

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  
(рівень вищої освіти)

на тему Аналіз особливостей технології висновки  
фрезшикарної машини

Виконав: студент 3с курсу, групи В-1369-МЧМ-С

спеціальності 136 Металургія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія

(код і назва освітньої програми)

спеціалізації \_\_\_\_\_

(код і назва спеціалізації)

В.О. Фолдан  
(ініціали та прізвище)

Керівник доц. каф. металургії, канд. тех. наук О.І. Ващенко  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. металургії, канд. тех. наук О.Р. Беренко  
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя  
2022

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

Кафедра металургія

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень  
(перший (бакалаврський) рівень, другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 136 „металургія“  
(шифр і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

Освітня програма металургія  
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри металургія

Юрій І. Г. Кириченко

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Козман Віталій Олександрович  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Аналіз особливостей технологічної виготовки феросиліцидмарганцю

керівник роботи Канд. техн. наук, доцент Володимирова Оксана Сергіївна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "14" січня 2022 року № 90-с

2. Строк подання студентом роботи 18.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Надкові-технічна література, статті у фахових виданнях, матеріали конференцій, патенти, ГОСТи та ДСТУ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Визначити три умовні позначки. Вибір умовного сім'я феросиліцидної промисловості України. Вибір матеріалу для подальшого вивчення умов виготовлення залізниці. Вибір умовного матеріалу при виготовленні феросиліцидмарганцю. Станова праці та технологічний процес - загальні висновки. Прізвище досвідченого промисловця.

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

Титульний лист - 1. Вступ - 2. Розділ 1-2. Розділ 2-2. Розділ 3-3. Розділ 4-1. Загальні висновки - 1с2.



6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз сучасного стану фермерських господарств України	Владимирова О.С. доцент	14.02.22 [підпис]	14.02.22 [підпис]
2. Вибір методів та об'єктування методів дослідження	Владимирова О.С. доцент	14.02.22 [підпис]	14.02.22 [підпис]
3. Додатковий запитання стосовно висновків дослідження	Владимирова О.С. доцент	14.02.22 [підпис]	14.02.22 [підпис]
4. Охорона праці та безпека	Владимирова О.С. доцент	14.02.22 [підпис]	14.02.22 [підпис]

7. Дата видачі завдання 14.02.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Скорочення та умовні позначки. Вступ.	з 2.05.22 по 3.05.22.	
2.	Розділ 1	з 3.05.22 по 14.05.22	
3.	Розділ 2	з 10.05.22 по 31.05.22.	
4.	Розділ 3	з 1.06.22 по 4.06.22	
5.	Розділ 4	з 09.06.22 по 13.06.22	
6.	Загальні висновки. Перелік джерел посилань.	з 14.06.22 по 19.06.22	
4.	Технічні матеріали.	з 16.06.22 по 17.06.22.	

Студент [підпис] (підпис) Владимирова О.С. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) [підпис] (підпис) Владимирова О.С. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер [підпис] (підпис) Кириченко О.Г. (ініціали та прізвище)

## РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 61 с., 10 рис., 16 табл., 35 джерел посилання.

ВИСОКОКРЕМНІСТИЙ ФЕРОСИЛКОМАРГАНЕЦЬ, ТЕХНОЛОГІЯ ВИПЛАВКИ, МАРГАНЦЕВА РУДА, МАРГАНЦЕВИЙ КОНЦЕНТРАТ, СТУПІНЬ ВИЛУЧЕННЯ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Аналіз особливостей технології виплавки феросилікомарганцю.

Мета роботи – удосконалити технологію виплавки висококремністого феросилікомарганцю, що дозволяє збільшити ступінь вилучення марганцю до 90 %.

У розділі 1 проаналізовано сучасний стан світових запасів марганцевої сировини, шляхи удосконалення технології виробництва феросилікомарганцю та підвищення ступеня вилучення марганцю.

У розділі 2 приведено вибір матеріалів та устаткування для виплавки феросилікомарганцю.

У розділі 3 розроблено дві технології виплавки висококремністого феросилікомарганцю – з оксидних і карбонатних концентратів. Показано вплив вмісту кремнію в металі на витяг марганцю, втрати марганцю з відвальних шлаком і в ульот при виплавці феросилікомарганцю. Встановлено закономірності вмісту вуглецю в висококремністому та товарному феросилікомарганцю при однаковому вмісті кремнію.

У розділі 4 приведено аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища в феросплавній лабораторії.

Розроблена технологія виплавки феросилікомарганцю рекомендується для дослідно-промислових випробувань в умовах феросплавних підприємств України.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ФЕРОСПЛАВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ .....	11
1.1 Характеристика сировинної бази феросплавної промисловості України.....	11
1.2 Технологічні особливості виробництва феросилікомарганцю....	16
1.2.1 Фізико-хімічні основи виробництва силікомарганцю.....	18
1.2.2 Характеристика печей для виплавки феросилікомарганцю.....	20
1.2.3 Аналіз розподілу марганцю при виплавці феросилікомарганцю.....	27
1.3 Аналіз можливих шляхів підвищення ступеня вилучення марганцю.....	28
1.4 Висновки.....	30
2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	31
2.1 Вибір матеріалів для виплавки феросилікомарганцю.....	31
2.2 Вибір устаткування для виплавки феросилікомарганцю.....	32
2.3 Висновки.....	35
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ СТУПЕНЯ ВИЛУЧЕННЯ МАРГАНЦЮ ПРИ ВИПЛАВЦІ ФЕРОСИЛІКОМАРГАНЦЮ.....	36
3.1 Дослідження впливу вмісту кремнію в металі на витяг марганцю при виплавці феросилікомарганцю.....	36
3.2 Виплавка феросилікомарганцю з оксидних та карбонатних концентратів.....	38
3.3 Виплавка феросилікомарганцю з незбагачених марганцевих руд	

Нікопольського родовища.....	39
3.4 Висновки.....	43
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	44
4.1. Аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища в феросплавній лабораторії.....	44
4.2 Заходи з поліпшення умов праці у феросплавній лабораторії.....	47
4.3Електробезпека.....	49
4.4 Розрахунок звукоізольованої кабіни посту управління.....	49
4.5 Пожежна безпека.....	53
4.6 Висновки.....	55
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	58

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ГЗК – гірничо-збагачувальний комбінат;

ОГЗК – Орджоникідзевський гірничо-збагачувальний комбінат;

МГЗК – Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат;

МФШ-А, МФШ-Б, МФШ-В, МФШ-Г – марганцевий малофосфористий шлак з вмістом марганцю 41%, 40%, 40% та 30% відповідно;

МнС12, МнС17, МнС20, МнС25 – силікомарганець з вмістом кремнію 12%, 17%, 20% та 25% відповідно;

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

РПЗ-63 – руднотермічна прямокутна закрита піч з номінальною потужністю 63 МВ·А;

РКГ-81, РКГ-75, РКГ-27 – рудовідновна кругла герметична електропіч потужністю 81 МВА, 75 МВА та 27 МВА відповідно;

АМН-1, АМН-2 – марганцевий концентрат з вмістом марганцю 49,6% та 43,4% відповідно;

ПАТ – публічне акціонерне товариство;

ФС65 – феросиліцій з вмістом кремнію 65%;

ДСП – деревостружкова плита;

ДВП – деревоволокниста плита;

ПЩ – пожежні щити.

## ВСТУП

На сьогоднішній день виробництво марганцевих сплавів здійснюється в сучасних закритих печах великої одиничної потужності з високою мірою механізації технологічних операцій, проте показники виплавки і якість сплавів, особливо за вмістом фосфору, значно нижчі за світовий рівень (питома витрата при електроенергії при виплавці феромарганцю від 4100 кВт·г/т до 4200 кВт·г/т проти від 2500 кВт·г/т сплаву до 3500 кВт·г/т сплаву), що пов'язане з поганою якістю використовуваної марганцеворудної сировини [1]. В даний час “бідність” марганцевих концентратів (від 26%Mn до 43%Mn) та високі відношення P/Mn від 0,0045 до 0,0073 призводять до відставання виробництва феросилікомарганцю в Україні від світових показників, можливості поліпшення показників виплавки і якість сплавів шляхом вдосконалення технології і збільшення потужності сучасних плавильних агрегатів практично вичерпані.

Збільшення потужності до 80 МВА пов'язано із збільшенням струму в електродах, яке наводить до значних активних втрат і істотного додаткового зростання питомої витрати електроенергії, яка досягає 50 кВт·г/т сплаву [2].

У зв'язку з цим назріла необхідність пошуку інших шляхів поліпшення якості (окрім поліпшення якості вихідної сировини) продукції і зниження енерговитрат. Однією з таких шляхів є використання попереднього нагріву шихтових матеріалів перед завантаженням в піч. Так, при виплавці сплаву з використанням гарячого агломерату питома витрата електроенергії в порівнянні з виплавою на звичайній шихті знизилася від 16% до 19% і, відповідно, збільшилася продуктивність електропечі. Але більш кращі показники були досягнуті при виплавці феросилікомарганцю на гарячих рудвугільних брикетах, питома витрата електроенергії знизилася на 25%, а продуктивність печі збільшилася на 35%. Крім того, витягання марганцю в сплав при виплавці марганцю в сплав при виплавці на гарячих брикетах підвищилося на 6,1%. Примножити позитивний ефект від попереднього нагріву



матеріалів може також введення в шихту нових флюсуючих добавок, які дозволять інтенсифікувати печі, що протікають у ванні, фізико-хімічні процеси [3].

Дослідження технологічних показників виплавки товарного феросилікомарганцю показують, що зниження марганцю в сировину тягне за собою погіршення технологічних показників, найважливішим з яких є ступінь вилучення марганцю. Встановлено, що зниження марганцю у вихідній сировині на 1% призводить до зменшення вилучення марганцю на 0,7%, відповідно збільшується витрата марганцеворудної сировини та електроенергії, а також знижується продуктивність печі.

Аналіз дослідних даних з розподілу марганцю при виплавці товарного феросилікомарганцю на провідних феросплавних підприємствах України показує, що найбільша частка втрат марганцю припадає на втрати з відвальних шлаком (від 70% від. до 85% від.), де марганець зустрічається у вигляді оксидної фази. Тому в даний час дуже актуальним є пошук технологічних рішень, спрямованих на збільшення ступеня вилучення марганцю при виплавці феросилікомарганцю.

**Мета роботи** – удосконалити технологію виплавки висококремністого феросилікомарганцю, що дозволяє збільшити ступінь вилучення марганцю до 90 %.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні **теоретичні та прикладні завдання:**

- проаналізувати сучасний стан світових запасів марганцевої сировини та шляхи удосконалення технології виробництва феросилікомарганцю;
- визначити оптимальну методику дослідження особливостей виплавки феросилікомарганцю;
- запропонувати технологію виплавки висококремністого феросилікомарганцю з використанням оксидних і карбонатних концентратів, а також незбагаченої марганцевої руди;
- привести організацію та затрати на виконання науково-дослідної

роботи по дослідженню виплавки висококремністого феросилікомарганцю;

– проаналізувати потенційно-небезпечні та шкідливі чинники в процесі виплавки висококремністого феросилікомарганцю.

**Об'єкт дослідження:** оксидні та карбонатні марганцеві концентрати, незбагачена марганцева руда, феросилікомарганець марок МнС25 та МнС17.

**Предмет дослідження:** технологія виплавки висококремністого феросилікомарганцю.

**Методи дослідження:** дослідження хімічного складу марганцевих концентратів, марганцевої руди та феросилікомарганцю проводили за допомогою хімічного аналізу; гранулометричний склад визначали за допомогою ситового аналізу; обробку експериментальних даних проводили з використанням персонального комп'ютера.

**Наукова новизна.** Розроблені дві технології виплавки висококремністого феросилікомарганцю: з оксидних і карбонатних концентратів (ступінь вилучення марганцю досягає 89%) та з незбагачених марганцевих руд (ступінь вилучення марганцю досягає 86%).

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

# 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ФЕРОСПЛАВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

## 1.1 Характеристика сировинної бази феросплавної промисловості України

Світові континентальні розвідані запаси марганцевих руд оцінюються на сьогоднішній день в 18,0 млрд. тонн [4]. Чималі запаси марганцевої сировини України представлені різними типами руд (оксидними, карбонатними, змішаними). Відмітною особливістю марганцевих руд вітчизняних родовищ є відносно невисокий вміст марганцю і підвищена концентрація фосфору і кремнезему (таблиця 1.1) [5], що не дозволяє, на відміну від зарубіжних родовищ, використовувати сировину без попередньої підготовки - збагачення.

Основне завдання процесу збагачення полягає в максимальному відділенні від основних марганецьвмісних мінералів порожньої породи, так званих хвостів. Всі методи збагачення засновані на різних механічних, фізичних і фізико-механічних властивостях мінералів руди, а вибір їх для кожного конкретного випадку визначається ефективністю та економічною доцільністю. Технологічна схема збагачення оксидних марганцевих руд представлена на рис. 1.1.

На сьогоднішній день видобуток марганцевої руди в нашій країні здійснюється в основному відкритим і шахтним способами на Нікопольському родовищі. На базі цього родовища діють два найбільші гірничо-збагачувальні комбінати (ГЗК): Орджоникідзевський гірничо-збагачувальний комбінат (ОГЗК) у складі семи кар'єрів, трьох збагачувальних фабрик і однією агломераційною фабрикою та Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат (МГЗК) у складі двох кар'єрів, семи шахт і двох збагачувальних фабрик.

Хімічний склад концентратів, вироблених цими ГЗКами, представлений в табл. 1.2.

У свою чергу, товарні концентрати за фракційним складом не постійні і містять високу долю дрібних фракцій (<8мм) малопридатних для використання

в рудовідновлювальних печах.

Сума відповідних для плавки фракцій концентрату I сорту складає близько 28%, а II сорту – 18%. Ще дрібніший гранулометричний склад має концентрат пінної сепарації і флотації. Концентрат фракції від 0,2 мм до 8 мм дуже дрібний і не може бути ефективно використаний як компонент шихти без попереднього кускування.

Таблиця 1.1 – Усереднені хімічні склади марганцевих руд основних родовищ України

ГЗК, шахта, кар'єр	Масовий вміст, %								
	Mn	MnO <sub>2</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P	н.п.п.
ОГЗК, Олександровський кар'єр	16,9	2,88	19,50	35,4	4,96	6,86	2,30	0,147	19,8
ОГЗК, Шевченковський кар'єр	25,0	33,00	5,29	36,4	4,86	2,70	1,92	0,170	11,3
ОГЗК, Запорізький кар'єр	24,7	33,10	4,90	35,3	4,78	2,74	2,26	0,166	12,0
ОГЗК, Богдановський кар'єр	23,3	30,80	4,90	35,3	5,39	3,62	2,20	0,155	12,5
МГЗК, Басановський кар'єр	26,8	34,40	6,54	35,5	3,09	1,24	1,54	0,144	9,4
МГЗК, Грушевський кар'єр	20,3	8,27	19,60	38,6	4,10	6,26	2,14	0,153	19,6
ТГОК, шахта	17,2	0,16	22,10	32,8	4,84	7,77	2,29	0,204	21,8

В даний час основним і найбільш освоєним методом кускування марганцеворудної сировини на Україні є агломерація. Слід зазначити, що доля карбонатної сировини в агломераційній шихті постійно збільшується і в даний час наближається до 50% [6]. Відповідно зростає питомий вміст фосфору в агломераційній шихті та силікомарганці.

Крім того, при виробництві висококремністого передільного

Таблиця 1.2– Повний хімічний склад марганцевих концентратів з руд основних родовищ України

Найменування та сорт концентрату	Вміст, %										
	Mn	MnO <sub>2</sub>	MnO	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Нікопольське:											
Оксидний I сорт	44,0	48,3	17,4	13,7	3,2	1,3	1,5	1,9	0,19	0,4	1,0
Оксидний ІБ сорт	42,0	46,0	16,7	15,4	3,3	1,4	1,7	2,2	0,19	0,4	1,2
Оксидний II сорт	36,8	38,5	16,2	20,7	3,9	1,8	1,7	2,6	0,19	0,4	1,5
Карбонатний I сорт	31,0	19,3	24,3	19,2	7,3	1,5	2,5	2,5	0,18	0,9	0,9
Великотокмацьке:											
Оксидний I сорт	43,1	56,6	9,5	12,0	2,8	2,1	1,7	5,1	0,22	0,4	1,8
Оксидний II сорт	38,4	44,6	13,2	17,5	3,9	1,3	1,8	2,6	0,22	0,4	1,7
Карбонатні:											
+10мм	27,2	0,5	34,7	10,6	13,1	1,7	2,6	5,0	0,20	0,3	0,5
10-0мм	28,4	1,4	35,5	14,0	9,6	1,5	1,6	2,3	0,19	0,2	0,4



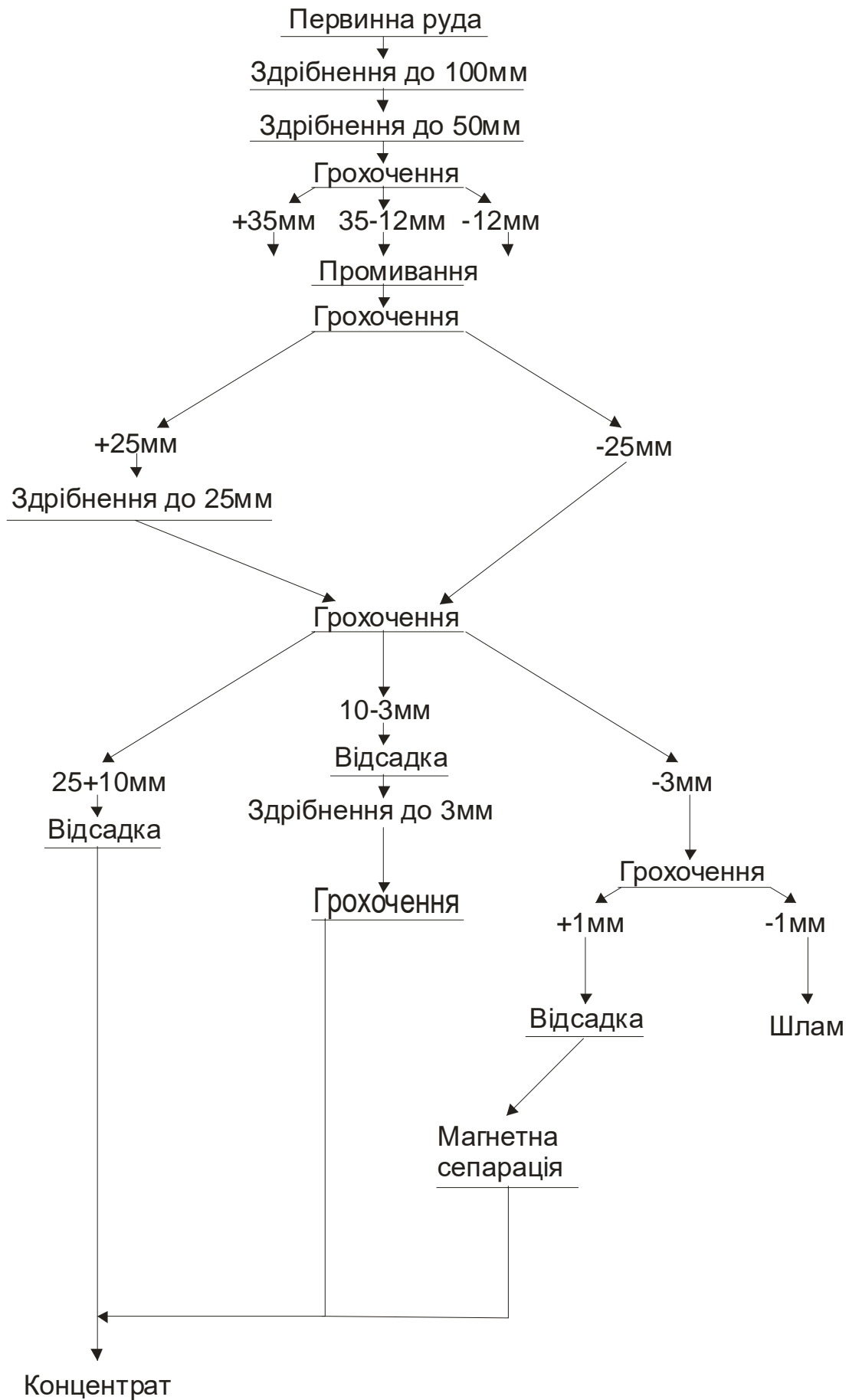


Рисунок 1.1 – Схема збагачення марганцевої руди

силікомарганцю і рафінованих марганцевих сплавів застосовують малофосфористий високомарганцевистий шлак. Виплавку такого шлаку ведуть періодичним процесом в печах, що нахиляються, з магnezитовим футеруванням потужністю 5 МВА або безперервним процесом в закритих печах потужністю 16,5 МВА. Основні вимоги, що пред'являються до малофосфористого шлаку, представлені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Склад марганцевого малофосфористого шлаку

Марка	Масова доля, %		Призначення
	Mn (не менше)	P (не більше)	
МФШ-А	41	0,012	Для виробництва низькофосфористого феромарганцю і металевого марганцю
МФШ-Б	40	0,015	Для виробництва граничного силікомарганцю
МФШ-В	40	0,019	Для виробництва низькофосфористого силікомарганцю
МФШ-Г	30	не обмежено	Для виробництва низькофосфористого силікомарганцю

При виробництві силікомарганцю всіх марок основним кремнійвмісним компонентом шихти, як у вітчизняній, так і в зарубіжній практиці феросплавного виробництва, є кварцит. За хімічними показниками кварцит повинен задовольняти наступним вимогам: від 96%  $\text{SiO}_2$  до 98%  $\text{SiO}_2$ , не більше 1,8%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , не більше 1% засміченості (глина, пісок або інші домішки). Розмір шматків кварциту допускається в межах від 25 мм до 80 мм при масовій долі шматків вище за максимальний розмір не більше 15% і нижче мінімального – 7%. На Україні при виробництві силікомарганцю можуть використовуватися кварцити Овруцького і Васильківського родовищ. Окрім

кварцитів основних родовищ можуть застосовуватися і інші матеріали, якісні показники яких відповідають вищезгаданім вимогам.

Другим (після рудної частини) найважливішим компонентом шихти при виплавці феросплавів є відновник. Оскільки силікомарганець виробляють вуглецьтермічним процесом, то у якості відновника використовуються різні вуглецьвмісні матеріали. У реальних умовах феросплавного процесу (високі температури, низький стовп шихти у феросплавній печі, неминучий процес утворення карбідів металів і газоподібних нижчих оксидів і так далі) найбільш важливою характеристикою вуглецевих матеріалів є їх відновна здатність, з врахуванням електричного опору та інших параметрів. З цієї точки зору найбільш оптимальним вуглецевим відновником є дерев'яне вугілля, але воно має низьку механічну міцність і високу вартість. Останнім часом, у зв'язку з постійно зростаючим дефіцитом, все більшого поширення набувають такі вуглецеві відновники як газове вугілля, нафтовий кокс і напівкокс. Основні характеристики вуглецевих відновників представлені в табл. 1.4.

Слід зазначити, що в даний час накопичилися величезні запаси відвальних шлаків від виробництва марганцевих феросплавів, що містять від 13% до 35% марганцю [7]. Раніше утилізація таких шлаків вироблялася за допомогою їх переробки і реалізації у якості будівельних матеріалів. Проте таку схему треба вважати неефективною із-за великих втрат марганцю, тому є доцільною розробка технологічних заходів щодо залученню даного матеріалу до процесу виробництва марганцевих феросплавів як шихтового матеріалу.

## **1.2 Технологічні особливості виробництва феросилікомарганцю**

Силікомарганець марок МнС20 і МнС26 широко використовують як напівпродукт при виробництві рафінованого феромарганцю і металевого марганцю, марок МнС10, МнС14, МнС17 як комплексний розкислювач і легуюча добавку при виплавці сталі різних марок. Марганець підвищує розкислювальну здатність кремнію. У порівнянних умовах при роздільному

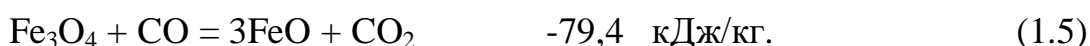
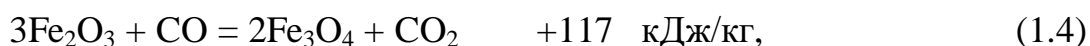
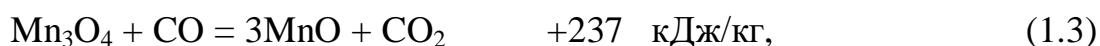
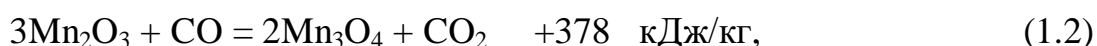
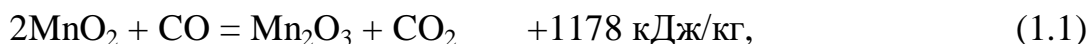
розкислюванні сталі чад марганцю складає 46%, кремнію 37%, а при розкислюванні силікомарганцем 29% для обох елементів.

Таблиця 1.4 – Характеристика вуглецевих відновників

Показник	Металургійний кокс	Коксик	Напів-кокс	Нефтяний кокс	Дерев'яне вугілля
Вміст за технічним аналізом, %:					
A	10,65	10,80	27,00	0,71	1,45
W	0,44	1,30	1,90	0,80	2,10
S	0,89	1,34	0,91	4,23	0,04
C <sub>ТВ</sub>	87,02	86,66	71,49	86,98	83,97
Реакційна здатність при 1323К, мл/(г·с)	0,69	0,92	8,00	0,42	11,1
Питомий опір, Ом·м	1,21	1,48	7500,00	3·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>6</sup>
Структурна міцність, %	83,0	85,0	63,7	64,3	39,0
Щільність, г/см <sup>3</sup>					
достеменна	1,82	1,95	1,58	1,41	1,40
яка здається	0,91	0,93	0,93	1,12	0,40
Пористість, % (см <sup>3</sup> /г)	53,1 (0,49)	49,7 (0,51)	55,0 (0,67)	20,1 (0,18)	63,8 (1,1)
Склад золи, %					
SiO <sub>2</sub>	35,4	36,5	75,7	46,3	1,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,3	22,2	11,2	24,3	3,4
CaO+MgO	3,8	3,9	3,0	10,5	41,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	33,8	33,7	7,6	14,2	0,85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,24	0,24	0,03	0,75	0,12

### 1.2.1 Фізико-хімічні основи виробництва силікомарганцю

Вживання марганцевої руди (концентрату, агломерату), залізняку, коксу, кварциту, обумовлює різноманіття хімічних реакцій у ванні печі. Вищі оксиди марганцю  $MnO_2$ ,  $Mn_2O_3$  і  $Mn_3O_4$ , а також  $Fe_2O_3$  і  $Fe_3O_4$  відновлюються окислом вуглецю у верхніх горизонтах печі за реакціями:



З приведених реакцій видно, що реакції відновлення вищих оксидів марганцю і  $Fe_2O_3$  є екзотермічними процесами.

Силікомарганець є складним сплавом системи  $Mn - Si - Fe - C$ . У розплавах цієї системи у міру збільшення вмісту кремнію знижується розчинність вуглецю в них, що пояснюється вищою термодинамічною міцністю силіцидів в порівнянні з карбідами марганцю. Внаслідок більшої термодинамічної міцності зв'язків  $Mn - Si$ , чим  $Mn - C$ , при збільшенні добавок кремнію відбувається розрив менш міцних зв'язків  $Mn - C$  з виділенням вуглецю у вигляді вільного графіту або карбиду.

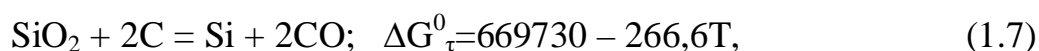
Крім того, фосфор практично не розчиняється в силіцидах [8]. Тому у висококремнистих структурних складових промислового силікомарганцю виявлена залежність зниження фосфору в порівнянні з високовуглецевими фазами.



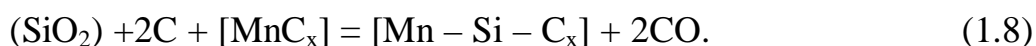
Закис марганцю, що утворюється у ванні печі як продукт розвитку реакцій відновлення вищих оксидів марганцю, може бути відновлений до металу (карбіду) лише твердим вуглецем за реакцією:



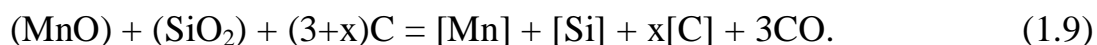
У зоні високих температур помітний розвиток отримує реакція відновлення кремнезему. Наявність металевого розплаву термодинамічно полегшує процес відновлення кремнію:



і утворення силікомарганцю, що може бути описане хімічною схемою:



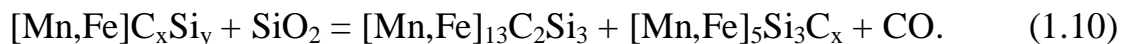
Теоретична температура початку протікання цієї реакції визначається вмістом кремнію в сплаві. У загальному вигляді процес здобуття силікомарганцю можна представити сумарною реакцією:



При аналізі відновних реакцій виплавки силікомарганцю з різним вмістом кремнію слід мати на увазі, що до 23,5% кремнію рівноважною фазою з цими сплавами є графіт, тоді як при вмісті кремнію більше 23,5% – лише карбід кремнію [9]. Якщо в локальних зонах ванни печі і створюються умови відновлення  $\text{SiO}_2$  кварциту до карбіду кремнію, то у контакті з металеву фазою (розплавом силікомарганцю марок  $\text{MnC}_{12}$ ,  $\text{MnC}_{17}$  та  $\text{MnC}_{20}$ )  $\text{SiO}_2$  нерівноваговий карбід кремнію руйнується.

Підвищення концентрації кремнію в сплаві досягається завдяки

відновленню кремнію на кордоні розділу фаз: оксидний насичений кремнеземом шлаковий розплав – вуглецевий відновник, а також внаслідок взаємодії вуглецю, розчиненого в перших краплях сплаву, з  $\text{SiO}_2$  за схемою:



Аналіз багатокomпонентної шлакової системи при виплавці силікомарганцю показує, що масовий вміст від 46%  $\text{SiO}_2$  до 48%  $\text{SiO}_2$  в шлаку близько до насичення і є оптимальним.

Сплави складів, які відповідають промисловим маркам МнС17, що закристалізувалися, – МнС20, містять різну кількість карбосиліциду і силікокарбїду (фази Новотного), що і визначає різний рівень концентрації вуглецю в силікомарганці відповідних марок. У висококремнистому силікомарганці СМн25 основної структурної складової є фаза Новотного, рівноважна концентрація вуглецю в якій при 23,5% кремнію складає 0,16% [6].

### **1.2.2 Характеристика печей для виплавки феросилікомарганцю**

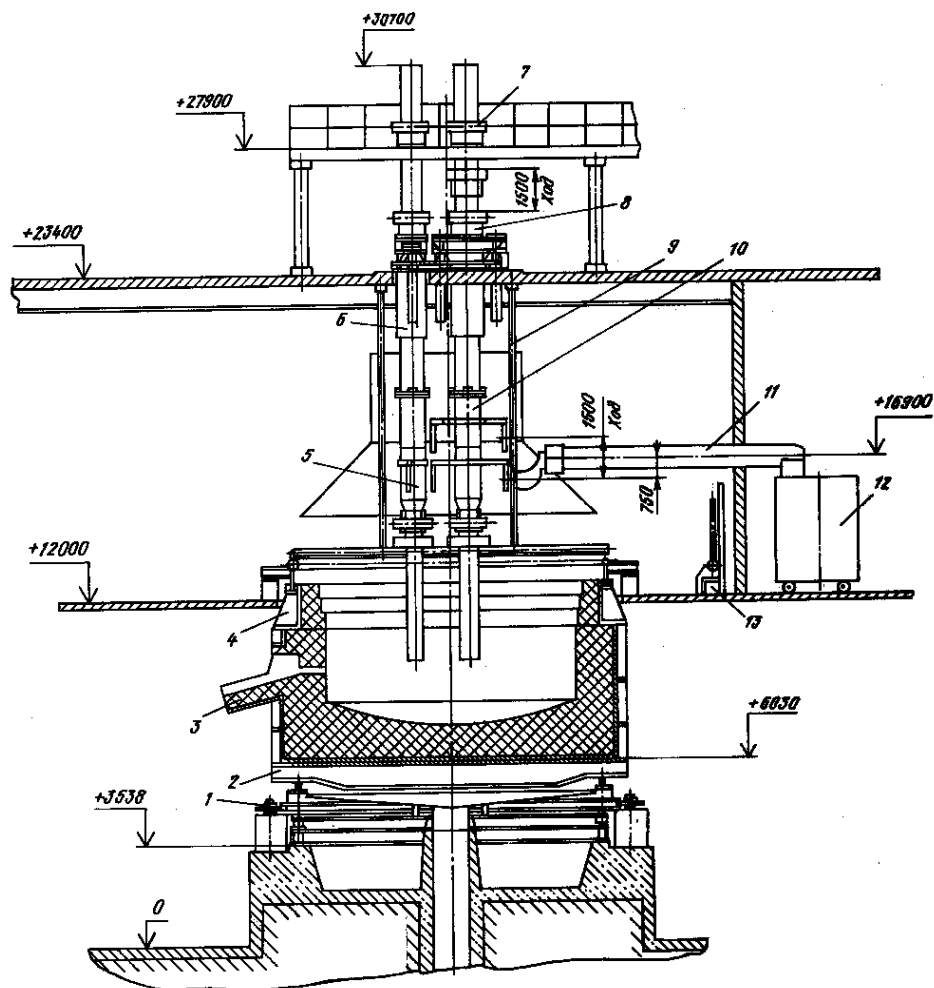
На сьогоднішній день виплавку феросилікомарганцю здійснюють в печах типу РКЗ-16,5 (рис. 1.2), РПЗ-63 (рис. 1.3), РКГ-81 (рис. 1.4), РКГ-75 та РКГ-27 [10], [11], при цьому його хімічний склад повинен відповідати ДСТУ 3548-97 [12] (табл. 1.5).

Силікомарганець отримують різними способами з наступних видів сировини:

- 1) Бідних залізом та фосфором марганцевих концентратів з кварцитом і вуглецем у якості відновника.
- 2) Багатих кремнеземом марганцевих концентратів з вуглецем як відновник.
- 3) Багатих кремнеземом оборотних марганцевих шлаків з вуглецем у якості відновника.

4) Вуглецевого феромарганцю і кварциту з вуглецем у якості відновника.

Способи 1-3 мало відрізняються один від одного, їх можна об'єднати під поняттям "Відновлення оксидів марганцю при добавці кварциту і вуглецю у якості відновника". Спосіб 4 у вітчизняній практиці не застосовується.

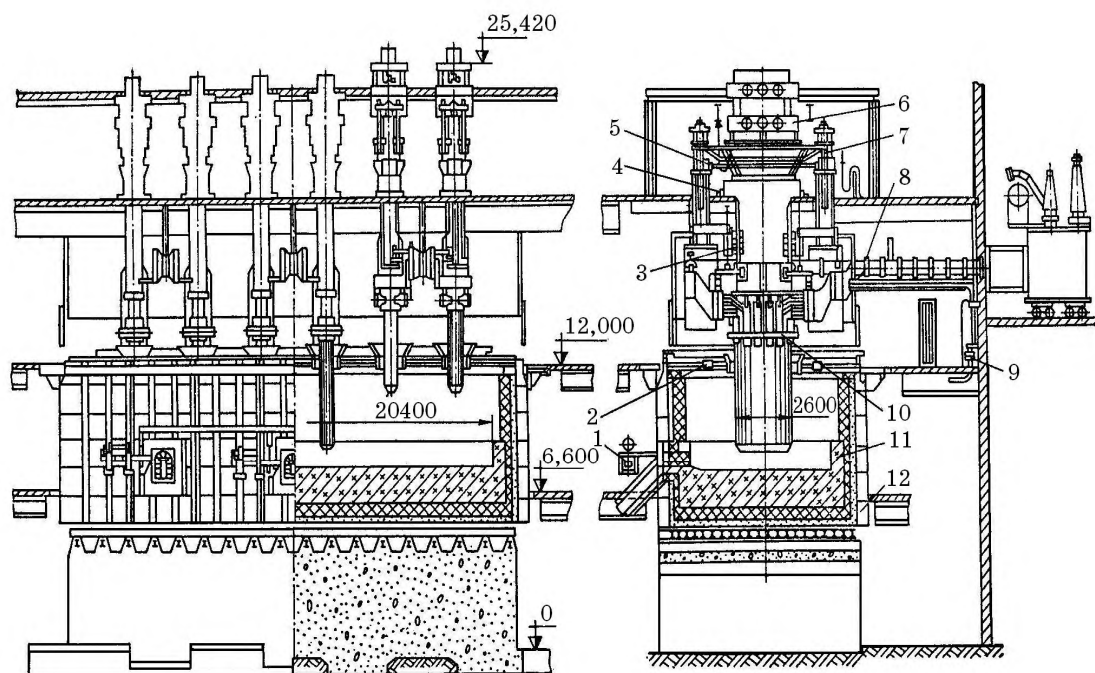


1 – механізм обертання ванни електропечі; 2 – установка подових балок; 3 – футерування; 4 – кожух; 5 – струмоввод; 6 – гідропідійомник; 7 – кільце зажимне верхнє; 8 – кільце зажимне нижнє; 9 – установка напрямних роликів; 10 – кожух підвісний; 11 – шинопровід; 12 – трансформатор; 13 – система водоохолодження

Рисунок 1.2 – Загальний вид рудновідновної печі типу РКЗ-16,5Т-ІІ

Електропіч РПЗ-63 обладнані трьома однофазними трансформаторами

типу 30 ЦНК-40000/150, що мають 23 ступені напруги кожен. Енергетичні та конструктивні характеристики печей РПЗ-63 та РКГ-81 наведені у табл. 1.6 [10], [11].



1 – апарати для пропалювання льоток; 2 – звід; 3 – пристрій для фіксації електродотримача; 4 – ущільнення; 5 – система гідроприводу; 6 – пристрій для перепуску електродів; 7 – гідропідійомник; 8 – коротка мережа; 9 – система водоохолодження; 10 – електродотримачі; 11 – футерування; 12 – кожух

Рисунок 1.3 – Рудовідновна прямокутна закрита електропід типу РПЗ-63 потужністю 63 МВ·А для виплавки марганцевих феросплавів

Висококремнистий силікомарганець застосовується в основному як передільний і тому повинен містити мінімальну кількість заліза, фосфору і вуглецю. Тому його виплавляють з використанням безфосфористого марганцевистого шлаку. Безфосфористий шлак застосовують в шматках розміром від 25 мм до 80 мм, кварцит – від 25 мм до 80 мм, коксик – від 5 мм до 20 мм, вапняк – від 25 мм до 40 мм. Шихту розраховують з умови розподіли

елементів між продуктами плавки, приведеного в табл. 1.7.

Основність шлаку приймають рівною 0,55 і зразковий розрахунковий склад шихти наступний: 100 кг безфосфористого шлаку, 31 кг кварциту, 42 кг коксикку (сухого), 3 кг вапняку [13].

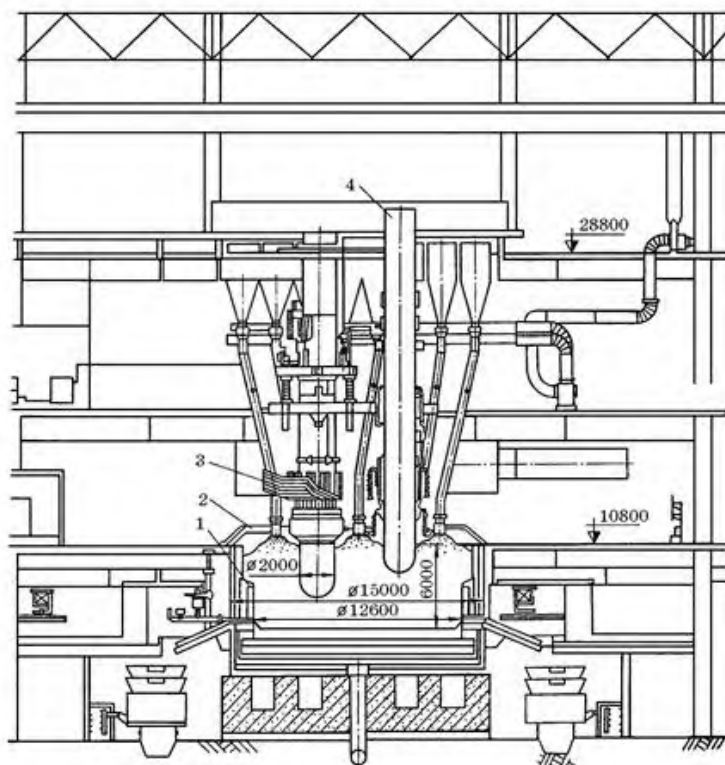
Таблиця 1.5 – Вимоги до хімічного складу силікомарганцю [12]

Марка основи сплаву	Масова доля елемента, %					
	кремнію	марганцю, не менше	вуглецю	фосфору		сірки
				А	Б	
				не більше		
МнС25	25-35	60,0	0,5	0,05	0,25	0,03
МнС22	20-25	65,0	1,0	0,1	0,35	0,03
МнС17	15-20	65,0	2,5	0,1	0,6	0,03
МнС12	10-15	65,0	3,5	0,2	0,6	0,03

Таблиця 1.6 – Енергетичні та конструктивні характеристики печей РПЗ-63 та РКГ-81

	РПЗ-63	РКГ-81
Щільність струму в перерізі електроду	5,30	5,13
Щільність потужності в перерізі електроду	413,8	478,5
Питома потужність на поверхні пода	296	362
Питома потужність в об'ємі ванни	65,8	72,4
Щільність потужності на активній поверхні електроду	41,4	79,76
Щільність струму на активній поверхні електроду	0,53	0,85
Питома активна потужність на площі розпаду електродів	2200	1800
Площа перерізу електроду	2,25	2,14
Площа поду	188,6	124,6





- 1 – вуглецеві блоки стін печі; 2 – звід; 3 – коротка мережа;  
4 – електрод

Рисунок 1.4 – Рудовідновна кругла герметична електропіч потужністю 81 МВА для виплавки марганцевих сплавів

Таблиця 1.7 – Розподіл елементів між продуктами плавки висококремнистого силікомарганцю

Елемент	Переходить, %		В ульот, %
	в сплав	в шлак	
Марганець	85	9	6
Кремній	57	38	5
Фосфор	56	34	10
Залізо	95	5	-

Кратність шлаку від 0,8 до 1,0. Плавку ведуть безперервним процесом із закритим колошником в печах потужністю 5 МВА і 16,5 МВА. Робоча напруга на низькій стороні біля 150 В. Шихту завантажують у міру її проплавлення,

довкола електродів підтримують конуси заввишки від 100 мм до 150 мм.

Нормальна робота печі характеризується стійкою посадкою електродів з глибиною занурення їх в шихту від 900 мм до 1200 мм, рівномірним випуском з печі сплаву і шлаку, що містить не більше 6% марганцю. Надлишок відновника або робота на крупному коксіку наводить до високої посадки електродів і заохолодження поду печі, а недолік відновника викликає кипіння шлаку під електродами. При скупченні в печі великої кількості тугоплавкого шлаку необхідне введення плавикового шпату і уточнення навішування вапняку. Випуск сплаву проводять п'ять разів у зміну в сталевий ківш, футерований кульгавим магнезитом. Після випуску сплав витримують в ковші протягом часу від 40 хв. до 60 хв., що наводить до зменшення вмісту вуглецю в сплаві на 65% в результаті спливання часток карбїду кремнію. Середній хімічний склад сплаву: від 0,04% С до 0,08% С; від 63% Мп до 67% Мп; від 28% Si до 30% Si; від 1,5% Si до 2,0% Fe; від 0,03% Р до 0,04% Р. Хімічний склад відвальних шлаків: від 13,2% Р до 14,5% Мп; від 43% SiO<sub>2</sub> до 47% SiO<sub>2</sub>; від 22% CaO до 30% CaO; від 12 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 16% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; від 6% MgO до 10% MgO; від 0,3% FeO до 0,7% FeO [10], [11].

Останніми роками було виконано велике число досліджень по виробництву силікомарганцю з низькоякісних руд [14]-[16]. Різноманіття руд визначило і велике число технологічних рішень:

- попередня виплавка багатого шлаку;
- підшихтовка багатих руд і шлаків;
- виключення з шихти кварциту або введення вапна;
- попереднє кускування або випалення концентратів;
- використання у якості відновника газового вугілля і відходів деревини;
- підбір відповідного шлакового (а значить і температурного) режиму і т.п.

Перспективне використання для виплавки силікомарганцю марганцевого агломерату, офлюсованого оксидом магнію і відходів виробництва електротермічного силуміну [17].

Дуже чистий за фосфором силікомарганець може бути отриманий з відвальних шлаків виробництва марганцевих сплавів. При виплавці в потужних печах товарного силікомарганцю з використанням марганцевих шлаків з підвищеною основністю збільшилася продуктивність печі в межах від 3% до 5% і в межах від 2% до 5% зросло витягання марганцю при незначному підвищенні витрати електроенергії [18]. Слід також відзначити що, використання рідких шлаків дозволяє істотно понизити витрату електроенергії – приблизно на 50%.

Аналіз даних матеріального балансу виплавки феросилікомарганцю найбільш масової марки МнС17 показує, що вилучення марганцю в сплав складає від 72% до 75%, а кремнію від 40% до 45% при практично повному (від 80% до 85%) переході фосфору в сплав (табл. 1.8).

Таблиця 1.8 – Основні показники виробництва феросилікомарганцю

Показник	РКЗ-16,5 (0,4%P)	РПЗ-63		
		0,4%P	0,35%P	0,25%P
Потужність печі, МВт	16,3	56,3	55,3	54,5
Виробничість печі, баз. т/сут.	96,0	322,6	320,8	287,4
Питома витрата, кг/т:				
марганцевий агломерат АМН-2 (43,4% Mn) [19]	895	775	115	-
марганцевий агломерат АМН-1 (49,6% Mn) [19]	-	-	281	-
марганцевий концентрат I сорт (48% Mn)	1020	990	1015	63
малофосфористий шлак (48% Mn)	-	-	373	1982
кварцит	382	386	386	310
доломіт	43	46	42	24
Вилучення Mn в сплав, %	73,1	77,8	76,7	65,6

Крім того, міра витягання марганцю залежить від вмісту фосфору в сплаві, розмірів і потужності пічного агрегату.

### 1.2.3 Аналіз розподілу марганцю при виплавці феросилікомарганцю

В останні роки все чіткіше простежується невтішна тенденція до погіршення якості марганцеворудного сировини, що істотно впливає на основні показники виробництва феросилікомарганцю.

Аналіз порівняльних показників виплавки товарного феросилікомарганцю [7] свідчить про те, що зниження марганцю в сировину тягне за собою погіршення технологічних показників, найважливішим з яких є ступінь вилучення марганцю. Так показано, що зниження марганцю у вихідній сировині на 1% призводить до зменшення вилучення марганцю на 0,7%. Відповідно збільшується витрата марганцеворудного сировини і електроенергії, а також знижується продуктивність печі.

Аналізуючи розподіл марганцю при виплавці товарного феросилікомарганцю на провідних феросплавних підприємствах країни (табл. 1.9), видно, що найбільша частка втрат марганцю припадає на втрати з відвальних шлаком (від 70% відн. до 85% відн.), де марганець втрачається у вигляді оксидної фази.

Таблиця 1.9 – Розподіл марганцю при виплавці товарного феросилікомарганцю на Нікопольському заводі феросплавів та ПАТ ”Запорізький завод феросплавів”

Найменування заводів	Перехід марганцю, % мас.				Невраховані втрати, % мас.
	в метал	в шлак	у пил	в корольки	
Нікопольський завод феросплавів	75,77	17,21	0,84	0,78	5,4
ПАТ “Запорізький завод феросплавів”	69,90	21,80	0,58	-	7,72

### 1.3 Аналіз можливих шляхів підвищення ступеня вилучення марганцю

У роботах [20], [21] встановлено позитивний вплив оксидів лужних металів на кінетику відновлення марганцю і кремнію при виплавці феросилікомарганцю. В якості вихідного матеріалу, що містить оксиди лужних металів, використовували природний мінерал - пегматит. Промислові випробування показали, що добавка в шихту пегматиту дозволяє підвищити витяг марганцю з 73,1% до 79,3% і кремнію з 43,8% до 48,4%.

Аналогічні результати були отримані при використанні в шихті силікату натрію. Витяг марганцю при цьому вирі на 8% відн [22].

В роботі [23] пропонується марганцевий концентрат подрібнювати до фракції не більше 5 мм і брикетувати спільно з вугіллям такого ж гранулометричного складу. Виплавка феросилікомарганцю з таких брикетів дозволяє знизити кратність шлаку до 1,0, підвищити витяг марганцю в межах від 5% до 6% і кремнію від 7% до 10%.

З наведених робіт видно, що дослідження проводилися в напрямку підвищення вилучення марганцю при виплавці товарних марок феросилікомарганцю (вміст кремнію від 12% до 20%) шляхом додавання нового компонента в шихту, або шляхом спеціальної підготовки сировини.

Для виплавки феросилікомарганцю за існуючою технологією рудними компонентами шихти є марганецьвмісна сировина (агломерат, марганцевий концентрат, малофосфористий шлак) і кварцит. Кварцит є тугоплавким матеріалом, а кремнезем - важковідновним оксидом. Однак у присутності оксиду марганцю кремнезем утворює легкоплавкі і важковідновні силікати марганцю - родоніт ( $MnO \cdot SiO_2$ ) і тефроїт ( $2MnO \cdot SiO_2$ ), з яких відновити марганець значно важче, ніж з чистих оксидів. Тому були дослідження, спрямовані на створення умов, що перешкоджають утворенню силікатів шляхом роз'єднання оксидів марганцю і кремнію.

Так в роботі [24] пропонується механічно роз'єднати  $MnO$  та  $SiO_2$  в шихті



шляхом тонкого помелу марганцевого концентрату, змішування та спікання його з газовим вугіллям з надлишком відновника. За спеціальною технологією виготовляли формування, з яких за допомогою підшихтовки кварциту виплавляли висококремністий феросилікомарганець. Отриманий сплав містив від 48% Si до 53%Si та від 37%Mn до 42%Mn. Витяг марганцю перевищував 90%.

Одним з важливих напрямків підвищення вилучення марганцю при виплавці феросилікомарганцю є його до відновлення з відвальних шлаків з метою використання марганцю і кремнію. Запропоновано двохстадійний метод виплавки феросилікомарганцю, сутність якого полягає в наступному. На першій стадії за чинною технологією отримують феросилікомарганець групи Б з підвищеним вмістом фосфору (від 0,45% до 0,60%), а шлак після грануляції і помелу використовують в якості марганцеворудної сировини для виплавки феросилікомарганцю низькофосфористої групи.

Однією з умов успішного здійснення процесу є брикетування цього шлаку з відновником. За такою схемою було отримано висококремністий низькофосфористий феросилікомарганець працівниками ДМетІ [25]. З шлаковувальних брикетів отриманий сплав з вмістом кремнію 38,2%, марганцю 49,2%, алюмінію 3,9% і фосфору 0,14%. При цьому перехід марганцю в сплав склав 89%, а кремнію - 71%. У цих же дослідженнях з шламовугільних брикетів був отриманий сплав з вмістом кремнію 38,1%, марганцю 51,2%, алюмінію 0,7% і фосфору 0,29%. При цьому витяг марганцю склав 90%, а кремнію - 68%.

Автори роботи [26] отримали висококремністий феросилікомарганець в рудовідновних печах шляхом спільного відновлення оксидів марганцю і кремнію вуглецем. У шихту вводили марганцеворудну сировину з розрахунку співвідношення  $Mn/SiO_2=0,05-0,13$  призвело до зростання показника витягу марганцю в межах від 91% до 94%, а кремнію – від 88% до 90%; метал містив від 70%Si до 76%Si та від 20%Mn до 25%Mn.

За даними [27], використовуючи звичайну кускову марганцеву сировину можна отримати сплав з вмістом кремнію не більше 24%. Це пояснюється

різними умовами відновлення марганцю і кремнію. Проте, вивчення технології отримання феросилікомарганцю з масовою часткою кремнію понад 24% на базі реально існуючої марганцевої сировини становить великий інтерес для феросплавної промисловості, так як рішення цього питання дозволить підвищити витяг марганцю і кремнію в сплав, зменшити кратність шлаку і, відповідно, втрати тепла з ним, зменшити вміст домішок в сплаві, використовувати бідніші марганцеві руди і вторинні джерела сировини.

#### **1.4 Висновки**

1. Аналіз сучасного стану феросплавної промисловості України показує, що в даний час накопичилися величезні запаси відвальних шлаків від виробництва марганцевих феросплавів, що містять від 13%Mn до 35%Mn. Раніше утилізація таких шлаків проводилася за допомогою їх переробки і реалізації як будівельних матеріалів. Однак таку схему треба вважати неефективною, через великі втрати марганцю. Тому на сьогоднішній день є доцільною розробка технологічних заходів по залученню шлаків в процес виробництва марганцевих феросплавів в якості шихтового матеріалу.

2. Проаналізовані можливі шляхи підвищення ступеня вилучення марганцю та визначено, що на сьогоднішній день необхідно удосконалити технологію виплавки висококремністого феросилікомарганцю для збільшення ступеня вилучення марганцю до 90%.

## 2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ І ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Вибір матеріалів для виплавки феросилікомарганцю

При виплавці висококремністого феросилікомарганцю проводили дві серії дослідних плавки (по чотири плавки кожна):

– серія 1 – з використанням оксидних і карбонатних концентратів Нікопольського родовища;

– серія 2 – з використанням незбагаченої марганцевої руди Чкаловського кар'єру.

У якості шихтових матеріалів першої серії дослідів використовували шихту двох варіантів (табл. 2.1):

– варіант 1: оксидний марганцевий концентрат (II сорт) 15 кг, кварцит 6 кг, кокс 7,5 кг;

– варіант 2: карбонатний марганцевий концентрат 15 кг, кварцит 6 кг і кокс 6 кг.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад шихтових матеріалів

Найменування	Масова частка компонентів, %						
	Mn	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
Карбонатний марганцевий концентрат (волога 8%)	30,4	17,2	10,4	1,7	0,24	1,6	2,6
Оксидний марганцевий концентрат (волога 16%)	36,4	23,8	5,4	1,6	0,22	1,9	2,4
Кварцит	-	96,5	0,5	0,3	0,009	0,9	0,5
Зола коксу (волога коксу 14%)	-	40,6	4,6	1,4	0,22	21,4	32,4

При виплавці феросилікомарганцю згідно другої серії дослідів шихта складалася з 24,9 кг марганцевої руди (табл. 2.2) та 7,3 кг коксу, у якості відновника використовували металургійний коксик розміром від 25 мм до 40 мм і вологістю 14,4%. Підготовка руди полягала в її сушінні до вологості від 10% до 14% і в дробленні руди, так як шматки, що трапляються розміром більше 100 мм, утруднювали роботу тракту шихтоподачі.

Коригування шихти проводили за ходом плавки і тільки навішуванням коксу. Потрібну кількість коксу вводили в шихту з розрахунку отримання від 85% Mn до 90% Mn та від 70% Si до 75% Si, що забезпечило необхідну рідкорухливість шлаку.

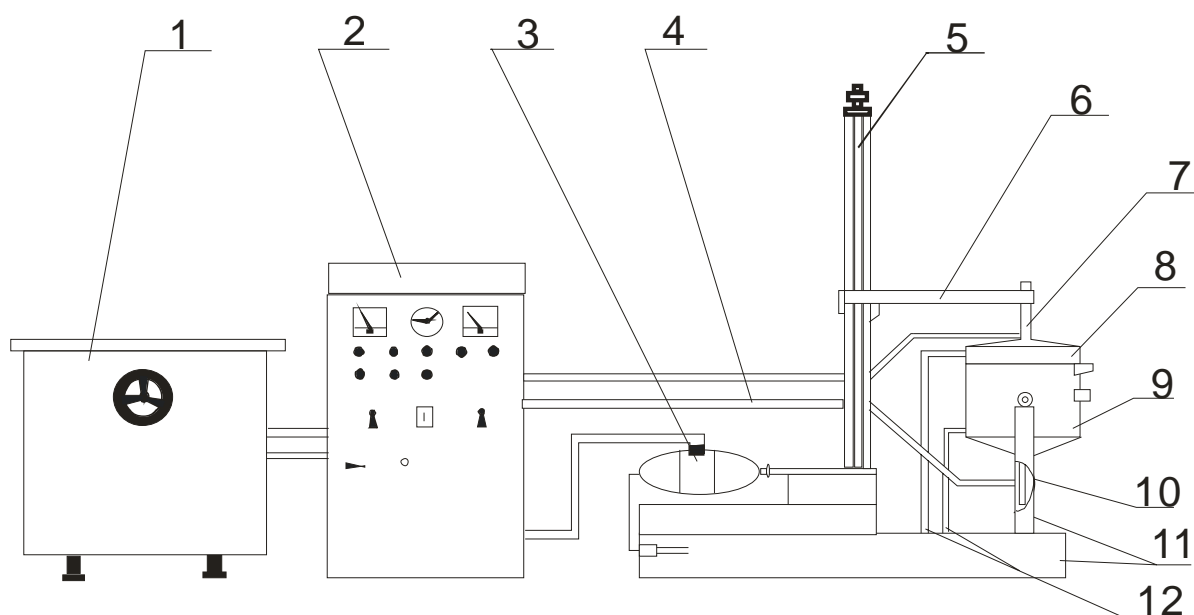
Дослідження хімічного складу марганцевих концентратів, руди та феросилікомарганцю проводили за допомогою хімічного аналізу, а гранулометричний склад визначали за допомогою ситового аналізу.

Таблиця 2.2 – Гранулометричний та хімічний склад марганцевої руди Чкаловського кар'єру [7]

Фракція, мм	Вихід фракції, %	Масова частка компонентів, %						
		Mn	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P
-8	25,8	16,1	46,8	5,0	3,1	7,8	5,7	0,180
8-20	33,6	22,8	40,4	4,3	2,6	6,1	4,6	0,178
+20	40,6	35,2	27,3	2,9	2,1	4,3	3,2	0,171

## 2.2 Вибір устаткування для виплавки феросилікомарганцю

Виплавка висококремністого феросилікомарганцю (табл.2.3) проводилася в великолабораторній однофазній печі потужністю 160 кВА (рис.2.1), електрична характеристика пічного трансформатора якої приведена в табл. 2.4. З урахуванням коефіцієнта моделювання експериментальної печі 1,34 витрата електроенергії для печі РПЗ-16 складе 5730 кВт·год. та 5850 кВт·год. відповідно.



- 1 – пічний трансформатор типу ТО-50ВЗ; 2 – випрямний агрегат типу ТАБ1-1250/230Т2;  
 3 – електропривод переміщення каретки електродотримача; 4 – струмопровідні шини;  
 5 – колона; 6 – каретка з електродотримачем; 7 – порожнистий графітовий електрод (катод);  
 8 – звід печі; 9 – ванна печі; 10 – нижній вольфрамовий електрод; 11 – опорні конструкції  
 плавильного агрегату; 12 – подача води на охолодження

Рисунок 2.1 – Схема експериментальної установки для виплавки висококремністого феросилікомарганцю

Піч обладнана графіторованим електродом діаметром 150 мм. Подина вугільна з зоксованої електродної маси, в яку вмонтований водоохолоджуваний подовий електродом (струмопідведення). Розміри плавильного простору: діаметр ванни 350 мм, глибина ванни 500 мм.

Плавки вели при напрузі від 53,4 В до 62,2 В. Піч розігрівали струмом від 1,5 кА до 2 кА на коксі протягом від 2 годин до 2,5 годин, в перебігу яких кокс прогрівався до температури в межах від 1600 °С до 1650 °С.

Таблиця 2.3 – Хімічний склад сплавів МнС17, МнС25 та ФС65

Марка сплаву	Масова частка елементів, %						
	Si	Mn	Cr	Al	C	S	P
					не більше		
МнС17 згідно ГОСТ 4756-91 [12]	15-20	65	-	-	2,5	0,1	0,02
МнС25 згідно ГОСТ 4756-91 [12]	>25	>60	-	-	0,5	0,05	0,02
ФС65 згідно ГОСТ 1415-93 [28]	63-68	до 0,4	до 0,4	до 2,5	0,1	0,02	0,05

Таблиця 2.4 – Електрична характеристика пічного трансформатора

Ступень напруги	Перемикання обмоток напруги, В			Сила струму, А
	I	II	III	
1	38,0	43,5	48,9	2000
2	39,7	45,4	51,0	2000
3	41,5	47,5	53,4	2000
4	43,6	49,8	56,1	2000
5	45,8	52,4	59,0	2000
6	48,4	55,4	62,2	2000

Процес плавки характеризувався стійким струмовим навантаженням, глибокою посадкою електродів в шихті, рівномірним газовиділенням по всій поверхні колошника. Робота льотки не викликала будь-яких ускладнень. Метал, рідкий, шлак рухливий та добре виходили з печі.

Після виплавки у печі отриманий сплав розливається на стрічковій конвеєрній машині. Втрати металу при розливанні досягають 3%, товарний вигляд одержуваних злитків значно погіршується через обприскування мульд вапняним молоком.

### **2.3 Висновки**

1. Визначено методику дослідження технології виплавки феросилікомарганцю з оксидних та карбонатних марганцевих концентратів, а також незбагаченої марганцевої руди Нікопольського родовища.

2. Запропоновано схему експериментальної установки для виплавки висококремністого феросилікомарганцю, яка складається з великолабораторної однофазної печі потужністю 160 кВА, пічного трансформатора типу ТО-50ВЗ, випрямного агрегату типу ТАБ1-1250/230Т2, електропривода переміщення каретки електродотримача, струмопровідних шин, колони, каретки з електродотримачем, опорних конструкцій плавильного агрегату).



### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗБІЛЬШЕННЯ СТУПЕНЯ ВИЛУЧЕННЯ МАРГАНЦЮ ПРИ ВИПЛАВЦІ ФЕРОСИЛКОМАРГАНЦЮ

#### 3.1 Дослідження впливу вмісту кремнію в металі на витяг марганцю при виплавці феросилікомарганцю

Відомо, що вміст марганцю у відвальному шлаку, що утворюється при виплавці феросилікомарганцю, визначається рівнянням:

$$(MnO) = \sqrt{\frac{[Mn]^2 (SiO_2)}{K_{SiMn} [Si]}} \quad (3.1)$$

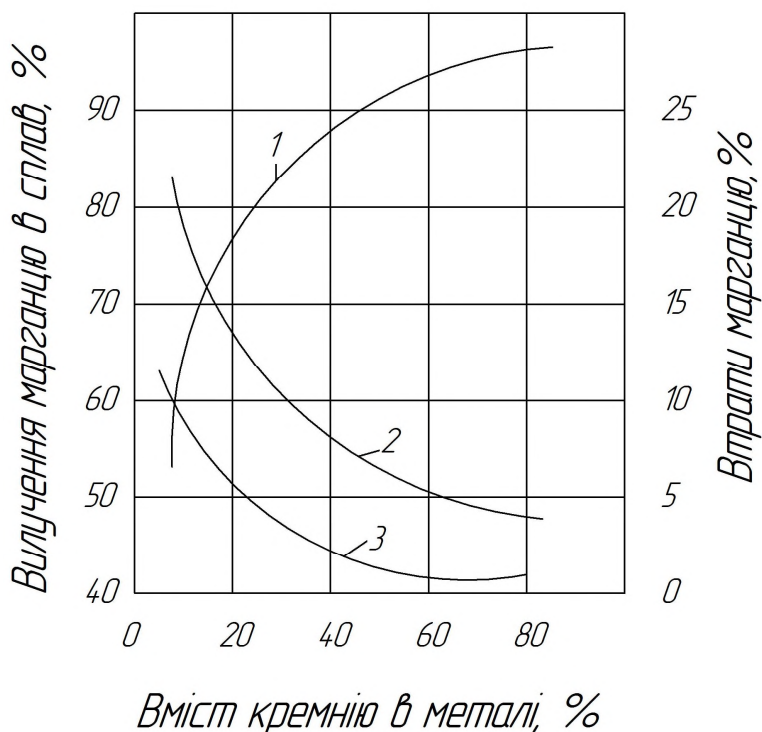
де (MnO), (SiO<sub>2</sub>), [Mn], [Si] - концентрація компонентів відповідно в шлаку і металі, %;

$K_{SiMn}$  - константа рівноваги сілікомарганцю.

З рівняння (3.1) видно, що вміст марганцю у відвальному шлаку залежить від концентрації кремнію в металі. При підвищеному вмісту кремнію в металі знижується вміст марганцю в шлаку, відповідно зменшується і кратність шлаку. Це підтверджується практикою отримання висококремністого феросилікомарганцю з рудовугільних формовок, шломо- і шлаковугільних брикетів, а також існуючою технологією отримання передільного феросилікомарганцю з малофосфорістого передільного шлаку.

Дослідження впливу вмісту кремнію в металі на витяг марганцю при виплавці феросилікомарганцю (рис. 3.1) показали, що зі збільшенням вмісту кремнію в металі (від 5% до 80%) зростає витяг марганцю, зменшуються втрати марганцю з відвальних шлаком і в ульот.

Дослідження оптимального складу висококремністого марганцевого сплаву показують, що сплави з вмістом кремнію до 20% представляють собою звичайний вуглецевий феромарганець і феросилікомарганець, які відповідають чинним стандартам, витяг марганцю при їх отриманні не перевищував 77%.



1 – витяг марганцю в сплав; 2 – загальні втрати марганцю; 3 – втрати марганцю з відвальним шлаком

Рисунок 3.1 – Вплив вмісту кремнію в металі на витяг марганцю в сплав та втрати марганцю

При подальшому підвищенні вмісту кремнію в металі до 26% витяг марганцю зростає до 81%, однак, при такій концентрації кремнію були певні труднощі, пов'язані з випуском з печі шлаку. Шлак був в'язкий, погано виходив з печі, подкіпав навколо електродів.

З підвищенням масової частки кремнію від 26% до 35% технологія стабілізується: поліпшується вихід шлаку, стабілізується електричний режим і робота колошника печі. Метал і шлак вільно виходять з печі. Витяг марганцю зростає до 90%.

Подальше збільшення масової частки кремнію до 45% не викликає особливих технологічних утруднень, але дещо підвищується температура колошника, а у металу з'являється схильність до розтріскування. Витяг марганцю становить від 92% до 94%. При збільшенні вмісту кремнію в металі

більше 45% витяг марганцю підвищується ще від 2% до 3%. Різко зростає енергоємність процесу. Метал при охолодженні розсипається і після зберігання протягом від 5 діб до 6 діб перетворюється в порошок розміром менше 3 мм.

Зіставляючи описані технологічні особливості отримання висококремністих марганцевих сплавів та їх фізичні властивості, можна зробити висновок про доцільність розробки технології виплавки феросилікомарганцю, що містить кремнію від 26% до 35% та марганцю від 55% до 65%, виробництва таких сплавів забезпечить витяг марганцю на рівні від 85% до 90%.

Такий склад висококремністого феросилікомарганцю прийнятний і для сталеплавильного виробництва, так як звичайна суміш феросплавів (вуглецевого феромарганцю, феросиліцію і феросилікомарганцю), призначених для обробки сталі, містить марганцю від 40% до 48%, кремнію від 16% до 21%, заліза від 28% до 34%. Наявність заліза в шихті є небажаним баластом, тому що вимагає додаткових витрат тепла на його плавлення. Витяг 80% Fe зі складу шихти дозволить зменшити масу феросплавів від 24% до 26% і збільшити масову частку легуючих елементів (марганцю в межах від 52% до 62%, кремнію від 26% до 33%).

### **3.2 Виплавка феросилікомарганцю з оксидних та карбонатних концентратів**

Аналізуючи хімічний склад Нікопольських марганцевих руд можна відзначити, що основним компонентом є кварцовий і марганець-кварцовий пісок, який вимивається при збагаченні і віддаляється в шламові відстійники, а вапняно-глинисті домішки становлять незначну частину і не можуть мати істотного впливу на технологію виплавки феросплавів.

Експериментальні дослідження процесу виплавки MnC25 з оксидних і карбонатних концентратів (табл. 3.1) показали, що при використанні в шихті карбонатного марганцевого концентрату витяг марганцю досягає 90%.

Таблиця 3.1 – Основні показники виплавки феросилікомарганцю з оксидних та карбонатних концентратів

Найменування показника	Варіант 1	Варіант 2
Склад шихти, кг:		
Оксидний марганцевий концентрат (волога 16%)	15	-
Карбонатний марганцевий концентрат (волога 8%)	-	15
Кварцит	6	6
Кокс	7,5	6
Вміст у металі, %:		
Марганцю	56,4	56,1
Кремнію	34,5	32,4
Фосфору	0,34	0,37
Вуглецю	0,06	0,08
Вміст у шлаку, %:		
Mn	2,3	4,2
SiO <sub>2</sub>	46,4	40,3
CaO	21,3	33,5
MgO	2,9	5,6
Кратність шлаку	0,48	0,57
Питома витрата електроенергії, кВт·г	7680	7840
Витяг у метал, %		
Марганцю	88,7	90,2
Кремнію	68,3	65,7

### 3.3 Виплавка феросилікомарганцю з незбагачених марганцевих руд Нікопольського родовища

З метою збільшення наскрізного вилучення марганцю була випробувана технологія отримання висококремністого феросилікомарганцю безпосередньо з

незбагачених марганцевих руд Нікопольського родовища. Отриманий сплав містив (табл. 3.2) марганцю 52,5%, кремнію 34,6%, фосфору 0,39%.

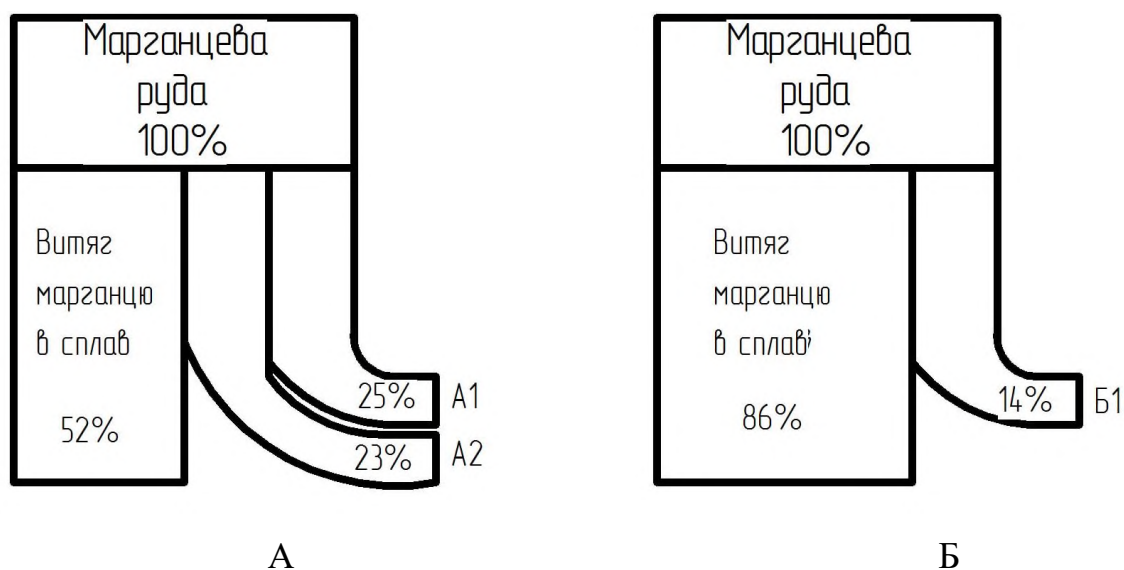
Таблиця 3.2 – Основні показники виплавки висококремністого феросилікомарганцю з незбагаченої марганцевої руди

Найменування показника	Значення
Склад шихти, кг:	
Марганцева руда	24,9
Кокс	7,3
Кратність шлаку	0,48
Вміст у металі, %:	
Марганцю	52,5
Кремнію	34,6
Фосфору	0,39
Вуглецю	0,12
Вміст у шлаку, %:	
Mn	2,8
SiO <sub>2</sub>	44,5
CaO	16,5
MgO	6,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22,4
Кратність шлаку	0,48
Питома витрата електроенергії, кВт·г	8370
Витяг у метал, %:	
Марганцю	86,4
Кремнію	77,6
Фосфору	89,5

Такий варіант виплавки висококремністого феросилікомарганцю також є

досить технологічним, крім того, за рахунок відсутності стадії збагачення марганцевої руди наскрізний витяг марганцю підвищується з 52% (при звичайній технології) до 86%. Дослідження гранулометричного та хімічного складу марганцевої руди по фракціям показують, що незбагачена марганцева руда за своїм фракційним складом цілком відповідає вимогам, що забезпечують газопроникність колошника печі.

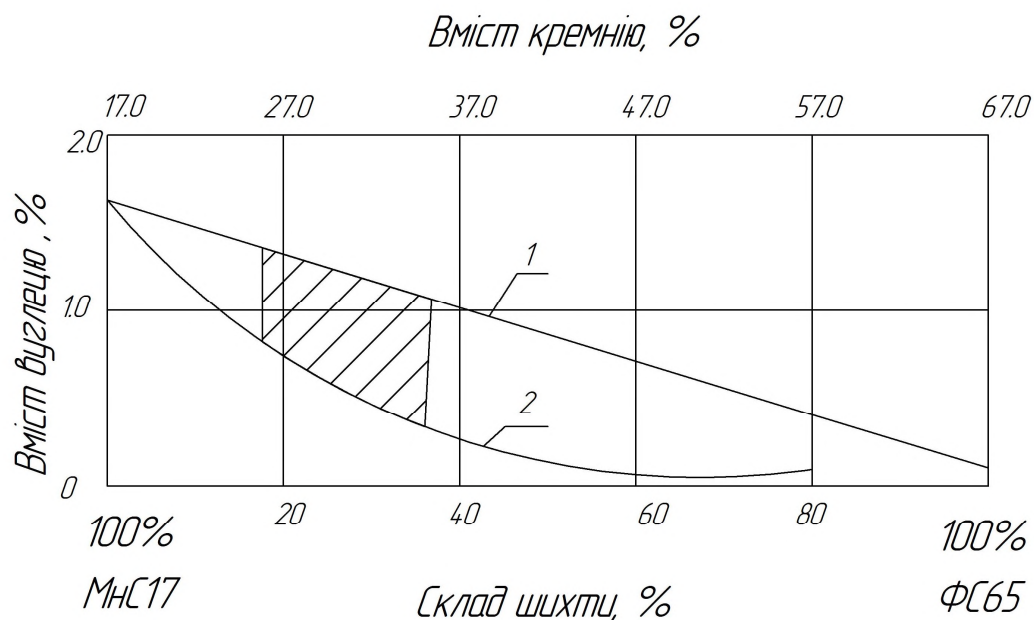
Порівнюючи баланс марганцю при виплавці товарного феросилікомарганцю та феросилікомарганцю, отриманого експериментально, можна відзначити, що незбагачена марганцева руда Нікопольського родовища може бути використана для виплавки висококремністого феросилікомарганцю, при чому наскрізне витяг марганцю зростає з 52% до 86% (рис. 3.2).



A1 – втрати марганцю при збагаченні; A2 – втрати марганцю при виплавці феросплавів; B1 – втрати марганцю при виплавці MnC25

Рисунок 3.2 – Порівняння балансу марганцю при виплавці MnC17 (А) та MnC25 (Б)

Аналіз вмісту домішок в висококремністого феросилікомарганцю показує, що він, при тій же кількості кремнію, містить вуглецю від 5 разів до 7 разів менше, ніж суміш товарного феросилікомарганцю і феросиліцію (рис. 3.3).



1 – в суміші MnC17 та ФС65; 2 – в MnC25

Рисунок 3.3 – Залежність вмісту вуглецю в суміші феросплавів та MnC25 при однаковому вмісті кремнію

Досліджуючи проби металу з різним вмістом в них кремнію, було встановлено, що зі збільшенням вмісту кремнію в металі знижується модуль фосфору в зв'язку з підвищенням вилучення марганцю в метал (рис. 3.4).

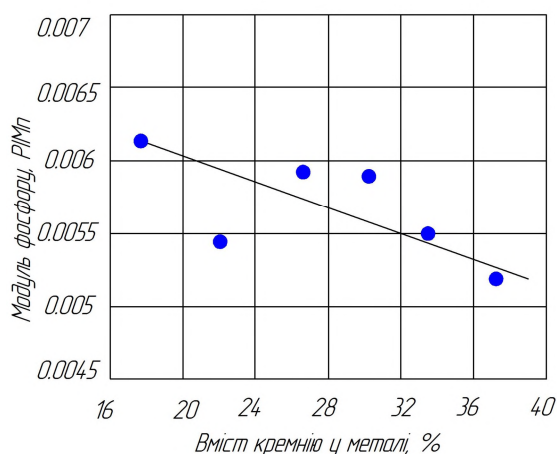


Рисунок 3.4 – Вплив вмісту кремнію в металі на модуль фосфору

При дослідженні вмісту водню в висококремністому

феросилікомарганцю однозначно залежність не була встановлена.

Проте встановлено, що в товарному феросилікомарганцю МнС17 вміст водню знаходиться від 0,012% до 0,032%, а в висококремністому феросилікомарганцю МнС25 від 0,003% до 0,005%, тобто від 4 разів до 6 разів менше.

Таким чином, застосування технології виплавки МнС25 з оксидних і карбонатних концентратів Нікопольського родовища дозволяє збільшити ступінь вилучення марганцю до 89%, а з незбагачених марганцевих руд Нікопольського родовища до 86%.

### **3.4 Висновки**

1. Зіставляючи технологічні особливості отримання висококремністих марганцевих сплавів та їх фізичні властивості запропонована технологія виплавки феросилікомарганцю (містить від 26%Si до 35%Si та від 55%Mn до 65%Mn), що забезпечить витяг марганцю на рівні від 85% до 90%.

2. Розроблено технологію виплавки висококремністого феросилікомарганцю з оксидних (II сорт) і карбонатних концентратів Нікопольського родовища, що дозволяє збільшити ступінь вилучення марганцю до 89%.

3. З метою збільшення наскрізного вилучення марганцю з 52% (звичайна технологія) до 86% була випробувана технологія отримання висококремністого феросилікомарганцю безпосередньо з незбагачених марганцевих руд Нікопольського родовища.

4. Встановлено, що вміст вуглецю в висококремністому феросилікомарганцю від 5 разів до 7 разів нижче, ніж в суміші товарного феросилікомарганцю МнС17 і феросиліцію ФС65 при однаковому вмісті кремнію в суміші та висококремністому феросилікомарганцю.



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1. Аналіз потенційно-небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища в феросплавній лабораторії

Основними потенційно-небезпечними та шкідливими факторами виробничого середовища в феросплавній лабораторії при виплавці товарного феросилікомарганцю в великолабораторній однофазній печі потужністю 160 кВА є:

- шкідливі хімічні речовини;
- запиленість;
- шум;
- вібрація;
- підвищена температура.

При виробництві феросилікомарганцю відбувається виділення колошникового газу, у якому до 80 % оксиду вуглецю (газу без запаху та кольору). Щільність стосовно повітря становить  $0,967 \text{ кг/м}^3$ . Оксид вуглецю належить до найпоширеніших отруйних речовин. Чадний газ відноситься до кров'яних газів. Кров при цьому втрачає здатність переносити необхідну кількість кисню з легенів до тканин, що викликає кисневе голодування організму.

Одним з небезпечних виробничих факторів є пил. Основним джерелом пилоутворення є процеси конденсації при розливі феросилікомарганцевих феросплавів. Концентрація пилу досягає  $29,8 \text{ мг/м}^3$ .

Тривале роздратування пилом слизуватої носу може привести до виникнення хронічної запальної реакції. При вдиханні більших кількостей пилу можуть розвиватися катарти верхніх дихальних шляхів і бронхів. Особливо слід підкреслити, що частки виробничого пилу із вдихуваним повітрям заносяться в альвеоли легенів, де викликають реакцію запального процесу, який залежить як від хімічного складу пилу, так і від кількості пилу, що залишився в

альвеолах. Розвивається картина легеневого фіброзу – пневмокніоз.

У повітря виробничого приміщення виділяється діоксид азоту концентрацією  $1,2 \text{ мг/м}^3$ .

Оксид марганцю - чорний кристалічний порошок є сильною отрутою, що діють на нервову систему людини, концентрація його в повітрі робочої зони  $0,29 \text{ мг/м}^3$ .

Джерелами інтенсивних теплових випромінювань є: розплавлений метал і шлаки, нагріті до високої температури вогнетривка футеровка внутрішнього простору печі й поверхня розплавленого шлаків.

Через високі температури повітря відбувається збідніння організму працюючих водою, що викликає згущення крові, порушення діяльності серцево-судинної системи. Для відновлення порушеного водного балансу в організмі робітників постачають (крім питної води) підсолону.

В лабораторії спостерігається висока температура, досягається до  $35^{\circ}\text{C}$  [29].

При виконанні деяких операцій процесу виплавки марганцевих феросплавів виникає шум механічного, аеродинамічного та термічного походження (рух кранів, завалочних машин, рух газових потоків у печі й газоходах і т.п.), що вимагає забезпечення захисту персоналу. Рівень шуму на деяких робочих місцях досягається до 102 дБА.

Шум викликає зміни в нервовій системі, впливає на психіку людини, серцево-судинну систему, травлення, погіршує сон. Робота в умовах сильного шуму може викликати головний біль, запаморочення, ослаблення уваги. Тривалість впливу надмірного шуму супроводжується стійкими поразками й порушеннями функцій слухових органів. Шум є причиною швидкого розвитку стомлення й зниження працездатності. Шум може бути причиною нещасного випадку.

В умовах лабораторії шкідливим фактором також є вібрація. Джерелом вібрації є дробарки, гуркіт, феросплавні печі. Рівень вібрації досягає 97 дБ.

Вплив вібрації викликає спазми судів, які розвиваються з кінцевих

фаланг пальців, поширюються на всю кисть, передпліччя, охоплюють судини серця. Вібрація впливає на нервову систему, шлунково-кишковий тракт, м'язи, кістково-суглобний апарат, зір, слух. Тривалий вплив вібрації може привести до важко виліковної вібраційної хвороби [30].

У таблиці 4.1 наведена оцінка факторів виробничого та трудового процесу для плавильника біля великолабораторної однофазної печі.

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу в феросплавній лабораторії біля великолабораторної однофазної печі потужністю 160 кВА

Фактори виробничого середовища й виробничого процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас - шкідливі умови та небезпечний характер роботи			Тривалість дії фактора, % за зміну
			I	II	III	
Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> 1 клас безпеки: - марганець оксиди	0,05	0,29			5,8 p	50
3-4 клас безпеки: - азот диоксид - вуглецю оксид	2,00 20,00	1,2 7,5				50
Пил переважно фиброгенної дії, мг/м <sup>3</sup> ; пил марганцевмісний	4,00	29,8			7,4 p	50
Шум, дБА	80	102			22	
Вібрація, дБ	92	97		5		
Мікроклімат: - температура повітря, °С - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % - інфрачервоне випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	17-26 0,2-0,5 < 75 140	35 <0,3 39 834			9 694	50
Кількість факторів				2	4	

Таким чином, умови роботи в феросплавній лабораторії біля

великолабораторної однофазної печі потужністю 160 кВА є важкими: II клас – 2 фактора, III клас – 4 фактора.

#### **4.2 Заходи з поліпшення умов праці у феросплавній лабораторії**

Для поліпшення умов праці в лабораторії та захисту від теплового впливу можна застосовують механічну вентиляцію, яку встановлюють над піччю.

Для видалення надлишків тепла використовують аерацію. Для аерації влаштовують отвори в поздовжніх стінах будинку: нижній ряд (для припливу повітря в теплий період року) – на рівні не більш 1,8 м; верхній ряд (для припливу повітря взимку та влітку) – на рівні не менш 4 м. На дахи будинку встановлюють аераційний ліхтар.

В лабораторії використовується природне та штучне освітлення. Особливо важливе на робочих місцях природне освітлення, тому що денне світло по гігієнічних якостях значно вище штучного. Освітленість може бути недостатня через сильне забруднення скла. Тому скляні поверхні світлових прорізів слід чистити регулярно за графіком – не рідше чотирьох раз у рік, тому що на ділянці є значні виділення пилу, диму, кіптяви.

Роботи в лабораторії з виплавки феросилікомарганцю відносяться до VIII розряду зорової роботи, до підрозряду А. Нормативна освітленість дорівнює 200 лк.

Для штучного освітлення застосовують лампи розжарювання й лампи ДРЛ (дросельно-ртутні). Лампи ДРЛ-400 застосовуються для загального освітлення пічного прольоту. Місцеве освітлення інших виробничих приміщень виконується лампами розжарювання.

Висота підвісу світильників над рівнем підлоги (майданчика) з урахуванням забезпечення електробезпечності та обмеження осліплення ухвалюється не менш 4 м при лампах потужністю до 200 Вт і менше, від 3 м до 6 м – при лампах потужністю більше 200 Вт. Світильники місцевого

освітлення найкраще розташовувати на висоті не вище 1 м від робочої поверхні.

Для забезпечення електробезпечності в місцях з підвищеною вологістю застосовуються світильники переносного освітлення з напругою 12 В.

В феросплавній лабораторії з виплавки малофосфористого шлаку та металевому марганцю є перевищення шуму, тому необхідно прибгати до захисту органів слуху від шуму. Шум впливає на слуховий апарат і на нервову систему людини, викликаючи слухове стомлення, а при тривалому впливі – приглухуватість або повній глухоті, тому в якості індивідуальних засобів захисту виробничого шуму працюючі повинні застосовувати антифони, навушники або беруши-вкладиши.

В умовах лабораторії шкідливим фактором також є вібрація. Для ослаблення вібрації всі агрегати, що створюють вібрації встановлені на самостійних фундаментах, віброізолюваних від підлоги й інших конструкцій будинків. Зменшення інтенсивності вібрації деталей агрегати здійснюється шляхом облицювання цих поверхонь або заповненням спеціально передбачених повітряних порожнин у них матеріалами, що демпфірують.

На робочих місцях, де є перевищення концентрації пилу, газів застосовують індивідуальні засоби захисту органів подиху: протипилові респіратори ШБ-1 “ПЕЛЮСТКА”.

Багато операцій сполучені з небезпекою механічного ушкодження або хімічної поразки ока. Для запобігання очних травм застосовують окуляри, щитки, маски, екрани.

Заходами захисту від теплових випромінювань є місцева приточна вентиляція (повітряне душировання).

Для зменшення випромінювання навколо колошника встановлюють металеві щити, що охолоджуються водою, або штори, що обертаються навколо вертикальної осі або шихти, що нахиляються на час завантаження. Крім того, на колошниковий майданчик за допомогою потужних вентиляторів типу “Сирокко” нагнітається очищене від пилу охолоджене повітря. Навколо печі в

зоні роботи плавильників улаштовують кілька виводів обдувної вентиляції [31]-[33].

### **4.3 Електробезпека**

По мірі небезпеки поразки людей електричним струмом феросплавна лабораторія відноситься до категорії - особливо небезпечні приміщення, оскільки в ній використовується багато електроустаткування; виробничі приміщення характеризуються підвищеною температурою повітря, значним вмістом в ній провідного пилу; підлоги володіють струмопровідними властивостями; є постійна небезпека одночасного зіткнення людини з металоконструкціями і частинами електроустановок.

Для живлення виробничого устаткування в лабораторії застосовують чотирихпроводну мережу трифазного струму із глухозаземленою нейтраллю напругою 380/220 В.

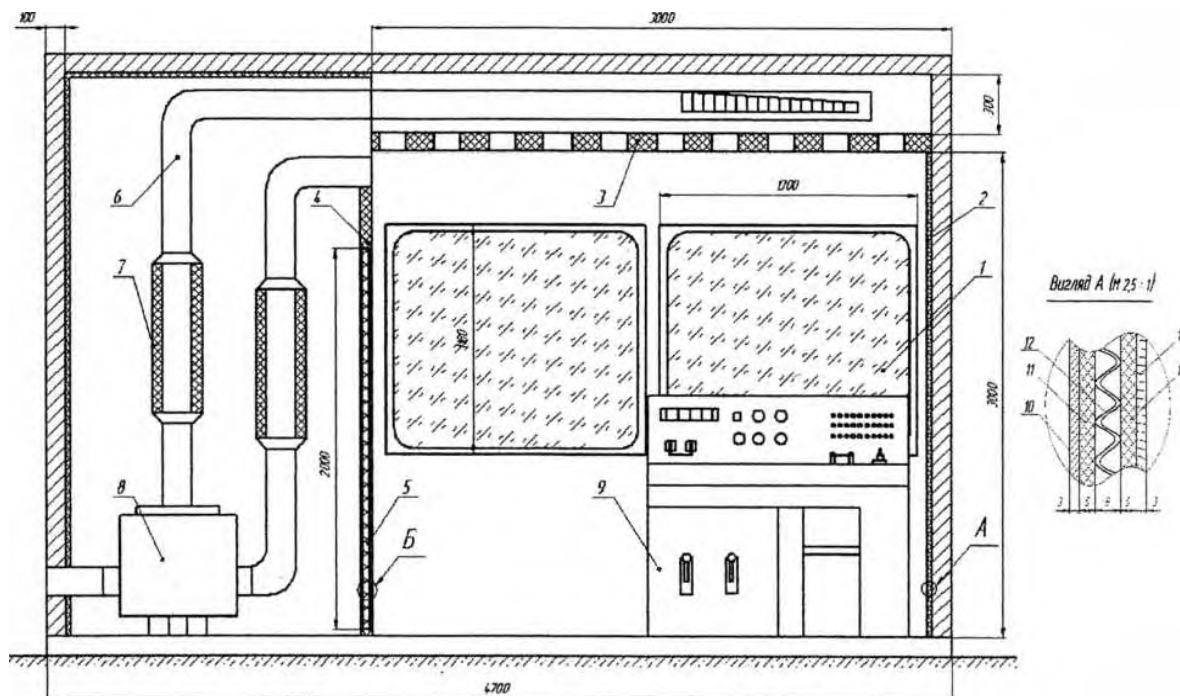
Особливо важливе значення в лабораторії має захист від переходу напруги на металеві неструмоведучі частини. Для захисту робітників від поразки електричним струмом всі неструмоведучі частини електроустаткування в цеху обладнані захисним заземленням в мережах напругою до 1000 В змінного струму - трифазні трипровідні з ізольованою нейтраллю. До системи захисного заземлення підключають також всю освітлювальну арматуру, металеві коробки перемикачів, кожухи розподільних щитів та ін. [34].

### **4.4 Розрахунок звукоізолюваної kabіни посту управління**

Пристрій звукоізолюючих kabін (рис. 4.1) є ефективним і найбільш поширеним засобом захисту виробничого персоналу від шуму. Kabіна встановлюється на віброізоляторах ОВ-31.

З метою забезпечення оптимальних умов в kabіні встановлюється

кондиціонер. Стіни звукоізолюючого посту управління мають таку будову: алюмінієвий лист ( $\delta = 3$  мм), суха штукатурка ( $\delta = 5$  мм), листи азбошиферу ( $\delta = 8$  мм), плита ДВП ( $\delta = 3$  мм). Дах кабіни виконуємо із ДСП ( $\delta = 18$  мм). Вибираємо вікно з подвійним склінням завтовшки 3 мм та повітряним проміжком 30 мм. Стекла по контуру ущільнені гумою. Проведемо розрахунок звукоізолюючої кабіни для досягнення санітарних норм по рівню шуму.



- 1 – подвійне скління; 2 – звукозахисне облицювання;  
 3 – звукопоглинаючий підвісний дах; 4 – перегородка;  
 5 – звукоізолюючі двері; 6 – повітряпровод припливної вентиляції; 7 – глушники шуму; 8 – кондиціонер; 9 – пульт управління; 10 – алюмінієвий лист; 11 – суха штукатурка; 12 – листи азбошиферу; 13 – плита ДВП

Рисунок 4.1 – Схема звукоізолюючої кабіни пульту управління піччю типу РПЗ-16

Необхідне зниження шуму в кабіні визначимо за формулою [30]:

$$R_{\text{зн.ш.}} = L_{\text{ш}} - L_{\text{доп}}, \quad (4.1)$$

де  $L_{ш}$  – актавний рівень звукового тиску на робочому місці де планується місце установки кабіни, дБА;

$L_{доп}$  – допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях, дБА.

$$K_{зн.ш.} = 96 - 80 = 16 \text{ дБА.}$$

Необхідна звукоізолююча здатність захищаючих конструкцій, вікон і дверей звукоізолюючої кабіни [37]:

$$K_{н.і.} = L_{ср} - 10 \lg V_i + 10 \lg S_i - L_{доп} + 10 \lg (n), \quad (4.2)$$

де  $L_{ср}$  – середній актавний рівень звукового тиску в галасливому приміщенні, дБА;

$V_i$  – відповідно постійні галасливе і ізолюване приміщення в даній актавній смузі частот,  $m^2$ ;

$S_i$  – площа даної огорожі або його елемента, через яку шум проникає в ізолюване приміщення,  $m^2$ ;

$n$  – загальна кількість окремих елементів даних огорож, шт.

Постійну приміщення  $V_i$  визначають множенням постійною приміщення на середньометричні частоти 1000 Гц на частотний множник ( $V_i = V_{1000} \mu$ ) [37]. Постійна приміщення  $V_{1000}$  визначається по графіку [30]. Об'єм кабіни дорівнює  $V = 3,7 \cdot 3,0 \cdot 3,0 = 33,3 \text{ м}^3$ , тоді  $V_{1000} = 2,5 \text{ м}^2$  і  $\mu = 1$ . Отже,  $V_i = 2,5$ . Кількість вікон  $n = 2$ , розміром 1300 мм x 1180 мм, тоді

$$S_{вікна} = 1,30 \cdot 1,18 = 1,534 \text{ м}^2.$$

Необхідна звукоізолююча здатність вікон кабіни:

$$R_{н.і.(вікон)} = 96 - 10 \lg 2,5 + 10 \lg 1,534 - 80 + 10 \lg (2) = 17 \text{ дБА.}$$



Вибираємо двері із стандартного дверного полотна завтовшки 40 мм.

Кількість дверей  $n = 1$ , розміром 2000 мм x 1050 мм, тоді:

$$S_{\text{двері}} = 2,00 \cdot 1,05 = 2,10 \text{ м}^2.$$

Необхідна звукоізолююча здатність дверей кабіни:

$$R_{\text{н.і. (двері)}} = 96 - 10 \lg 2,5 + 10 \lg 2,1 - 80 = 15 \text{ дБА.}$$

Звукоізолююча здатність кабіни визначимо за формулою:

$$R_{\text{н.і. (кабіни)}} = R_{\text{ср}} + 10 \lg B_i - 10 \lg \sum S_i, \quad (4.3)$$

де  $S_i$  – площа кожного елементу огорожі, м;

$R_{\text{ср}}$  – середня звукоізоляція всіх огорож кабіни [30]:

$$R_{\text{ср}} = 10 \lg \frac{S_{\text{заг}}}{\sum (S_i \cdot 10^{-0,1R_i})}. \quad (4.4)$$

де  $S_{\text{заг}}$  – загальна площа окремих елементів звукоізолюючої конструкції, м<sup>2</sup>.

$$R_{\text{ср}} = 10 \lg \frac{1,534 \cdot 2 + 2,1}{1,534 \cdot 10^{-0,1 \cdot 17} + 2,1 \cdot 10^{-0,1 \cdot 15}} = 17 \text{ дБА.}$$

Тоді, необхідна звукоізолююча здатність кабіни:

$$R_{\text{н.і. (кабіни)}} = 17 - 10 \lg 2,5 + 10 \lg (1,534 \cdot 2 + 2,1) = 20 \text{ дБА.}$$

Оскільки  $R_{\text{н.і. (кабіни)}} > K_{\text{зн.ш.}}$ , то означає що запропонована звукоізолююча кабіна забезпечить захист від підвищеного рівня шуму на пульті

управління піччю.

#### 4.5 Пожежна безпека

Феросплавні цехи по категорії пожежної небезпеки належить до категорії “Г”. До категорії “Г” ставляться виробництва, пов'язані із застосуванням: негорючих речовин у гарячій, розпеченій або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор і полум'я; твердих, супроводжується виділенням променистого рідких або газоподібних речовин, які спалюються в якості палива.

Пожежна безпека цеху визначається наступними основними факторами.

1. Наявністю кабельного господарства. Короткі мережі (що підводять струм від низької сторони трансформатора до головки електротримача) по економічних і електротехнічних міркуваннях робляться мінімальної довжини, у зв'язку із чим трансформатори розташовуються поблизу печей. При цьому гнучкі стрічки або кабелі струмопроводу слід розташовувати по можливості осторонь від прямої дії теплового випромінювання від колошника.

Бажане, крім того, захистити їх азбестовими щитами, ще краще застосовувати водоохолоджуючі струмопроводи.

Найнебезпечнішими місцями струмопідведення є контакти. При недбалому пристрої контактів або поганому нагляді за їхнім станом виникають більші перехідні опори, що може викликати пожежа. Тому контактні з'єднання, де тільки можливо, слід виконувати за допомогою зварювання.

2. Наявністю пічних трансформаторів і трансформаторно-масляних господарств. Пічні трансформатори містять велика кількість масла (в одному трансформаторі його може бути до 50 т) і являють собою велику пожежну небезпеку. Для скорочення довжини короткої мережі їх ставлять поблизу печей. Небезпека збільшується тим, що трансформація струму найчастіше здійснюється групами, що полягають із трьох однофазних трансформаторів

кожна.

Перегрів і запалення масла в трансформаторах можуть виникнути при міжвиткових коротких замиканнях, при виникненні більших перехідних опорів у місцях з'єднань у трансформаторі, перегріві магнітопроводу, внутрішніх або зовнішніх розрядах з утвором електричної дуги в маслі.

Камери необхідно виконувати з не спалених матеріалів з межею вогнестійкості не менш 0,5 год.; покриття камери повинне мати таку же межу вогнестійкості. Неприпустимо, щоб плити покриття камер спочивали на металевих, не захищених від вогню балках. На діючих підприємствах такі балки слід захищати цементною штукатуркою. Ворота трансформаторних камер повинні мати межу вогнестійкості не менш 0,5 год.

Горючі речовини, що входять до складу екзотермічних сумішей, повинні зберігатися роздільно з дотриманням тих вимог, які пред'являються до зберігання кожної речовини окремо.

Зберігання й транспортування алюмінієвого, алюмомагнієвого, магнієвого, алюмобарієвого та інших легкозаймаючихся порошків допускаються тільки в закритій герметичній тарі, що виключає влучення в порошок вологи, іскор. Забороняється транспортування таких порошків разом із селітрою, кислотами, лугами, горючими матеріалами.

У феросплавному цеху передбачена установка пожежної сигналізації, яка призначена для автоматичного виявлення і видачі сигналів про пожежу, включення апаратури аварійної сигналізації, формування управлінських сигналів для системи сповіщення про пожежу, відключення вентиляції технологічних блокувань.

Для гасіння пожежі передбачено два пожежні щити (ПЩ), два вуглекислотні ОУ-80, два повітряно-пінні ОВП-10, чотири порошкові вогнегасники ОПС-10.

Для ліквідації пожежі в самий момент його виникнення на ряді з вогнегасниками використовують такі засоби як пісок, цебра з водою, гідропульпи [34].

У будівлі феросплавного цеху забезпечують можливість швидкої безпечної евакуації людей в разі виникнення пожежі. Евакуаційні виходи ведуть з приміщень першого поверху назовні, з приміщень останніх поверхів на сходову клітку, що має вихід назовні. Пожежна безпека об'єктів будівництва повинна відповідати вимогам ДБН В.1.1.7-2016 [35].

#### **4.6 Висновки**

1. Умови роботи в феросплавній лабораторії є важкими: II клас – 2 фактора, III клас – 4 фактора.

2. Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників феросплавної лабораторії показав, що в лабораторії є небезпека поразки людей електричним струмом; виробничі приміщення характеризуються підвищеною температурою повітря, значним вмістом в ній провідного пилу; підлоги володіють струмопровідними властивостями; є постійна небезпека одночасного зіткнення людини з металоконструкціями і частинами електроустановок. Запропоновано для захисту виробничого персоналу від шуму пристрій звукоізолюючої кабіни пульту управління піччю типу РПЗ-16.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасного стану феросплавної промисловості України показує, що в даний час накопичилися величезні запаси відвальних шлаків від виробництва марганцевих феросплавів, що містять від 13%Mn до 35%Mn, тому на сьогоднішній день є доцільною розробка технологічних заходів по залученню шлаків в процес виробництва марганцевих феросплавів в якості шихтового матеріалу.

2. Зіставляючи технологічні особливості отримання висококремністих марганцевих сплавів та їх фізичні властивості запропонована технологія виплавки феросилікомарганцю (містить від 26%Si до 35%Si та від 55%Mn до 65%Mn), що забезпечить витяг марганцю на рівні від 85% до 90%.

3. Розроблено технологію виплавки висококремністого феросилікомарганцю з оксидних (II сорт) і карбонатних концентратів Нікопольського родовища, що дозволяє збільшити ступінь вилучення марганцю до 89%.

4. З метою збільшення наскрізного вилучення марганцю з 52% (звичайна технологія) до 86% була випробувана технологія отримання висококремністого феросилікомарганцю безпосередньо з незбагачених марганцевих руд Нікопольського родовища.

5. Встановлено, що вміст вуглецю в висококремністому феросилікомарганцю від 5 разів до 7 разів нижче, ніж в суміші товарного феросилікомарганцю MnC17 і феросиліцію ФС65 при однаковому вмісті кремнію в суміші та висококремністому феросилікомарганцю.

6. Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників феросплавної лабораторії показав, що в лабораторії є небезпека поразки людей електричним струмом; виробничі приміщення характеризуються підвищеною температурою повітря, значним вмістом в ній провідного пилу; підлоги володіють струмопровідними властивостями; є постійна небезпека одночасного зіткнення людини з металоконструкціями і частинами електроустановок. Запропоновано

для захисту виробничого персоналу від шуму пристрій звукоізолюючої кабіни пульту управління піччю типу РПЗ-16.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Полещук П. Н., Шестаковский О. Ф., Лысенко Г. В., Борисов Э. П. Состояние ферросплавного производства в Украине и перспективы его развития. *Сталь*. 2003. №7. С.38 – 41.
2. Гасик М. И., Лякишев Н. П., Емлин Б. И. Теория и технология производства ферросплавов. Москва : Металлургия, 1988. 784с.
3. Садовский Н. Г., Гасик М. И. Исследование технологии выплавки металлического марганца при использовании бесфосфористого шлака с пониженным содержанием кремнезема. *Металлургия марганца*: Второе Всесоюзное совещание. Тбилиси : Мецниереба, 1977. С.140–141.
4. Рой С. Месторождения марганца; пер. с англ. Москва : Мир, 1986. 520с
5. Гасик М. И., Ганцеровский О. Г., Овчарук А. Н., Рогачев И. П. Ферросплавы Украины – 2000. Днепропетровск : Системные технологии, 2001. 143с.
6. Гасик М. И., Лякишев Н. П. Теория и технология электрометаллургии ферросплавов : учебн. для вузов. СП Интермет Инжиниринг, 1999. 764с.
7. *Металлургия марганца Украины* / Б. Ф. Величко, В. А. Гаврилов, М. И. Гасик и др. Київ : Техніка, 1996. 472 с.
8. Гасик М. И., Гаврилов В. А. Сера в структуре передельного малофосфористого шлака. *Металлургия и коксохимия*. Київ : Техника, 1980. №69. С.57– 60.
9. Гасик М. И. Электротермия марганца. Київ : Техника, 1979. 196с.
10. Леонтьев Л. И., Смирнов Л. А., Жучков В. И., Дашевский В. Я. Производство стали и ферросплавов в мире. *Электрометаллургия*, 2008. №2. С. 2–9.
11. Курапин И. Н., Курапина М. Н. Рудно-термические электропечи. Новосибирск : Новосиб. гос. техн. ун-т, 1994. 173 с.

12. ДСТУ 3548-97. Ферросиликомарганець. Загальні технічні умови ; введён в действие с 01.07.1998 г. Київ, 1997.
13. Рысс М. А. Производство ферросплавов. Москва : Металлургия, 1975. 336с.
14. Особенности совместного восстановления марганца и кремния из марганецрудоугольных формовок и брикетов / Н. М. Москалева, Т. Ф. Райченко, А. А. Чайченко и др. *Металлургия марганца* : Тезисы докладов II Всесоюзного совещания. Тбилиси, 1977. С.107–110.
15. Гладких В. А., Гасик М. И., Лысенко В. Ф., Матюшенко В. И. Разработка замкнутых технологических схем извлечения марганца из отвального шлака силикомарганца. *Металлургия марганца* : Тезисы докладов II Всесоюзного совещания. Тбилиси, 1977. С.151–153.
16. Выплавка силикомарганца с получением глиноземистых конечных шлаков / Т. Г. Габдулин, С. О. Байсанов, Т. Д. Такенов и др. *Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов*. Тбилиси : Сабчота сакартвело, 1983. С.326–330.
17. Емлин Б. И., Гасик М. И. Справочник по электротермическим процессам. Москва : Металлургия, 1978. 228с.
18. Хитрик С. И., Гасик М. И., Кучер А. Г. Электрометаллургия марганцевых ферросплавов. Київ : Техника, 1971. 188с.
19. ГОСТ 22772.2-96. Руды марганцевые, концентраты и агломераты. Методы определения марганца общего ; принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 12.04.1996 г. и введён в действие с 01.01. 1999 г. Минск : ИПК Издательство стандартов, 1998. 8с.
20. Ткач Г. Д., Кучер А. Г., Гасик М. И. Влияние добавки окислов щелочных металлов на кинетику восстановления марганца и кремния при выплавке ферросиликомарганца. *Технический прогресс электрометаллургии марганцевых и кремнистых ферросплавов* : Тезисы конференции. Днепропетровск : ДМетИ, 1975. С.12.
21. Выплавка ферросиликомарганца в печи РКЗ-16,5 с использованием



в шихте пегматита / М. И. Гасик, А. Г. Кучер, Г. Д. Ткач и др. *Технический прогресс электрометаллургии марганцевых и кремнистых ферросплавов*: Тезисы конференции. Днепропетровск : ДМетИ, 1975. С.18.

22. Влияние щелочных флюсов на показатели плавки силикомарганца в печах большой мощности / М. А. Рунов, Г. С. Андрюхин, Ю. М. Богуцкий и др. *Технический прогресс электрометаллургии марганцевых и кремнистых ферросплавов* : Тезисы конференции. Днепропетровск : ДМетИ, 1975. С.27–28.

23. Цкитишвили А. А. К вопросу переработки низкосортных марганцевых концентратов Чиатурского месторождения на Зестафонском заводе ферросплавов. *Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов*. Тбилиси, 1978. С.16–25.

24. Влияние особенностей подготовки шихты на совместное восстановление окислов марганца и кремния /А. К. Ашин, В. В. Мураховский, С. Т. Ростовцев С.Т. и др. *Металлургия марганца* : Тезисы докладов Всесоюзного совещания (г. Москва, 17 – 19 февраля 1975 г). Москва : АН СССР, институт им. Байкова А. А., 1975. С. 14 – 15.

25. Лысенко В. Ф., Гладких В. А., Гасик М. И., Погорелый В. И. Технология получения и качество высококремнистого ферросиликомарганца. *Совершенствование технологии производства марганцевых сплавов*. Тбилиси, 1978. С. 173– 178.

26. Дуррер Р., Фолькер Г. *Металлургия ферросплавов* ; 2-е изд. Москва : *Металлургия*, 1976. 506с.

27. Поволоцкий Д. Я. *Раскисление стали*. Москва : *Металлургия*, 1972. 208с.

28. ГОСТ 1415-93. Межгосударственный стандарт. Ферросилиций. Технические требования и условия поставки; принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации от 08.12.2004 г. №16 и введён в действие с 19.10.1993 г. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1996, ИПК Издательство стандартов, 2005. 8 с.

29. Бринза В. Н., Зинковський М. М. *Охрана труда в черной*

металлургии. Москва : Металлургия, 1982. 335 с.

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

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

32. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение ; утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7.11.2016 г. N 777/пр и введен в действие с 8.05.2017 г. Москва : Минстрой России, 2016. 106 с.

33. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ; прийнятий з 01.12.1999 р. №42. Київ, 12 с.

34. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках: учеб. пособие для вузов. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 448 с.

35. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ; затверджено та наказом Мінрегіоном України від 31.10.2016 р №237 та введений в дію з 01.06.2017 р. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35с.