 K найбільш вірогідні процеси силікатного утворення. Тому виплавку силікокальцію необхідно проводити в печах з високою питомою продуктивністю, яка припадає на площу кола з діаметром розпаду електрода.

З урахуванням результатів термодинамічних розрахунків відновлення кальцію і кремнію вуглецем може проводитися за різними схемами (табл. 2.1). Завдання металурга полягає в підборі реакцій, що забезпечують максимально можливе вилучення елементів в сплав і низькі енергетичні витрати [12].

З таблиці 2.1 видно, що схеми 3-5 характеризуються мінімальними питомими витратами тепла і сировини. Таким чином, в порівнянні зі зміною ентальпії сумарних реакцій схем 1 і 2  $\Delta H_{2000K}$  значення для схем 3, 4 і 5 менше на 35,0, 28,7 і 28,7% відповідно.

Однак з точки зору матеріаломісткості (вапна і кварциту) ця схема менш вигідна, ніж схеми 4 і 5. З цих двох перевагу слід віддати схемі 5.

Схема 5 може бути виконана з використанням кварциту і гранульованого вапна або вапняку з вуглецевим відновником.

Термодинамічні переваги схеми 3 як найбільш енергоєфективної схеми відновлення кальцію і кремнію реалізовані в двоступеневому силікотермічному способі отримання силікокальцію.

Таким чином, з цих термодинамічних розрахунків можна отримати цінну інформацію, яка необхідна для розробки оптимальної технології виплавки складних феросплавів. При виробництві таких сплавів, як Si-Ca, Si-REM та інших, необхідно забезпечити сприятливі умови для утворення карбідів струмопровідних елементів і виключити прямий контакт оксидів з кремнеземом. На практиці це досягається застосуванням гранульованої суміші оксидів (карбонатів) струмопровідних елементів з вуглецевими відновниками і кусковим кварцитом.

Таблиця 2.1 – Порівняння можливих схем відновлення кальцію і кремнію

Схема No.	Реакція	$\Delta H_{2000}^0$ кJ лоджоль	Питома витрата матеріалу		
			CaO	SiO <sub>2</sub>	C
1	$CaO + \frac{1}{2}SiO_2 = \frac{1}{2}Ca_2SiO_4$	-46,8	1,00	1,75	3,75
	$\frac{5}{4}SiO_2 + \frac{15}{4}C = \frac{5}{4}SiC + \frac{5}{2}CO$	728,8			
	$\frac{1}{2}Ca_2SiO_4 + \frac{5}{4}SiC = CaSi + \frac{3}{4}SiO + \frac{5}{4}CO$	1016,6			
	$CaO + \frac{7}{4}SiO_2 + \frac{15}{4}C = CaSi + \frac{3}{4}SiO + \frac{15}{4}CO$	1698,7			
2	$CaO + 3C = CaC_2 + CO$	451,5	1,00	1,75	3,75
	$SiO_2 + CaC_2 = \frac{1}{2}CaSiO_4 + \frac{1}{2}SiC + \frac{3}{2}C$	-205,9			
	$\frac{3}{4}SiO_2 + \frac{9}{4}C = \frac{9}{4}SiC + \frac{3}{2}CO$	436,5			
	$\frac{1}{2}Ca_2SiO_4 + \frac{5}{4}SiC = CaSi + \frac{5}{4}SiO + \frac{5}{4}CO$	1016,6			

	$CaO + \frac{7}{4}SiO_2 + \frac{15}{4}C = CaSi + \frac{3}{4}SiO + \frac{15}{4}CO$	1698,7			
3	$SiO_2 + 3C = SiC + 2CO$	583,1	2,00	1,50	3,00
	$SiC + \frac{1}{2}SiO_2 = \frac{3}{2}Si + CO$	464,5			
	$2CaO + \frac{3}{2}Si = CaSi + \frac{1}{2}Ca_2SiO_4$	58,0			
	$2CaO + \frac{3}{2}SiO_2 + 3C = CaSi + 3CO + \frac{1}{2}Ca_2SiO_4$	1105,6			
4	$SiO_2 + 3C = SiC + 2CO$	583,1	1,00	1,00	3,00
	$SiC + CaO = CaSi + CO$	628,6			
	$CaO + SiO_2 + 3C = CaSi + 3CO$	1211,7			
5	$CaO + 3C = CaC_2 + CO$	451,5	1,00	1,00	3,00
	$CaC_2 + SiO_2 = CaSi + 2CO$	760,2			
	$CaO + SiO_2 + 3C = CaSi + 3CO$	1211,7			

### 2.2.2. Кінетика високотемпературних перетворень у системі CaO–SiC та SiO<sub>2</sub>–CaC<sub>2</sub>

У вуглецево-термічному процесі виробництва силікокальцію в високо-температурній зоні печі першим етапом перетворення шихтових матеріалів є утворення карбідів кремнію і кальцію. Шласилікатна фаза може утворюватися при безпосередній взаємодії оксидів кремнію і кальцію і при їх взаємодії в системах CaO-SiC і SiO<sub>2</sub>-CaC<sub>2</sub>. Пояснення механізму цих перетворень має велике значення при розробці нових методів підготовки шихти для виплавки силікокальцію.

Дослідження механізму взаємодії оксидів і карбідів кремнію і кальцію проводили при температурі 1900-2100 °С в печі з графітовим нагрівачем в атмосфері аргону. Вихідними матеріалами були оксиди і карбіди кальцію і кремнію. Фракційний склад становив 0,1-0,2 мм. Перед дослідженнями ці компоненти шихти брикетували, використовуючи борну кисло-



ту в якості сполучного матеріалу Зразки. Продукти взаємодії піддавалися рентгенівському дифракційному аналізу.

При молярному співвідношенні  $\text{CaO}:\text{SiC} = 1 : 1$  втрати в розмаху кремнію і кальцію були приблизно однаковими і в сумі склали  $\sim 73\%$  від загальних втрат брикетної маси при найвищій температурі експерименту. Інші втрати пов'язані зі зменшенням кисню і вуглецю. У діапазоні температур 1900 – 2100  $^{\circ}\text{C}$  спостерігалася зміна фазового складу продуктів взаємодії (табл. 2.2) [13].

Основним компонентом залишку був  $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , а його вміст у шламi зменшувався з підвищенням температури. Після утворення дикальцієвого силікату взаємодія зводилася до реакцій між карбідом кремнію і силікатом.

Таблиця 2.2 – Зміна фазового складу продуктів взаємодії  $\text{CaO}\text{-SiC}$

Температура, $^{\circ}\text{C}$	Фазовий склад продуктів реакції системи $\text{CaO}\text{-SiC}$ , %					
	Так	Сан	$\text{CaC}_2$	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{CaSi}_2$	Його
1900	15,5	3,8	11,9	62	5,5	1,3
2000	18,2	2,2	18,5	53,7	6,2	1,2
2100	16,1	1,1	24,4	46,7	11,5	-

Реакційний залишок також містив металеву фазу, яка представлена дисиліцидом кальцію і кремнію. Вміст силіцидів значно зростає з підвищенням температури і досягав 11,5% при температурі 2100  $^{\circ}\text{C}$ . Вміст кремнію був незначним. Мабуть, можна припустити наступну схему перетворень, яка з підвищенням температури зміщується в бік утворення газової фази.

Зміна молярного співвідношення  $\text{CaO}:\text{SiC}$  до 1:0,5 призводить до того, що основними компонентами є дикальцієвий силікат, карбід кремнію, оксид кальцію і, в невеликих кількостях, дисиліцид кальцію. Наявність нероєгенного оксиду кальцію при виявлених умовах цілком допустимо, так як в ході експерименту брикет зберігає форму і стикається тільки з графітовим дном тигля. ніж при молярному співвідношенні  $\text{CaO}:\text{SiC} = 1 : 1$ . Головною відмінною рисою взаємодії  $\text{CaO}:\text{SiC}$  є те, що втрати кальцію в польоті зросли і

склали 63,3% при максимальній температурі, а втрати кремнію значно знизилися (до 22,4%). При температурі 1900 °С втрат кремнію не спостерігалось. Таким чином, зміна співвідношення CaO:SiC до 1:0,5 змінює механізм процесу (рис. 2.1) [14].

При температурі 2100 °С політ кремнію вже помітний і становить 22,4%.

Вивчено взаємодію продуктів реакції в системі SiO<sub>2</sub> – CaC<sub>2</sub> з молярним співвідношенням SiO<sub>2</sub>:CaC<sub>2</sub> = 1 : 1. Втрата маси зразка при зміні температури від 1900 до 2100 °С коливалася від 22,2 до 53,5%. У балансі втрат основне місце займав кальцій. По відношенню до його вхідного вмісту в брикеті воно коливалося від 24,6 до 78%. Найбільш відмінною рисою є відсутність втрат кремнію у всьому інтервалі експерименту (рис. 2.1).

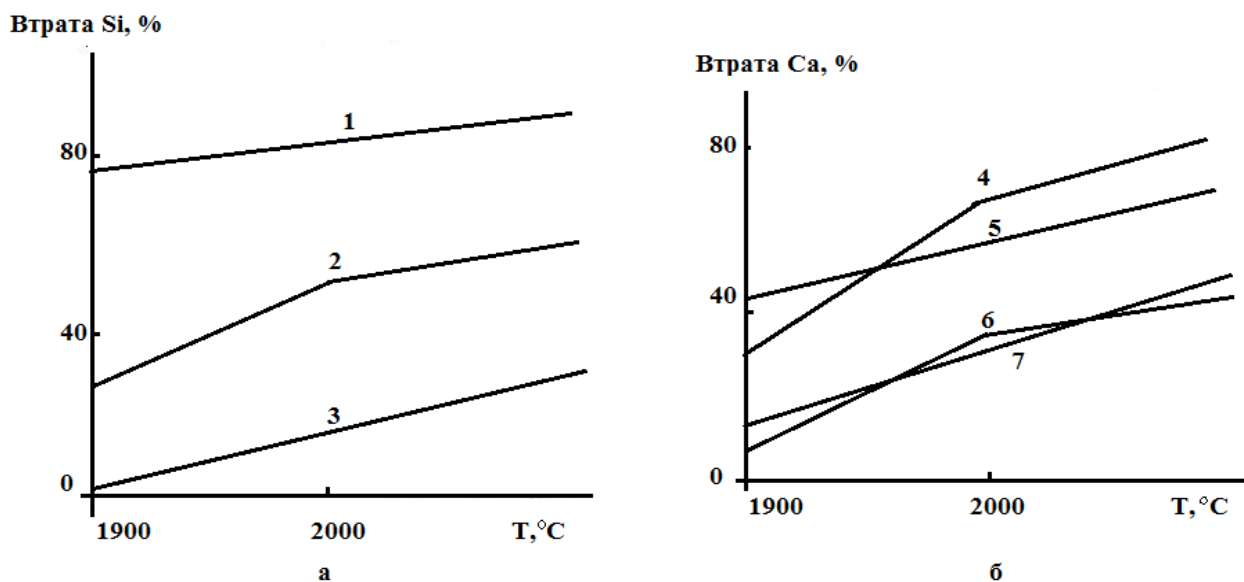


Рисунок 2.1 – Вплив температури на втрати кремнію (а) і кальцію (б) при мольних співвідношеннях CaO:SiC = 1 : 0,5 (криві 1,6); CaO:SiC = 1 : 1 (криві 2,7); CaO:SiC = 1 : 0,5 (криві 3,5); CaO:SiC = 1 : 1 (крива 4).

Спостерігалось помітне збільшення втрат кисню і вуглецю. Можна припустити, що втрата кисню пов'язана тільки з польотом вуглецю, а весь кремнеземистий кремній переходить або в силікати, або в карбід кремнію, зміст якого збільшується з підвищенням температури (табл. 2.3) [15].

Основним компонентом реакційного залишку є силікат кальцію, вміст якого зменшувався з 65,7% при температурі 1900 °С до 32,2% при температурі 2100 °С з підвищенням температури досліджу.

Таблиця 2.3 – Зміна фазового складу продуктів взаємодії SiO<sub>2</sub> – CaC<sub>2</sub>

Температура, °С	Фазовий склад продуктів реакції системи SiO <sub>2</sub> – CaC <sub>2</sub> , %			
	Так	2CaO·SiO <sub>2</sub>	CaSi <sub>2</sub>	Його
1900	23,4	65,7	8,9	1,9
2000	54	38,8	6,3	1,9
2100	56,6	32,2	4,0	2,4

Вміст другого основного компонента, карбиду кремнію, збільшився з 23,4 до 56,6% в тому ж діапазоні температур. Дісиліциду кальцію було значно менше (4-9%). Крім того, в найбільших кількостях виявлено кремній (2-2,5%) і сліди оксиду кальцію. Діоксид кремнію і карбід кальцію були відсутні в продуктах реакції.

Так, дослідження взаємодії CaO-SiC і SiO<sub>2</sub>-CaO<sub>2</sub> в інтервалі температур 1900-2100 °С і різних молярних співвідношень компонентів в них показало значну інтенсифікацію всіх компонентів заряду з підвищенням температури. Зміст силіцидів кальцію в залишку металевої фази не може служити критерієм ступеня відновлення, так як їх дисоціація відбувається при експериментальних температурах.

### 2.2.3. Кінетика утворення карбиду кальцію

Карбід кальцію є проміжним продуктом в складному процесі відновлення кремнію і кальцію вуглецем при виплавці силікокальцію вуглецево-

термічним процесом. Є відновником кремнезему при високих технологічних температурах [16].

У зв'язку з розробкою нових технологічних рішень вуглевідновлювального способу виробництва силікокальцію було поставлено завдання встановити оптимальні умови утворення карбїду кальцію в брикеті, що складається з вапна і вуглецевого відновника.

В описах технології виробництва карбїду кальцію наводяться дані, що свідчать про вплив на його утворення в печі: сорт вапна і температура її прожарювання, види використовуваних вуглевідновників, вплив його надлишку [17]. Є дані про лінійну залежність вмісту карбїду кальцію в печі від температури розплаву [18]. Однак конкретних рекомендацій щодо утворення карбїду кальцію в брикетах немає.

У цьому розділі представлені результати дослідження впливу технологічних параметрів (температура, молярне співвідношення C:CaO, вуглецева і вапняна фракції, ізотермічний час витримки) на утворення карбїду кальцію з вуглецю і оксиду кальцію. Досліди проводили методом математичного моделювання досліду в печі з графітовим нагрівачем в атмосфері аргону з безперервною автоматичною реєстрацією втрати маси зразка на схемі електронного потенціометра. Брикети виготовляли з паленого вапна і графіту. Сполучним матеріалом послужила борна кислота в кількості 2% від ваги шихти. Застосування набору матриці і пуансона дозволило отримати брикети діаметром 8 і висотою 15 мм. Після виробництва брикети сушили при температурі 150-200 °C і зважували. Після сушіння молібденовий тигель з брикетом опускали в зону заданої температури і витримували певний час. Відповідні вимірювання на стрічці потенціометра були використані для розрахунку втрати ваги оригінального брикету, що висить у часі.

Втрата маси початкового заряду полягала у втраті в польоті чадного газу і парів кальцію. Кінцевий продукт був хімічно проаналізований на загальний і вільний вуглець і кальцій. Це дозволило розрахувати вміст фіксованого вуглецю, а значить і карбїду кальцію. Вміст останнього визначали паралель-

но експериментально на лабораторній установці за кількістю ацетилену, що виділяється. Різниця між початковим і кінцевим вмістом кальцію в насадці вказувала на втрату кальцію в ході експерименту.

Отримані результати дозволяють спрогнозувати вплив досліджуваних параметрів. Так, підвищення температури з 1800 до 1900 °С має збільшити вміст карбїду кальцію на 22,1%. Підвищення температури до 2000 °С дозволить отримати до 80% технічного карбїду кальцію в кінцевому продукті. Збільшення часу з 10 хвилин до 19 хвилин збільшить час з 1 до 3. При цьому слід очікувати збільшення вмісту карбїду кальцію на 12% [19].

Адекватність моделей перевірялася за критерієм Фішера. Оскільки вміст карбїду кальцію максимально повно характеризує якісний результат, його було взято за основний оптимізаційний параметр. Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що основним параметром, який позитивно впливає на вихід карбїду кальцію, є температура; зміна надлишку відновника менше молярного відношення  $C: CaO = 5$  сприяє збільшенню  $CaC_2$ ; зміна розмірів вуглецевого відновника менше 0,1-0,2 мм сприяє збільшенню виходу  $CaC_2$ ; збільшення розміру вапна більше 0,1-0,2 сприяє підвищенню виходу  $CaC_2$ ; збільшення часу перебування понад 10 призводить до збільшення виходу  $CaC_2$ . Провідними факторами є температура і ізотермічний час витримки.

Зі збільшенням температури і часу ізотермічної витримки втрати маси зразка збільшуються. Це говорить про те, що основне схуднення пов'язане з втратою чадного газу, що характеризує втрату кальцію в польоті, вплив практично всіх параметрів однозначно.

Були проведені додаткові експерименти для оптимізації процесу виробництва карбїду кальцію.

У ході дослідів встановлено, що вихід карбїду кальцію при температурах 1875 і 2000 °С становив у середньому 61,2 і 78,5 % відповідно.

Найменший вплив на врожайність  $CaC_2$  має розмір використовуваного вапна.

Це можна пояснити тим, що використовувана вапно не залишається у вигляді окремих частинок в процесі своєї взаємодії з вугіллям, а розчиняється в перших же порціях карбїду, що утворився, утворюючи рідкий розплав  $\text{CaC}_2 - \text{CaO}$ . При збільшенні розмірів вапна повного розчинення не відбувається, а її вплив на вихід  $\text{CaC}_2$  має позначитися негативно. Зменшення розмірності відновника позитивно позначається на виході  $\text{CaC}_2$ , так як збільшується його питома площа поверхні і, відповідно, збільшується поверхня вуглецево-розплавної реакції  $\text{CaC}_2 + \text{CaO}$ . Збільшення кількості відновника вуглецю має технологічно сприяти утворенню  $\text{CaC}_2$ . Не виключено, що підвищення його в вихідній присадці, а отже, і в розплаві, знижує в'язкість розплаву  $\text{CaC}_2 - \text{CaO}$ . Оскільки процеси утворення карбїду в основному відбуваються через рідку фазу, то збільшення його в'язкості робить негативний вплив.

У другій серії дослідів були проведені досліди по кінетиці утворення карбїду кальцію при температурах 1800-2000 °С. В якості відновників вуглецю використовували графіт, деревне вугілля, кокс. Фракція компонентів заряду становила 0,1-0,2 мм. Досліди проводили протягом 10-15 хв. в графітовому тиглі. Отримані результати впливу різних вуглецевих відновників на вихід карбїду кальцію при температурах 1800-2000 °С показують, що більше 50% теоретично можливого карбїду кальцію утворюється при температурі 1800 °С (табл. 2.4) [20].

Більш того, у випадку з деревним вугіллям найвище утворення карбїду спостерігається при будь-яких температурах. Підвищення температури викликає збільшення кількості карбїду кальцію, що утворюється в продуктах реакції.

Таблиця 2.4 – Вплив різних відновників вуглецю на вихід карбїду кальцію

Відновник вуглецю	Вихід карбїду кальцію, %
-------------------	--------------------------

	1800 °C	1900 °C-X	2000 °C	2100 °C	2200 °C
Графіт	62,0	78,0	87,0	95,0	91,6
Вугілля	63,5	79,0	91,9	99,2	84,0
Коксік	59,0	76,5	87,5	96,5	88,0

Так, вміст карбїду кальцію при використанні деревного вугілля при температурі 2100 °C становить 99%, графіту - 95 і коксу - 96,5%. Якщо температура перевищує 2100 °C, вміст карбїду кальцію в продуктах реакції зменшується. Судячи з усього, відбувається його дисоціація. Вміст карбїду кальцію в залишку при 2200 °C зменшується в наступному порядку: графіт, кокс, деревне вугілля.

Вивчено також вплив часу і температури експерименту на вихід карбїду кальцію при використанні графіту в якості відновника (рис. 2.2).

Таким чином, на підставі проведеного дослідження можна зробити наступні висновки. Оптимальними параметрами для отримання карбїду кальцію в брикеті є температура 2000 °C, молярне співвідношення C:CaO = 4,5; розмір графіту 0,05 - 0,15 мм; вапно розміром 0,12-; час ізотермічного впливу – 20,5 хвилин; Відношення фракцій вуглецю до вапна становить 0,4 : 0,7, 0,22 мм

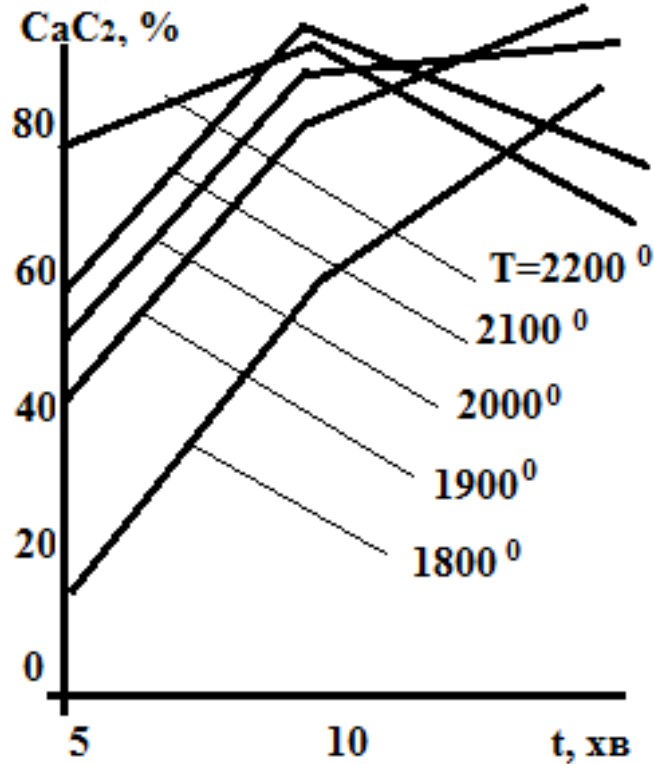


Рисунок 2.2 – Ізотерми утворення і розкладання карбиду кальцію.

На швидкість утворення карбиду кальцію позитивно впливає підвищення температури до 2100 °C включно. При більш високих температурах карбід кальцію починає розкладатися і його вміст в залишку зменшується [21].

2.2.4. Інтенсифікація виплавки силікокальцію шляхом раціонального приготування шихти

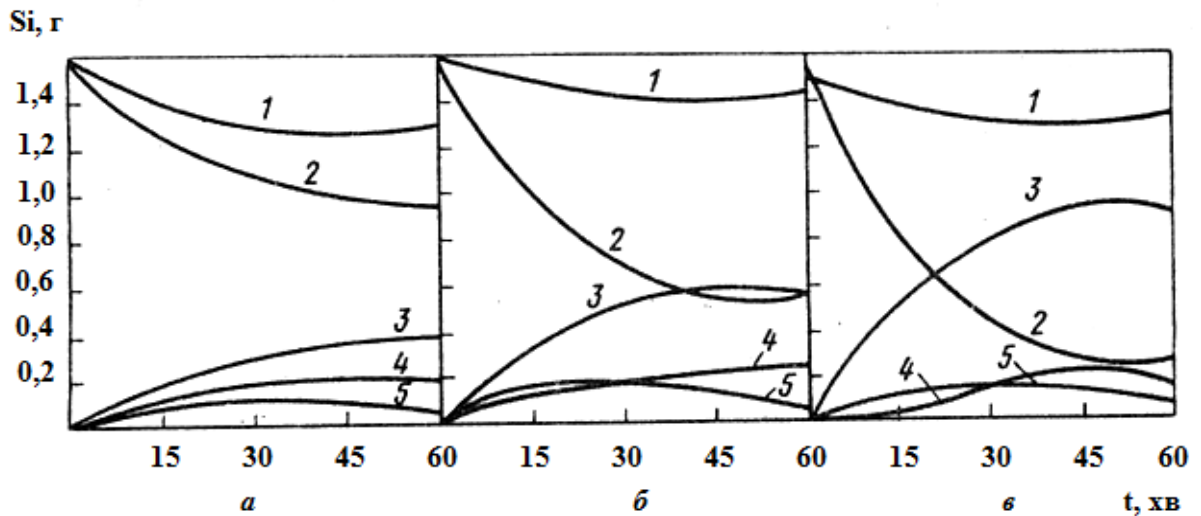
Проведемо лабораторне та напівпромислове дослідження впливу розмірів вапна та інших матеріалів, що використовуються, на перетворення в брикети та особливостей виплавки силікокальцію.

Кінетику відновлення кремнію і кальцію вуглецем вивчали гравіметричним методом в печі з графітовим нагрівачем в молібденовому тиглі і очищеним від вологи і кисню аргоном.

У першому варіанті була вивчена кінетика взаємодії кварцового скла і вапна з графітом при різних розмірах вапна. Продукти реакції піддавали

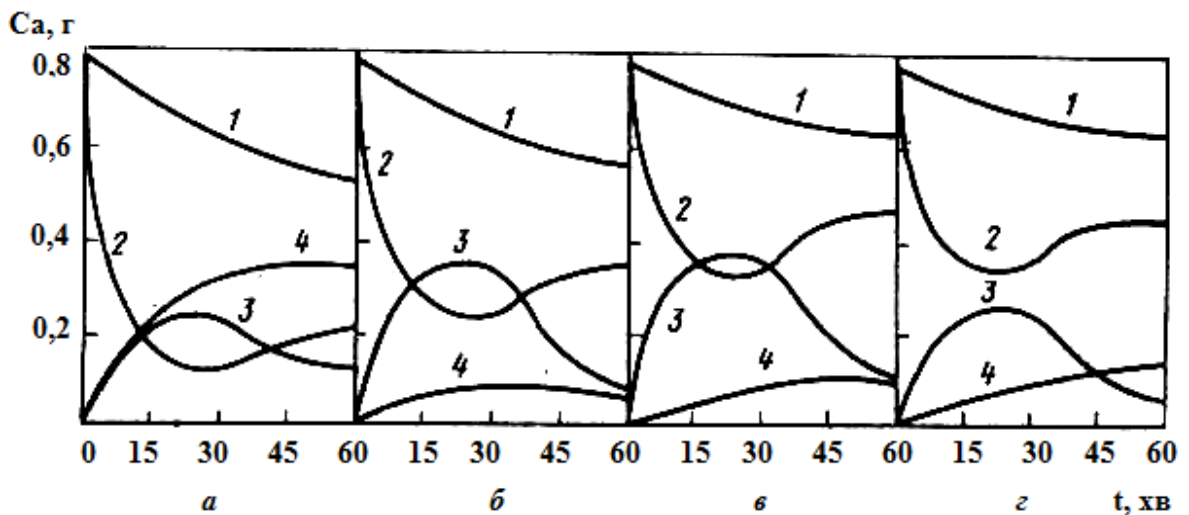


хімічному та рентгеноструктурному аналізу. Результати дослідів, проведених при температурі 1750 ° С, показані на рис. 2.3 і 2.4.



1 – Сизаг; 2 – SiO<sub>2</sub>; 3 – SiC; 4 – SiO; 5 - Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>.

Рисунок 2.3 – Розподіл кремнію між речовинами при збільшенні розміру кремнезему до 2,5-3,2 мм (а); вапно до 0,4- (0,5 ммВ); вапна до 2,5-(3,2 ммС).



1 – казаг; 2 – CaO; 3 – Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>; 4 – CaC<sub>2</sub>.

Рисунок 2.4 – Розподіл кальцію між речовинами зі збільшенням розмірів кремнезему до 2,5-3,2 мм (i); вапно до 0,4-0,5 мм (B); вапно до 1,0-(1,2 ммB); вапно до 2,5 - (3,2 ммG).

На кривих зміни складу продуктів реакції є розломи, що свідчать про можливість взаємодії між ними. Таким чином, збільшення оксиду кальцію можна віднести тільки до перетворення дикальцієвого силікату. Його можна допустити відновлення за допомогою углеродсодержащих компонентів до силікату більш високої основності або оксиду кальцію. Збільшення швидкості виділення монооксиду кремнію (вигин по кривій) вказує на перебіг таких реакцій. Ще менших втрат кремнію і кальцію можна очікувати при подальшому збільшенні розмірів оксиду кальцію. Менший догляд за кремнієм пояснюється тим, що в описаних умовах зі збільшенням розмірів вапна поліпшується контакт кремнезему з вуглецем і збільшується частка кремнезему, пов'язаного в карбіді. Судячи з усього, при подальшому збільшенні фракції вапна частка кремнезему зменшиться і основними компонентами, що надходять в зону високих температур, будуть карбід кремнію і вапно.

Тому на наступному етапі було досліджено вплив температури, часу ізотермічної витримки, фракційного та молярного співвідношення реагентів на утворення металевої фази при взаємодії оксиду кальцію з карбідом кремнію.

У літературі є дані по вивченню взаємодії  $\text{CaO}$  з  $\text{SiO}_2$  в різних умовах, але хімія висвітлена далеко не повністю. Наприклад, в [22] взаємодія  $\text{CaO} + \text{SiO}_2 = \text{CaSi} + \text{CO}$  експериментально не встановлено, вказується лише, що ця реакція термодинамічно більш ймовірна при більш високих температурах.

Дослідження проводилося з використанням методу математичного моделювання експерименту. У продуктах реакції рентгеноструктурний аналіз виявив: карбід кальцію, силікати і силікати кальцію.

Основними параметрами, що збільшують втрати маси, є температура і час. Зниження молярного співвідношення  $\text{SiC}/\text{CaO}$  нижче 0,5 також призводить до посиленої втрати ваги. Зменшення розмірів  $\text{SiC}$  і  $\text{CaO}$  піддається меншому впливу.

Основною причиною втрати кремнію є зниження молярного співвідношення  $\text{SiC}/\text{CaO}$ . Втрата кальцію збільшується з підвищенням тем-

ператури, і її ефект втричі більший, ніж час перебування і зменшення розміру SiC.

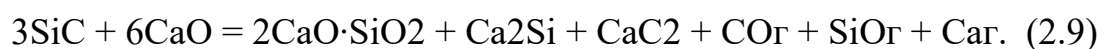
Основними критеріями відновлювального заходу можуть бути як залишки силіцидів, так і кількість чадного газу. Зміст інших компонентів в залишку, в залежності від тестованих параметрів, може бути використано тільки в якості додаткової інформації при обговоренні результатів.

Основним параметром, який позитивно впливає на вихід вуглецю, є температура; зменшення надлишку відновника менше співвідношення SiC : CaO = 0,7 сприяє збільшенню вильоту; Вплив карбїду кремнію та розміру вапна важко встановити, оскільки коефіцієнти регресії нижчі за довірчий інтервал.

Для оптимізації процесу були проведені експерименти в напрямку градієнта. При температурі 1850 ° C були отримані наступні результати для виходу вуглецю: 92,6 і 95,2%, вміст силіцидів 13,1 і 13,2%. При температурі 1950 ° C виділення вуглецю становить 95,3 і 94,7%, а вміст силіцидів - 15,7 і 14,6%.

З дослідів були встановлені оптимальні параметри: температура 1950°C; Молярне співвідношення SiC/CaO = 0,3; карбїд кремнію розміром 0,3-0,4 мм; вапно розміром 0,2 — ; Час: 8,5 хв.0,3 мм

На підставі проведених дослідів можна уточнити механізм перетворень в системі SiC-CaO. Крім раніше виявлених сполук, в продуктах взаємодії замість моносиліциду кальцію виявлено Ca<sub>2</sub>Si, а серед силікатних фаз основною є дикальцієвий силікат. Масовий розпад складається з втрати вуглецю і кисню. Найбільш сприятливим рівнянням рівноваги в досліджуваній системі слід вважати:



З підвищенням температури частка силіцидів збільшується, але також збільшується втеча кремнію і кальцію. На додаток до оптимального молярно-

го співвідношення SiC/CaO, утворення шлаку можна зменшити за рахунок збільшення розміру карбїду кремнію та вапна.

Дослідження послужило підставою для вибору способу приготування шихти, який полягає у виготовленні та випробуванні одноразових брикетів та брикетів, що складаються з вуглецевого відновника та діоксиду кремнію з видаленим з їх складу оксидом кальцію. Матеріалами шихти послужили газове вугілля, кварцовий пісок і вапняк. Співвідношення між вмістом оксидів кальцію і кремнію становить 0,32 – 0,33, тобто залишається колишнім, що прийнято для виробництва силікокальцію в промислових умовах з кускового заряду. Вміст вуглецю у всіх брикетах відповідало кількості стехіометрично необхідного для відновлення кремнієвої і кальцієвої шихти і вуглецю, що використовується для відновлення вуглекислого газу, що виділяється при розкладанні вапняку. Такий розрахунок вуглецю в однозарядних брикетах повністю виправдав себе при отриманні феросиліку кальцію з брикетованої шихти. При розрахунку шихти враховують її вагу, необхідну для брикетування на вальцьовому пресі лопатевим змішувачем (300 кг піску; Вапняку; твердий вуглець, газоподібне вугілля), який нагрівають. Міцність на стиск - 15 МПа, сполучний матеріал - сульфїт - барда лікєро-горїлчаного заводу щільністю 1,2. У першому варіанті всі шихтові матеріали були більш дрібними, в наступних дослідних партіях брикетів розмір вапняку становив <3 і 3-3 відповідно. У другому варіанті дослідна партія шихти була представлена брикетами, що складаються з піску і вугілля. Для того щоб виключити поділ шихти в печі, вапняк застосовували в кусковому вигляді двох фракцій: 10-15 і 30-180 кг162,5 кг1 мм6 мм40 мм

Експериментальні розплави проводилися в трифазній електродуговій лабораторній печі потужністю 160 кВА. Результати кампанії наведені в таблиці 2.5.

Виходячи з наведених вище результатів, можна зробити висновок, що збільшення розмірів вапняку призводить до більшого використання вапна і зниження енергоспоживання.

Таблиця 2.5 – Результати дослідів з підготовки шихти для виплавки силікокальцію

Варіант			Зміст, % <u>Доповнена Ре-</u> <u>альність</u> Так	Відкликання, % <u>Доповнена</u> <u>Реальність</u> Так	Рекуперация електроенергії на 1 кг сплаву (28% Ca), мДж
Пісок 300 кг Вапняк 180 кг Вугілля вугле- цеве газове 162,5кг	SiO <sub>2</sub> і CaO	> 1 мм	$\frac{0,77}{39,4}$	$\frac{0,24}{6,35}$	551
	CaCO <sub>3</sub>	<3 мм	$\frac{16,8}{54,72}$	$\frac{26,0}{44,0}$	111
	CaCO <sub>3</sub>	3-6 мм	$\frac{18,9}{50,82}$	$\frac{26,4}{36,4}$	127
	CaCO <sub>3</sub>	6-10 мм	$\frac{23,33}{55,73}$	$\frac{32,0}{39,0}$	96
	CaCO <sub>3</sub>	10- 15мм	$\frac{18,3}{55,5}$	$\frac{33,2}{51,5}$	145
	CaCO <sub>3</sub>	30- 40мм	$\frac{26,84}{52,2}$	$\frac{38,8}{40,0}$	80

Отримані результати послужили основою для дослідної кампанії в напівпромисловій печі потужністю 1200 кВА. Було випущено дві партії шихти (I і II) масою 20 тонн кожна, перша була представлена одноразовими брикетами, що містять великі фракції вапняку 10-20 мм, друга - брикетами піску, газового вугілля і крупнозернистого вапняку. Результати наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Напівпромислові результати виплавки силікокальцію

Показників	Одиниць	Експеримент	
		I	II
Середній вміст струмопровідних елементів:			
Доповнена Реальність	%	29,4	27,87
Його		63,1	63,56
Питома споживана потужність	Мдж	107,7	141,9
Видалення струмопровідних елементів:			
Доповнена Реальність	%	36,6	26,2
Його		44,9	37,22
Кратність шлаків		0,8-1,0	0,4-0,46

Таким чином, встановлена можливість виплавки силікокальцію. Одним з основних напрямків в попередньому приготуванні шихти є виробництво брикетів зі збільшеним розміром кальційсодержащого матеріалу. У міру освоєння виплавки силікокальцію з вищевказаної шихти і освоєння переходу на більш високі потужності результати повинні поліпшуватися.

Також слід зазначити, що використання брикетів з крупнозернистим вапняком сприяє ранньому утворенню в них карбиду кремнію, який бере участь у відновленні.

### 2.3. Розрахунок шихти і матеріального балансу силікокальцієвої плавки

Склад шихтових матеріалів для виплавки силікокальцію наведено в таблиці 2.7, а розподіл елементів між продуктами плавки і розрахунковий склад феросилікокальцію, кальцію і вуглецю наведені в таблицях 2.8 – 2.10.

Таблиця 2.7 – Склад шихтових матеріалів для виплавки силікокальцію

Матеріал	Хімічний склад, %											
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaH	MgO	MnO	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	З	S	W	Років.	I <sub>з</sub>
Кварцит	97,74	0,47	1,42	0,12	0,1	0,11	0,04					
Вапно				88	1,8		0,04	В.П.П.				
								10,1				
Коксік								80,95	0,05	6	1,63	10,92
Ясен коксіку	48,52	9,67	32,53	6,3	2,4		0,58					
Вугілля								80,95	0,04	2,1	14,54	10,92
Зола деревного вугілля	1,90	0,85	3,40	29,8	4,70							
Кам'яне вугілля								80,95	0,4	1,1	12,0	10,92
Вугільна зола	3,5	18,5	0,9	9,0	1,6							
Маса електрода								86		2	5	7
Зольна маса електродів	50	14	25	8	3							
	Його	Fe				Mn	R					
Сталева стружка	0,27	99				0,4	0,03	0,27	0,03			

Таблиця 2.8 – Розподіл елементів між продуктами виплавки

Елемент	Елемент, %						
	Його	Мн	Фе	Аль	Са	Р	С
Метал	75	94	99	50	67	50	91
Шлак	18	6	1	50	33		2
Від'їзду	7					50	7

Таблиця 2.9 – Розрахунковий склад феросилікокальцію марки СК 15, %

Штамп	Його	Доповнена Реальність	Фе	Аль	С	Р	З
СК15	59,0	17,64	19,43	0,71	0,01	0,016	0,05

Для отримання 100 кг сплаву необхідно використовувати:

$$100 \cdot 0,59 = 59 \text{ кг Si або SiO}_2 - 59 \cdot 60/28 = \text{або кварцит: } 126,43 \text{ кг}$$

$$126,43/0,9774 = 129,35 \text{ кг.}$$

$$100 \cdot 0,1764 = 17,64 \text{ кг CaO або CaO} - 17,64 \cdot 56/40 = , \text{ або вапно: } 24,70$$

кг

$$24,70/0,88 = 28,06 \text{ кг.}$$

Таблиця 2.10 – Розрахунок вуглецю

Реакція	Від 100 кг реставратора						Потреба в вуглеці, кг				
$\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$	10,92	·	0,4852	·	0,75	=	3,974	3,974	·2·12/60	=	1,590
$\text{SiO}_2 + \text{C} = \text{SiO} + \text{CO}$	10,92	·	0,4852	·	0,07	=	0,371	0,371	·12/60	=	0,074
$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} = 2\text{Fe} + 3\text{CO}$	10,92	·	0,0967	·	0,99	=	1,045	1,045	·3·12/160	=	0,235
$\text{Al}_{203} + 3\text{C} = 2\text{Al} + 3\text{CO}$	10,92	·	0,3253	·	0,5	=	1,776	1,776	·3·12/102	=	0,627
$\text{CaO} + \text{C} = \text{Ca} + \text{CO}$	10,92	·	0,063	·	0,67	=	0,461	0,461	·12/56 Див.	=	0,098
$\text{P}_2\text{O}_5 \text{ q } 5\text{C} \text{ q } 2\text{P} + 5\text{SO}$	10,92	·	0,0058	·	0,5	=	0,032	0,032	·5·12/142 Див.	=	0,013
$\text{H}_2\text{O} \text{ q } \text{C} \text{ q } \text{H}_2 \text{ q } \text{SO}$	6					=	6	6	·18/12	=	4
Всього вуглець необхідний для відновлення власних оксидів:								6,637			

Активоване вугілля залишиться в коксі:

$$80,95 - 6,637 = 74,013 \text{ кг або } 74,313\%.$$

Використання електродної маси на 1 т кварциту при виплавці СК15 становить 62,5 кг або для кварциту - 7,45 кг.100 кг

Маса зольного електрода:  $7,45 \cdot 0,07 = 0,52$  кг.

Таблиця 2.11 – Кількість вуглецю, необхідного для відновлення кварциту, маси електродів, оксидів золи і вапна

Оксид	Наноситься з кварцитом, електродною золюю і вапном	Відновлювана, кг	Необхідний вуглець, кг
SiO <sub>2</sub>	$126,43 + 0,52 \cdot 0,5 = 126,69$	$126,69 \cdot 0,75 = 95,02$	$95,02 \cdot 2 \cdot 12/60 = 38,01$
	$126,43 + 0,52 \cdot 0,5 = 126,69$	$126,69 \cdot 0,07 = 8,87$	$8,87 \cdot 2 \cdot 12/60 = 3,55$
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$0,61 + 0,52 \cdot 0,14 = 0,67$	$0,67 \cdot 0,99 = 0,68$	$0,68 \cdot 3 \cdot 12/160 = 0,15$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	$1,42 + 0,52 \cdot 0,25 = 1,33$	$1,33 \cdot 0,5 = 0,67$	$0,67 \cdot 3 \cdot 12/102 = 0,24$
Сан	$0,16 + 0,52 \cdot 0,08 = 0,20$	$0,20 \cdot 0,67 = 0,14$	$0,14 \cdot 12/56 \text{ Див.} = 0,03$
Сан	24,7	$24,7 \cdot 0,67 = 16,55$	$16,55 \cdot 12/56 \text{ Див.} = 3,55$
MnO	0,14	$0,14 \cdot 0,94 = 0,13$	$0,13 \cdot 12/71 = 0,02$
R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	$0,05 \cdot 0,5 = 0,03$	$0,03 \cdot 5 \cdot 12/142 \text{ Див.} = 0,01$
H <sub>2</sub> O	$2,5 \cdot 0,02 = 0,05$	0,05	$0,050 \cdot 18/12 = 0,03$
Загальна кількість необхідного вуглецю, кг			45,59

Вуглець надходить в електродну масу:

$$7,45 \cdot 0,86 = 6,45 \text{ кг.}$$

Додавати вуглець з коксом і вугіллям необхідно:

$$45,59 - 6,45 = 39,14 \text{ кг.}$$

Горюче вугілля вгорі становить 7%, додавати кокс необхідно з урахуванням горіння і активованого вугілля в коксі і вугіллі:

$$39,14 / [(100-7)/100] / 0,74313 = 56,62 \text{ кг.}$$

За вмістом вуглецю:

- кокс (50%)  $56,62 \cdot 0,5 = 28,31$  кг;

- деревне вугілля  $56,62 \cdot 0,3 = 16,99$  кг;

- кам'яне вугілля  $56,62 \cdot 0,2 = 11,32$  кг.

З кварциту і маси електродів Si відновлюють:

$$103,89 \cdot 28/60 \cdot 0,75 = 72,72 \text{ кг.}$$



Приблизна вага металу з 59% кремнію і 17,64% кальцію:

$$(72,72 + 16,69) / (0,59 + 0,1764) = 89,41 / 0,766 = 116,72 \text{ кг.}$$

Потрібно додати залізну стружку:

$$116,72 - 72,72 - 16,69 = 27,31 \text{ кг.}$$

У таблиці 2.12 показана вага і склад відвального шлаку, а в таблиці 2.13 - вага і склад одержуваного металу.

Таблиця 2.12 – Шлакосховище вагатного відвалу

Оксид	Ідуть на шлак, кг	Зміст, %
SiO <sub>2</sub>	( 126,43 + 56,62 · 0,1092 · 0,4852 ) · 0,18 = <b>23,30</b>	67,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	( 0,61 + 5,845 + 56,62 · 0,1092 · 0,0967 ) · 0,01 · 144/160 = <b>0,06</b>	0,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	( 1,42 + 0,099 + 56,62 · 0,1092 · 0,3253 ) · 0,5 = <b>1,77</b>	5,14
Сан	( 0,16 + 0,154 + 56,62 · 0,1092 · 0,063 ) · 0,33 = <b>1,39</b>	4,04
Сан	24,7 · 0,88 · 0,33 = <b>7,17</b>	20,81
MgO	( 0,14 + 56,62 · 0,1092 · 0,024 + 0,52 · 0,03 ) = <b>0,30</b>	0,87
MgO	24,7 · 0,0188 = <b>0,46</b>	1,34
Загальна кількість шлаку, що утворюється		34,45 кг
		100

Таблиця 2.13 – Вага і склад одержуваного металу

Елемент	Переклад на метал, кг	Всього, %
Його	72,72 · 0,75 = 54,54	54,32
Доповнена Реальність	28,06 · 0,67 = 18,8	18,73
Fe	27,31 · 0,99 = 27,03	26,92
З	0,03	0,03
Загальна кількість виробленого сплаву	100,4	100

Розрахунок складу і кількості газової фази.

В результаті відновлення утворюються газоподібні продукти в наступних кількостях, кг:

$$\text{CO: } 56,62 \cdot 0,8095 \cdot 28/12 = 106,95;$$

$$\text{SiO: } (126,43 + 56,62 \cdot 0,1092 \cdot 0,4852) \cdot 0,07 \cdot 44 / 60 = 6,64;$$

$$\text{Сюллот : } 56,62 \cdot 0,0005 = 0,03;$$

$$\text{H}_2: \quad 56,62 \cdot 0,06 \cdot 2/18 = 0,38;$$

$$\text{Волатильність } 56,62 \cdot 0,0163 = 0,92.$$

Загальна газова фаза, що утворилася: 114,92 кг.

Матеріальний баланс феросилікокальцію виплавки марки СК15 зведений в таблицю 2.14

Таблиця 2.14 – Матеріальний баланс феросилікокальцієвої плавки марки СК 15

Встановити:	Кг	Отримав:	Кг
Кварцит	129,35	Феросилікокальцій СК 15	100,4
Вапно	28,06	Шлак	34,45
Кокс	28,31	Гази та викиди	114,92
Вугілля	16,99	Невизначеності	0,98
Кам'яне вугілля	11,32	Необов'язкові: $0,98 \cdot 100 / 249,77 = 0,39 \%$	
Чіп	27,31		
Маса електрода	7,45		
Просто	248,79		249,77

Витрата матеріалу на 1 тонну феросилікокальцію марки СК 15, кг:

Кварциту 1500;

вапно 450;

Кокс 390;

Деревне вугілля 245;

Кам'яне вугілля 280;

стружка 320;

Маса електрода 107.

## 2.4. Вибір і опис обладнання для виробництва феросилікокальцію

Виробництво феросилікокальцію  $\text{CaSi}$  здійснюється у відкритих феросплавних печах потужністю футеровки вуглецю близько 10-25 МВА при робочій напрузі 120-160 В і струмі на електродах 50-75 кА, що забезпечує глибоке і стійке входження електродів в шихту, зазвичай 500 мм.

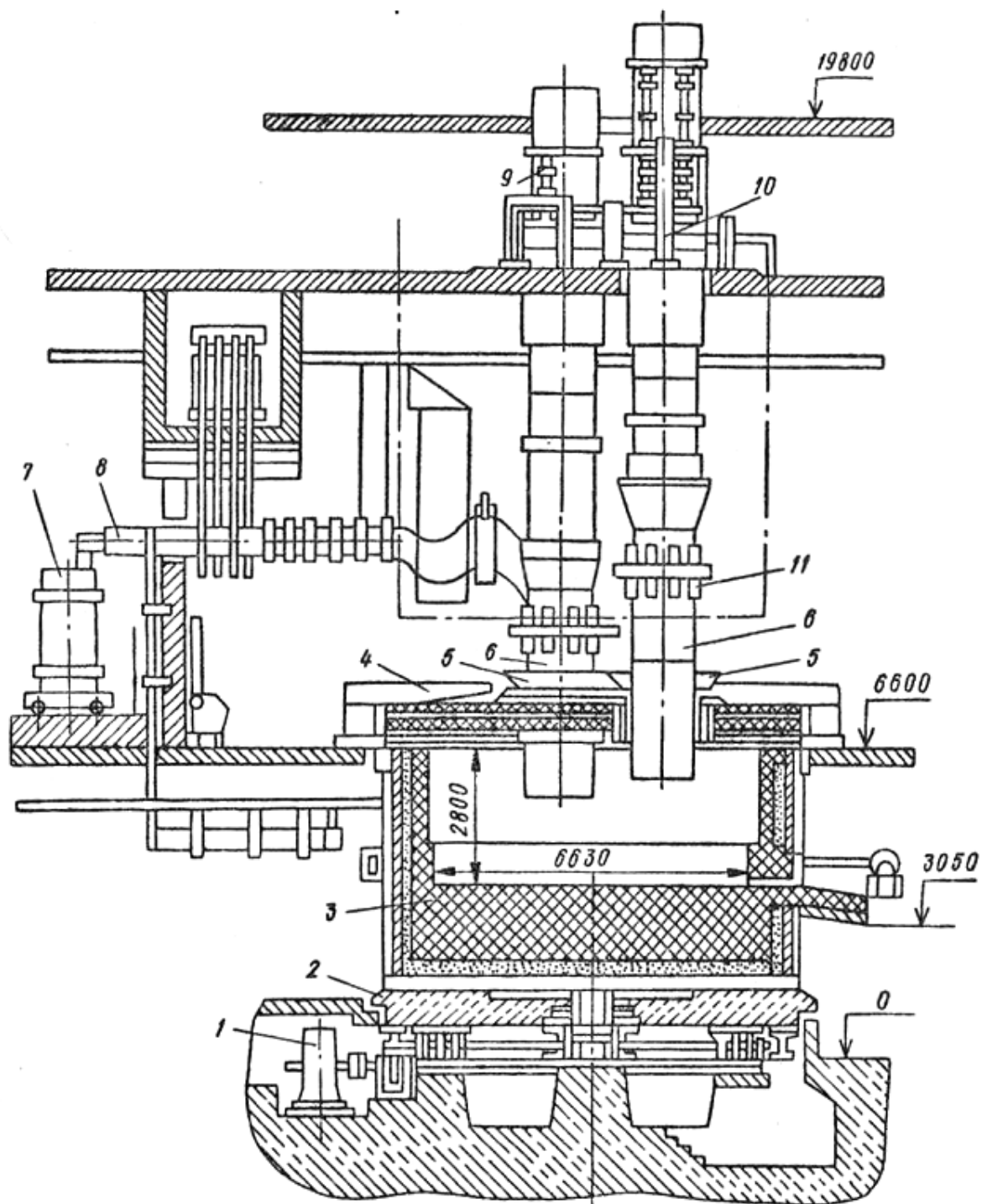
Поворот пічної ванни (в межах сектора 20-24° зі швидкістю один оборот на 70 г) забезпечує належні умови для руйнування карбідів і дає можливість виробляти феросилікокальцій окремими кампаніями тривалістю 2,5-3 місяці, після чого для знищення «козла» з карбідів і шлаку, що утворився в печі, піч необхідно перевести на виплавку РС45 на 1-1,5 міс, а потім можна знову плавити феросилікокальцій  $\text{CaSi}$  протягом 2-2,5 міс і т.д. феросилікокальцій Піч ремонтується щорічно із заміною футеровки. Після такого ремонту ФС45 виплавляють протягом місяця для нагріву печі. Також застосовується зміна топкової лазні або періодичне руйнування «козла» вибухами.

Геометричні параметри рудно-редукційної печі (діаметр електрода і ванни, загасання електродів, висота ванни) істотно впливають на техніко-економічні показники печі, стабільність її футеровки, величину тепловтрат. Сполучним параметром між електричними характеристиками і геометричними параметрами є діаметр електрода.

Основні геометричні параметри для печі РКО-10,5 мають наступні значення, м:

- 1) Відстань між електродами ..... 2,24 - 3,02
- 2) Діаметр ванни на рівні верхньої ..... 5,8 - 8,3
- 3) Діаметр ванни на дні ..... 5,0 - 5,8
- 4) Висота ванни ..... 2,0 - 2,5
- 5) Діаметр корпусу печі ..... 6,0

б) Висота корпусу печі .....	3,1
Конструктивні параметри печі:	
Кількість електродів .....	3
Діаметр загасання електрода, мм.....	1800
Діаметр електрода, мм .....	700
Діаметр корпусу, мм .....	6000
Висота корпусу, мм.....	3100
Діаметр ванни:	
Зверху, мм .....	5800
внизу, мм .....	3500
Висота ванни, мм .....	1470
Короткий опір мережі:	
реактивний, Ом .....	0,0012
активний, Ом .....	0,0005



1 – механізм повороту ванни; 2 – опорна плита; 3 – футеровка; 4 – склепіння печі; 5 – воронка; 6 – самозаймісті електроди; 7 – трансформатор печі; 8 – коротка мережа; 9 – механізм обходу електродів; 10 – механізм руху електродів; 11 – електричний контактний вузол.

Рисунок 2.3 – Рудно-відновна електропіч для виробництва феросиліко-кальцію.

Параметри пічного трансформатора представлені в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Характеристики трансформатора печі РКО-10,5

Ні ступені	Улітн., В	Увіс. Сторони Кв	КТР.	І нижня сторона, І	І високий. бік І	Повний, кВт·А
1	135	10,5	77,78	433	33700	7875
2	141	10,5	74,47	452	33700	8220
3	147	10,5	71,43	472	33700	8584
4	153	10,5	68,63	491	33700	8930
5	159	10,5	66,04	510	33700	9275
6	165	10,5	63,64	529	33700	9621
7	170	10,5	61,76	546	33700	9930
8	175	10,5	60,00	562	33700	10221
9	180	10,5	58,33	577	33679	10500
10	185	10,5	56,76	577	32768	10500
11	191	10,5	54,97	571	31739	10500
12	197	10,5	53,30	577	30772	10500
13	203	10,5	51,72	577	29863	10500
14	209	10,5	50,24	577	29006	10500
15	215	10,5	48,84	577	28196	10500

Кількість рівнів напруги .....	15
За кроками, Б:	
Максимум.....	215
Мінімальний.....	135
Сила струму в кроках, кА:	
максимум.....	28.2
Мінімальний.....	33,7
Номінальна (повна) потужність, кВА .....	10500
Час роботи:	
Напруга мережі, В .....	165 – 185
Сила струму, А .....	33700
Корисна фазна напруга, В.....	60 – 80
Коефіцієнт потужності установки .....	0,84
Електрична ефективність .....	0,82
Активна потужність, кВт.....	до 8820

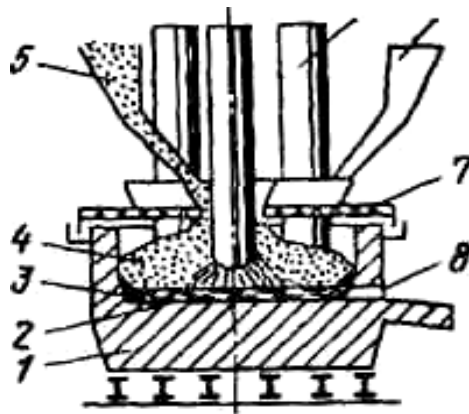
Основним обладнанням печі є наступні механізми:

- Несучий циліндр – служить для утримання електрода і електродотримача за допомогою підвісного пристрою, а також для переміщення електродів;

- механізм пересування електродів є виконавчим механізмом для автоматичного регулювання електричного режиму печі;

- механізм затиску і обходу електродів служить для утримання електрода, а в міру згоряння електрода виникає необхідність обійти його на задану величину;

- Електродотримач печі відновлення руди складається з електродного затискача з контактними губками. Він повинен забезпечувати: надійність затиску підвіски і переміщення електродів з необхідною швидкістю, надійність і зручність проходження електродів, мінімальні втрати потужності, забезпечувати належний тепловий режим випалу самоосідлаючих електродів.



1 – футеровка; 2 – рідкий сплав; 3 – гарнізон; 4 – шихта; 5 – завантажувальний (пічний) бункер; 6 – електрод; 7 – склепіння; 8 – виїмка.

Рисунок 2.4 – Схема роботи феросплавної печі.

Завантажувальними пристроями печі є бункер-лоток. Кількість бункерів на плиті - 3. Бункер зварений з листової сталі товщиною 14 мм. Місткість бункера становить 1,5 м. Кількість лотків - 3 шт. Всі печі оснащені додатковими трубчастими потоковими бункерами.

2.5. Технологія виплавки силікокальцію вуглецево-термічним способом

Сучасна технологія силікокальцієвої виплавки в СНД заснована на спільному відновленні оксидів кальцію і кремнію, які вводяться в піч у вигляді вапна і кварциту відповідно твердим вуглецем коксу, деревним вугіллям листяних порід і вугіллям.

Хімічний склад силікокальцію, рекомендованого ГОСТ 4762-71 і виплавленого на ВАТ «Запорізький завод феросплавів» (ЗФЗ), наведено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Хімічний склад силікокальцію, %

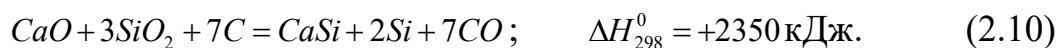
Елемент	ГОСТ 4762-71	ЗФЗ
Са	23 – 31	$\frac{23-35}{28,8}$
This + Якцо	85 – 90	$\frac{83-95}{91,1}$
До	3 – 1,5	$\frac{1,0-3,4}{1,4}$
S	0,04	0,045
P	0,05	0,03
Віра	3,5	$\frac{3,4-14,6}{5,9}$
С	1,0	$\frac{0,14-0,5}{0,34}$
Мг	0,15 – 0,20	0,5

\* У чисельнику – межа коливань, у знаменнику – середнє значення.

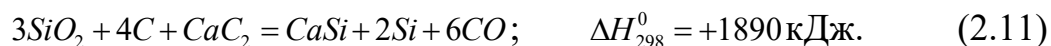
### 2.5.1. Заміна вапна карбідом кальцію при виплавці силікокальцію

Процес отримання силікокальцію за допомогою вапна виражається наступною сумарною реакцією:





При виробництві кремнієвого кальцію кальцію на основі карбіду кальцію проводиться повна реакція:



Тепловий ефект реакції (2,19) приблизно на 25% менше, ніж реакції (2,18), тому при отриманні силікокальцію другим способом слід витратити приблизно на 25% менше електроенергії і на 40% менше відновника.

Спосіб отримання силікокальцію з карбідів SiC і CaC<sub>2</sub> описаний М.С. Максименко.

На ВАТ «Запорізький завод феросплавів» проведена дослідна кампанія з виплавки силікокальцію з частковою заміною вапна (40-50%) карбідом кальцію; Силікокальцій виплавляли в печі з трансформатором потужністю печі 10,5 МВА.

Похід був здійснений після 3,5 місяців роботи печі на силікокальцієвої плавки, коли піч в значній мірі заросла карбідами кремнію і кальцію, безпосередньо перед її виплавною.

Встановлений шип для виплавки силікокальцію наведено в таблиці 1. 2.17.

Таблиця 2.17 – Склад колоса для виплавки силікокальцію, кг

Запас	Зарядки	
	Звичайно	Дослідження
Кварцит	200	250
Коксік	90	85
Вугілля	40	40
Кам'яне вугілля	40	40
Карбід кальцію	-	60
Вапно	85	45

У роботі використано карбід кальцію власного виробництва літровим вмістом 260 л/кг, який містить 74%  $\text{CaC}_2$  та 16% вільного  $\text{CaO}$ .

Хімічний склад кварцитів, вапна і кам'яного вугілля наведено в таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Хімічний склад кварцитів, вапна і кам'яного вугілля, що використовуються при виплавці силікокальцію

Матеріал	Масова частка, %										
	SiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaH	MgO	Mn	H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	CO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	N...
Кварцит	97,5	0,4	0,9	0,4	0,14	-	0,001	0,007	0,014	0,09	0,05
Вапно	0,5	0,2	0,2	95,0	0,9	-	0,003	0,07	0,003	0,003	3,0
Попіл Вугілля	40,0	17,8	29,2	4,0	1,1	1,4	-	0,445	4,4	0,67	-
<i>Кам'яне вугілля містить 5,0% золи і 32,5% летких речовин</i>											

Карбід кальцію подавався в цех на робочому майданчику в каністрах по 30 і 100 кг, а потім впорскувався в шихту, яка завантажувалася вручну.

Для порівняння показників виплавки силікокальцію на дослідному заряді з показниками звичайних розплавів були розглянуті результати роботи печі за традиційною технологією протягом десяти днів, що передують експериментальному періоду.

Як видно з даних таблиці 2.19, заміна близько 50% вапна в шихті карбідом кальцію дає можливість змінити надлишок вуглецю.

У міру плавлення заряду прилягання електродів поліпшувалося. зменшилося утворення свищів і збільшився дренаж заряду біля електродів; Полегшується догляд за верхньою панеллю. Метал був отриманий в такій же кількості. Крім того, розширилася реакційна зона тигля навколо електродів.

За рахунок більш глибокого прилягання електродів високотемпературна зона зміщується вниз і поліпшуються процеси відновлення, а також ефективніше використовується потужність печі.

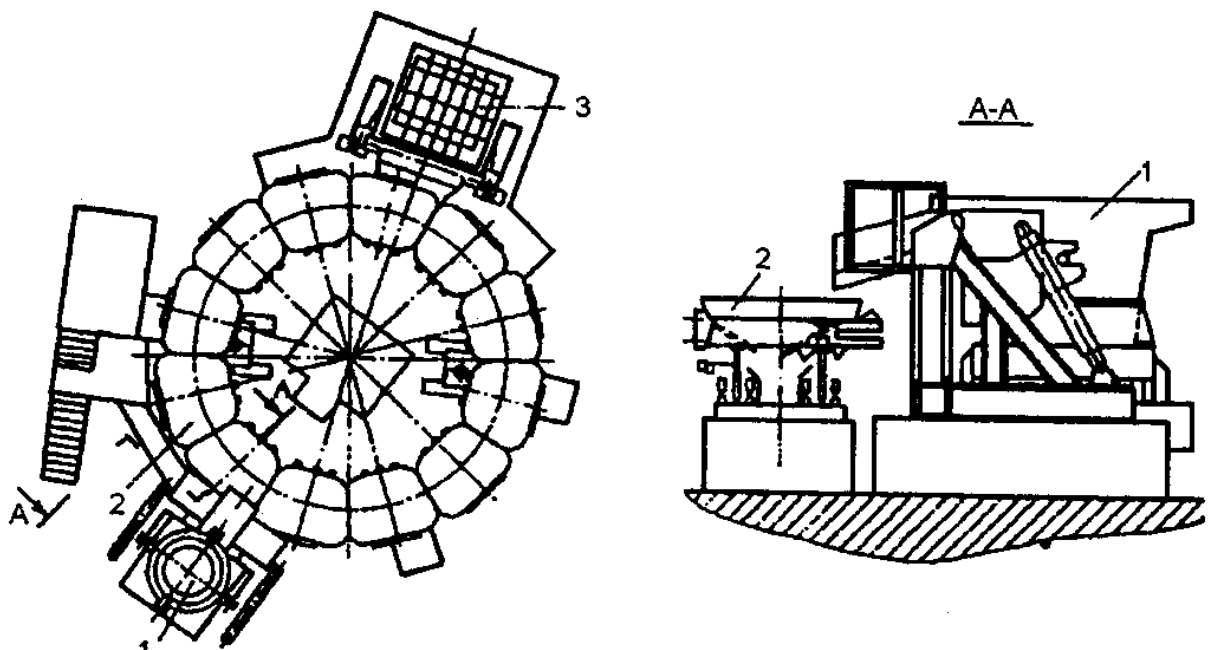
Таблиця 2.19 – Технічні показники виплавки силікокальцію на основі вапна з підшивкою карбиду кальцію

Показників	Одиниці Вимірю вання	Компанія		Облік виро- бництва кар- бїду кальцію
		На основі звичайного вапна	Експери- ментуйте з Твердо- сплавне шліфування Кальцій	
Тривалість діяльності компанії	Дні тижня	10	3,3	-
Середня потужність печі	Квт	9040	8994	-
Продуктивність	Т/добу	10,689	13,700	-
Витрата на базову тону (28% Са)				
Електрика	кВт·год· рік	12740	11025	18276
Кварцит	Кг	2195	2190	2190
сухий кокс	Кг	773	568	728
Вугілля	Кг	479	317	317
кам'яне вугілля	Кг	437	332	481
ВАПНО	Кг	891	437	1002
Карбїд кальцію	Кг	-	596	-
Екстракція кальцію	%	42	44,8	-
Вміст кальцію в металі на підприємстві	%	26,5	27,8	-

При цьому потужність печі збільшується на 28,8% і знижується питома витрата енергії на 6,7%. Споживання коксу знизилося на 26,5%, деревного вугілля – на 34%, вугілля – на 24%, а загальне споживання вуглецю – на 28%. З урахуванням витрат на отримання карбїду кальцію питома витрата енергії збільшується на 11%, а загальне споживання вуглецю зменшується на 10% [23].

### 2.5.2. Технологія лиття силікокальцію

Для заливки силікокальцію застосовують карусельні машини конвеєрно-візкового типу (рис. 2.5). У порівнянні з конвеєрною машиною, ця машина забезпечує зниження втрат металу при розливанні, поліпшення якості і товарного вигляду злитків. Машина являє собою замкнутий ланцюг візків, розміщених на рейковій колії. На візках є формувальні піддони, які забезпечують виробництво тонких злитків.



1 – ківш-штовхач; 2 – прес-форми; 3 – приймальний бункер.

Рисунок 2.5 – Карусельна розливна машина:

Щоб витягти злитки з форми, їх або перевертають, або проштовхують злитки спеціальним штовхачем в ящик, встановлений під формою.

Для вивчення впливу існуючого методу силікокальцієвого лиття на зміну вмісту кальцію при виробництві і розливанні сплаву відбирали проби металу до і після скарбнички і по висоті злитка, проводили аналіз шлакової кірки, що утворюється в піддоні.

При засипанні кремнеземно-кальцієвого кальцію в лотки, наповнені піском, завжди утворюється шлакова кірка, яка багата оксидом кальцію (близько 22-24%). Відомо, що кальцій має вищу спорідненість до кисню, ніж кремній. Освіта земної кори підтверджує це, а також вказує на те, що на по-

верхні розділу рідкої сплав-піщана фази відбувається реакція між кальцієм сплаву і кремнеземом піску:



Це призводить до зниження вмісту кальцію в нижніх шарах злитка і до збільшення його втрат від 2 до 4%. Крім того, мінімальна температура плавлення сполук  $CaO \cdot nSiO_2$  становить приблизно 1700 °С, що на 3000 нижче температури плавлення використовуваного піску, приблизно на 2000 нижче температури плавлення вуглецевого ферохромного шлаку і завжди значно нижче температури металу. Можливість реакції між кальцієвим сплавом і вільним кварцовим піском з утворенням шлакової кірки.

Розрахунки показують, що при експлуатації печі протягом десяти місяців на рік з 12 виходами на добу, при розмірі піддону 2700x2700 мм при утвореній шлакової кірці втрачається від 57 до 70 тонн металевого кальцію.

З метою усунення шкідливих наслідків взаємодії кальцієвого сплаву з піщаним кремнеземом і поліпшення товарного стану силікокальцієвого злитка силікокальцій заливали в піддони, заповнені безвуглецевим ферохромним відвальним шлаком, що кришиться (табл. 2.20).

Таблиця 2.20 – Хімічний склад сипучих пісків, шлакової кірки і відвальних ферохромних шлаків

Матеріал	Масова частка, %								
	SiO <sub>2</sub>	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaH	MgO	H <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	C	TiO <sub>2</sub>
Пісок	96,42	0,21	2,02	0,11	0,15	-	-	-	-
Шлакова кора	89,3	-	5,1	24,7	1,01	0,45	-	-	-
Шлаковідвал Ферохром	25,8	1,0	5,8	47,2	12,8	6,2	0,10	0,17	0,21

У таблиці 2.21 показано, як змінюється вміст кальцію під час заливки.

Таблиця 2.21 – Зміна вмісту кальцію при заливці, %

Час відбору проб	Висипаємо в скарбничку і піддон, які заповнюються	
	Пісок	Шлак
Випуск:		
початок	26,9 / 26,1	28,1 / 25,8
середній	27,1 / 26,4	24,8 / 26,8
Кінець	28,0 / 27,7	28,2 / 26,7
Середній	27,33 / 26,73	27,03 / 26,43
Різниця в утриманні кальцію до і після скарбнички	0,6	0,6
У чисельнику – після зносу печі, у знаменнику – після купи		

З даних таблиці 2.22 видно, що при заливці сплаву в піддон, наповнений піском, різниця вмісту кальцію по висоті злитка становить 2,6%, в той час як при заливці в котел, заповнений кришиться відвальним шлаком ферохрому, становить всього 0,1%, тобто практично відсутній.

Таблиця 2.22 – Зміна вмісту кальцію на поперечному перерізі злитка, %

Місце відбору проб	Скарбничку і піддон заповнюються піском				Скарбничку і горщик заповнюються шлаком			
	Без плавок			Середній	Без плавок			Середній
	1	2	3		1	2	3	
Верх	29,2	26,8	27,5	27,8	27,7	27,9	24,6	26,7
Середній	29,3	26,2	26,0	27,2	28,5	27,9	24,0	26,8
Низ	27,4	25,2	23,0	25,2	29,1	22,8	27,9	26,6
Середній	28,7	26,1	25,5	26,7	28,4	26,2	25,5	26,7
Різниця у вмісті кальцію між нижньою та верхньою частиною батончика				2,6				2,6

Крім того, був випробуваний варіант заповнення як піддону, так і штабеля відвалом шлаком ферохрому, що кришиться. Це не призвело до зменшення втрат кальцію в штабелі.

Таким чином, при заливці сплаву в піддон, заповнений відвальним шлаком безвуглецевого ферохрому, усуваються втрати кальцію, пов'язані з

його окисленням кремнеземом, а також усувається необхідність очищення сплаву від зварних шлакових пробок і поліпшується його товарний стан.

## 2.6. Техніко-економічне обґрунтування виробництва силікокальцію

Питома витрата електроенергії на вуглецево-термічний силікокальцій на тонну основи з 28% Са становить 11000–13000 кВт·год. При вуглецево-термічному виробництві силікокальцію з вмістом Са 15% споживання електроенергії становить близько 8800 кВт·год/т.

Таблиця 2.23 – Розрахунки набору сплавів для виробництва на 1 тонну

Ім'я	Звичайно шлях			Дослідження шлях		
	Частка, т	Ціна 1 т.	Сума, грн	Частка, т	Ціна 1 т.	Сума, грн
Кварцит	2,195	53,4	217,2	2,190	53,4	116,9
Вапна	0,891	177,76	158,2	0,437	177,76	77,7
Вугілля	0,437	1200	524,4	0,332	1200	398,4
Вугілля	0,479	2600	1245,4	0,317	2600	824,2
Горіхова кола	0,773	2318	1791,8	0,568	2318	1316,6
Карбід кальцію	-	-	-	0,596	500	298
Масовий електрод	0,107	3516	376,2	0,107	3516	376,2
Електроенергія, кВт*год/т	12740	154,86	1972,9	11025	154,86	1707,3
Разом			6186,1			5115,3

Таким чином, за середніми показниками запропонований спосіб значно ефективніший за відомий за енергоспоживанням, що дозволяє отримати 1 тонну (базового) сплаву нижче на 1031-2139 кВт·год; У плані витрати шихтового матеріалу він більш економічний.

Таблиця 2.24 – Розрахунки витрат на обробку даного сплаву.

Ім'я	Пост. за 1 тонну.	Ціна, грн	Кількість грн.	За даними заводу	
				Кола G/T	Кількість грн.
Електроенергія 1000 кВт*год	4,035	148,2	598,00	4,300	637,26
Маса електрода, т	0,03457	838,17	28,97	0,0433	36,29
Електрод Арматура			4,82	0,003	3,12
Основна заробітна плата, грн			3,68		5,04
Спеціальне обладнання та інструменти			4,9		4,9
Разом:			640,37		686,61

Конверсійні витрати при виробництві феросплавів поділяються на витрати на обробку даного сплаву і загальні для всіх сплавів витрати на обробку.

У вартість перерозподілу включаються витрати на електроенергію, електродну масу, основну заробітну плату працівників, змінне обладнання.

Розрахунок ваги електрода:

$$0,03457 \times 838,17 = 28,97 \text{ грн.}$$

За даними заводу, вартість електродних фітингів становить 4,82 грн.

Норма витрати заснована на раніше виконаному тепловому балансі виплавки феросиліцієво-марганцевої плавки.

Норма витрати становить 4035 кВт на 1 базову тонну сплаву.

Ціна - 1 тис. кВт-год = 148,2 грн.

Сума витрат на електроенергію складе:



$$4,035 \cdot 148,2 = 598 \text{ грн.}$$

Перелік витрат на обробку, загальний для всіх сплавів, визначається на підставі заводського розрахунку собівартості сплаву (табл. 2.25).

Таблиця 2.25 - Витрати на конверсію є загальними для всіх сплавів.

Назви статей	Кількість, т	Ціна, грн	Сума, грн
Енергоспоживання			
Електроенергія 1000 кВт*год	0,247	148,2	36,60
Вода циркулює, 1000 м3	0,1976	38,5	7,69
Стиснене повітря 1000 м3	0,2086	15,32	3,19
Загальна споживана потужність			47,53
Ремонт та обслуговування основних засобів			86,05
Послуги транспортного відділу			37,51
Амортизація основних засобів			60,46
Інші витрати магазину			31,91
Основна заробітна плата			14,38
Додаткова заробітна плата			10,15
Відрахування на соц. страхування			18,23
Загальні витрати на передислокацію			258,69
Загальні витрати за лімітами			306,69

На підставі проведених розрахунків розраховуємо вартість 1 тонни силікокальцію.

Порівнюючи вартість 1 тонни сплаву виходячи із заводських даних, визначаємо величину річної економії [25-27]:

$$\text{Эрик} = (C1 - C2) \cdot T2, \quad (2.13)$$

де C1, C2 – вартість 1 тонни силікокальцію на заводі.

V2 - річне виробництво феросиліцієвого марганцю марки MnC17P50.

$$E_{\text{ріх}} = (2653,3 - 2558,56) \cdot 180000 = 17053200 \text{ грн}$$

Таблиця 2.26 – Розрахунок вартості 1 тонни сплаву MnC17П50

Ім'я Статті	За даними заводу		За матеріалами проекту	
	Кількість, т	Сума, грн	Кількість, т	Сума, грн
Встановити	2,5882	830	2,5747	805,75
Відходів	1,5882	-	1,5747	-
Вказується без урахування відходів	1,000	830	1,000	805,75
Витрати на ме- ханічну обробку цього сплаву		686,61		640,37
Витрати на обробку є загальними для всіх сплавів		306,69		306,69
Собівартість про- дукції		2653,3		2558,56

## 2.7. Висновок

1. При молярному співвідношенні  $\text{CaO} : \text{SiC} = 1 : 1$  втрати в польоті кремнію і кальцію були приблизно однаковими і в сумі склали  $\sim 73\%$  від загальної втрати маси брикету при найвищій температурі експерименту.

2. Головною відмінною рисою взаємодії  $\text{CaO}$  з  $\text{SiC}$  є те, що втрати кальцію в польоті зросли і при максимальній температурі склали  $63,3\%$ , а втрати кремнію значно знизилися (до  $22,4\%$ ). При температурі  $1900^\circ\text{C}$  втрат кремнію не спостерігалось. Зміна співвідношення  $\text{CaO}:\text{SiC}$  до  $1:0,5$  також змінює механізм процесу.

3. Отримані результати впливу різних вуглевідновників на вихід карбїду кальцію при температурах  $1800\text{-}2000^\circ\text{C}$  показують, що вже при температурі  $1800^\circ\text{C}$  утворюється більше  $50\%$  теоретично можливого карбїду

кальцію, а в разі використання деревного вугілля при будь-яких температурах спостерігається найбільше утворення карбіду.

4. Оптимальними параметрами для отримання карбіду кальцію в брикеті є температура 2000 °С, молярне співвідношення С:СаО = 4,5; розмір графіту 0,05 - 0,15 мм; вапно розміром 0,12-; час ізотермічного впливу – 20,5 хвилин; Співвідношення вуглецевої і вапняної фракцій становить 0,4 : 0,7. На швидкість утворення карбіду кальцію позитивно впливає підвищення температури до 2100 °С включно. При більш високих температурах карбід кальцію починає розкладатися і його вміст в залишку зменшується. 0,22 мм

5. Завдяки більш глибокому приляганням електродів високотемпературна зона зміщується вниз і покращується процес відновлення, а потужність печі використовується ефективніше. При цьому потужність печі збільшується на 28,8% і знижується питома витрата енергії на 6,7%. Споживання коксу знизилася на 26,5%, деревного вугілля – на 34%, вугілля – на 24%, а загальне споживання вуглецю – на 28%. З урахуванням витрат на отримання карбіду кальцію питома витрата енергії збільшується на 11%, а загальна витрата вуглецю зменшується на 10%.

## РОЗДІЛ 3

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

3.1. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища при проведенні досліджень в лабораторії

Об'єктом дослідження є лабораторія ПАТ «Запорізький завод феросплавів», яка розташована на першому поверсі центральної заводської лабораторії. Поруч знаходяться виробничі приміщення з високим рівнем вібрації і шуму, але немає високих дерев, які б закривали небо, знижуючи природне освітлення.

Загальна площа номера 98 м<sup>2</sup>, висота, в номері 4 вікна. Кількість співробітників в приміщенні - 3 людини. У кімнаті є 1 комп'ютер, лабораторне електрообладнання, 4 столи, шафа для зберігання документів. 3 м

У приміщеннях лабораторії на людину можуть негативно впливати такі чинники:

1) шкідливі:

- висока або знижена температура повітря;
- підвищена або знижена вологість повітря;
- недостатня освітленість робочого місця;
- підвищений рівень шуму;
- статична електрика;

2) Небезпечні:

- безпека ураження електричним струмом;

3) психофізіологічні:

- статика, фізичне навантаження і недостатня фізична активність;
- нервові та емоційні напруження;
- психічне напруження[28].

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів для робочого місця лаборанта представлений в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничо-трудоного процесу лаборанта

№	Фактори виробничого середовища і трудовий процес	Нормативне значення	Фактична вартість	III клас: шкідливі і небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії фактора, %
				I клас	II етап	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> : Клас безпеки I – озон	0,1	0,1				40
	Клас безпеки II						
	III-IV клас безпеки – оксиди азоту	5	2				40
2	Пил, фіброгенний ефект, мг/м <sup>3</sup>	4	4				50
3	Рівень шуму, дБА	50-60	60				75
4	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °C	22-24	24				100
	- Повітряна швидкість, м/с	0,1-0,2	0,2				100
	- Відносна вологість повітря, %	40-60	50				100
5	Трудомісткість і інтенсивність роботи	Категорія інтенсивності праці - легка, категорія інтенсивності праці - ненапружена					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок про те, що умови праці в лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих факторів, які не призводять до збільшення частоти інвалідності та прояву початкових ознак професійної патології.

### 3.2. Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих фак-

торів лабораторного середовища

Лабораторні приміщення відносяться до категорії легких (виконується легка фізична робота), тому повинні бути дотримані наступні вимоги [28]:

- оптимальна температура повітря – 22 °С (допустима – 21-25 °С);
- оптимальна відносна вологість повітря – 40-60% (допустима – не більше 75%);
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с;
- атмосферний тиск – 750 мм рт.ст.;
- запиленість – не більше 4 мг/м<sup>3</sup> повітря робочого місця, максимальний розмір частинок – 2 мкм.

Температура повітря в приміщенні не повинна опускатися нижче +19°С, а при повному завантаженні обладнання температура повітря не повинна перевищувати +25°С.

Водяне опалення використовується для створення і автоматичної підтримки оптимальних значень температури і вологості в приміщенні в холодну пору року, а кондиціонування використовується в теплу пору року [28].

Всі роботи з шкідливими речовинами проводяться у витяжній шафі. Для розведення токсичних газів до безпечних концентрацій роботи проводяться з максимальною подачею повітря в приміщення. Припливно-витяжна вентиляція в приміщенні включається за 30 хвилин до початку робіт і відключається в кінці робочого дня.

Працівники лабораторії приступають до роботи тільки в спецодязі та засобах індивідуального захисту, які передбачені інструкцією з техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

У лабораторії, на видному і легкодоступному місці, знаходиться аптечка з необхідними медикаментами для надання першої допомоги.

Кожна тара з хімічною речовиною має етикетку із зазначенням найменування продукту, його кваліфікації та інших даних відповідно до ГОСТ 3885-73.

При виконанні високоточних візуальних робіт загальна освітленість повинна становити 300 лк, а комбінована - 750 лк; Аналогічними вимогами для роботи середньої точності є 200 люкс і 300 люкс відповідно [29].

У зв'язку з тим, що природне освітлення приміщення здійснюється через віконні прорізи і є дуже слабким, на робочому місці використовується і штучне освітлення, яке обладнується системою загального рівномірного освітлення. Використовуються лампи розжарювання потужністю 100 Вт, кількість ламп в лампі - 2 шт. Мінімальна освітленість лампи розжарювання по Еміну = 100 лк [29].

Високий рівень шуму в приміщеннях створює лабораторне обладнання, друкарські пристрої, дублююче обладнання, обладнання для кондиціонування повітря та вентилятори охолодження.

Тривалий вплив шуму високої інтенсивності призводить до патології слухового органу і негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що в свою чергу призводить до виробничих помилок.

Для зниження шуму м'які килимки з синтетичних матеріалів можна підкладати під столи галасливих приладів, а подушки з м'якої гуми, повсті, товщиною 6-8 мм, під ніжками столу, на яких вони встановлені.

Зниження рівня шуму, що проникає в приміщення ззовні, може бути досягнуто за рахунок підвищення звукоізоляції захисних конструкцій, герметизації периметра віконних і дверних карнизів. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБА [29].

### 3.3. Електробезпека

За даними РВЕ, лабораторні приміщення можна віднести до класу 1 – без підвищеного ризику ураження електричним струмом (сухі, без пилу, з нормальною температурою повітря, утепленою підлогою та невеликою кількістю заземлених приладів).

Основними причинами ураження електричним струмом працівника лабораторії на робочому місці можуть бути:

- торкатися металевих, неструмоведучих частин електрообладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції;
- Забороняється користуватися електроприладами, такими як електроплити, чайники, обігрівачі.

Виконання робіт пов'язане з використанням електрообладнання напругою не більше 220 В змінного струму. Експериментальна частина робіт проводилася в умовах можливого впливу електричного струму, а також інших факторів, що визначаються санітарно-гігієнічними показниками виробничого об'єкта.

При використанні електрообладнання аварійні стани виникають при замиканні робочої фази на корпус.

У лабораторії створюються умови підвищеної електробезпеки і тому необхідно використовувати електричну мережу із заземленою нейтраллю. Крім того, необхідно використовувати захисне заземлення корпусу електрообладнання. Небезпека ураження електричним струмом полягає в тому, що існують обставини ураження електричним струмом або ураження електричним струмом. Електротравма характеризується локальним пошкодженням цілісності тіла. Форми локальних пошкоджень під дією електричного струму: електричні ознаки; металізація шкіри; електричні опіки; механічні травми. Електричні опіки поділяються на три види: контактні, дугові та комбіновані. При використанні електрообладнання напругою 220 В електроопіки виникають тільки в результаті проходження електричного струму.



Небезпека електричного струму залежить не тільки від його величини, але і від тривалості короткого замикання електричної мережі. Тому в аварійних умовах необхідно негайно відключити електроживлення.

Небезпечний вплив електричного струму залежить від індивідуальних особливостей людини: стану здоров'я, вікових особливостей, величини електричного опору шкіри людини та ін.

Небезпека електричного струму велика, внаслідок чого розроблена ефективна система його запобігання. Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є [28]:

- правильне проектування та експлуатація електрообладнання;
- Електрична ізоляція; всі струмоведучі частини електроустановок повинні мати хорошу ізоляцію з урахуванням напруги в ланцюзі;
- захисні пристрої, що забезпечують недоступність елементів, що знаходяться під напругою, для людини;
- заземлення елементів обладнання; обнулення;
- використання засобів індивідуального захисту;
- наявність попереджувальних плакатів, написів.

При виникненні різних несправностей частини електрообладнання можуть бути знеструмлені. Оскільки людина підключена до контуру заземлення паралельно, то струм розподіляється відповідно до законів Кірхгофа: струм, що протікає по двох паралельних провідниках, прямо пропорційний опору провідника. Так як опір людини на кілька порядків вище, ніж опір провідника, то струм, що протікає через людину, буде на кілька порядків менше.

Несправності електричних мереж, обладнання та запобіжних пристроїв можуть призвести до пожеж та вибухів.

Основними профілактичними заходами в таких випадках є: щільне з'єднання проводів в місцях зіткнення, скручування і пайка з'єднань проводів; використання системи захисного заземлення і залишкового відключення. Диференційний струм виконується додатково до заземлення або замість нього. Відключення здійснюється автоматично.

При виникненні пожежі в проводах необхідно знеструмити їх і загасити вуглекислотними або азбестовими ковдрами.

Щоб виключити випадки загоряння в електропроводці, необхідно використовувати провідник такого діаметру, щоб не було нагріву. А також не перевантажувати електромережу.

При ураженні людини електричним струмом в першу чергу повинні бути вжиті наступні заходи [29]:

- Вимкніть напругу;
- відтягувати людину від струмоведучих частин обладнання;
- винести на свіже повітря, розстебнути комір;
- Викличте лікаря.

#### 3.4. Пожежна та техногенна безпека

Будівлю, в якій розташована лабораторія, можна віднести до категорії D приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою, оскільки в лабораторії знаходяться горючі (книги, документи, меблі) та важкогорючі речі (різне лабораторне обладнання), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху [30].

За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до будівель з несучими і огорожувальними конструкціями з натуральних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону, де для перекриттів допускається використання дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або негорючими листовими і плитковими матеріалами. Таким чином, ступінь вогнестійкості будівлі можна визначити як третю (III).

Причинами пожежі в лабораторії можуть бути:

– несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробоя ізоляції;

- користування пошкодженими (несправними) електроприладами;
- використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами;
- виникнення пожежі в результаті удару блискавки в будинок;
- загоряння будівлі в результаті зовнішніх впливів;
- необережне поводження з вогнем і недотримання заходів пожежної безпеки.

Для гасіння пожеж в лабораторії використовують вуглекислотний вогнегасник ВВ-5 і ручний вогневий інструмент - гаки, ломи, сокири, відра, лопати, ножиці для різання металу. Інструмент розміщують на видному і доступному місці на підставках і дошках [28].

У разі займання навіть невеликої кількості легкозаймистих рідин необхідно:

- негайно вимкнути всі електрообігрівачі;
- прибрати з вогнища пожежі всі легкозаймисті предмети.

Якщо рідина загорілася, накиньте на полум'я вологу вовняну або азбестову ковдру.

Коли у людини загоряється одяг, необхідно збити полум'я. При опіках повинна бути надана медична допомога. Перед наданням медичної допомоги потерпілого слід обережно звільнити від одягу, а на місця опіків накласти стерильну пов'язку. Не торкайтеся обпеченої ділянки руками, не ховайте пухири, не відривайте прилиплі до шкіри шматки одягу, не мийте і не змашуйте поранену поверхню будь-якими розчинами або мазями. Це може зробити тільки лікар при відповідних умовах.

Для оперативного виявлення та повідомлення про місце пожежі в лабораторії є автоматична пожежна сигналізація ADS (автоматичний димовий сповіщувач) та автоматична система пожежогасіння.

Особливу увагу слід приділити евакуації людей з приміщень. Евакуація здійснюється за заздалегідь спланованими маршрутами. Схеми евакуації розташовуються в місцях, доступних для людського ока.

### 3.5. Розрахунок захисного заземлення

Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, в лабораторії рекомендується захисне заземлення.

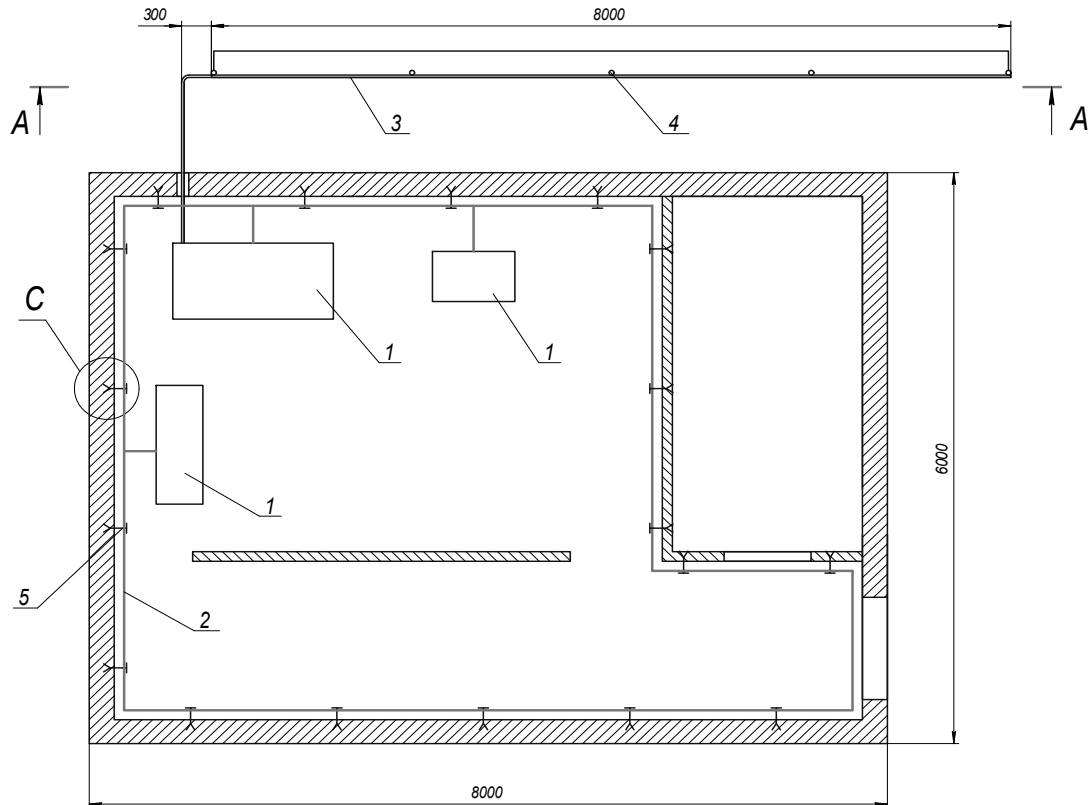
Розрахуємо захисне заземлення для лабораторії (рис. 3.1).

Вибираємо дистанційний заземлюючий пристрій, який використовується при малих струмах замикання на землю, зокрема в установках до 1000 В.

Заземлювальний провідник передбачається виготовляти з вертикальних труб  $l = 2$  м із зовнішнім діаметром  $d =$  , верхні кінці яких з'єднуються між собою за допомогою горизонтального електрода - сталевий смуги перетином  $4 \times 40$  мм, прокладеної в землі на глибину  $t = 0,03$  м. Питомий електричний опір ґрунту  $0,7 \text{ м} \rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Коефіцієнт сезонності для вертикального заземлювача дорівнює  $\psi = 1,3$ . Стандартний опір заземлювального провідника становить 4 Ом.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикального заземлювача:

$$\rho_e = \psi_e \cdot \rho = 1,3 \cdot 100 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м}. \quad (3.1)$$



1 – електроустановка; 2 – внутрішній контур заземлення; 3 – з'єднувальна планка; 4 – вимикач заземлення; 5 – монтажний кронштейн.

Рисунок 3.1 – Схема дистанційного заземлення.

Опір поширенню струму одиночного вертикального заземлювача, заглибленого в землю на 0,7 м:

$$R_0 = \left( \frac{\rho_e}{2\pi d} \right) \left[ \ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot t + 3 \cdot l}{4 \cdot t + l} \right] = \left( \frac{130}{2 \cdot 3,14 \cdot 2} \right) \cdot \left[ \ln \frac{2 \cdot 2}{0,03} + 0,5 \ln \frac{4 \cdot 0,7 + 3 \cdot 2}{4 \cdot 0,7 + 2} \right] = 15,18 \text{ Ом. (3.2)}$$

Приблизна кількість вертикальних заземлювачів складе:

$$n = \frac{1,3 \cdot R_0}{R_n} = \frac{1,3 \cdot 15,18}{4} = 5 \text{ шт. (3.3)}$$

Знайдіть відношення відстані між заземлюючими провідниками до їх довжини:

$$A = \frac{a}{l} = \frac{2}{2} = 1. \quad (3.4)$$

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_6 = 0,7$ , горизонтальних заземлювачів становить  $\eta_2 = 0,74$ .

Опір поширенню групи вертикальних заземлювачів:

$$R_6 = \frac{R_0}{n \cdot \eta_6} = \frac{15,18}{5 \cdot 0,7} = 4,3 \text{ Ом.} \quad (3.5)$$

Довжина горизонтальної з'єднувальної смуги:

$$l_2 = a \cdot (n - 1) = 2 \cdot (5 - 1) = 8 \text{ м.} \quad (3.6)$$

Коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача з довжиною смуги 8 м дорівнює  $\psi_2 = 2,5$ .

Розрахунковий питомий опір заземлення для горизонтального заземлювального провідника:

$$\rho_2 = \psi_2 \cdot \rho = 2,5 \cdot 100 = 250 \text{ Ом} \cdot \text{м.} \quad (3.7)$$

Опір горизонтальної смуги, заглибленої в землю на 0,7 м, становить:

$$R_2 = \left( \frac{\rho_2}{2\pi \cdot l_2 \cdot \eta_2} \right) \ln \left( \frac{2l_2^2}{bt} \right) = \left( \frac{250}{2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 0,74} \right) \ln \left( \frac{2 \cdot 8^2}{0,04 \cdot 0,7} \right) = 56,65 \text{ Ом.} \quad (3.8)$$

Опір заземлюючих провідників в цілому:

$$R_3 = \frac{R_6 \cdot R_2}{R_6 + R_2} = \frac{4,3 \cdot 56,65}{4,3 + 56,65} = 4 \text{ Ом.} \quad (3.9)$$

Результуючий опір заземлюючих провідників дорівнює номінальному опору (4 Ом), що відповідає вимогам ПБЕ.

Розташуйте 5 заземлювальних провідників в ряд на відстані 2 м один від одного.

### 3.6. Висновки

1. Умови праці в лабораторних приміщеннях характеризуються наявністю нешкідливих виробничих факторів, які не призводять до підвищення захворюваності з втратою працездатності і проявом початкових ознак професійної патології.

2. Зниження рівня шуму, що проникає в приміщення ззовні, може бути досягнуто за рахунок підвищення звукоізоляції захисних конструкцій, герметизації по периметру віконних і дверних тамбурів. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБА.

3. Будівля, в якій розташована лабораторія, може бути віднесена до приміщень категорії D за вибухопожежною небезпекою, оскільки в лабораторії знаходяться горючі (книги, документи, меблі) і важкогорючі речі (різне лабораторне обладнання), які можуть горіти без вибуху при взаємодії з вогнем.

4. Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, рекомендується використовувати захисне заземлення в лабораторії.

## ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано сучасний стан феросплавної промисловості України та визначено шляхи стратегічного напрямку розвитку феросплавної промисловості.

2. Запропоновано виплавляти силікокальцій вуглецево-термічним методом, який є основним способом отримання силікокальцію різних марок, переважно з високим вмістом кальцію (>30%).

3. При молярному співвідношенні  $\text{CaO} : \text{SiC} = 1 : 1$  втрати в розмаху кремнію і кальцію були приблизно однаковими і склали ~ 73% від загальних втрат брикетної маси при найвищій температурі експерименту.

4. Головною відмінною рисою взаємодії  $\text{CaO}$  з  $\text{SiC}$  є те, що втрати кальцію в польоті зросли і при максимальній температурі склали 63,3%, а втрати кремнію значно знизилися (до 22,4%). При температурі 1900 °C втрати кремнію не спостерігалося. Зміна співвідношення  $\text{CaO}:\text{SiC}$  до 1:0,5 також змінює механізм процесу.

5. Отримані результати впливу різних відновників вуглецю на вихід карбїду кальцію при температурах 1800-2000 °C показують, що вже при температурі 1800 °C утворюється більше 50% теоретично можливого карбїду кальцію, а в разі використання деревного вугілля при будь-яких температурах спостерігається найбільше утворення карбїду.

6. Оптимальними параметрами для отримання карбїду кальцію в брикеті є температура 2000 °C, молярне співвідношення  $\text{C}:\text{CaO} = 4,5$ ; розмір графіту 0,05 - 0,15 мм; вапно розміром 0,12-; час ізотермічного впливу – 20,5 хвилин; Співвідношення вуглецевої і вапняної фракцій становить 0,4 : 0,7. На швидкість утворення карбїду кальцію позитивно впливає підвищення темпе-



ратури до 2100 °С включно. При більш високих температурах карбід кальцію починає розкладатися і його вміст в залишку зменшується. 0,22 мм

7. За рахунок більш глибокого прилягання електродів високотемпературна зона зміщується вниз і поліпшується перебіг процесів відновлення, а потужність печі використовується більш ефективно. При цьому потужність печі збільшується на 28,8% і знижується питома витрата енергії на 6,7%. Споживання коксу знизилося на 26,5%, деревного вугілля – на 34%, вугілля – на 24%, а загальне споживання вуглецю – на 28%. З урахуванням витрат на отримання карбіду кальцію питома витрата енергії збільшується на 11%, а загальна витрата вуглецю зменшується на 10%.

8. Аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок про те, що:

- умови праці в лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих факторів, які не призводять до підвищення захворюваності з втратою працездатності і проявом початкових ознак професійної патології.

- Зниження рівня шуму, що проникає в приміщення ззовні, може бути досягнуто за рахунок підвищення звукоізоляції захисних конструкцій, герметизації по периметру віконних і дверних карнизів. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБА.

- будівля, в якій розташована лабораторія, може бути віднесена до категорії D приміщення за вибухопожежною та пожежною небезпекою, оскільки в лабораторії знаходяться горючі (книги, документи, меблі) та важкогорючі речі (різне лабораторне обладнання), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху [30].

- Для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції, рекомендується використовувати в лабораторії захисне заземлення.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Баглюк Г. А., Куровський В. Я. Структура, механічні та триботехнічні властивості металоскляних композитів на основі модифікованих залізовуглецевих сплавів. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2017. №11/12. С. 58-67.
2. Роїк Т. А., Гавриш Ю. Ю. Нові композиційні матеріали на основі міді для важко навантажених вузлів тертя. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2017. №09/10. С. 40-48.
3. Косторнов А. Г. Триботехнічні характеристики композиційного матеріалу на основі заліза при температурі 500 °С. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2014. №07/08. С. 43-50.
4. Савчук П. П. Особливості зношування модифікованих епоксидних композитів при навантаженні тертям. *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М.Францевича НАН України, 2014. №03/04. С. 103-109.
5. Вішневська-Вейнерт Х. Тертя і знос пористих підшипників ковзання при високій температурі. вплив твердого мастила з наночасток  $\text{MoS}_2$ . *Порошкова металургія*. Київ : ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, 2013. № 07/08. С. 77-84.
6. Технологія конструкційних матеріалів: підручник / О.С. Комаров, В.М. Ковалевський, А.С. Чаус та ін; під загальною редакцією О.С. Комарова. Мн.: Нове знання, 2005. 560 с.
7. Степанчук А. М. Теорія і технологія пресування порошкових матеріалів: навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 336 с.
8. Степанчук А. М., Білик І. І. Матеріали для напилювання покриттів: навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2016. 236 с.
9. Куцова В. З., Котова Т. В. Наноматеріали та нанотехнології: навч. посібник. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2013. Частина 1. 103 с.
10. Писаренко В. Г. Сучасні технології в машинобудуванні. Інжекційне лиття порошку: навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2019. 242 с.

11. Композитні матеріали: навч. посібник / П. П. Савчук, В. П. Кашицький, М. Д. Мельничук [и др.]. Луцьк : Видавець ФОП Теліцин О.В., 2017. 368 с.
12. Степанчук А. М. Теоретичні та технологічні основи отримання порошків металів, сплавів та тугоплавких сполук: підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 353 с.
13. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]: ДСН 3.36.042-99: Увед.1999-12-01. 9 с.
14. Державні будівельні норми. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення: ДБН В.2.2 – 28: 2010: затв. Мінрегіонбуд України 30.12.10 : уведенні з 10.10.11.- К. : ПАТ Київ ЗНДІЕП. 2010. 28 с.: «Укрархбудінформ». УКНД 91.040.99
15. Державні будівельні норми. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1.7-2002: затв. Держбуд України 03.12.02 : уведенні з 01.05.03. К. : УкрНДІПБ. 2002. 44 с.
16. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд. Увед. 2009-01-01. К.: Мінрегіонбуд України. 2008. 65 с.
17. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст]. – Увед. 2004-11-04. К.: М-во України з питань НС. 2004. 143 с.