

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

Кафедра металургії  
(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота (проект)**

Перший (Бакалаврський)  
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз технологічних особливостей виплавки  
спіккокальцино

Виконав: студент ЗС курсу, групи 6.1369-мем-с

спеціальності 136 - Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації

(код і назва спеціалізації)

Кольчак Д. П.

(ініціали та прізвище)

Керівник Канд. Техн. Наук, доцент Воденнікова О. С.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Канд. Техн. Наук, доцент Березина О. Р.  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет \_\_\_\_\_  
Кафедра Металургія  
Рівень вищої освіти Перший (Бакалаврський)  
Спеціальність 136 - Металургія (код та назва)  
Освітня програма Металургія (код та назва)  
Спеціалізація \_\_\_\_\_ (код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ Курченко О.Т.  
Завідувач кафедри А.С.Семенич  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ року

ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Кольману Дмитру Романовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Аналіз технологічних особливостей  
виробки шліхкальцю

керівник роботи Воземнікова Оксана Сергіївна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 17 » січня 2022 року № 30-С

1 Строк подання студентом роботи 18.06.2022 р.

Вихідні дані до роботи Науково-технічна література, статті у  
фахових виданнях, тези доповіді на міжнародних та  
всукраїнських конференціях, наукові статті та статті в журналах АТУ.

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Окреслення технічні розрахунки, в тому числі аналіз технологічних особливостей  
виробництва фросилікальцю. Вибір матеріалів та обґрунтування методів дослідження  
дослідження технологічних особливостей виробки шліхкальцю на фрезерних, окроєних праски  
та мех. моделі безпреца. загальні висновки, перелік джерел посилання.

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Титульний лист - 1. Вступ - 2. Розділ 1 - 2. Розділ 2 - 1  
Розділ 3 - 6. Розділ 4 - 0. Загальні висновки - 2



### 5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз технологічних особливостей виробництва феросиліка Кальвіно	Воземнікова О.С. доцент	17.06.22 [підпис]	17.06.22 [підпис]
2. Вибір матеріалів та обладнання для методички дослідження	Воземнікова О.С. доцент	17.06.22 [підпис]	17.06.22 [підпис]
3. Дослідження технологічних особливостей випалки сіментами чіпо на дринках	Воземнікова О.С. доцент	17.06.22 [підпис]	17.06.22 [підпис]
4. Охорона праці на технологічній лінії	Воземнікова О.С. доцент	17.06.22 [підпис]	17.06.22 [підпис]

6 Дата видачі завдання 17.06.2022 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Срок виконання етапів роботи	Примітки
1.	Скорошення та умовні позначки. Вступ.	3.05.22 по 5.05.22	
2.	Розділ 1	3.05.22 по 14.05.22	
3.	Розділ 2	31.05.22 по 31.05.22	
4.	Розділ 3	7.06.22 по 7.06.22	
5.	Розділ 4	8.06.22 по 12.06.22	
6.	Загальні висновки. перелік джерел посилань	14.06.22 по 15.06.22	
7.	Графічні матеріали	16.06.22 по 17.06.22	

Студент [підпис]  
(підпис)

Кольсон Д. П.  
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) [підпис]  
(підпис)

Воземнікова О.С.  
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено  
Нормоконтролер [підпис]  
(підпис)

Курченко О. Р.  
(ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 67 с., 11 рис., 16 табл., 53 джерела посилання.

### СИЛІКОКАЛЬЦІЙ, ГОМОГЕННА ШИХТА, ГЕТЕРОГЕННА ШИХТА, МОНОШИХТОВІ БРИКЕТИ, КУСКОВИЙ ВАПНЯК, КІНЕТИКА ВІДНОВЛЕННЯ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Аналіз технологічних особливостей виплавки силікокальцію.

Мета роботи – визначення оптимального складу та способу підготовки шихти для виплавки силікокальцію вуглетермічним способом.

У розділі 1 приведено аналіз технологічних особливостей виробництва силікокальцію.

У розділі 2 приведено вибір основних матеріалів дослідження та приведено обґрунтування методики дослідження.

У розділі 3 Проаналізовано кінетику відновлення гомогенної та гетерогенної шихти при виплавці силікокальцію. Проведено порівняння технологічних показників виплавки силікокальцію з використання звичайної шихти, моношихтових брикетів та брикетів з доданням кускового вапняку.

У розділі 4 приведено аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників в умовах феросплавної лабораторії та при роботі з ПК, розглянуто зходи з поліпшення умов праці в умовах феросплавної лабораторії та при роботі з ПК.

Результати дослідних випробувань можуть бути використані при виробництві феросилікокальцію в промислових умовах.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСИЛІКОКАЛЬЦІЮ.....	10
1.1 Призначення, властивості та вимоги, що пред'являються до силікокальцію.....	10
1.2 Аналіз способів виробництва силікокальцію.....	13
1.2.1 Шихтові матеріали для виробництва силікокальцію.....	13
1.2.1.1 Кварцити.....	13
1.2.1.2 Вапно.....	15
1.2.1.3 Відновники.....	19
1.2.1.3.1 Відновники для вуглетермічного процесу.....	19
1.2.1.3.2 Відновники для металотермічного процесу.....	22
1.2.2 Технологічні особливості виробництва силікокальцію.....	23
1.2.2.1 Вуглетермічний спосіб виробництва силікокальцію.....	24
1.2.2.2 Силікотермічний спосіб виробництва силікокальцію.....	28
1.2.2.3 Алюмотермічний спосіб виробництва силікокальцію.....	30
1.3 Висновки.....	31
2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	32
2.1 Матеріали та методика дослідження.....	32
2.2 Висновки.....	35
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИПЛАВКИ СИЛІКОКАЛЬЦІЮ НА БРИКЕТАХ.....	36
3.1 Дослідження можливості одержання силікокальцію з вапнякової породи Василівського родовища.....	36
3.2 Фізико-хімічні основи сумісного відновлення окислів кремнію та кальцію.....	39

3.3 Дослідження технології виплавки силікокальцію на брикетах.....	44
3.4 Висновки.....	49
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	50
4.1 Характерні шкідливі фактори металургійного виробництва.....	50
4.1.1 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників в умовах феросплавної лабораторії.....	50
4.1.2 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників при роботі з ПК.....	51
4.2 Заходи з поліпшення умов праці.....	53
4.2.1 Заходи з поліпшення умов праці в феросплавній лабораторії.....	54
4.2.2 Заходи з поліпшення умов праці при роботі з ПК.....	57
4.3 Висновки.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....	61
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	63

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АТ – акціонерне товариство;

РКЗ-16,5 – рудновідновна кругла закрита піч з номінальною потужністю 16,5 МВ·А;

СК30, СК25, СК15 та СК10 – силікокальцій з вмістом кальцію 30 %, 25 %, 15 % та 10 % відповідно;

ПГ – природний газ;

ФГ – феросплавний газ;

ВАТ – відкрите акціонерне товариство;

А8, А7, А6 та А5 – первинний алюміній з вмістом алюмінію 99,8 %, 99,7 %, 99,6 % та 99,5 % відповідно;

Кр00, Кр0, Кр1 та Кр2 – кремній кристалічний з вмістом кремнію 99 %, 98,8 %, 98 % та 97% відповідно;

ФС90, ФС75, ФС65 та ФС45 – феросиліцій з вмістом кремнію 90 %, 75 %, 65 % та 45 % відповідно;

Т – температура;

ПВ – прес валковий;

ІННІ – інженерний навчально-науковий інститут;

ЗНУ – Запорізький національний університет;

ІА – індивідуальна аптечка;

ІПП – індивідуальний протихімічний пакет.

## ВСТУП

При виплавці високоякісних сталей, сплавів та чавунів для підвищення їх фізико-механічних властивостей широко використовують різні модифікатори, до яких відносять і силікокальцій. Велика потреба в силікокальції пояснюється тим, що кальцій є активним розкислювачем заліза, крім того, поряд з магнієм і рідкоземельними металами, він глобуляризує графіт в чавунних виливках, істотно знижує концентрацію кисню і сірки, які перешкоджають утворенню кулястого графіту [1]. Обробка металевих розплавів чистим кальцієм або його сплавами [2] – [6] покращує фізико-механічні властивості металу завдяки зміні форми і виду оксидних та сульфідних включень в готовому прокаті та виливках.

На сьогодні виробництво силікокальцію на території України не отримало широкого розповсюдження, тому спостерігаються передумови для пошуку нових доступних мінеральних матеріалів, які містять кальцій та є придатними для виробництва силікокальцію. Однією з можливостей залучення кальцієвмісної сировини для виробництва силікокальцію є використання вапнякової породи, що виходить на поверхню у районі смт. Василівка Запорізької області. Василівське родовище містить вапняки-черепашники, які відносять до прибережно-морських утворень хвилеприбійної зони.

На сьогодні силікокальцій з підвищеним вмістом кальцію (наприклад, марки СК30) знаходить широке застосування в сталеплавильному виробництві. Виплавка сплавів на кремній-кальцієвій основі на сьогодні випробувана рядом науково-дослідних інститутів та підприємств. Так ряд комплексних сплавів типу КМК та КМКА отримані в напівпромислових умовах АТ «Запорізький завод феросплавів» та АТ «Зестафонський завод феросплавів» [1], [7].

Однак навіть в напрямку підготовки шихти методом окускування існують різні думки з приводу спільного і роздільного брикетування компонентів шихти, винесення одного з них зі складу брикету або пошарового окатування вихідних матеріалів, які мають теоретичне і експериментальне



обґрунтування. Доцільність таких схем підготовки шихти до плавці іноді диктується необхідністю здешевити процес. Тому питання удосконалення технології виплавки силікокальцію вуглетермічним способом є досить актуальним та перспективним направленням досліджень сьогодення.

**Мета роботи** – визначення оптимального складу та способу підготовки шихти для виплавки силікокальцію вуглетермічним способом.

Поставлена мета в роботі вирішується **наступними завданнями:**

- проаналізувати технологічні особливості виробництва силікокальцію;
- привести огляд сучасних способів отримання силікокальцію;
- проаналізувати можливості одержання силікокальцію з вапнякової породи Василівського родовища;
- розглянути фізико-хімічні основи сумісного відновлення окислів кремнію та кальцію;
- провести дослідження технології виплавки силікокальцію на брикетах;
- проаналізувати потенційно-небезпечні та шкідливі фактори в процесі виплавки силікокальцію.

**Об'єкт дослідження:** кусковий вапняк, силікокальцій марки СК25.

**Предмет дослідження:** технологія виплавки силікокальцію марки СК25 вуглетермічним способом.

**Методи дослідження:** дослідження хімічного складу шихти для виплавки силікокальцію проводили за допомогою хімічного аналізу; гранулометричний склад шихти визначали за допомогою ситового аналізу; обробку експериментальних даних проводили з використанням персонального комп'ютера.

**Наукова новизна.** Показано доцільність виплавки силікокальцію вуглетермічним способом з використанням у шихті брикетів з доданням кускового вапняку.

**Практичне значення:** Результати дослідних випробувань можуть бути використані при виробництві феросилікокальцію в промислових умовах.

# 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА ФЕРОСИЛІКОКАЛЬЦІЮ

## 1.1 Призначення, властивості та вимоги, що пред'являються до силікокальцію

На сьогоднішній день згідно з ГОСТ 4762-71 [8] силікокальцій (рис. 1.1) випускають марок СК10-СК30 (табл. 1.1) трьох класів крупності (табл. 1.2). Він активно застосовується для розкислення сплавів і сталі, а також модифікованого чавуну. По суті, силікокальцій є активним комплексним розкислювачем, ефективним десульфатором, дегазатором чавуну і сталі.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад силікокальцію згідно з ГОСТ 4762-71 [9]

Марка силікокальцію	Масова частка, %				
	кальцій	кремній	алюміній	вуглець	фосфор
	не менше		не більше		
СК10	10	45	1,0	0,2	0,02
СК10Р	10	50	1,5	0,5	0,04
СК15	15	45	1,0	0,2	0,02
СК15Р	15	50	1,5	0,5	0,04
СК20	20	45	1,0	0,5	0,02
СК20Р	20	50	2,0	1,0	0,04
СК25(ч)	25	50	1,0	0,2	0,02
СК25	25	50	2,0	0,5	0,02
СК25Р	25	55	2,0	1,0	0,04
СК30(ч)	30	50	1,0	0,2	0,02
СК30	30	50	2,0	0,5	0,02
СК30Р	30	55	2,0	1,0	0,04

Таблиця 1.2 – Класи крупності силікокальцію згідно з ГОСТ 4762-71 [9]

Клас крупності	Розмір шматків, мм	Масова частка продукту у партії, %, не більше	
		надрешітного	підрешітного
1	до 1	10	–
2	від 1 до 20	10	10
3	від 20 до 200	10	10

Примітка:

1. Розмір шматка виражається номінальними розмірами сторін квадратної ячейки у світлі.
2. Клас крупності вказують цифрою після позначення марки (СК10-1).
3. Силікокальцій 1-го і 2-го класів крупності з розмірами частинок до 2 мм використовується протягом 5 діб з моменту виготовлення.



Рисунок 1.1 – Феросилікокальцій

Вимоги безпеки, що пред'являються до силікокальцію [8]:

– пил силікокальцію за ступенем впливу на організм людини відносять до 3-го класу небезпеки згідно ГОСТ 12.1.007;

– пил силікокальцію малотоксичен, володіє помірними фиброгенними властивостями. Гранично допустима концентрація пилу кремнію в перерахунку на  $\text{SiO}_2$  в повітрі робочої зони  $2 \text{ мг/м}^3$  згідно ГОСТ 12.1.005;

– нижня концентраційна межа займання пилу (розмір частинок менше  $50 \text{ мкм}$ ) сплавів марок СК10, СК10Р, СК15, СК15Р, СК20, СК20Р -  $67 \text{ г/м}^3$ ; СК25, СК25(ч), СК25Р, СК30, СК30(ч), СК30Р -  $42 \text{ г/м}^3$ ;

– температура займання аерозолі сплаву марок СК10, СК10Р, СК15, СК15Р, СК20, СК20Р -  $795 \text{ }^\circ\text{C}$ , марок СК25(ч), СК25, СК25Р, СК30(ч), СК30, СК30Р -  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

– силікокальцій в шматках розміром понад  $2 \text{ мм}$  в нормальних умовах не горючий, пожежо- та вибухобезпечний;

– під дією води зі сплаву виділяються пожежо- та вибухонебезпечні гази: водень, ацетилен. Кількість виділених газів зростає по мірі збільшення вмісту кальцію та зменшення розміру частинок сплаву ( $1 \text{ нм}^3/\text{т}$  сплаву марок СК30(ч), СК30 і СК30Р з розміром частинок до  $2 \text{ мм}$  за добу); нижня концентраційна межа займання газу (водню) -  $3,9 \%$ ;

– при зберіганні і транспортуванні силікокальцію повинні дотримуватися вимоги ГОСТ 12.1.005, ГОСТ 12.1.007, ГОСТ 12.1.010;

– контроль вмісту водню в повітрі при зберіганні і транспортуванні

проводять згідно ГОСТ 12.1.044 .

Успішно застосовується силікокальцій не тільки в пічній обробці, а й під час позапічної обробки сплавів, що особливо важливо в металургійній галузі, коли необхідно збільшити пластичність сталі, її міцність і якість, при цьому не змінюючи її фізико-хімічних властивостей.

Крім того при високому ступені розкислення сплавів з використанням силікокальцію виділяється мінімальна кількість неметалевих включень, а значить готовий продукт буде безпечним і міцним, адже як відомо, неметалеві включення можуть викликати руйнування сталі і сприяти розвитку на ній корозії.

Силікокальцій активно застосовується при виробництві різноманітних виливків, проковок і прокатів, так як здатний значно збільшити їх міцність [9, 10].

Силікокальцій марок СК10 та СК15, які отримують силікотермічним способом виробництва, містить меншу кількість домішок, ніж сплави СК25 та СК30, має велику щільність і міцність, що викликає труднощі при дробленні. У роботі [11] показано доцільність застосування низько відсоткового силікокальцію внаслідок збільшення ступеня засвоєння кальцію і глибини розкислення сталі в порівнянні з використанням високопроцентного сплаву. Однак в останні роки в нашій країні і за кордоном намітилася тенденція збільшення виробництва силікокальцію марок СК25 та СК30, що пов'язано з його застосуванням у вигляді порошку під час продування трубної сталі з метою її десульфурзації. Це забезпечує отримання високоміцної трубної сталі, що містить не більше 0,006% S і суттєве підвищення ударної в'язкості при низьких температурах [12]. При обробці сталі в ковші переваги силікокальцію СК25 та СК30 очевидні.

Додавання від 0,005 % Са до 0,004 % Са в сталь для виробництва труб великого діаметру в поєднанні з нікелем в межах від 0,8 % до 2,0% зменшує схильність до утворення бейнітної фази під час низькотемпературної розжарювання, що дозволяє використовувати прокатані сталеві листи без



термічної обробки.

За кордоном виробляють ряд сплавів з високим вмістом кальцію і алюмінію. Сплави системи Fe-Si-Ca-Al з співвідношенням по масі Ca:Al =1:1 (від 50 % Si до 53% Si, від 10 % Ca до 12% Ca, від 7 % Al до 9% Al, інше - Fe) випробувані в нашій країні при розкисленні сталей, для яких традиційно використовують феросиліцій і алюміній. Застосування цього сплаву забезпечує зниження вмісту кисню в сталі в межах від 30 % до 35%, зменшення кількості оксидних включень в 1,5 рази, підвищення ступеня десульфурзації до 20%, а також підвищення механічних властивостей готового прокату [13].

Вельми перспективними слід вважати комплексні сплави на основі феросилікокальцію з добавками цирконію, титану, ванадію, марганцю.

Поряд з магнієм і рідкоземельними металами кальцій глобуляризує графіт в чавунних виливках, знижуючи вміст кисню і сірки, які перешкоджають утворенню кулястого графіту. Кальцій широко використовується і як модифікатор при виплавці сталей і сплавів. Обробка металевих розплавів чистим кальцієм або його сплавами покращує фізико-механічні властивості металу завдяки зміні форми і виду оксидних і сульфідних включень в готовому прокаті.

## **1.2 Аналіз способів виробництва силікокальцію**

### **1.2.1 Шихтові матеріали для виробництва силікокальцію**

#### **1.2.1.1 Кварцити**

Кварцит (від 96% SiO<sub>2</sub> до 98% SiO<sub>2</sub>) відноситься до пісковиків, тобто осадкових порід, що складаються із зерен кварцу і цементу, що пов'язує, - кварцового, халцедону, обпала та інші. Кварцит є також початковим і основним компонентом при виробництві динасових вогнетривів [14].

Корінні поклади кварциту зустрічаються у вигляді пластів, гнізд або лінз,

що складаються з незцементованих кристалів різної великої. Щільність кварцу становить від  $2,59 \text{ г/см}^3$  до  $2,65 \text{ г/см}^3$ , твердість  $\sim 7$ , опір стисненню від 100 МПа до 140 МПа. Залежно від кількості домішок колір і твердість кварцу змінюються.

Згідно ГОСТ 14-49-80 [15] хімічний склад кварциту буває двох марок кварциту КФ та КШ (табл. 1.3). Кварцит марки КФ використовується в основному для виробництва феросплавів (феросиліцію, силікокальцію, кристалічного кремнію, силікомарганцю, феросилікохрому та інші). Кварцит марки КШ призначений в першу чергу для отримання шлаку певного складу [14].

Таблиця 1.3 – Хімічний склад кварциту згідно з ГОСТ 14-49- 80

Масовий вміст, %	Марка кварциту	
	КФ	КШ
SiO <sub>2</sub>	97,0	96,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,1	1,8
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02	0,03

Із збільшенням вмісту SiO<sub>2</sub> в кварці (кварциті) збільшується витягання кремнію і продуктивність печі і знижується питома витрата електроенергії.

Для виплавки феросплавів придатні не всі кварцити, оскільки різні типи їх, навіть однакового хімічного складу, відрізняються один від одного поведінкою в плавці - у стадії як нагрівання, так і відновлення при високих температурах. Ці відмінності залежать від характеру та вмісту домішок, структури кристалічних фаз та інших чинників, обумовлених генезисом кварцитів [16].

В Україні добувають кварцити в трьох основних родовищах – Тарасівському, Овчурівському та Василівському (табл. 1.4).

Овчурські кварцити представлені в основному різновидом, що складається із зерен кварцу, розмір їх коливається від 0,09 мм до 0,55 мм з переважанням грубозернистого кварцу. Інших мінералів (рутилу, магнетиту, мусковита та інших) в кварциті небагато (від 1,5 % до 3 %). Тарасовські кварцити мають зерна

розміром від 0,05 мм до 0,30 мм. З домішок в дуже невеликій кількості зустрічаються гідроксиди заліза, слюда і тому подібне Цемент в кварцитах відсутній, тобто склад їх мономінеральний. У кварцитах Васильківського родовища відмічено два різновиди. Перша - дуже щільна повнокристалічна дрібнозерниста структура (розмір зерен від 0,09 мм до 0,20 мм). У породі зустрічаються жильний кварц, вуглецева речовина, гідроксиди заліза. Друга має шарувату текстуру і підвищений вміст гідроксидов заліза [17].

Таблиця 1.4 – Хімічний склад кварциту різних родовищ

Родовище	Масовий вміст, %						
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Тарасовське	96–98	0,4–0,9	0,2–1,0	0,7–0,3	0,1–0,3	–	–
Овручське	97–98	0,5–1,0	0,4–1,2	0,2–1,0	0,2–0,4	–	–
Васильківське	95–97	1,0–1,2	0,3–0,5	0,7	0,2–0,5	–	–

Значний вплив на швидкість відновлення кварцитів надає їх велику. Дроблення кварциту і кварцу здійснюється на щічних і конусних дробарках, грохочення - на вібраційних грохотах і в барабанах, що обертаються, в яких одночасно здійснюється і миття. Вміст основної фракції коливається в межах від 75 % до 95 % [14].

Для кварцитів Овчурівського та Тарасівського родовища константа швидкості, що здається, із збільшенням розміру шматків різко знижується, а для Василівського родовища практично не змінюється. Це визначається мікроструктурою і мінералогічним складом кварциту, що повинне враховуватися при визначенні оптимального розміру шматка кварциту, що дається в шихту.

### 1.2.1.2 Вапно

Згідно ТУ 14-16-42-90 [18] вапно буває трьох марок – ІФ-0, ІФ-1 та ІФ-2 (табл. 1.5). Воно повинне бути свіжообпаленим, фракцією від 40 мм до 80 мм; кількість фракції вапна нижче за нижню межу (нижче 5 мм) не повинно

перевищувати 15%.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад вапна згідно з ТУ 14-16-42-90 [18]

Марка	Сорт	CaO <sub>заг</sub> , %, не менше	Масовий вміст домішок, %, не більше			
			SiO <sub>2</sub>	S	P	н.п.п.
ІФ-0	1	95	1,8	0,03	0,02	3
ІФ-1	1	93	1,8	0,05	0,02	5
	2	90	2,0	0,05	0,02	7
ІФ-2	1	90	2,0	0,08	0,03	7
	2	85	2,5	0,08	0,03	11

Вапно отримують з використанням вапняків фракції в межах від 40 мм до 80 мм та від 80 мм до 130 мм (табл. 1.6) в шахтних печах, що обертаються.

Таблиця 1.6 – Технічні вимоги до якості вапняків для отримання вапна

Технологічний показник	Норми для марок			
	ДП «Докучаєвський флюсодоломітний комбінат»		ПрАТ «Комсомольське рудоуправління»	
	Ф-1	Ф-2	С-1	С-2
Масова частка суми оксидів (CaO+MgO), не менше	54,0	53,0	54,0	52,5
Масова частка MgO, не більше	3,5	3,5	5,0	5,0
Масова частка SiO <sub>2</sub> , не більше	1,5	2,0	1,5	2,0
Масова частка сірки, не більше	0,06	0,09	0,06	0,06
Масова частка фосфору, не більше	0,01	0,01	0,06	0,06

Раніше в шахтнощелевих печах випалення вапняку приводили з використанням у якості палива металургійного коксу. Застосування коксу порівняно з природним газом має ряд недоліків і перш за все нестабільну якість вапна унаслідок попадання шматочків не згорілого коксу в готове вапно. З числа інших недоліків слід зазначити і можливість локального перегріву вапна в контакті шматків вапно-кокс, що супроводжується спіканням їх і різним ступенем кристалохімічних перетворень в обпалених шматках вапна.

Висота шахтнощелевих печей до рівня завантажувальних пристроїв 22500 мм. По висоті шахти печі виділяють три зони: підігріву 6,15 м, випалення 6,5 м і охолодження 4,32 м. Довжина щілини шахти рівна 8 м. Ширина



щілини шахти печі неоднакова і для відповідних зон складає: зона випалення 1,7 м, підігріву 1,35 м і охолодження 2,4 м. Сталевий кожух печі має прямокутну форму з переходом на торцях (боках) в овальну. Кожух закріпили в каркасі, який спирається на залізобетонний фундамент. Шахта печі футерується хромопериклазовою цеглиною.

Вапняк в шахту печі завантажується через завантажувальний пристрій, що складається з приймальної чаші і замочної кришки. Печі обладнані скіпопідйомник для подачі вапняку. Скіп має місткість  $0,5 \text{ м}^3$  і швидкість підйому 3,9 м/хв. Завантаження шахти печі вапняком проводиться в автоматичному режимі. Рівень завантаження приймальної частини печі підтримується постійним на  $2/3$  її об'єму. Охоложене в нижній частині печі вапно вивантажується з печі в підпічні бункери, а потім з бункерів живильниками подається на трансформаторну стрічку в приймальний бункер з подальшою подачею скиповим підйомником (місткістю від  $0,5 \text{ м}^3$  до  $0,6 \text{ м}^3$ ) в приймальні бункери дробарок. Щічні дробарки забезпечують отримання винищити фракції від 5 мм до 70 мм.

Гази, що відходять з шахти печі, мають наступний хімічний склад (у об'ємних відсотках): від 27 %  $\text{CO}_2$  до 28 %  $\text{CO}_2$ , від 0,6 %  $\text{O}_2$  до 1,2 %  $\text{O}_2$  та від 3 %  $\text{C}$  до 6 %  $\text{C}$ .

Для забезпечення теплового режиму роботи печі і отримання добре обпаленим вапном при використанні разом з природним газом (ПГ) і феросплавним газом (ФГ), калорійність газової суміші розраховують, виходячи із вмісту вуглецю у феросплавному газі.

Температурний режим по висоті шахти печі підтримується наступний: у зоні випалення від  $900 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$ , в зоні підігріву вапняку від  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $680 \text{ }^\circ\text{C}$ . Температура газів, що відходять, з шахти печі не повинна перевищувати  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Продуктивність печі залежить від витрати газу. Так, наприклад, при витраті газу від  $416 \text{ нм}^3/\text{год.}$  до  $480 \text{ нм}^3/\text{год.}$  вона складає від 50 т/добу до 60 т/добу при витраті вапняку 105 т/добу. Підвищуючи витрату газу до меж від  $1024 \text{ нм}^3/\text{год.}$  до  $1056 \text{ нм}^3/\text{год.}$  продуктивність зростає до меж від 140 т/добу до

150 т/добу при витраті вапняку 250 т/добу.

Разом з описаними вище шахтними печами, для випалення вапняку застосовуються також трубчасті (барабанні) і шахтні печі прямоточно та прямоточно-протivotочно з круглими перетинами шахт [19]-[21].

Аналіз виробництва феросплавного вапна в трубчастих печах, що обертаються, для силікотермічного способу виплавки низько вуглецевого ферохрому, отримання силікокальцію показує, що вони мають в порівнянні з шахтними печами за оцінкою В.Ф. Шевченко [22] наступні переваги:

- високий рівень механізації технологічного процесу;
- відсутністю важкої фізичної праці;
- високою продуктивністю і безперервність процесу випалення вапняку.

До недоліків відносять високу капіталоємність і декілька велику питому витрату тепла на тону вапна.

На ВАТ «Челябінський електрометалургійний комбінат» для випалення вапняку споруджено п'ять трубчастих печей, що обертаються, завдовжки від 63 м до 70 м і діаметром від 2,4 м до 3,6 м з пристроєм равлика завантаження вапняку [23].

Випаленню піддають вапняки Тургоякського родовища щільністю від  $2,7 \text{ г/см}^3$  до  $2,78 \text{ г/см}^3$ . Вапняк має фракцію від 10 мм до 50 мм і практично повністю декарбонізується при температурі від  $1200 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $1250 \text{ }^\circ\text{C}$  на протязі часу від 1,5 год. до 3,0 год. Печі опалюються природним газом або сумішшю його з феросплавним газом. Температура факела становить від 1673 К до 1773 К. У цих печах виділяють зони підігріву, випалення (температура футеровки від 1423 К до 1573 К) і охолодження. Трубчасті печі, що обертаються, обладнані підігрівачами вапняку до меж від  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , що працюють на використанні тепла газів, що відходять. Підігрівачі забезпечили підвищення продуктивності печей від 30 % до 50 %.

На підприємствах чорної металургії трубчасті печі, що обертаються, застосовують також для отримання вапна для сталеплавильного виробництва. Разом з цими печами поширення набули печі киплячого шару [24] - [26].

### 1.2.1.3 Відновники

#### 1.2.1.3.1 Відновники для вуглетермічного процесу

Фізико-хімічні, фізико-механічні та металургійні властивості вуглецевих відновників для вуглетермічних процесів докладно розглянуті в монографії В.Г. Мізіна та Г.В. Серова [27]. В ній сформульовані основні вимоги до якості вуглецевих відновників для технології виплавки масових (крем'янистих, марганцевих, хромових та інших) феросплавів:

- оптимальний технічний склад (високий вміст золи при її сприятливому складі - підвищений вміст оксидів провідного елементу, оксидів заліза, низький вміст оксидів домішок і шкідливих елементів - фосфору і сірки або низький вміст золи при несприятливому складі; оптимальний вміст летючих речовин (високий при низькому вмісті в їх складі важких вуглеводнів і смоли, і навпаки));

- сприятливий характер пористої структури (розвинена поверхня, представлена системою пір, що повідомляються, доступною для окислювального агента);

- жорстка погано графітуєма структура, що зумовлює в реальних умовах плавки вищий рівень їх питомого електроопору при підвищених температурах;

- висока хімічна активність (реакційна здатність), яка певною мірою є інтегральною характеристикою вуглецевого відновника, тобто залежить від графітуємості, питомої поверхні, вмісту домішок і ряду інших чинників;

- оптимальний гранулометричний склад при виплавці феросплавів за традиційною технологією (на кусковій шихті) і відповідний ступінь подрібнення за умови окускування (обливання або брикетування) шихти; ступінь подрібнення відновника в останньому випадку визначається відновника в останньому випадку визначається специфічними умовами технології обливання (віддають перевагу фракції матеріалу менше меж від 0,07 мм до 0,1 мм) або брикетування (фракція матеріалу менше 3 мм);

– висока структурна міцність і низьке стирання, що забезпечує мінімально можливе утворення дрібниці в процесі транспортування, підготовки і подачі вуглецевих відновників до плавильного агрегату;

– сприятливі металургійні властивості (висока хемосорбційна здатність по відношенню до газоподібних оксидів, висока хімічна активність проміжних продуктів реакції по відношенню до металів і оксидів того ж або іншого елемента, низька термічна стійкість продуктів реакції, що конденсують, для безшлакових процесів виплавки феросплавів, хороша змочуваність відновника реакційним розплавом і висока швидкість розчинення вуглецю в металевій фазі для шлакових процесів).

Природно, що в кожному випадку загальні вимоги до вуглецевих відновників повинні бути конкретизовані. При цьому виходять з особливостей механізму відновлення металів, способу підготовки шихти, технологічних особливостей плавки і так далі.

За комплексом фізико-хімічних властивостей при вуглетермічній плавці з використанням кускових матеріалів перевагу слід віддати перш за все малозольним відновникам з високою реакційною здатністю, розвиненою пористою структурою і високим питомим електроопором (деревне вугілля, торф, лігнін, коксолигнін та інші). Представляють також інтерес високозольні відновники, що характеризуються тим же комплексом властивостей. Їх особливістю є високий вміст в золі кремнезему (ангарський напівкокс, шунгіт, кокс з карагандинського вугілля та інші). Для виробництва сплавів кальцію, крім цих відновників, певний інтерес заслуговують матеріали типу прибалтійських сланців.

Викладене вище підтверджується практикою застосування деревного вугілля при виплавці силікокальцію.

При використанні кускованих шихт вимоги до вуглецевих відновників можна розглядати в двох аспектах. З одного боку, можуть бути використані малозольні вуглецеві відновники із зниженими показниками реакційної здатності, пористості і питомого електроопору при високих температурах



(нафтовий, пековий кокс та інші). Їх застосування стає можливим унаслідок порівняно тонкого подрібнення початкових матеріалів, зокрема вуглецевого відновника, хоча відмінність в рівні їх властивостей залишається істотною. Так, за даними роботи [28], при ізотермічній витримці 60 хв. (температура 1750 °С) брикетованої шихти (фракція менше 0,1 мм), розрахованої на виплавку силікокальцію, набуті наступних значень частки не перетвореного вуглецю в залишку, що конденсує, г:

Деревне вугілля.....	0,168
Ангарський напівкокс .....	0,379
Металургійний кокс.....	0,424
Графіт.....	0,784

Автори [24] роблять висновки, що використання вуглецевих відновників тонкого (- 0,1 мм) помелу в брикеті згладжує відмінність у впливі фізико-хімічних властивостей, які чітко виявляються при використанні матеріалу крупнішого гранулометричного складу

З іншого боку, при виготовленні оку скованої шихти (окотиші або брикети) можуть бути використані копалини вугілля, наприклад малозольне худе або порівняно зольні, - газові. Оскільки худе вугілля відноситься до класу вугілля високого ступеня метаморфізму з невеликою величиною пластичного шару, при окускуванні шихти необхідна добавка речовин, що пов'язують. У разі застосування при окускуванні добре спекаючого газоподібного вугілля останні, окрім основної функції, виконують одночасно і роль речовини, що пов'язує: при нагріві до 1000 °С відбувається їх розм'якшення і подальше коксування з утворенням коксового скелета.

Таким чином, при виплавці силікокальцію можна використовувати вуглецеві відновники з широким діапазоном якісних характеристик. Властивості вуглецевих відновників значною мірою зумовлюють спосіб підготовки шихти і технологію плавки феросплавів. За існуючою технологією виплавки крем'янистих феросплавів з рідкоземельних та лужноземельних металів на основі кускових матеріалів з технологічної точки зору слід вважати

за краще вуглецеві відновники з високими показниками реакційної здатності, питомого електроопору і сприятливою пористою структурою. Вміст золи повинен бути низьким, але може бути високим для випадку підвищеного вмісту оксидів провідних елементів. У загальному плані технологічно доцільне використання активніших з підвищеним питомим електроопором вуглецевих відновників.

### 1.2.1.3.2 Відновники для металотермічного процесу

У якості відновника для метало термічного процесу можуть бути використані алюміній, технічний кремній, а також сплави на їх основі (феросиліцію, фероалюмінію та інші). Сорт алюмінію, що грає роль відновника, вибирають залежно від вимог до якості отриманого сплаву. З марок первинного алюмінію найбільш поширені А5, А6, А7 і А8 (алюміній технічної чистоти (ГОСТ 11069-2001 [29])).

Алюміній використовують у вигляді порошку, отриманого методом пульверизації рідкого металу стислим повітрям при температурі від 760 °С до 800 °С. Розплавлення алюмінію здійснюють у відбивних печах, опалювальних природним газом, рідкий метал випускають в чавунний казан, з якого рідкий алюміній під тиском подається в розпилюючі форсунки і вдувається в спеціальну камеру, де отриманий порошок охолоджується і осідає в бункерах. Гранулометричний склад порошку повинен задовольняти наступним вимогам:

Фракція, мм.....	< 0,1	0,1–1,0	1,0–3,0
------------------	-------	---------	---------

Вміст, %:

I сорт .....	20	>70	<15
--------------	----	-----	-----

II сорт.....	<25	>65	<20
--------------	-----	-----	-----

Для електропічних алюміно- або алюіносилікотермічних процесів перспективне застосування гранульованого алюмінію (розмір гранул до меж від 5 мм до 8 мм), постачання якого передбачене стандартом, що діє, на вторинний алюміній.

Для силікотермічного відновлення оксидів рідкоземельними та лужноземельними металами використовують кристалічний кремній (табл. 1.7) або феросиліцій (табл. 1.8).

Таблиця 1.7 – Хімічний склад кристалічного кремнію (ГОСТ 2169-69 [30])

Марка кристалічного кремнію	Si, не менше	Fe	Al	Ca	Визначувані домішки
Кр00	99,00	0,4	0,4	0,4	1,0
Кр0	98,8	0,5	0,4	0,4	1,0
Кр1	98,0	0,7	0,7	0,6	2,0
Кр2	97,0	1,0	1,2	0,8	3,0

Примітка: Fe, Al, Ca і визначувані домішки не перевищують приведених значень

Таблиця 1.8 – Хімічний склад феросиліцію (ДСТУ 4127:2002 [31])

Марка феросиліцію	Si не менше	Mn	C	P	S	Al
ФС90	89	0,2	0,2	0,03	0,02	3,5
ФС75	74–80	0,4	0,4	0,05	0,02	-
ФС65	63–68	0,4	0,4	0,05	0,02	2,5
ФС45	41–47	0,6	0,5	0,05	0,02	2,0

Примітка: Mn, C, P, S, Al не перевищують приведених значень.

Найбільше поширення набув феросиліцій марок ФС75 та ФС65. При алюміносилікотермічному відновленні зручний феросилікоалюміній, що містить від 10 % Al до 14% Al, що отримується розчиненням чушкового алюмінію в рідкому феросиліції. Кристалічний кремній та інші сплави кремнію використовують в роздробленому або гранульованому вигляді [7, 19].

### 1.2.2 Технологічні особливості виробництва силікокальцію

На практиці силікокальцій одержують способами, які різняться поміж собою за видом відновника, що використовують [7]:

- вуглетермічний;
- силікотермічний;

– алюмотермічний.

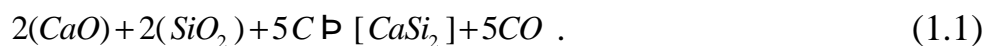
Техніко-економічні показники виплавки різних марок силікокальцію приведені в табл. 1.9.

Таблиця 1.9 – Витрата шихтових матеріалів та електроенергії при виплавці різних марок силікокальцію

Технологічний показник	Вуглетермічний спосіб		Силікотермічний спосіб	
	Марка силікокальцію			
	СК15	СК30	СК15	СК10
1. Витрата матеріалів, кг/т:				
– кварцит	1436	1875	–	–
– вапно	456	748	960	940
– кам'яне вугілля	281	265	–	–
– дерев'яне вугілля	244	370	–	–
– кокс сухий	388	600	–	–
– феросиліцій ФС65	–	–	917	805
– стружка сталева	318	-	–	–
– маса електродна	107	134	–	–
– електроди	–	–	12,5	10,5
2. Витрата електроенергії, кВт·год./т	8893	11800	1670	1415

### 1.2.2.1 Вуглетермічний спосіб виробництва силікокальцію

Спільне відновлення кальцію та кремнію з їх оксидів вуглецем називають вуглетермічним способом виробництва силікокальцію. У такому разі відновлення кальцію та кремнію проходить за наступною реакцією:



Вуглетермічним способом можна одержати всі марки силікокальцію, але найбільше розповсюдження цей спосіб отримав для виробництва силікокальцію з високим вмістом кальцію (СК25 та СК30) [8].

При вуглетермічному способі застосовують шихту, що складається з металургійної вапна ( $\leq 87\% \text{ CaO}$  і  $\leq 0,010\% \text{ P}$ ) крупністю від 40 мм до 100 мм, кварциту ( $95\% \text{ SiO}_2$ ) крупністю від 25 мм до 200 мм, коксу-горішка (кількість

золи від 11% до 13%) крупністю від 5 мм до 20 мм. До кварцитів та вуглецевого відновника пред'являються жорсткі вимоги щодо вмісту сірки. При виплавці кременистих феросплавів типу феросиліцію сірка шихти утворює з кремнієм леткі сполуки SiS та SiS<sub>2</sub>, які частково видаляються з колошниковими газами. Кальцій, що міститься в силікокальції, призводить до утворення сульфату CaS з наступними показниками:  $\Delta H^0_{298K} = - 476,5$  кДж/моль;  $\Delta G^0_{298K} = - 471,1$  кДж/моль;  $S^0_{298K} = 318,5$  Дж/(моль·К);  $C_{p298K} = 68,1$  Дж/(моль·К). Вміст сірки в сплаві може досягати 0,2%. Основними джерелами надходження сірки є кварцит (від 50 % до 55%), коксик (від 20 % до 30%) та кам'яне вугілля (від 10% до 15%).

Висококальцієві марки силікокальцію (СК20-СК30) одержують відновленням вапна і кварциту коксом у відкритих електропечах потужністю 14 МВА. Процес в загальному вигляді може бути представлений схемою:



Утворення термодинамічно стійких угруповань атомів, близьких за складом до CaSiO<sub>2</sub>, знижує активність кальцію і кремнію, полегшує умови відновлення цих елементів з їх оксидів ( $p_{\text{CO}}=0,1$  МПа досягається при 1600 °С).

Проміжні реакції протікають з утворенням SiC та CaC<sub>2</sub>. Останні, переходячи в шлак, підвищують його тугоплавкість і сприяють досягненню температур, що забезпечують отримання силікокальція заданого складу. Однак слід уникати надлишку вуглецю в шихті, щоб виключити заростання ванни печі карбідами. Дозування ведеться з необхідного співвідношення компонентів в колоші, зразковий склад якої наступний: 85 кг вапна; 200 кг кварциту; 30 кг кам'яного вугілля; 50 кг деревного вугілля; від 85 кг коксик до 95 кг коксик. При виплавці сплавів марок СК10 та СК15 в колошу додають 40 кг залізної стружки. Розрахунок шихти ведуть з урахуванням досягнутого на практиці корисного використання кожного елемента. Так, при розрахунку складу шихти для сплаву марки СК30 приймають вилучення кальцію 67%, а

кремнію - 75%. При виплавці сплавів з високим вмістом кальцію особливу увагу приділяють контролю процесів шлакоутворення, оскільки шлак, маючи більш високу щільність, осідає на подині, що призводить до її заростання і розладу ходу печі. Нижче наведено склад шлаку силікокальцію СК30 та СК15, виплавленого вуглетермічним способом, відповідно:

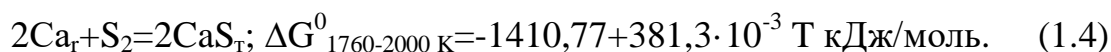
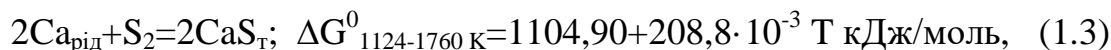
Компонент.....CaO    SiO    Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>    SiC    CaC<sub>2</sub>

Вміст компонента, %, у сплавах:

СК30.....15–20    45–55    2–3    10    10–15

СК15.....63–68    30–33    0,3–0,7    –    C=0,5±0,7

Хімічний склад шлаку впливає на вміст сірки в сплаві. Взаємодія кальцію з сірою призводить до утворення термодинамічних міцних сульфідів за реакцією:



Шлаки з високим вмістом карбиду кальцію більше рідкорухливі, знижують концентрацію сірки в силікокальції. Однак вони ускладнюють розливання сплаву через поганий відділення шлаку від металу.

Електричний режим роботи печей потужністю 14 МВ А наступного: сила струму 54,4 кА, напруга 134 В. Незважаючи на дотримання оптимальних параметрів технології отримання силікокальцію, з часом ванна печі заростає гарнисажем, що складається з напіввідноної шихти. Потрібна зупинка печей і перефутерування ванни. Для уникнення простоїв на практиці ця проблема частково вирішується періодичним переказуванням печі на виплавку 45%-го феросиліцію. Випуск сплаву і шлаку при нормальному ході виплавки проводиться через кожні 2 години в ківш з вуглецевої футеровкою стін і шамотною днищем. Розрізняють сплав футеровані виливниці.

Відновлювальні процеси при виплавці силікокальцію протікають в

найбільш гарячих зонах печі, тобто у електродів, навколо яких утворюються газові порожнини, мають у своїй нижній частині карбідні «чашки». Утворився сплав накопичується в порожнині («щілини»), що знаходиться на рівні випускного отвору. Збереження цих «чашок» і наявність порожнини («щілини») є обов'язковою умовою нормального протікання процесу. Цьому сприяє робота з великим надлишком відновника, однак надмірний розвиток процесу карбідоутворення призводить до заростання печі карбідами, в основному, карборундом, і перекриття порожнини і ходів з неї, тобто до припинення виходу сплаву і газу з річки. Для запобігання цього в піч періодично вводять кварцит, в окремих випадках - вапно. При холодному ході печі вапно вводити не можна, так як це призведе лише до утворення рідкого шлаку. При нормальному ході печі після кожного випуску в тиглі у електродів дають одноразові добавки кварциту (від 400 кг до 600 кг) для руйнування наявних карбідів.

Основними відхиленнями від нормальної роботи печі є наступні:

1. Надлишок відновника понад нормального, при якому зменшуються глибина посадки електродів в шихті і витрати шихти, спостерігається спікання колошника, погано відкривається та туго шурується льотка (іноді не шурується зовсім), збільшується вихід карборунду під час випуску. Вміст кальцію в сплаві підвищується, кількість шлаку (у літрах) >60 л. Для виправлення ходу печі слід зменшити наважку коксик у колоші та при необхідності збільшити наважку вапна в колоші або масу одноразових добавок кварциту. При великому надлишку відновника, коли ванна печі швидко заростає карбідом кремнію, і при неможливості збільшення одноразової добавок кварциту (низький вміст кальцію в сплаві) для виправлення ходу печі необхідно ввести в піч від 200 кг до 300 кг вапна під один який-небудь електрод. Цю операцію можна проводити один - два рази на добу. Якщо при всіх інших ознаках надлишку відновника з печі виходить рідкий шлак, давати одноразові добавки вапна не можна.

2. Недолік відновника, при якому збільшується вихід шлаку під час випуску, колошник працює мляво при великій витраті шихти, вміст кальцію в

сплаві знижується, сплав виходить холодний, річка закривається з працею. Необхідно збільшити наважку коксик у колоші та зменшити кількість кварциту. Можна також тимчасово збільшити наважку деревного вугілля до меж від 60 кг до 80 кг на колошу.

3. Надлишок вапна в шихті, при якому зменшується глибина посадки електродів в шихті і з'являється рідкий шлак, кількість якого збільшується від випуску до випуску. Необхідно зменшити наважку вапна.

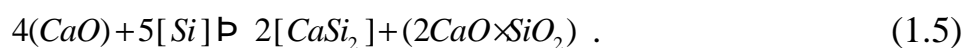
4. Недолік вапна в шихті, що викликає зниження вмісту кальцію в сплаві; необхідно збільшити наважку вапна.

5. Інтенсивне заростання ванни печі карбідом кремнію, внаслідок чого припиняється вихід газу з лютки; необхідно припинити завантаження шихти в піч і протягом декількох годин проплавають тиглі електричними дугами. Якщо ця операція не виправляє становище, то пропалюють нове очко лютки ~ на 100 мм вище колишнього.

Таким чином, вуглетермічний процес одержання силікокальцію здійснюють у рудновідновних феросплавних печах з графітовою футерівкою. Такий процес супроводжується достатньо великими витратами електроенергії (від 11500 кВт·год./т сплаву до 12500 кВт·год./т сплаву), що обумовлено потребою створення у ванні печі досить великої температури (до 2000 °С). Процес ведуть безперервно (без повного проплавлення шихти) з періодичним випуском сплаву через лютку [7].

### 1.2.2.2 Силікотермічний спосіб виробництва силікокальцію

Відносно простим є силікотермічний спосіб одержання силікокальцію. У даному разі як відновник використовують кремній феросиліцію. Тоді відновлення кальцію кремнієм відбувається за реакцією:





Оскільки хімічна спорідненість кремнію до кисню нижче кальцію, реакція (1.5) може протікати в сторону отримання сплаву з кальцієм завдяки різкому зниженню його активності. Однак рівновага реакції досягається при порівняно невисоких концентраціях кальцію в сплаві, тому силікотермічним способом можна отримувати силікокальцій з вмістом кальцію  $\leq 20\%$ .

Виплавляють сплав у відкритих печах періодичним процесом. Склад колоші наступний: 200 кг вапна, 196 кг феросиліцію ФС75 і 30 кг плавикового шпату. Застосування дефіцитного плавикового шпату обумовлено тим, що високоосновні шлаки в'язкі і нетехнологічні. Присадкою плавикового шпату розріджують шлак і покращують умови поділу продуктів плавки при розливанні. Витяг кальцію становить від 20% до 30%, а використання кремнію феросиліцію-від 75 % до 85 %. У сплав з шихти переходить від 25 % Al до 35 % Al, від 15 % S до 30 % S, від 15 % P до 35 % P, від 25 % Mg до 30 % Mg; частина кальцію переходить в газову фазу.

Якість силікокальцію, отриманого силікотермічним способом, за змістом регламентованих домішок (в перерахунку на одиницю кальцію) вище, ніж вуглетермічного. Використання коксу в якості відновника супроводжується збільшенням в сплаві вмісту сірки і алюмінію. В умовах високих температур відбувається відновлення алюмінію вуглецем, чому сприяє розчинення алюмінію в сплаві, тому застосування шихтових компонентів з підвищеним вмістом домішки  $Al_2O_3$  ускладнює отримання силікокальція з допустимою концентрацією алюмінію (менше 2 %).

Виробництво силікокальцію силікотермічним способом здійснюють у електродугових печах сталеплавильного типу. Особливістю таких печей є вугільна футерівка поду та стін, а також досить щільна герметизація плавильного простору печі. Плавлення силікокальцію силікотермічним способом ведуть періодичним процесом з проплавленням всієї шихти та випуском усіх продуктів плавки з печі. Для виробництва силікокальцію марок СК10 та СК15 використовують феросиліцій марок ФС65, що містить від 65% кремнію до 70 % кремнію. Силікокальцій марок СК25 та СК30 одержують з

використанням феросиліцію марки ФС90.

Особливістю виплавки силікокальцію зазначеним способом є те, що за збільшення вмісту кальцію у сплаві більше 22 % погіршуються показники його виробництва, оскільки у такому шлаку щільність стає більшою ніж щільність металу, а останній починає спливати на поверхню шлаку та окислюватися. В результаті також різко збільшуються втрати металу зі шлаком у вигляді дисперсних корольків. Окрім того, слід зазначити, що процес виробництва висококремнистого феросиліцію (зокрема ФС90), необхідного для виплавки силікокальцію марок СК25 та СК30, є досить енергоємним та коштовним. Саме за таких причин натеper феросиліцій марок ФС75 та ФС90 на території України майже не виплавляють. Тому силікотермічним способом найбільш рентабельно виробляти силікокальцій марок СК10 та СК15, де використовують менш дефіцитний феросиліцій марки ФС65 [7].

### 1.2.2.3 Алюмотермічний спосіб виробництва силікокальцію

Алюмінотермічне відновлення кальцію з СаО супроводжується утворенням алюмінідів кальцію. З рис. 1.2 видно, що в системі Са-Аl утворюється два алюмініда  $Al_4Ca$  та  $Al_2Ca$ , при цьому алюмінід  $Al_4Ca$  розкладається при  $700\text{ }^{\circ}C$  за реакцією:



а  $Al_2Ca$  плавиться конгруентно при  $1079\text{ }^{\circ}C$ , що істотно перевищує температуру плавлення алюмінію ( $662\text{ }^{\circ}C$ ) і кальцію ( $842\text{ }^{\circ}C$ ).

Сплави системи Са-Аl мають високу розкислювальну здатність і можуть застосовуватися для зниження вмісту кисню в спеціальних високолегованих литих і деформованих сплавах, в тому числі і на не залізній основі [7].

Таким чином, можна заключити, що за сучасних економічних умов

низькопроцентний силікокальцій (марки СК10 та СК15) більш доцільно виплавляти силікотермічним процесом. Найбільші витрати будуть приходитися на відновник – феросиліцій марки ФС65, оскільки витрати електроенергії безпосередньо на виплавляння силікокальцію таким способом складають близько 2500 кВт·год./т сплаву. Виплавку силікокальцію з високим вмістом кальцію (марки СК25 та СК30) вигідніше проводити вуглетермічним процесом, тоді вартість шихтових матеріалів буде незначною.

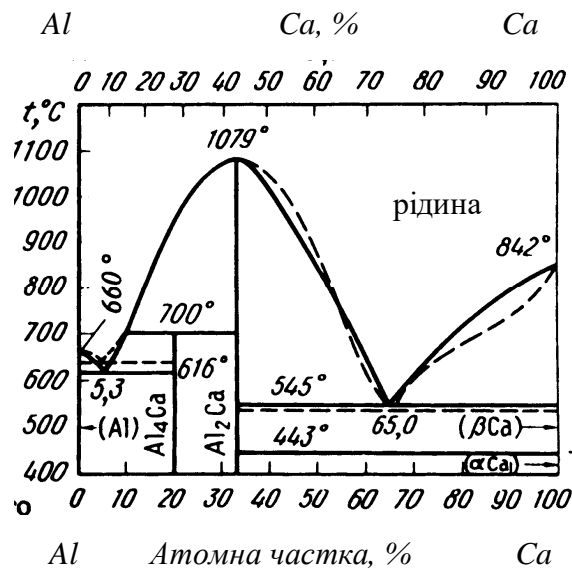


Рисунок 1.2 – Діаграма рівноважного стану системи Ca-Al

### 1.3 Висновки

1. Силікокальцій, зокрема марок СК10-СК30, є активним комплексним розкислювачем, ефективним десульфатором, дегазатором чавуну і сталі. В залежності від виду відновника силікокальцій виплавляють вуглетермічним, силікотермічним або алюмотермічним способами у рудовідновних феросплавних печах.

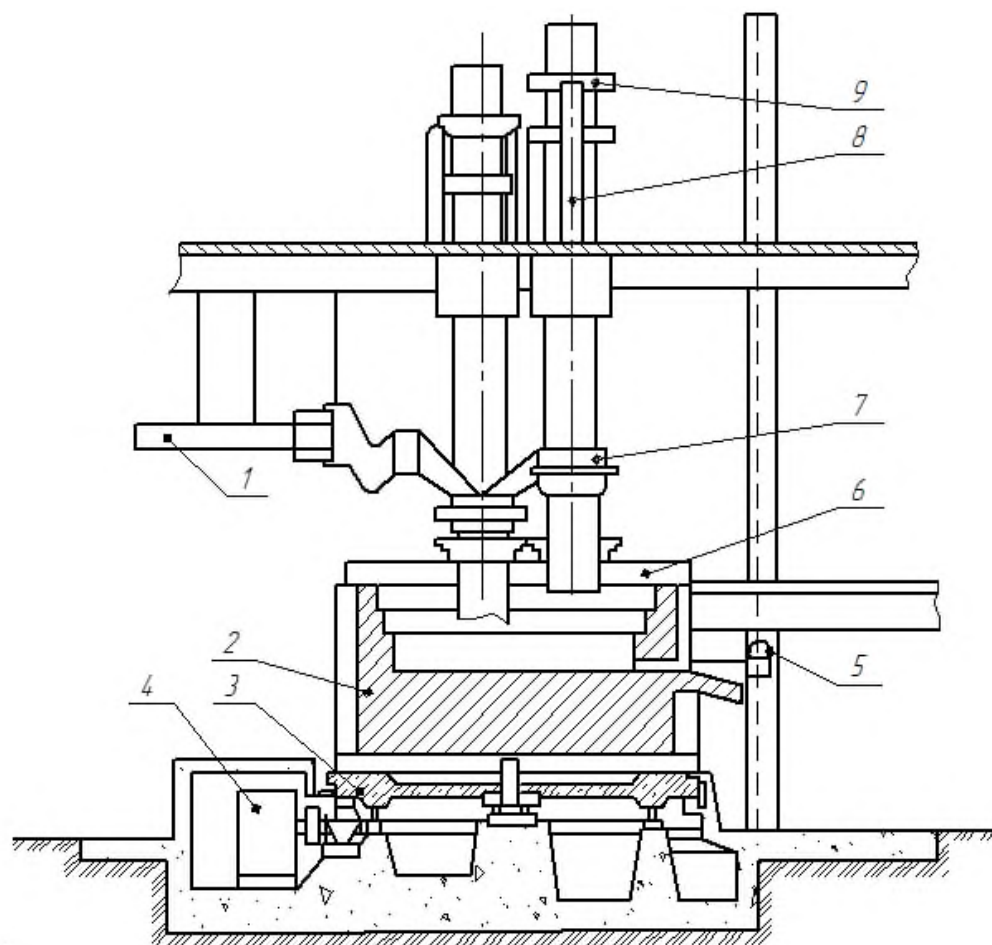
2. З техніко-економічної точки зору силікокальцій марок СК10 та СК15 більш доцільно виплавляти силікотермічним процесом, використовуючи у якості відновника ФС65, а силікокальцій марок СК25 та СК30 вуглетермічним процесом, використовуючи у якості відновника кварцит та кокс.

## 2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Матеріали та методика дослідження

Виправку силікокальцію проводили в лабораторній рудновідновлювальній печі з потужністю трансформатора 16,5 кВА (рис. 2.1) згідно 3-х варіантів плавки:

– I-й варіант – плавка на звичайній шихті. У якості шихтових матеріалів використовували кремнезем, вапно, залізорудний концентрат та газове вугілля (у якості відновника);



1 – коротка мережа; 2 – ванна печі; 3 – опорна плита; 4 – механізм обертання ванни; 5 – апарат для пропалення льотки; 6 – склепіння; 7 – струмопідвід; 8 – гідропідйомник; 9 – пристрій для перепускання електродів

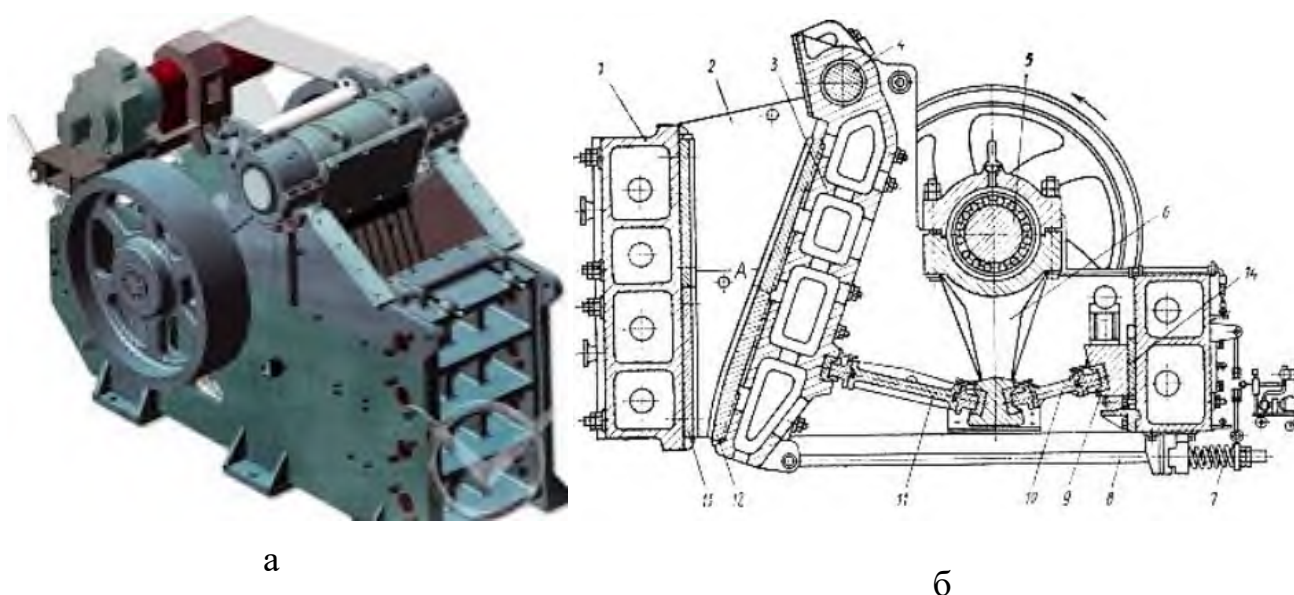
Рисунок 2.1 – Схема рудновідновної печі типу РКЗ-16,5

– II-й варіант – плавка з використанням моношихтових брикетів. Використовували шихтові матеріали фракції від 1 мм до 2 мм: кремнезем, вапно, графіт (у якості відновника) та хімічно чисте залізо у співвідношенні 1: 0,3: 0,67: 0,2;

– III-й варіант – плавка з використанням брикетів з доданням кускового вапняку (табл. 2.1). У якості шихти використовували ті ж самі матеріали, що і для I-го варіанту плавки (за винятком вапна) та кусковий вапняк фракції від 20 мм до 40 мм, попередньо подріблений на щоківій дробарці (рис. 2.2). Склад колоші: 100 кг брикетів, 32,5 кг дробленого вапняку.

Таблиця 2.1 – Вміст основних компонентів у шихті для брикетів з доданням кускового вапняку

Варіант партії брикетів	Вміст елементів, %			
	C <sub>ТВ</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe	н.п.п.
1	25,1	47,7	3,8	22,8
2	26,5	44,0	3,3	24,5
3	29,0	41,7	3,2	26,7



1 – станина; 2– бокова футеровка; 3 – щока, що рухається; 4 – вісь; 5 – ексцентриковий вал; 6 – шатун; 7 – пружина; 8 – тяга; 9 – устрій, що регулює; 10, 11 – задня та передня розпірна плита; 12, 13 – плита, що дробить, рухомої та нерухомої щоки; 14 – прокладка

Рисунок 2.2 – Загальний вид (а) та схема (б) щоківій дробарки

Дослідження хімічного та гранулометричного складу шихтових матеріалів проводили за допомогою хімічного та ситового аналізу відповідно.

В брикетах у якості матеріалу, що пов'язує, використовували бітумом. Виготовлення брикетів проводили методом гарячого пресування при температурі 1200 °С на валковому пресі ПВР-2 (рис. 2.3, табл. 2.2). Брикети (рис. 2.4) перед дослідної кампанією піддавалися природній сушці на повітрі протягом тижня.

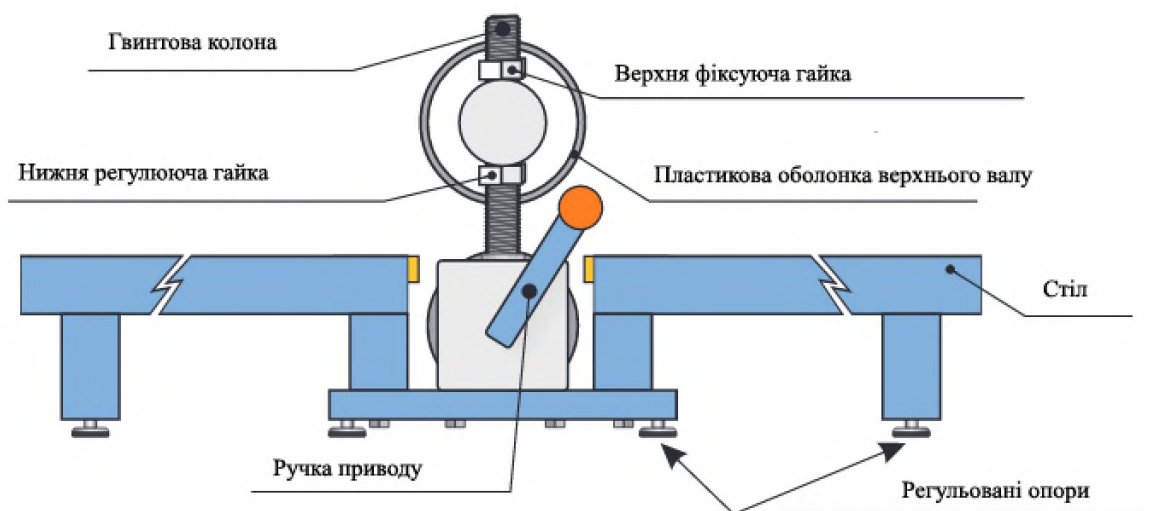


Рисунок 2.3 – Схема валкового пресу

Таблиці 2.2 – Технічна характеристика валкового пресу ПВР-2

Технічна характеристика	Значення, од.виміру
Габарити у збірці	1290 мм х 854 мм х 280 мм
Вага	85 кг
Діаметр верхнього валу	104 мм
Діаметр нижнього валу	104 мм
Відстань між валами	> 56 мм
Ширина робочої частини вальців	650 мм
Відстань між колонами	704 мм

Для вибору оптимального надлишку вуглецю в шихті, що складається з брикетів з доданням кускового вапняку, виготовляли три партії брикетів вагою по 800 кг (табл. 2.1). В вихідній шихті змінювалася тільки навіска газового вугілля, відносний вміст в брикеті кремнезему зменшувався, а відношення між ними залишалось приблизно однаковим.

Дослідні плавки силікокальцію з використанням брикетів проводили після попереднього розігріву рудновідновлювальної печі на виплавці карбиду кальцію та феросиліцію марки ФС45.



Рисунок 2.4 – Загальний вид брикетів

## **2.2 Висновки**

1. Визначено методику дослідження технології виплавки силікокальцію з використанням з використанням у шихті брикетів з доданням кускового вапняку.

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИПЛАВКИ СИЛІКОКАЛЬЦІЮ НА БРИКЕТАХ

#### 3.1 Дослідження можливості одержання силікокальцію з вапнякової породи Василівського родовища

За результатами хімічного аналізу вапняки Василівського родовища мають наступний склад: 48,6 % CaO; 4,7 % SiO<sub>2</sub>, 3,3 % MgO, 1,1 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,5 % FeO, 0,03 % P. У той же час вапняки Донбасу, які використовують для виробництва силікокальцію, мають 53 % CaO; 3,5 % MgO; до 2,5 % SiO<sub>2</sub> та більше 1,5 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Не дивлячись на менший вміст кальцію та більш високий вміст діоксиду кремнію, вапняки Василівського родовища привабливі більш низьким вмістом оксиду алюмінію, що може позитивно впливати на якість силікокальцію, оскільки згідно існуючим нормативним вимогам, вміст алюмінію в сплаві обмежений і не повинен перевищувати 2 %.

У роботі [1] в лабораторних умовах було випробувано технологію виробництва силікокальцію як силікотермічним (СК15), так і вуглетермічним (СК25 та СК30) способами з використанням у якості матеріалу, що містить кальцій, вапнякової породи Василівського родовища.

Цей матеріал являє собою ракушняк, основною мінеральною фазою якого є карбонат кальцію CaCO<sub>3</sub>. Порівняно з природним якісним вапняком у відібраному зразку матеріалу спостерігали підвищений вміст SiO<sub>2</sub> та MgO про що було вище сказано. Для визначення хімічного складу зразок матеріалу (біля 40 кг) піддавали подрібненню у щоківній дробарці до фракції менш 10 мм після чого виконували усереднення матеріалу методом квартування-конусування до одержання аналітичної проби.

Відібраний матеріал піддавали випаленню у муфельній печі за температури від 950 °C до 1000 °C на протязі від 2,0 год. до 2,5 год. У результаті одержали вапно наступного хімічного складу: 83,7 % CaO; 8,1 % SiO<sub>2</sub>; 4,7 % MgO; 1,8 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 0,8 % FeO; 0,05 % P.



За хімічним складом, одержане вапно відрізняється від вапна, що використовують під час виробництва феросплавів, у гіршу сторону. Під час виробництва феросплавів зазвичай використовують вапняк із вмістом СаО не менше ніж 93 %, а кремнезему не більше ніж 2 %.

З метою визначення принципової технологічної можливості одержання силікокальцію з вапнякової породи Василівського родовища було виконано дослідні плавки у крупнолабораторній рудновідновлювальній печі з потужністю трансформатору 50 кВА лабораторії феросплавного виробництва ДП «УкрНДІспецсталь». Маса шихтових матеріалів, що проплавляють за одну плавку, складала близько 10 кг. Витрати електроенергії визначали за показами відповідного приладу. Плавку виконували у графітових тиглях на блок (вуглетермічним процесом) та зі зливом продуктів плавки (силікотермічним способом).

Під час досліджень було виконано три серії плавок:

1. Похідну вапнякову породу обпалювали у муфелі до одержання вапна, яке сплавляли з феросиліцієм ФС65 (68 % кремнію) у заданому співвідношенні, тобто здійснювали силікотермічний процес виплавки силікокальцію з використанням теплоти електричних дуг;

2. Також, як і в першій серії плавок, з похідної породи одержували вапно, що сплавляли з кварцитом, коксом та газовим вугіллям у заданому співвідношенні, тобто виконували вуглетермічний процес одержання силікокальцію;

3. Силікокальцій одержували вуглетермічним способом з використанням тих самих шихтових матеріалів, що і в другій серії плавок, тільки замість вапна задавали «сирий» вапняк Василівського родовища.

Перед кожною плавкою шихтові матеріали готували фракцією від 2 мм до 7 мм, дозували у заданому співвідношенні та ретельно перемішували. Залежно від застосованих компонентів шихти загальна маса матеріалів на одну плавку коливалася у межах від 9 кг до 10 кг. Графітовий тигель перед плавкою розігрівали електричною дугою. Відлік затрат електроенергії на плавку

розпочинали одночасно з подаванням шихтових матеріалів до печі.

Хімічний склад металу, одержаного у різних серіях плавок, наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад силікокальцію за серіями плавок, %

Серія	Ca	Si	Fe	Al	P	C
1	16,3	59,5	19,0	0,7	0,0023	0,12
2	30,9	63,4	1,2	1,9	0,0027	0,37
3	25,1	62,2	7,0	1,8	0,0300	0,42

Під час виплавки силікокальцію силікотермічним способом (1 серія) хід технологічного процесу характеризувався стабільним та рівним електричним режимом. Температура розплаву перед випуском була досить високою, зафіксовано повний вихід розплаву з печі. У виливниці розділення шлаку та металу було добрим (шлак – зверху, метал – знизу), в шлаці не спостерігали корольки металу. Після остигання шлак розсипався у дрібний порошок. Одержаний метал за своїм хімічним складом (табл. 3.1) відповідав силікокальцію марки СК15.

Технологічний процес одержання вуглетермічного силікокальцію з використанням вапна (2 серія) також не спричинює особливих складнощів. Схід шихти у печі відбувався рівномірно без обвалів, виділення газів теж було рівномірним за всією поверхнею колошника, наявність свищів не спостерігали. Одержаний метал за своїм хімічним складом (табл. 3.1) відповідав силікокальцію марки СК30. За витратами електроенергії відмінності режимів майже не спостерігали.

Використання природного вапняку Василівського родовища (3 серія) для виробництва вуглетермічного силікокальцію дещо негативно впливає на технологічний процес плавки порівняно з використанням вапна (2 серія). Це виявлялося у напруженій роботі колошника печі: створенні свищів і зон спікання шихти. Окрім того, збільшилися витрати електроенергії на ~10 % порівняно з 2 серією плавок. Проте метал, що одержано у результаті плавки, за своїм хімічним складом (табл. 3.1) відповідав силікокальцію марки СК25.

Таким чином, вапнякові породи Василівського родовища являють собою різновид ракушняку, основною мінералогічною фазою яких є карбонат кальцію. Від звичайних природних вапняків, що використовують у металургії, такі породи відрізняються дещо підвищеним вмістом домішок ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). За даними хімічного складу, як похідні породи (48,6 %  $\text{CaO}$ ), так і продукт її випалення (83,7 %  $\text{CaO}$ ) можуть бути використаними для одержання силікокальцію.

Випробування процесу виплавки силікокальцію у лабораторній електродуговій печі показало, що використання випаленого вапняку Василівського родовища дозволяє без яких-небудь технологічних ускладнень одержати силікокальцій марки СК15 силікотермічним способом та силікокальцію марки СК30 вуглетермічним способом. Використання безпосередньо похідної породи без їх попереднього випалення для виробництва силікокальцію вуглетермічним процесом потребує виконання більш детальних досліджень та не може бути зовсім виключеним з поля зору, оскільки існує відомий досвід одержання силікокальцію з вапняку.

За попередніми результатами, які висвітлено у даній роботі, вапнякові породи Василівського родовища можна рекомендувати для виробництва силікокальцію різних марок як силікотермічним, так і вуглетермічним способами.

### **3.2 Фізико-хімічні основи сумісного відновлення окислів кремнію та кальцію**

При вивченні відновного процесу виплавки силікокальцію необхідно рахуватися з багатьма ускладненнями в ході термодинамічних розрахунків. Крім основних реакцій відновлення типу:



протікають реакції карбідоутворення:



а при наявності незначних кількостей домішок в шихті, можуть протікати метало термічні реакції:



що певною мірою змінює склад системи.

Деякі компоненти системи при температурах відновлення переходять в газоподібний стан. Агрегатний стан у момент відновних реакцій вихідних оксидів або їх з'єднань і співвідношення фаз поки не можуть бути точно визначені, а це має безпосередній вплив на термодинамічну характеристику реакцій.

Таким чином, термодинамічні розрахунки розглянутого процесу в даний час можуть бути лише наближеними. Але навіть в цих умовах термодинаміка може дати вказівки про ймовірності протікання тих чи інших реакцій, а також про необхідні для відновлювального процесу температурах.

Відомо, що величина термодинамічного потенціалу є функція зміни ентропії  $\Delta S^0$  і ентальпії  $\Delta H$ , тобто:

$$\Delta G = H_T^0 - T\Delta S_T^0, \quad (3.4)$$

величини яких наведені в цих розрахунках, взяті з джерела [28]. Для визначення аналітичних виразів для  $\Delta G_T^0$  реакцій проводилося в декількох температурних інтервалах, причому межами інтервалів були значення температур поліморфних і агрегатних перетворень речовин, що беруть участь у реакції. Такий вибір меж температурних інтервалів зумовлений стрибкоподібним зміною ентальпії і енергії в цих точках.

Наприклад, для системи Ca-O-Si-C основні термодинамічні величини її

складових елементів приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні термодинамічні величини елементів системи Ca-O-Si-C

Речовина	$\Delta H_{298}$ ккал/моль	$\Delta S_{298}$ ккал/гр.моль	Перетворення			
			вид	$T^0$ , К	теплота ккал/моль	ентропія кал/моль
C	0	1,361	–	–	–	–
CO	26,4	47,3	–	–	–	–
Si <sub>ТВ</sub>	0	4,5	тв.–рід.	1693	11,9	7,02
SiO <sub>2</sub>	209,9	10,2	крис. – рід.	2001	3,600	1,80
SiO <sub>конд</sub>	102,0	15,81	конд. – газ	2173	75,5	34,74
Ca <sub>рід</sub>	2,1	11,82	рід.–газ	1693	43,1	25,46
CaO <sub>ТВ</sub>	151,79	9,5	тв.–рід.	2860	19,0	6,65
CaSi	36,0	15,0	тв.–рід.	1513	6,98	5,18
CaSi <sub>2</sub>	36,0	22,0	тв.–рід.	1493	7,63	5,61
3CaO·2SiO <sub>2</sub>	47,52	50,4	–	–	–	–
2CaO·SiO <sub>2</sub>	30,2	30,5	–	–	–	–

Спільне відновлення оксидів кальцію і кремнію твердим вуглецем являє собою надзвичайно складний процес, що складається з ряду дифузійних і кінетичних ланок. До теперішнього часу є достатньо великий літературний матеріал, присвячений вивченню відновлення кремнезему, однак процес відновлення окису кальцію, а також процес спільного відновлення SiO<sub>2</sub> і CaO є зовсім невивченими.

Досвід роботи рудовідновних печей, що виплавляють силікокальцій, показує, що однією з основних труднощів процесу отримання SiCa є утворення легкоплавких шлаків.

Як видно з діаграми стану CaO-SiO<sub>2</sub>, для кристалічних фаз одно кальцієвого (мета) силікату і двох кальцієвого (орто-) силікату характерно конгруентне плавлення; з'єднання  $\alpha$ CaO·SiO<sub>2</sub> плавиться з утворенням дуже пологого максимуму, тоді як максимум на кривій плавлення 2CaO·SiO<sub>2</sub> різко виражений. Точні дані про ступінь дисоціації силікату кальцію відсутні, проте можна сказати, що ортосилікат дисоційований в розплаві значно меншою мірою. Наявні в системі трьохкальцієвого силікату - 3CaO·2SiO<sub>2</sub>, утворюється внаслідок реакції в твердому стані, а саме, в суміші двох кальцієвого силікату і вільної вапна при температурі трохи нижче 1900 °С. Він розпадається при температурі більше 1900 °С. Нижня межа стійкості

$3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 = 1250^\circ\text{C}$  [32].

Одним з основних суперечностей процесу отримання силікокалію є велика різниця між температурами початку протікання реакцій відновлення і плавлення оксидів і хімічних сполук.

Згідно з висунутим припущенням Ю.А. Павлова [33], температура початку взаємодії оксиду з твердим вуглецем визначається його фізичною характеристикою - температурою плавлення. Нагрівання оксиду поступово послаблює зв'язку в кристалічній решітці і по досягненні температури, що становить певну частину температури плавлення оксиду, призводить до повного «розпушення» структури, в результаті чого посилюється процес сублімації і полегшує контакт з відновником. Павлов приходить до висновку, що в процесах відновлення вирішальна роль, очевидно, належить структурним змінам, що відбуваються в окислу.

Не менш важливою особливістю, що обумовлює складність здійснення промислового способу отримання силікокальцію, є утворення хімічних сполук типу  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$  і  $\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$ . Оксид кремнію, зв'язуючись у силікати кальцію (типу воластениту) значно гірше відновлюється твердим вуглецем, т. к. у цьому випадку, крім роботи, необхідної для відбору кисню з решітки кремнезему, необхідно ще здійснити додаткову роботу, необхідну для руйнування зв'язку  $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ . Так, наприклад, якщо для протікання реакції відновлення кремнезему до металевого кремнію твердим вуглецем необхідна температура 1780 К ( $P_{\text{CO}}=1\text{ ат}$ ), то для того, щоб відновити кремнезем з хімічної сполуки, необхідна температура не менше 1870 К ( $P_{\text{CO}}=1\text{ ат}$ ).

Істотне розходження у величинах ентальпії утворення кремнезему та вапна, загалом, призводить до того, що їх відновлення вуглецем носить явно виражений селективний характер. Згідно з наведеними термодинамічними розрахунками, температури початку відновлення для реакції утворення металевого кремнію і карбїду кремнію:



дорівнюють відповідно 1780 К та 1710 К.

Відновлення ж окису кальцію твердим вуглецем до металевого кальцію і до його карбїду починається при значно більш високих температурах. Рівноважний тиск окису вуглецю для реакцій:



досягає однієї атмосфери при 2300 К та 2190 К відповідно.

З термодинамічної точки зору процес утворення хімічних сполук типу  $\text{Ca}_2\text{Si}$  ( $\Delta H_{298}^0 = 50$  ккал/моль),  $\text{CaSi}$  та  $\text{CaSi}_2$  ( $\Delta H_{298}^0 = 36$  ккал/моль) в значній мірі знижує температури початку відновлення окису кальцію. До теперішнього часу відомо, що основною перешкодою на шляху отримання сплаву кремнію з кальцієм при відновленні їхніх оксидів твердим вуглецем є заростання ванни печі утворюється карбїдом кремнію. Дійсно, утворюється карбїд кремнію в умовах виплавки силікокальцію можна зруйнувати або кремнеземом, або оксидом кальцію, і кожен з цих шляхів наштовхується на протиріччя, зумовлені сутністю процесів, що протікають. Насправді, введення додаткової кількості кремнезему, по-перше, призведе до отримання нестандартного сплаву і, по-друге, - до утворення легкоплавких шлаків, що, у свою чергу, обмежить можливість нагріву ванни до температур, що забезпечують протікання реакцій відновлення оксиду кальцію. Введенням ж надмірної кількості вапна у ванну також неможливо досягти бажаного результату з наступних причин. По-перше, утворюються силікати кальцію  $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2$  і  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , що мають значні температури плавлення, зв'яжуть вільний кремнезем, що загалом призведе до додаткової витрати електроенергії на розрив зв'язків у ґратах силікату кальцію. По-друге, можливість руйнування карбїдів кремнію оксидом кальцію малоімовірна, так як реакція відновлення вапна карборундом пов'язана з руйнуванням зв'язків Si-C в решітці карбїду.

У практиці виробництва силікокальцію, з метою підвищення температури

плавлення шихти, вводять надлишок відновника, що веде до утворення тугоплавких оксикарбідних силікокальцієвих шлаків. Домагаючись, таким чином, необхідних температур для початку протікання реакцій відновлення вапна, ми створюємо сприятливі умови для заростання ванни печі карбідом кремнію.

Процес спільного відновлення оксиду кальцію і кремнію, мабуть, протікає таким чином, що кремній, який грає роль осаджувача кальцію, недостатньо повно справляється з цим завданням. Істотна різниця в температурах початку відновлення  $\text{SiO}_2$  і  $\text{CaO}$  призводить до таких обставин, що відновлений набагато раніше кремній, перебуваючи в присутності надлишкової кількості вуглецю, у великій мірі схильний до утворення карбїду кремнію. Згідно з наведеними термодинамічних розрахунках, реакція утворення карборунду з елементів протікає по всій області температур зі значним негативним зміною ізобарного потенціалу [34].

### **3.3 Дослідження технології виплавки силікокальцію на брикетах**

При дослідженні оптимального надлишку вуглецю в шихті, що складається з брикетів з доданням кускового вапняку, було встановлено, при мінімальному вмісті вуглецю в брикеті 25,1% (табл. 2.1), його виявляється майже досить для відновлення оксидів кремнію і кальцію, тобто даний вміст вуглецю має забезпечити роботу печі в оптимальному режимі. Розрахунковим шляхом, приймаючи що при співвідношенні між оксидами кремнію і кальцію в шихті 1: 0,3 оптимальний надлишок вуглецю в них має становити 11% (з урахуванням вуглецю, що витрачається на реакцію газифікації з двоокисом вуглецю, яка виділяється при розкладанні вапняку), було визначено надлишок вуглецю за 3-ма партіями бикетів (табл. 3.3).

Результати лабораторних плавок силікокальцію з використанням трьох партій брикетів з кусковим вапняком приведено в табл. 3.4.

За II-м варіантом вдалося провести десять балансових плавок, проте надлишок вуглецю 12,3% призвів до додаткової добавки 60 кг вапняку на кожні 100 кг брикетів, що завантажуються в піч. Внаслідок цього різко збільшився



вихід карбідного шлаку, а вміст кальцію виріс до 17,1%. Середній відносний вміст кремнію в сплаві виявився на 1,8% нижче, ніж у I-му варіанті (47,3% проти 49,1%). Мабуть, при застосуванні брикетів з роздільним завантаженням вапняку регулювати вміст кальцію в сплаві є важчим, ніж при застосуванні моношихтових брикетів, що пов'язано з неминучим розшаруванням в робочій зоні печі брикетів і дробленого вапняку.

Таблиця 3.3 – Відношення між компонентами в шихті в 3-х партіях брикетів

Варіант партії брикетів	Необхідний вміст СаО, %	Стехіометрична кількість вуглецю, %	Надлишок вуглецю без урахування газу, %	Надлишок вуглецю з урахуванням газу, %
1	14,3	22,18	12,8	-
2	13,2	20,44	23	12,3
3	12,5	17,8	40	31

Таблиця 3.4 – Результати лабораторних плавок силікокальцію на брикетах з кусковим вапняком

Технологічні показники виплавки силікокальцію на 3-х партіях брикетів з кусковим вапняком											
1-ша партія				2-га партія				3-тя партія			
Si, %	Ca, %	вага плавки, кг	питома витрата елек-гії, кВт·год./кг	Si, %	Ca, %	вага плавки, кг	питома витрата елек-гії, кВт·год./кг	Si, %	Ca, %	вага плавки, кг	питома витрата елек-гії, кВт·год./кг
52,1	5,4	2,9	49,7	46,8	12,1	1,7	58,2	38,4	1,4	1,8	77,2
50,4	5,1	2,7	50,1	44,2	13,8	1,9	59,7	44,2	17,0	1,6	64,8
47,2	5,0	3,4	47,0	48,2	15,8	2,4	56,1	41,6	2,7	2,9	52,0
48,0	5,7	3,5	51,0	47,4	16,6	2,9	58,4	43,4	7,8	2,1	54,8
49,7	6,5	3,4	49,5	47,8	16,8	3,4	54,2	39,1	21,0	1,8	78,4
49,2	5,9	3,8	49,4	48,7	16,4	3,7	28,6	41,3	2,9	2,1	60,1
46,8	6,5	3,0	50,0	47,0	17,1	2,1	47,4				
49,4	5,5	3,0	51,2	48,6	16,1	2,9	53,2				
49,1	5,7	3,2	40,7	47,3	15,8	2,8	53,8				

Дослідні плавки з великим надлишком вуглецю 31% (3-тя партія брикетів) відрізнялися ще більшою нестійким технологічним режимом. Додаткові добавки вапняку привели до рясного шлакоутворення, в результаті чого не вдалося продовжити кампанію більше 6 плавок. Аналіз хімічного

складу металу свідчить про більш високий вміст в ньому кальцію (до 21 %). Процес виплавки силікокальцію при такій шихтовці практично перетворюється в шлаковий процес на звичайних кускових шихтових матеріалах.

Таким чином, результати дослідних плавок силікокальцію показали (табл. 3.4), що використання 1-ої партії брикетів з точки зору економії енергетичних ресурсів виявилось найдоцільнішим: середня питома витрата електроенергії становить 48,73 кВт·год./кг проти 52,18 кВт·год./кг та 64,55 кВт·год./кг відповідно для 2-ї та 3-ї партії.

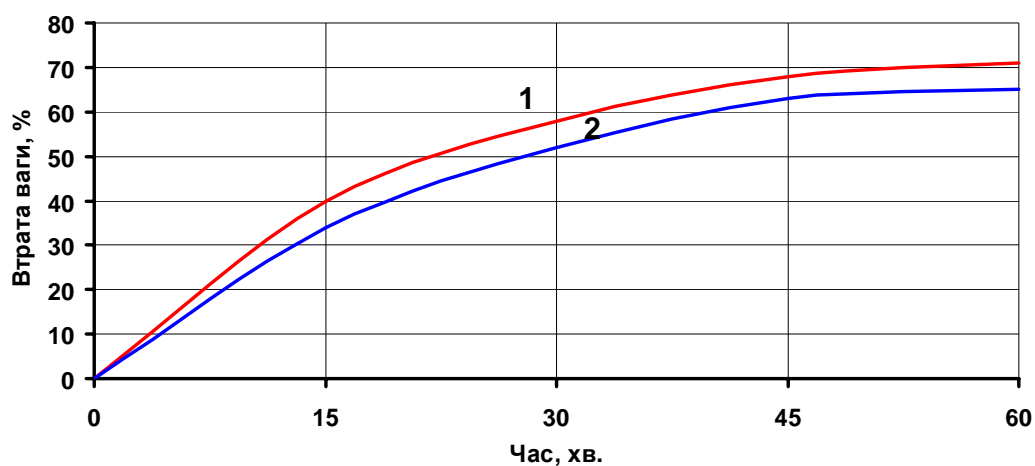
При дослідженні кінетики відновлення гомогенної та гетерогенної шихти при виплавці силікокальцію було встановлено, що при ізотермічній витримці з температурою 1600 °С (рис. 3.1) моношихтові брикети втрачають у вазі 59 % від вихідної, а брикети з доданням кускового вапняку тільки 50 %, що свідчить про перевагу тісного контакту між усіма складовими компонентами шихти в брикеті.

При температурі 1700 °С інтервал у втраті ваги скорочується, проте як і раніше велика втрата ваги – 79 % відповідає моношихтовим брикетам (рис. 3.2).

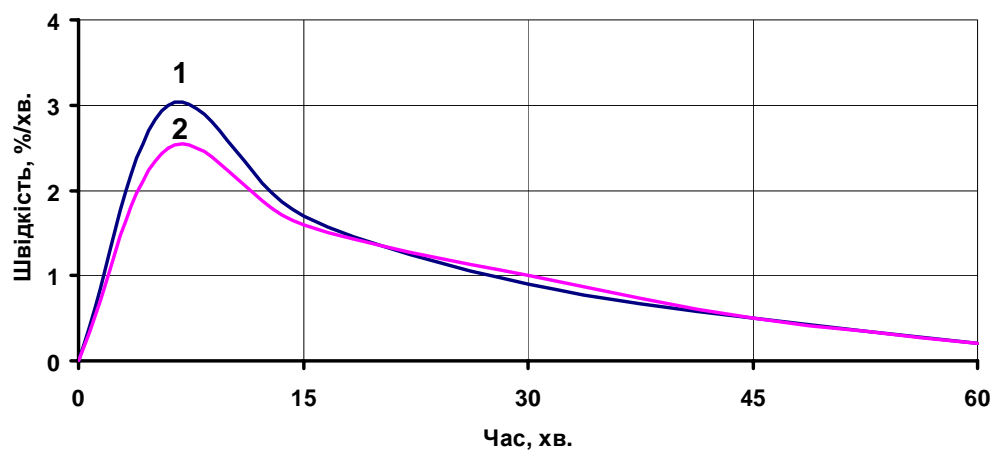
При виплавці силікокальцію з брикетів з доданням кускового вапняку було проведено дві серії дослідних плавок, які включали в себе по 10 плавок та мали наступні ознаки (табл. 3.5):

– 1-ша серія плавки – характеризується нестійким електричним режимом, пов'язаним, очевидно, з різною електропровідністю брикетів. Метал входив без шлаку, колошник майже не спікався (окремі ділянки, що спікалися, утворювалися в тому випадку, якщо брикети погано усереднювалися перед завантаженням), а різномірні брикети не розсипалися;

– 2-га серія плавки – характеризується ще більш нестійким електричним режимом, внаслідок чого фактична потужність печі виявилася дещо меншою. Надлишок вуглецю затребував введення додаткової кількості кварциту для компенсації приблизно від 5 % до 6 % вуглецю шихти.



а



б

1 – гомогенна шихта; 2 – гетерогенна шихта

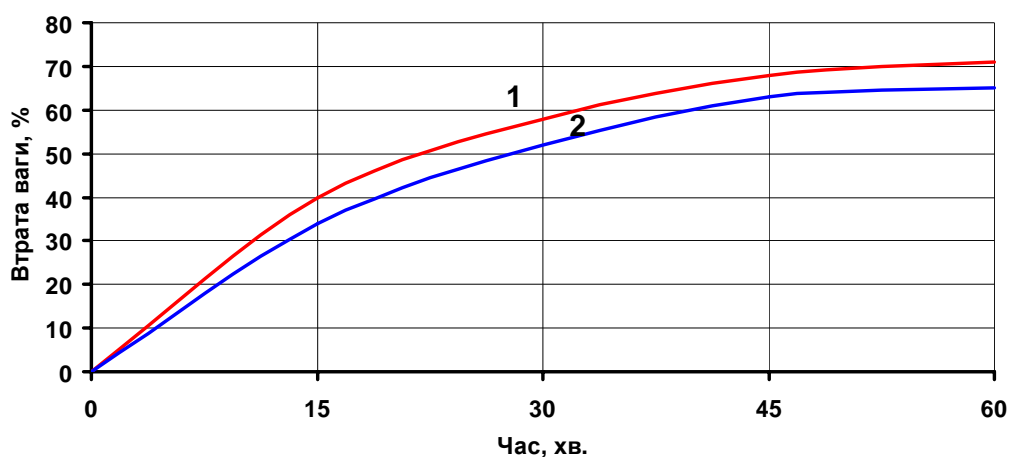
Рисунок 3.1 – Зміна втрати ваги (а) та швидкості (б) гомогенної та гетерогенної шихти при ізотермічній витримці при температурі 1600 °С

Брикети 1-й та 2-ї серії плавків містили різну кількість відновника – 100 % та 110 % відповідно від стехіометрично необхідного для відновлення оксидів кремнію і кальцію шихти. Співвідношення між брикетами підбиралася таким чином, щоб витримувалося в шихті відношення  $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 0,3$ . Фактичний вміст вуглецю за результатами хімічного аналізу становив 103 % та 109 % для 1-й та 2-ї серії плавків відповідно.

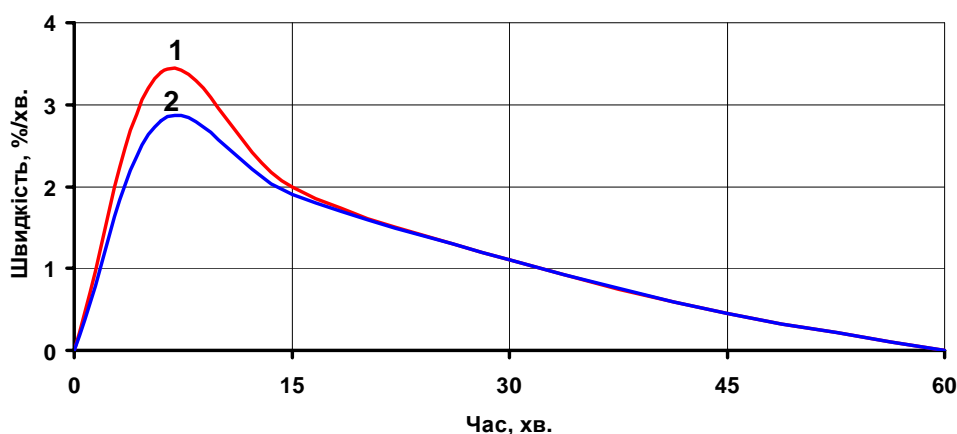
Оскільки розподілити рівномірно кварцит серед брикетів не представлялося можливим, то утримати стабільну потужність печі протягом

всієї кампанії не вдавалося і, як наслідок, спостерігається (табл. 3.5) помітна різниця у вазі плавки (збільшилася на 8,3%) та питомій витраті електроенергії (збільшилася на 6 %). За результатами проведених кампаній встановлено, що найбільш оптимальним складом є шихта першої серії плавки, з незначним надлишком вуглецю.

Таким чином, показана доцільність виплавки силікокальцію вуглетермічним способом з використанням у шихті брикетів з доданням кускового вапняку.



а



б

1 – гомогенна шихта; 2 – гетерогенна шихта

Рисунок 3.2 – Зміна втрати ваги (а) та швидкості (б) гомогенної та гетерогенної шихти при ізотермічній витримці при температурі 1700 °C

Таблиця 3.5 – Результати дослідних плавок силікокальцію на брикетах з доданням кускового вапняку

№ плавки	Технологічні показники виплавки силікокальцію за варіантами серії плавки							
	1-ша серія плавки				2-га серія плавки			
	Si, %	Ca, %	вага плавки, кг	питома витрата елек-гії, кВт·год./кг	Si, %	Ca, %	вага плавки, кг	питома витрата елек-гії, кВт·год./кг
1	55,1	10,2	1,4	52,8	48,4	6,4	1,7	58,4
2	53,2	11,4	1,9	55,6	47,9	8,9	1,4	56,2
3	51,4	11,6	2,2	51,4	52,4	12,1	2,9	55,4
4	52,0	12,5	2,4	52,7	55,6	12,9	1,0	54,2
5	50,0	13,0	1,7	51,9	51,8	10,4	1,5	56,7
6	49,8	13,1	2,1	54,5	48,7	8,2	1,8	50,1
7	51,2	13,0	2,2	56,2	51,6	8,7	2,2	62,1
8	51,8	12,7	2,8	53,4	51,0	10,7	2,4	51,4
9	54,0	12,7	2,7	53,8	47,0	11,4	1,7	62,8
10	55,4	13,4	2,4	53,0	48,1	10,9	1,9	61,4
Середнє значення	52,4	12,45	1,8	53,53	50,5	10,3	1,95	56,87

### 3.4 Висновки

1. Вапнякові породи Василівського родовища можна рекомендувати для виробництва силікокальцію різних марок як силікотермічним, так і вуглетермічним способами.

2. Дослідженням кінетики відновлення гомогенної та гетерогенної шихти при виплавці силікокальцію встановлено, що при ізотермічній витримці з температурою 1600 °С моношихтові брикети втрачають у вазі 59% від вихідної, а брикети з доданням кускового вапняку тільки 50%, що свідчить про перевагу тісного контакту між усіма складовими компонентами шихти в брикеті.

3. Встановлено, що при використанні в якості кальцієвмісної складової вапняку двоокис вуглецю, яка виділяється в процесі його розкладу, вимагає додаткової витрати вуглецю, який повинен вноситися до складу брикетів.

4. Показано доцільність виплавки силікокальцію вуглетермічним способом з використанням у шихті брикетів з доданням кускового вапняку.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Характерні шкідливі фактори металургійного виробництва

#### 4.1.1 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників в умовах феросплавної лабораторії

Дослідження технології виплавки феросилікокальцію вуглетермічним процесом проводили в лабораторії площею лабораторії 110 м<sup>2</sup> (рис. 4.1).

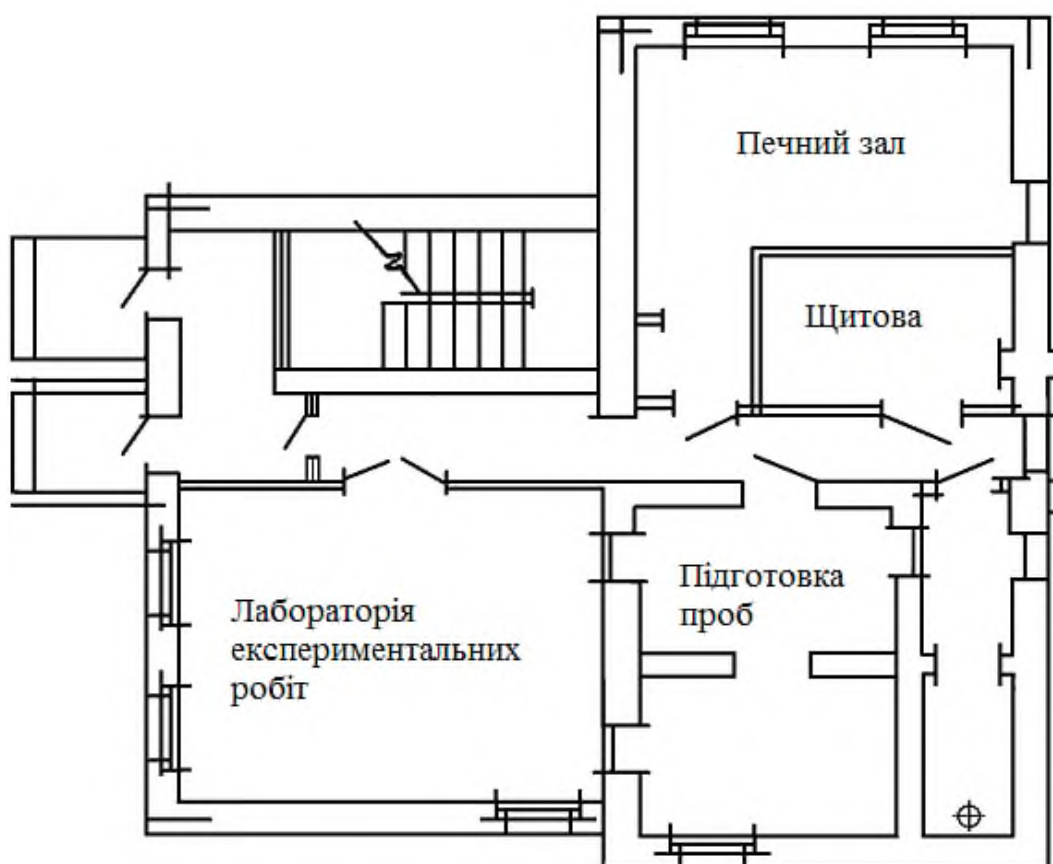


Рисунок 4.1– План феросплавної лабораторії

Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих чинників, що впливають на працівника лабораторії показав, що на людину негативно вплив мають:

- високий рівень промислових шумів (86 дБА при нормі 80 дБА);
- підвищена температура (28 °С при нормі від 15 °С до 26 °С);

- підвищений рівень тепловиділення;
- небезпека ураження електричним струмом;
- недостатнє природне або технічне освітлення в робочих приміщеннях;
- надмірна запиленість і загазованість повітря та інші [35]–[38].

Таким чином, в феросплавній лабораторії допустимі умови праці, категорія напруженості праці – незначна, тобто умови праці в лабораторії не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

#### **4.1.2 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників при роботі з ПК**

Аналіз та обробка експериментальних даних проводилася в комп'ютерному класі ІННІ ім. Ю.М. Пртебні ЗНУ (ауд. 225) площею 52,1 м<sup>2</sup> при висоті стелі 3,5 м. В комп'ютерному класі знаходиться 8 персональних комп'ютерів (ПК) фірми Samsung діагоналлю 17 дюймів, що відповідає нормі 6 м<sup>2</sup> на одне робоче місце при об'ємі на одну людину не менше 20 м із урахуванням максимальної кількості одночасно працюючих.

В комп'ютерному класі згідно ДСан ПіН 3-3.2-007-98 [39] повинні дотримуватися такі вимоги:

- оптимальна температура повітря – від 21 °С до 24 °С (в холодний період року), від 22 °С до 25 °С (в теплий період року);
- оптимальна відносна вологість – від 40% до 60%, але не більше 75%;
- швидкість руху повітря не більше 0,1 м/с (в холодний період року), від 0,1 м/с до 0,2 м/с (в теплий період року);
- атмосферний тиск від 630 до 800 мм рт. ст.

Вміст озону, окисів азоту та пилу в повітрі робочої зони відповідають ГОСТу 12.1 005-88 [40]. Фактичний рівень шуму на робочому місці складає 50 дБА при нормативних значеннях від 50 дБА до 70 дБА.

Аналіз основних потенційно-небезпечних та шкідливих факторів при

роботі з ПК в комп'ютерному класі показує, що окрім зниженої температури повітря у класі (фактичне значення  $12^{\circ}\text{C}$  при нормі від  $22^{\circ}\text{C}$  до  $24^{\circ}\text{C}$ ) усі фактори трудового процесу відповідають нормі, відповідно умови праці в комп'ютерному класі відповідають першому класу – оптимальним умовам праці (відповідно до «Гігієнічної класифікації праці»). Категорія важкості праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена (1 ступінь 3-го класу 1 фактор), при яких зберігається не лише здоров'я працюючих, але й створюються передумови для підтримання високого рівня працездатності.

Робота магістранта біля ПК є періодичною, виконувалася в холодний період року та за енерговитратами відноситься до категорії легких робіт Ia.

Залежно від призначення та сфери застосування ПК комп'ютерного залу відносяться до групи Б.

Згідно з ДСан ПіН 3-3.2-007-98 [39] допустима поверхнева щільність потоку енергії в різних місцях випромінювання приведена у табл. 5.2. Інтенсивність потоків ультрафіолетового випромінювання в комп'ютерному класі не перевищує допустимі значення  $0,001 \text{ Вт/м}^2$  [41].

Відповідно до НРБУ-97/Д-2000 [41] гранично допустима потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 60 см від екрана відеомонітора за будь яких положень регульованих пристроїв становить  $7,74 \times 10^{12} \text{ А/кг}$ , що відповідає еквівалентній дозі 0,1 мбер/год. (100 мкР/год.).

В комп'ютерному класі вікно зорієнтовано на північно-східну сторону, що відповідає ДСанПіН 5.5.2.008-01 [42]. Стіни пофарбовані у бежевий колір, що є допустимим для навчальних приміщень. Підлога вкрита бежевим лінолеумом, хоча по нормативам повинна бути червоного кольору, тому у найближчий час її треба замінити.

У класі забезпечуються наступні величини коефіцієнту відбиття світла: для стелі – від 0,7 до 0,8, для стін – від 0,5 до 0,6, для підлоги – від 0,3 до 0,5 та для інших поверхонь – від 0,4 до 0,5.

Наслідками регулярної роботи з комп'ютером без застосування захисних засобів можуть бути: захворювання органів зору (60% користувачів); хвороби



серцево-судинної системи (20%); захворювання шлунково-кишкового тракту (10%); шкірні захворювання (5%); різноманітні пухлини.

Захворювання сухожиль, м'язів і нервових закінчень можуть пов'язуватися з невдалою організацією клавіатури або незручною конструкцією миші. Виникнення хвороб спини, шиї, рук спеціалісти пояснюють тим, що при роботі з високою швидкістю повторяються одні і ті ж рухи.

Робота за ПК характеризується тривалою, багатогодинною сидячою працею. Звичайною реакцією організму на нераціональну робочу позу і неправильний режим праці на комп'ютері є відчуття загального дискомфорту, зниження уважності, швидке стомлювання, врешті зниження працездатності. Праця на клавіатурі є інтенсивною динамічною роботою кістково-м'язових кистей рук, одночасно зі статичним напруженням м'язів передпліччя і плеча [43], [44].

#### **4.2 Заходи з поліпшення умов праці**

Умови праці – це сукупність взаємозв'язаних виробничих, санітарно-гігієнічних, психофізіологічних, естетичних і соціальних факторів конкретної праці, обумовлених рівнем розвитку продуктивних сил суспільства, які визначають стан виробничого середовища та впливають на здоров'я і працездатність людини (рис. 4.2).

Працездатність визначається здатністю людини виконувати певну роботу протягом заданого часу і залежить від чинників як суб'єктивного, так і об'єктивного характеру (статі, віку, стану здоров'я, рівня кваліфікації, умов, за яких відбувається праця тощо).

Велике значення поліпшення умов праці пояснюється тим, що вони в основному являють собою виробниче середовище, у якій протікає життєдіяльність людини під час праці. Від їхнього стану в прямої залежності перебуває рівень працездатності людини, результати його роботи, стан здоров'я, відношення до праці. Поліпшення умов праці істотно впливає на

підвищення його продуктивності.

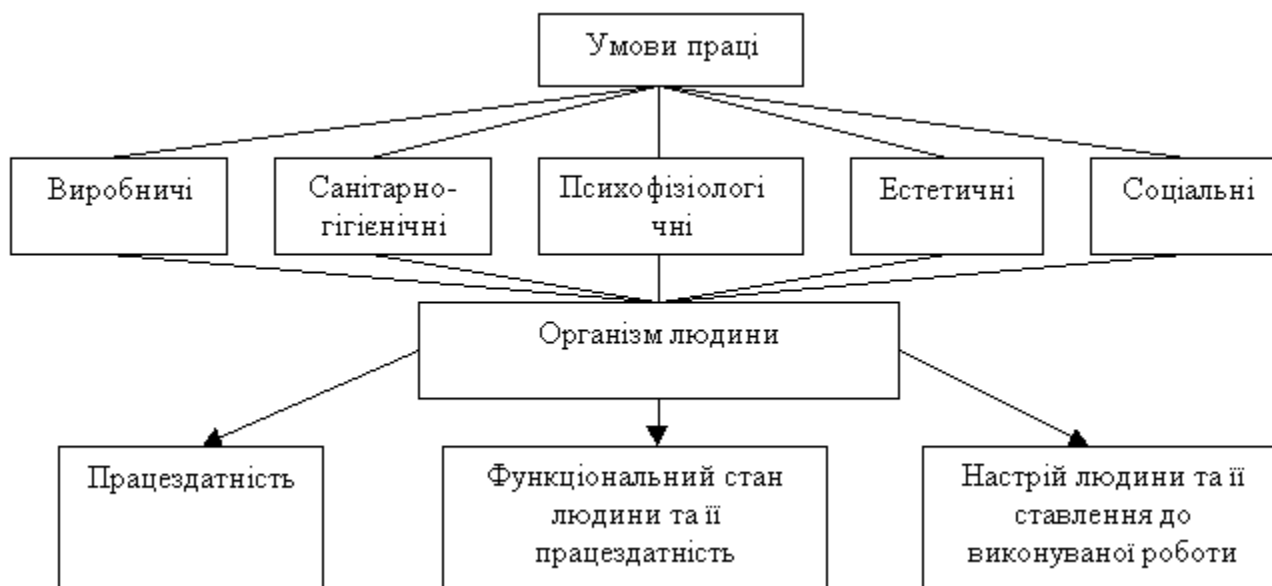


Рисунок 4.2 – Класифікація умов праці

Виконання будь-якої роботи протягом тривалого часу супроводжується стомленням організму, що проявляється в зниженні працездатності людини. Поряд з фізичною й розумовою роботою значний вплив на стомлення робить і навколишнє виробниче середовище, тобто умови, у яких протікає його робота [44]–[46].

#### 4.2.1 Заходи з поліпшення умов праці в феросплавній лабораторії

В умовах феросплавного виробництва, зокрема в феросплавній лабораторії, пожежна безпека повинна забезпечуватися відповідно до ДБН В.1.1.7-2016 [47] системою запобігання пожежі, протипожежної захисту та організаційно-технічними заходами. Будівлю, в якій знаходиться лабораторія, по вибуховій і пожежній небезпеці можна віднести до приміщення категорії Д, оскільки в лабораторії є горючі (книги, документи, меблі) і важкоспалимі речі (різне лабораторне устаткування), які при взаємодії з вогнем можуть горіти без вибуху. За конструктивними характеристиками будівлю можна віднести до

будівель з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону, де для перекриттів допускається використання дерев'яних конструкцій, захищених штукатуркою або важко горючими листовими, а також плитковими матеріалами. Отже, ступінь вогнестійкості будівлі можна визначити як третю (III).

Причинами виникнення пожежі в лабораторії можуть бути:

- несправності електропроводки, розеток і вимикачів, які можуть призвести до короткого замикання або пробією ізоляції;
- використання пошкоджених (несправних) електроприладів [37].

Для гасіння пожеж також застосовують хімічні пінні вогнегасники ВХП-10 і вуглекислотні вогнегасники ВВ-2, ВВ-5 і ВВ-8, а також пересувні ВВ-25 і ВВ-80 [48].

До первинних засобів пожежегасіння в лабораторії відносять вогнегасники ВП-10 (3 шт.), пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири та ін.) .

Особливу увагу необхідно приділяти евакуації людей з приміщень. Евакуація проводиться по заздалегідь спланованих шляхах. Схеми евакуації розташовані в доступних для погляду людини місцях (рис. 4.3).

Для зниження небезпеки поразки людини електричним струмом треба проводити такі заходи технічного характеру:

- всі металеві конструкції і окремі частини устаткування лабораторії, доступні для доторку людини повинні підлягати зануленню (захисне заземлення неефективне);
- забезпечувати безперервність ланцюга від кожної корпусу електроустановки до нейтралі джерела;
- додатково застосовувати повторне заземлення нульового дроту із метою зниження потенціалу занулених корпусів і напруження доторку;
- проводити періодичний контроль ізоляції не рідше раз на рік виміром її активного опору під час випробування підвищеним напругою

протягом 1 хв. [49], [50].

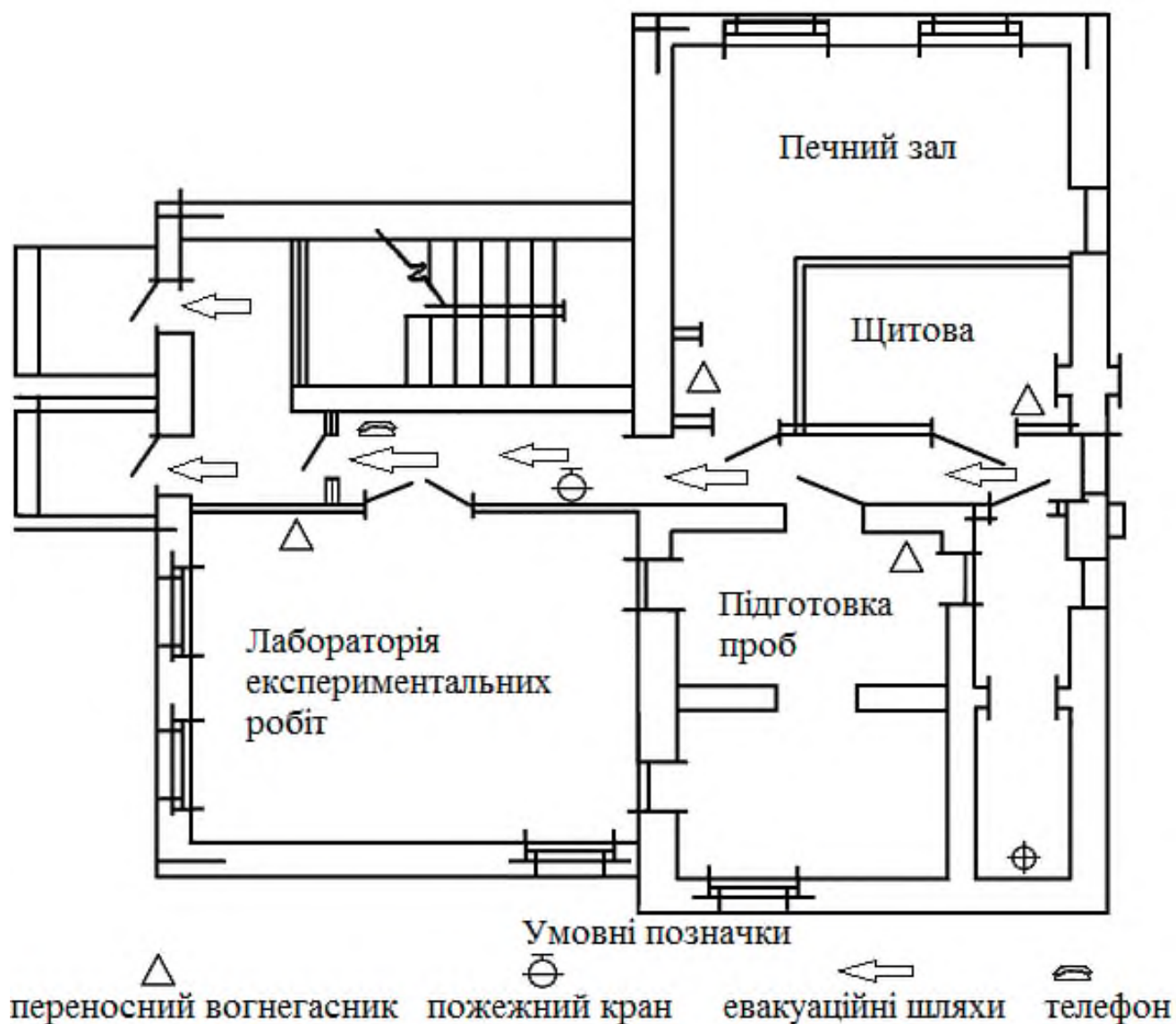


Рисунок 4.3 – Схема евакуації з лабораторії

Організаційні заходи відповідно до ДБН В.1.1.7-2016 [47] наступні:

- треба використовувати плакати наочної агітації;
- треба забезпечити нормальний режим праці та відпочинку робочим: час безперервної роботи трохи більше 4-х годин; десятих хвилинні перерви через щогодини роботи.

Освітлення приміщень лабораторії і робочих місць повинно відповідати вимогам СП 52.13330.2016 [51], згідно якої дана лабораторія відноситься до VIII розряду зорових робіт. Для VIII розряду значних робіт коефіцієнт

природного освітлення рівний 0,5 %. Фактично коефіцієнт природного освітлення рівний 0,55 %, що вище за норму. Штучне освітлення приміщення лабораторії забезпечується люмінесцентними лампами ЛБ80-4. Нормативна освітленість робочої поверхні для VIII розряду значних робіт складає 50 Лк. Фактично ця вимога виконується. Для аварійного освітлення застосовують лампи розжарювання, потужністю 15 Вт, з світловим потоком 180 Лм, напругою 36 В и 12 В. Освітленість коридорів і допоміжних приміщень (вмивальні, вбиральні і т.д.), а також сходів складає 30 Лк. Природне освітлення в світлий час доби здійснюється через вікна.

#### **4.2.2 Заходи з поліпшення умов праці при роботі з ПК**

В умовах в комп'ютерного класу ІННІ ім. Ю.М. Пртебні ЗНУ для нормалізації параметрів мікроклімату в ньому необхідно використовувати кондиціонування повітря або забезпечити подачу свіжого повітря системами вентиляції, проводити щоденне вологе прибирання класу та використовувати зволожувачі повітря.

Показники санітарних норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин повинні відповідати ДСанПІН 3.3.2.007-98 [39]. Вимоги безпеки і захисту здоров'я працівників при роботі з екранними пристроями повинні відповідати НПАОП 0.00-7.15-18 [52].

Для поліпшення умов праці при низькій температурі повітря в комп'ютерному класі необхідно застосовувати центральне опалення та додатково встановити два конвектора тепловою потужністю по 3,6 кВт.

Робота магістранта відноситься до робіт середньої точності (IV розряд зорових робіт, мінімальний розмір об'єкту розрізнення складає від 0,5 мм до 1,0 мм, для яких при використанні бокового освітлення КПО = 1,5% [53]. Мінімальна освітленість встановлюється в залежності від розряду виконуваних зорових робіт. Для IV розряду зорових робіт вона складає від 300 лк до 500 лк.

Для штучного освітлення у приміщенні використовуються люмінесцентні лампи, які в порівнянні з лампами розжарювання мають ряд істотних переваг:

- за спектральним складом світла вони близькі до природного світла;
- мають підвищену світлову віддачу (від 2 разів до 5 разів вищу, ніж у ламп розжарювання);
- мають триваліший термін служби.

Для досягнення нормативного рівня шуму у комп'ютерному залі (50 дБА) застосовується звукопоглинаюче покриття стін, що має максимальний коефіцієнт звукопоглинання в межах частот від 31,5 Гц до 8000 Гц та дозволено для оздоблення приміщень органами санітарно-епідеміологічного нагляду.

Робоче місце магістранта відповідає наступним критеріям ергономіки:

- висота робочої поверхні столу для ПК складає 800 мм, що відповідає нормативним значенням від 680 мм до 800 мм;
- ширина столу складає 700 мм, що відповідає нормативним значенням від 600 мм до 1400 мм;
- поверхня сидіння та спинки робочих стільців є напівм'якими, з не наелектризованим покриттям та по мірі забруднення піддаються чищенню, але не відповідають нормативу бути підйомно-поворотним, з можливістю регулювання висоти, бажано зі стаціонарними або змінними підлікотниками, тому у найближчий час їх треба замінити;
- екран комп'ютера розташовується на відстані 600 мм від користувача (магістранта), що відповідає нормативним значенням від 600 мм до 700 мм, але не менше за 600 мм з урахуванням літерно-цифрових знаків і символів.

Клавіатура ПК знаходиться на висувній полиці.

При розміщенні робочих місць з комп'ютерами відстань між робочими столами з відеомоніторами (у напрямленні тилу поверхні одного відео монітору та екрану іншого відео монітору) повинна бути не менше 2 м, а відстань між боковими поверхнями відео моніторів - не менше 1,2 м. В комп'ютерному класі ЗДА ці норми виконуються.

У ході виконання робіт біля ПК магістрант повинен робити 15-ти хвилинні перерви через кожну годину роботи, впродовж яких рекомендується виконувати комплекси вправ для очей, рук, хребта, поліпшення мозкового кровообігу та інші. З метою зменшення негативного впливу монотонності необхідно застосовувати чергування операцій. При роботі з текстовою інформацією слід віддавати перевагу фізіологічно найбільш оптимальному режиму уявлення чорних символів на білому тлі.

Перед початком роботи оператор ПК (магістрант) повинен дотримуватися наступним вимогам безпеки під час роботи з комп'ютером:

- оглянути своє робоче місце, а при виявленні ознак пошкодження обладнання інформувати відповідального за техніку безпеки в комп'ютерному класі;

- відрегулювати освітленість на робочому місці, переконатися в відсутності відблисків на екрані комп'ютера, відсутності зустрічного світла;

- перевірити правильність підключення обладнання ЕОМ до електромережі;

- очистити екран комп'ютера від пилу та інших забруднень;

- перевірити правильність організації робочого місця та за необхідності провести відповідні коригування.

Усе електрообладнання комп'ютерного класу II ЗНУ має заземлення, підлога вкрита лінолеумом.

Робочі місця користувачів ПК мають II ступінь вогнестійкості відповідно ДБН В.1.1.7-2016 [47].

Для гасіння пожеж в комп'ютерному класі передбачено один вуглекислотний вогнегасник типу ВВК-3,5 [48].

На другому поверсі, у коридорі II ЗНУ на стіні є «План евакуації людей при пожежі», де зазначені шляхи евакуації людей і місце розташування щитів з інвентарем для гасіння. У комплект щита входить один вуглекислотний вогнегасник ВВК-3,5.

З медичних засобів індивідуального захисту на кафедрі металургії повинна бути аптечка індивідуальна (АІ-2), індивідуальний протихімічний пакет (ППІ-8) та пакет перев'язувальний індивідуальний.

### **4.3 Висновки**

1. Проаналізовано вплив потенційно-небезпечних та шкідливих чинників в феросплавній лабораторії при виплавці феросилікокальцію, так і в комп'ютерному класі ІННІ ім. Ю.М. Пртебні ЗНУ при аналізі та обробці експериментальних даних.

2. Показано, що в феросплавній лабораторії допустимі умови праці, категорія напруженості праці – незначна, тобто умови праці в лабораторії не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології. З метою протипожежного захисту робітників лабораторії показана схема евакуації з лабораторії.

3. Показано, що при роботі з ПК в комп'ютерному класі комп'ютерному класі ІННІ ім. Ю.М. Пртебні ЗНУ умови праці в ньому відповідають першому класу – оптимальним умовам праці. Категорія важкості праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена, при яких зберігається не лише здоров'я працюючих, але й створюються передумови для підтримання високого рівня працездатності.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Силікокальцій, зокрема марок СК10-СК30, є активним комплексним розкислювачем, ефективним десульфатором, дегазатором чавуну і сталі. В залежності від виду відновника силікокальцій виплавляють вуглетермічним, силікотермічним або алюмотермічним способами у рудовідновних феросплавних печах.

2. З техніко-економічної точки зору силікокальцій марок СК10 та СК15 більш доцільно виплавляти силікотермічним процесом, використовуючи у якості відновника ФС65, а силікокальцій марок СК25 та СК30 вуглетермічним процесом, використовуючи у якості відновника кварцит та кокс.

3. Вапнякові породи Василівського родовища можна рекомендувати для виробництва силікокальцію різних марок як силікотермічним, так і вуглетермічним способами.

4. Дослідженням кінетики відновлення гомогенної та гетерогенної шихти при виплавці силікокальцію встановлено, що при ізотермічній витримці з температурою 1600 °С моношихтові брикети втрачають у вазі 59% від вихідної, а брикети з доданням кускового вапняку тільки 50%, що свідчить про перевагу тісного контакту між усіма складовими компонентами шихти в брикеті.

5. Встановлено, що при використанні в якості кальцієвмісної складової вапняку двоокис вуглецю, яка виділяється в процесі його розкладу, вимагає додаткової витрати вуглецю, який повинен вноситися до складу брикетів.

6. Показано доцільність виплавки силікокальцію вуглетермічним способом з використанням у шихті брикетів з доданням кускового вапняку.

7. Проаналізовано вплив потенційно-небезпечних та шкідливих чинників в феросплавній лабораторії при виплавці феросилікокальцію, так і в комп'ютерному класі ІННІ ім. Ю.М. Пртебні ЗНУ при аналізі та обробці експериментальних даних. Показано, що при роботі з ПК в комп'ютерному класі комп'ютерному класі ІННІ ім. Ю.М. Пртебні ЗНУ умови праці в ньому відповідають першому класу – оптимальним умовам праці. Категорія важкості

праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена, при яких зберігається не лише здоров'я працюючих, але й створюються передумови для підтримання високого рівня працездатності.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Дослідження можливості одержання силікокальцію з вапнякової породи Василевського родовища/ В. М. Сиваченко та ін. *Металургія* : наукові праці Запорізької державної інженерної академії. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. Вип. 1(39). С. 52–55.
2. Харлашин П. С., Бакланский В. М., Коломийцева Ю. С. Обработка жидкой стали SiCa. *Университетская наука-2012* : в 3 т. : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. (г. Мариуполь, 24–27 апреля 2012 г.). Мариуполь : ПГТУ, 2012. Т. 1. С. 93–94.
3. Дюдкин Д. А., Кисиленко В. В., Кузнецов М. С., Потапов А. И. Совершенствование технологии внепечной обработки стали силикокальцием на ОАО «Уральская сталь». *Металл и литье Украины*, 2009. № 1–2. С. 48–51.
4. Внепечная обработка стали силикокальцием СК40 в условиях РУП «Белорусский металлургический завод» / В. А. Маточкин и др. *Литье и металлургия*, 2006. №1. С. 84–87.
5. Влияние модифицирования кальцием на качество колесной стали / В. П. Турбар и др. *Металл и литье Украины*, 2009. № 4–5. С. 55–58.
6. Рудакова С. Г. Удосконалення режимів введення кальцію при позапічній обробці низькосірчистої киснево - конвертерної сталі : дис... канд. наук: 05.16.02 - 2005.
7. Украинская ассоциация сталеплавильщиков. Информационный портал о чёрной и цветной металлургии. URL: <http://uas.su/articles/articles.php> (дата звернення 10.05.2022).
8. ГОСТ 4762-71. Силикокальций. Общие технические условия (Межгосударственный стандарт). [Действителен от 01.01.1973 г.]. Выд.офиц. Москва: Издательство стандартов, 1999. 5 с.
9. Ферросплавы и первичные материалы. Ферросплав-инвест. URL: <http://www.mstrezerv.ru/articles/125/>\_(дата звернення 10.12.2019).
10. Лякишев Н. П., Гасик М. И. Физикохимия и технология

электроферросплавов : учебн. для вузов. изд. 3-е, доп. и уточн. Днепропетровск : Системные технологии, 2008. 453 с.

11. Бородулин Е. К., Михайликов С. В. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 1973. №16. С. 28–29.

12. Новиков В. Н., Куклев В. Г., Обьедков А. П. и др. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 1980 №6. С.40–42.

13. Маршев Б. Г., Арсенишвили А. Ю., Чубинидзе Т. А. и др. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации*. 1973. №12. С.29– 30.

14. Рысс М. А. Производство ферросплавов. Москва : Металлургия, 1985. 344 с.

15. ОСТ 14-49-80 «Кварциты для производства ферросплавов».

16. Гасик М. И., Лякишев Н. П., Емлин Б. И. Теория и технология производства ферросплавов. Москва : Металлургия, 1998. 784 с.

17. Гасик М. И., Ганцеровский О. Г., Овчарук А. Н., Рогачев И. П. Ферросплавы Украины. Днепропетровск : Системные технологии, 2000. 143 с.

18. ТУ 14-16-42-90 «Известь для сталеплавильного и ферросплавного производства».

19. Гасик М. И., Лякишев Н. П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов. Москва : СПб.: Интермет инжиниринг, 1999. 764 с.

20. Воскобойников В. Г., Кудрин В. А., Якушев А. М. Общая металлургия : учебник для вузов. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005 – 768 с.

21. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали : учебн. для вузов. Москва : Мир, ООО «Издательство АСТ», 2003. 528 с.

22. Шевченко В. Ф. Совершенствование цехов и оборудования ферросплавного производства. Москва-Харьков, 1997. 470 с.

23. Дьякова Л. А., Васильев В. И. Получение извести при производстве низкоуглеродистого феррохрома. *Сталь*. 1985. №6. С. 41–43.

24. Долженков Ф. Е., Ванга А. Н. Эффективные пути модернизации

известии обжигового производства. *Сталь*. 1989. №7. С. 98–102.

25. Монастырев А. В. Пути технического прогресса в производстве известии. *Сталь*. 1988. Вып. 19. С. 102–104.

26. Монастырев А. В. Производство известии. 4-е изд. Москва : Высшая школа, 1986. 192 с.

27. Мизин В. Г., Серов Г. В. Углеродистые восстановители для ферросплавов. Москва : Металлургия, 1976. 272 с.

28. Производство ферросплавов / А. И. Литвиненко и др. Москва : Металлургия, 1978. №7. С. 21–26.

29. ГОСТ 11069-2001. Алюминий первичный. Марки. [Действительный с 01.01.2003 г.]. Изд. офиц. Москва : Стандартинформ, 2008.

30. ГОСТ 2169-69. Кремний кристаллический. Технические условия [Действительный с 01.07.1970 г.]. Изд. офиц. Москва : ИПК Издательство стандартов, 2011.

31. ДСТУ 4127:2002. Феросиліцій. Загальні технічні умови (ISO 5445:1980, NEQ) [Чинний з 01.07.2007 р.]. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004.

32. Топорищев Г. А., Писагов С. Е. Особенности углетермического восстановления окислов металлов. *Сборник трудов Челябинского электрометаллургического комбината*. Москва : Металлургия, 1975. С. 136–141.

33. Данилин В. В., Зойко В. П. Получение комплексных лигатур. *Сборник трудов Челябинского электрометаллургического комбината*. Москва : Металлургия, 1975. С. 39–43.

34. Дрель С. Н., Литвиненко А. И., Рябчиков И. В., Дубровин А. С. Исследование кинетики высокотемпературных превращений в системе CaO-SiC и SiO<sub>2</sub>-CaC<sub>2</sub>. *Металлургия и коксохимия* : Респ. межвед. науч.-технич. сб., 1986. Вып. 90. С. 95–99.

35. Алексеев В. Г. Шум и вибрация на производстве. Москва : Энергия, 1980. 352 с

36. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: учебн. пособ. для вузов. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 448 с.
37. Бринза В.Н., Зиньковский М. М. Охрана труда в черной металлургии. Москва : Металлургия. 1982. 335 с.
38. Петров А. В., Корощенко А. Д., Айзман Р. И. Охрана труда на производстве и в учебном процессе: учебн. пособ. Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2008. 192 с.
39. ДСан ПіН 3-3.2-007-98. Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний з 10.12.1998 р]. Вид. офіц. Київ, 1998. 18 с.
40. ГОСТ 12.1 005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [Действительный с 01.01.1989 р]. Изд. офиц. Москва : Издательство стандартов, 1998, Стандартиформ, 2006. 48 с.
41. НРБУ-97/Д-2000. Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (ДГН 6.6.1. - 6.5.061-2000). [Чинний з 01.12.1997 р]. Вид. офіц. Київ, 2000. 84 с.
42. ДСанПіН 5.5.2.008-01. Влаштування, утримання загальноосвітніх навчальних закладів та організації навчально-виховного процесу. Державні санітарні правила і норми. [Чинний з 14.08.2001 р]. Вид. офіц. Київ, 2001. 49 с.
43. Лапін В. М. Основи охорони праці. Львів: ЛБІ НБУ, 2002. 142 с.
44. Жидецький В. В. Основи охорони праці. Львів : Афіша, 2002. 320 с.
45. Основи охорони праці: підручн. / К. Н. Ткачук та ін. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. Київ : Основа, 2003. 472 с.
46. Охорона праці : навч. посібн. / Я. І. Бедрій та ін. Львів : ПТВФ «Афіша», 1997. 258 с.
47. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. [Чинний з 01.06.2007 р]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку,

будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35 с.

48. Рожков А. П. Пожарная безопасность на производстве. Киев : Охрана труда. 1997. 448 с.

49. Ефанов П. Д., Берг А. И. Охрана труда и техника безопасности в сталеплавильном производстве. Москва : Металлургия. 1987. 230 с.

50. Охорона праці в дипломних проектах: учебн. посібник для студентів інженерних спеціальностей / Сост.: Л. В. Бабенко, В. П. Бобилев. Дніпропетровськ : ДПЮпром. 2004. 150 с.

51. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. [Действительный с 08.05.2017 г]. Изд. офиц. Москва : Минстрой России. 2016. 106 с.

52. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями. [Чинний з 25.04.2018 г]. Вид. офиц. Київ, 2018.

53. Геврик Є. О. Охорона праці: навч. посібн. для студ. ВНЗ. Київ : Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.