

Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

(назва факультету)

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

(повна назва кафедри)

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

рівень вищої освіти другий магістерський рівень

(другий (магістерський) рівень)

на тему Удосконалення способів підготовки возврату в агломераційному виробництві

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1362-мчм

Пантелеєв О.О.

(ПІБ)

  
(підпис)

спеціальності

136 Металургія

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма

Металургія чорних металів

(шифр і назва)

Керівник Куріс Ю.В.

(прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Рецензент Белоконь Ю.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

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

Кафедра металургійних технологій, екології та техногенної безпеки

Рівень вищої освіти другий магістерський рівень  
другий (магістерський) рівень

Спеціальність 136 металургія  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма металургія чорних металів  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри МТЕТБ  
Ю.О. Белоконь

“ 07 ” 05 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТУ

Пантелеєв Олексій Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення способів підготовки возврату в агломераційному виробництві

керівник роботи (проекту) Куріс Юрій Володимирович д.т.н, професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від “09” 10 2023 року № 1580-с

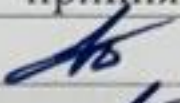



2. Строк подання студентом роботи (проекта) 01.12.2023

3. Вихідні дані до роботи (проекта) Вдосконалення агломераційного виробництва

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

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
 Креслення, презентаційний матеріал 13 слайдах (на 13 сторінках)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

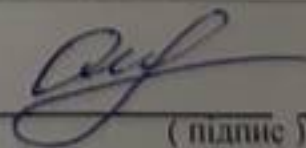
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата завдання прийняв
Розділ 1 назва розділу	Куріс Ю.В., професор	
Розділ 2 назва розділу	Куріс Ю.В., професор	
Розділ 3 назва розділу	Куріс Ю.В., професор	
Розділ 4 назва розділу	Куріс Ю.В., професор	
Нормоконтроль	Белоконь Ю.О. завідувач кафедри	

7. Дата видачі завдання 07.05.2023

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вступ	30.11.2023	
2	Реферат	30.11.2023	
3	Розділ 1	30.06.2023	
4	Розділ 2	19.11.2023	
4	Розділ 3	26.11.2023	
5	Розділ 4	30.11.2023	
6	Висновки	30.11.2023	

Студент

  
(підпис)

**О. О. Пантелєєв**

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

  
(підпис)

**Ю.В. Куріс**

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Мета і задачі роботи.** Теоретичні та експериментальні дослідження процесу спікання і якості агломерату, отриманого з агломераційної шихти з добавками каліброваного і гранульованого повернення, з метою підвищення ефективності агломераційного виробництва за рахунок вдосконалення способів підготовки повернення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити об'єктивні показники для порівняння якості агломерату і продуктивності аглофабрик, що працюють з різними схемами обробки спека;
- дослідити вплив частинок повернення різних фракцій на ступінь огрудкування тонко дисперсного залізородного концентрату;
- дослідити вплив частки каліброваного повернення (фракції 3-5 мм) на показники агломераційного процесу і якість агломерату;
- дослідити міцність гранул на основі агломераційного повернення і визначити оптимальний склад шихти для отримання гранул з дрібного повернення (фракції 0-3 мм), вапняного пилу і залізовмісних шламів металургійного виробництва;
- дослідити вплив добавок гранул агломераційного повернення, отриманих різними способами, на показники процесу спікання і якість агломерату з метою розробки ефективного способу гранулювання відсіву агломерату;
- розробити спосіб агломерації залізородних матеріалів, що забезпечує підвищення продуктивності агломераційного процесу без погіршення якості агломерату, що дозволяє регулювати газопроникність агломераційного шару введенням в нього гранульованого повернення.

АГЛОМЕРАЦІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС,  
ПОДВІЙНЕ ПРЕСУВАННЯ ТА СПІКАННЯ, ВТУКЛА.

## ABSTRACT

sources Purpose - Development of the technological process of manufacturing structural parts for work in difficult conditions.

In the diploma project the material and the scheme of technological process on which there is a manufacturing of plugs are analyzed and chosen. Also the relevance of the product. Based on these data, the material balance is calculated and compiled for the task and the amount of equipment required for production is selected and calculated.

It is established that the best material for the manufacture of bushings, which has undergone double pressing and sintering.

POWDER MATERIALS, TECHNOLOGICAL PROCESS, DOUBLE PRESSING AND SINKING, FLOWED.

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	8
ВСТУП.....	9
1 СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ВПЛИВ РЕЖИМУ ПОВЕРНЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ АГЛОПРОЦЕСУ І ЯКОСТІ АГЛОМЕРАТУ.....	13
1.1 Показники якості агломерату та їх взаємозв'язок з продуктивністю аглопроцесу.....	13
1.2 Вплив добавок повернення в аглошихту на показники аглопроцесу і якість агломерату.....	20
1.3 Сучасні способи підготовки агломераційного повернення перед спіканням.....	30
1.4 Висновки.....	33
2 УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ ПІДГОТОВКИ ВОЗВРАТУ В АГЛОМЕРАЦІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	36
2.1 Дослідження показників агломераційного процесу в залежності від режиму повернення.....	36
2.2 Дослідження впливу добавок повернення на якість огрудкування залізорудного концентрату.....	40
2.3 Визначення оптимальної вологості шихти при огрудкуванні залізорудного концентрату з каліброваним поверненням.....	43
2.4 Дослідження впливу добавок каліброваного повернення на показники агломераційного процесу.....	46
2.5 Дослідження впливу добавок гранульованого різними способами повернення на показники агломераційного процесу.....	55
2.6 Розробка способу гранулювання відсіву агломерату.....	59
2.7 Висновки.....	64

3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	66
3.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища при проведенні досліджень в лабораторії.....	66
3.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища лабораторії.....	68
3.3 Електробезпека.....	70
3.4 Пожежна та техногенна безпека.....	72
3.5 Розрахунок захисного заземлення.....	74
3.6 Висновки.....	77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	78
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	80

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

$M_B$  - маса повернення, кг/т агломерату;

$M_{III}$  - маса сирової агломераційної шихти, кг/т агломерату;

$\varphi$  - вміст повернення в шихті, д. од.;

$\beta_{+5}$  - вихід агломерату фр.+5 мм з аглоспека на аглофабриці,%;

$\beta$  - вихід придатного агломерату з аглоспека, %;

$h$  - висота шару аглоспека, мм;

$H$  - висота шару шихти, мм;

$v$  - вертикальна швидкість спікання, мм/хв;

$\gamma$  - об'ємна вага агломерату в пирогу, т/м<sup>3</sup>;

$\varphi$  - вміст повернення в агломераційній шихті, %;

$a$  - відношення виходу повернення з аглоспека і шихти;

$k$  - вихід придатного агломерату з шихти, %;

$C$  - ступінь огрудкування;

$d_{cm}$  - еквівалентний діаметр частинок огрудкованої шихти;

$m_{<0,4}^{>1,6}$  - маса класу менше 0,4 мм у фракції огрудкованої шихти більше

1,6 мм, кг;

$m_{<0,4}^{SUM}$  - маса класу менше 0,4 мм у всій шихті, кг;

КП – каліброване повернення;

БС – базове спікання.



## ВСТУП

*Актуальність теми.* Підготовка залізорудної сировини є одним з основних факторів, що визначають можливість інтенсифікації виробництва чавуну. Використання великої кількості подрібненої сировини і відходів, що містять дрібні частинки з низькими аутогезійними властивостями, викликає незадовільне грудкування агломераційної шихти, що супроводжується зниженням її газопроникності, падінням продуктивності аглопроцесу і якості агломерату.

Підвищити ефективність спікання агломерату дозволяє введення в аглошихту частинок, які є центрами огрудкування, зокрема агломераційного повернення, який неминуче утворюється при виробництві агломерату, а його кількість характеризує міцність аглоспека і вихід придатного агломерату.

Однак, до теперішнього часу існує проблема утилізації дрібних фракцій повернення, які практично не беруть участь в огрудкуванні, яка вимагає розробки способів їх перетворення в центри огрудкування агломераційної шихти з метою підвищення продуктивності процесу спікання агломерату і поліпшення його якості.

*Мета і задачі роботи.* Теоретичні та експериментальні дослідження процесу спікання і якості агломерату, отриманого з агломераційної шихти з добавками каліброваного і гранульованого повернення, з метою підвищення ефективності агломераційного виробництва за рахунок вдосконалення способів підготовки повернення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити об'єктивні показники для порівняння якості агломерату і продуктивності аглофабрик, що працюють з різними схемами обробки спека;
- дослідити вплив частинок повернення різних фракцій на ступінь огрудкування тонко дисперсного залізорудного концентрату;
- дослідити вплив частки каліброваного повернення (фракції 3-5 мм) на показники агломераційного процесу і якість агломерату;

- дослідити міцність гранул на основі агломераційного повернення і визначити оптимальний склад шихти для отримання гранул з дрібного повернення (фракції 0-3 мм), вапняного пилу і залізовмісних шламів металургійного виробництва;

- дослідити вплив добавок гранул агломераційного повернення, отриманих різними способами, на показники процесу спікання і якість агломерату з метою розробки ефективного способу гранулювання відсіву агломерату;

- розробити спосіб агломерації залізородних матеріалів, що забезпечує підвищення продуктивності агломераційного процесу без погіршення якості агломерату, що дозволяє регулювати газопроникність агломераційного шару введенням в нього гранульованого повернення.

*Об'єкт дослідження.* Агломераційний процес.

*Предмет дослідження.* Процес спікання агломераційної шихти з звичайним, каліброваним та гранульованим поверненням.

*Методи дослідження.* При виконанні роботи використовувалися: лабораторні дослідження з визначення впливу кількості та крупності повернення на продуктивність аглоустановки і міцність агломерату, для чого застосовувалися калібровані лабораторні сита, лабораторна агломераційна установка, лабораторні установки для отримання гранул екструзією, обливання і брикетуванням; фізичне моделювання; математична статистика; порівняльний аналіз отриманих даних; пасивний і активний експерименти на металургійному агрегаті.

*Наукова новизна одержаних результатів.*

1. Отримали подальший розвиток теоретичні основи інтенсифікації процесу спікання агломерату за рахунок заміни в агломераційній шихті повернення фракції 0-5 мм каліброваним та гранульованим поверненням фракції 3-5 мм, що забезпечує підвищення продуктивності аглоустановки по виходу придатного.

2. Встановлено експериментальним шляхом більш ефективно застосування в агломераційній шихті гранул, отриманих методом екструзії, що дозволяє підвищити продуктивність аглоустановки в порівнянні з процесом спікання агломерату з шихти з гранулами, виготовленими огрудкуванням і брикетуванням з подальшим дробленням.

3. На основі досліджень міцності гранул, отриманих методом екструзії, визначені оптимальні склади трикомпонентної шихти, яка містить дрібне агломераційне повернення фракції менше 3 мм, вапняний пил і залізовмісні дрібнодисперсні шлами, для виготовлення гранул фракції 3-5 мм, добавки яких в шихту сприяють підвищенню продуктивності агломераційного процесу.

*Практичне значення одержаних результатів.* 1. Розроблено спосіб гранулювання відсіву агломерату розміром до 3 мм методом екструзії із застосуванням зв'язуючого (вапняного пилу) і пластифікатора (сталеплавильного шламу), що забезпечує необхідну міцність гранул для їх введення в агломераційну шихту в якості центрів огрудкування.

*Особистий внесок дослідника.* Кваліфікаційна робота магістра є самостійною роботою автора, в якій узагальнені результати теоретичних і експериментальних досліджень, отриманих в ході виконання науково-дослідних робіт.

*Апробація результатів роботи.* Основні положення і результати магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на: відбулася на III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ». Том II (17-20 жовтня 2023 р., м. Запоріжжя);

*Публікації.* Основні результати роботи викладені в збірці магістерських робіт і в тезах на III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ СТАЛОГО НАУКОВО-

ТЕХНІЧНОГО ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ». Том II (17-20 жовтня 2023 р., м. Запоріжжя).

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 46 найменувань, викладена на 82 сторінках машинописного тексту, включаючи 13 рисунків, 11 таблиць.

# 1 СУЧАСНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ВПЛИВ РЕЖИМУ ПОВЕРНЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ АГЛОПРОЦЕСУ І ЯКОСТІ АГЛОМЕРАТУ

## 1.1 Показники якості агломерату та їх взаємозв'язок з продуктивністю аглопроцесу

В агломераційному виробництві повернення є циркулюючим навантаженням (рис. 1.1) і являє собою шматочки дрібного агломерату розміром менше 5-15 мм [1, 2], які відокремлюються від придатного агломерату при грохоченні аглоспека після його дроблення.

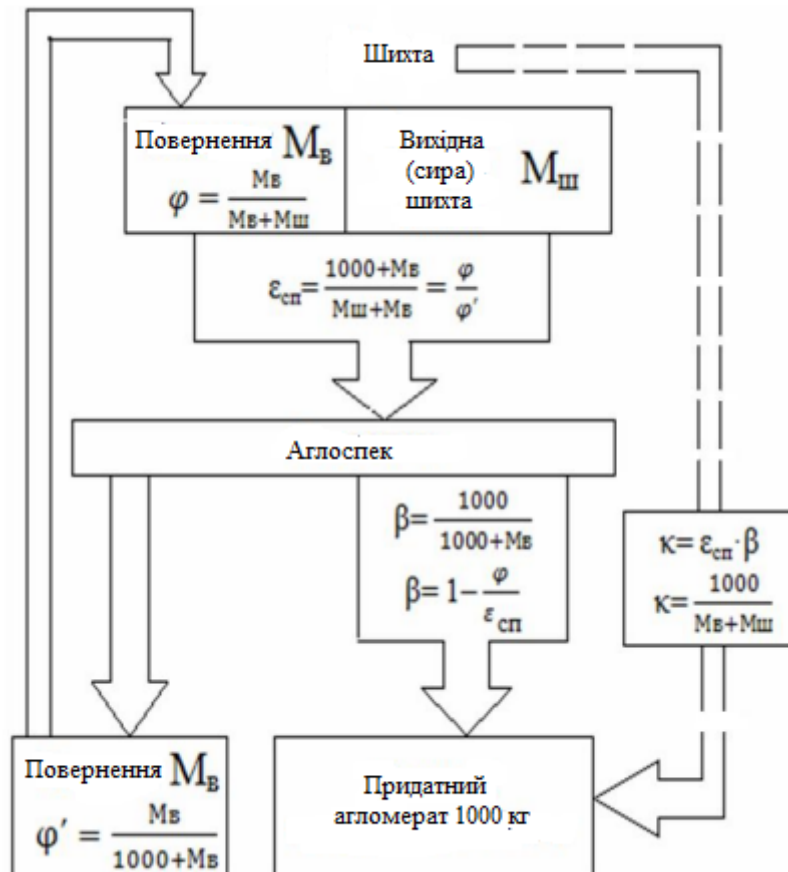


Рисунок 1.1 – Схема руху повернення в агломераційному процесі

При виробництві агломерату в вихідну сирю шихту ( $M_{Ш}$ , кг), яка складається з аглоруди (розмір часток  $d \leq 10$  мм), залізородного концентрату

( $D \approx 0,05$  мм), палива і флюсів ( $d \leq 3$  мм), також додається повернення ( $M_v$ , кг) - невеликий некондиційний агломерат, виділений з аглопірога попереднього спікання (рис. 1.1). У заданому співвідношенні компоненти змішуються, а потім перед спіканням агломераційна шихта ( $M_{ш} + M_v$ , кг) огрудковується, щоб підвищити газопроникність її шару на аглострічці.

Відношення маси повернення до загальної маси агломераційної шихти характеризується часткою повернення в шихті  $\phi$ , д. од. В ході спікання з сирової шихти видаляються леткі речовини і утворюється аглоспек (аглопірог), маса якого на 1 т придатного агломерату становить  $M_{СП} = 1000 + M_v$ , кг. Вихід аглоспека з шихти  $\epsilon_{СП}$ , д. од., визначається відношенням мас аглоспека і аглошихти (рис. 1.1).

Після спікання аглопиріг піддають дробленню і розсіву на придатний агломерат (1000 кг) і повернення ( $M_v$ ). Відношення маси повернення до маси аглопірога характеризується часткою повернення в аглоспек  $\phi'$ , д. од. При повному відсіві дрібної фракції з придатного агломерату його вихід знижується практично до 50%. Відношення маси придатного агломерату до маси аглопірога називають виходом придатного  $\beta$  з аглоспека, д. од., який обумовлений міцністю останнього.

Коефіцієнт виходу придатного з шихти  $k$  характеризується відношенням мас придатного агломерату і аглошихти і являє собою добуток виходу аглоспека з шихти і виходу придатного з аглоспека (може бути представлений в% або д. од.). Частка повернення в шихті і вихід придатного агломерату з аглоспека при замкнутому циклі повернення взаємопов'язані [3].

При 100% повернення в шихті продуктивність агломашини, очевидно, дорівнює нулю, так як весь продукт є браком і направляється на повторне або багаторазове спікання. Практично оптимальний вміст повернення в шихті при найвищій продуктивності машини в різних умовах коливається в межах від 10 до 30% [4].

Залежність між питомою продуктивністю аглоустановки  $Q$  і режимом повернення можна представити в наступному вигляді,  $t/(m^2 \cdot \text{год})$ :

$$Q = 0,0006 \cdot \frac{H}{\tau} \cdot \frac{h}{H} \cdot \gamma \cdot \beta = 0,0006 \cdot \nu \cdot \frac{h}{H} \cdot \gamma \cdot \beta \quad (1.1)$$

де  $\beta$  - вихід придатного з аглоспека, %;

$h$  - висота шару аглоспека, мм;

$H$  - висота шару шихти, мм;

$\nu$  - вертикальна швидкість спікання, мм/хв;

$\gamma$  - об'ємна вага агломерату в пирогу,  $t/m^3$ .

Для збільшення продуктивності агломераційної машини, агломераційну шихту необхідно огрудковувати в барабані-комкувачі. Завдяки процесу огрудкування агломераційної шихти, збільшується її порозність і, відповідно, вертикальна швидкість спікання і продуктивність аглоустановки [4].

Якість огрудкованої шихти оцінюється ступенем огрудкування  $C$  і еквівалентним діаметром гранул  $d_{\text{екв}}$ :

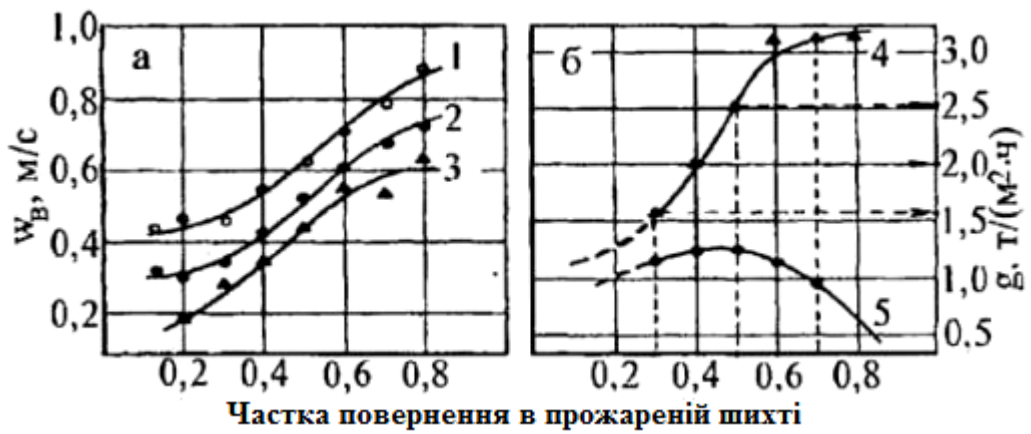
$$C = \frac{m_{<0,4}^{>1,6}}{m_{<0,4}^{\text{сум}}} \quad (1.2)$$

де  $m_{<0,4}^{>1,6}$  - маса класу менше 0,4 мм у фракції огрудкованої шихти більше 1,6 мм, кг;

$m_{<0,4}^{\text{сум}}$  - маса класу менше 0,4 мм у всій шихті, кг;

$$d_{\text{екв}} = \frac{100}{\sum \frac{m_i}{d_i}} \quad (1.3)$$

Вплив кількості повернення на якість огрудкування представлено на рисунку 1.2 [1-3].



1 - через вихідну холодну шихту; 2 - через перезволожену шихту; 3 - середня швидкість, що просмоктується за період спікання; питома продуктивність: 4 - по всьому аглоспеку; 5 - по додатному агломерату

Рисунок 1.2 – Вплив кількості повернення в шихті на її газопроникність (а) і питому продуктивність (б) при спіканні шихти

Встановлено, що при малій кількості повернення (до 20-30%) якість шихти практично не змінюється: газопроникність збільшується незначно. Особливо сильний вплив надає повернення при додавці його в шихту в кількості 40-70% (рис. 1.2, а).

Для умов дослідного спікання [1] найбільший приріст продуктивності по аглоспеку спостерігається при введенні в шихту 40-60% повернення (в розрахунку на прогартовану шихту). Однак продуктивність аглоустановки по додатному агломерату буде менше - для забезпечення безперервної роботи агломераційної машини слід зберігати баланс по поверненню, і в міру збільшення кількості повернення, що вводиться в шихту, слід збільшувати вихід повернення з спека (рис. 1.2, б).

Ефективність огрудкування шихти залежить не тільки від кількості, але і від крупності повернення, тому що механізми огрудкування великозернистих і дрібнозернистих [3-5] матеріалів відрізняються.



Відповідно, збільшуючи вихід повернення з спека, буде зменшуватися вихід придатного агломерату.

Вихід придатного  $\beta$  і, отже, вміст повернення в шихті залежать від міцності спека і руйнівних навантажень, яким він піддається перед виділенням повернення, розміру максимального зерна в поверненні (або, що теж саме, мінімального розміру зерна в придатному агломераті) і ефективності просівання при виділенні повернення [1].

Про міцність агломераційного спека судять за кількістю утвореного повернення  $\varphi'$  (% від аглоспека) і, відповідно, по виходу придатного агломерату  $\beta$  ( $\beta + \varphi' = 100\%$ ) [6]. Якість агломерату, що пройшов дроблення і грохочення на аглофабриці, характеризується вмістом в ньому фракції -5 мм  $P_{-5}^A$ . За даними показниками важко зіставляти якість огрудкованого матеріалу внаслідок різної крупності виділеного повернення < 5-15 мм [1] і різної ефективності застосовуваного дробильного і сортувального обладнання [7].

При подальшому транспортуванні і перевантаженнях агломерат руйнується. Оцінка міцності придатного агломерату, обумовлена розсівом проби масою 2-3 т, відібраної під бункерами доменного цеху, і показує вміст фракції -5 мм в ній  $P_{-5}^D$ , є більш представницькою [8, 9]. Однак агломерат, який прибув в доменний цех, вже містить частину дрібної фракції, що утворилася при дробленні аглоспека.

Крім того, даний показник не враховує дрібницю, що утворилася при дробленні аглоспека і відсіяли на аглофабриці, а також відмінність механічних навантажень, які відчуває агломерат при транспортуванні на різні відстані. Стандартний метод визначення холодної міцності придатного агломерату фр. + 5-40 мм передбачає оцінку виходом фракції +5 мм після випробування в стандартному барабані  $X_{+5}$ . Умови випробування (частота обертання барабана 25 об/хв; 200 оборотів) встановлені згідно із навантаженнями, яким піддається агломерат до завантаження в доменні печі [10].

Вихід з фракції +5 мм визначається за формулою [1]:

$$x_{+5} = \frac{m_{+5}}{m} \cdot 100, \% \quad (1.4)$$

а вихід фракції менш 5 мм - міцність на стирання і визначається за формулою:

$$x_{-5} = \frac{m_{-5}}{m} \cdot 100, \% \quad (1.5)$$

де  $m$ ,  $m_{+5}$ ,  $m_{-0,5}$  - маса проби, маса частинок більше 5 і менше 0,5 мм, відповідно, після випробування в барабані, кг.

Існують і інші методи визначення міцності агломерату: скидання агломерату з висоти і випробування в барабані Рубіна.

При розробці стандартних методів визначення міцності агломератів прагнули підібрати такі умови проведення дослідів, які б в максимальному ступені імітували поведінку агломерату в виробничих умовах.

Один з перших стандартів, який широко застосовувався на аглофабриках США в 30-і рр., передбачав руйнування проби агломерату масою 40 кг шляхом 4-кратного скидання з висоти 1830 мм на сталеву плиту. Це повинно було відповідати ударним навантаженням, яких зазнав агломерат при транспортуванні від аглофабрики до доменної печі: падіння пирога агломерату з машини в агловоз → розвантаження в бункери доменного цеху → падіння в скіп → завантаження в доменну піч. Міцність агломерату характеризувалася зміною середнього діаметру шматків агломерату до і після випробування. Характер динамічних впливів на агломерат в обертовому барабані досить добре відображає результати дії реальних навантажень на агломерат на тракті його руху від агломашини до доменної печі.

Застосовуєма в даний час в якості стандартної методика визначення міцності залізородних агломератів являє собою кілька змінену методику Рубіна.

Однак, суб'єктивний відбір невеликої по масі проби знижує наочність результатів випробування в стандартному барабані [3].

Для оцінки виходу придатного агломерату запропоновано використовувати показники інтенсивності агломераційного процесу і виходу «ідеального агломерату». Безумовно, інтенсивність агломераційного процесу має великий вплив на механічну міцність агломерату. Було досліджено вплив на міцність агломерату чотирьох показників інтенсивності спікання - питомої продуктивності по придатному агломерату, наведеної питомої продуктивності, вертикальної швидкості спікання і інтенсивності горіння твердого палива в спікаємо шарі. Результати досліджень показали, що підвищення інтенсивності спікання супроводжується зниженням міцності агломерату. У меншій мірі ця закономірність відноситься до масової частки дрібниці в придатному агломераті, в більшій - показниками механічної міцності агломерату (барабанної проби). Однак, процеси інтенсивності агломераційного виробництва на аглофабриках відрізняються. Вихід «ідеального агломерату» з шихти  $k_{ид}$ , тобто агломерату, що не містить дрібну фракцію менше 5 мм, який розраховується за формулою, д.од.:

$$k_{ид} = k \cdot (1 - P_{-5}^A) \quad (1.6)$$

Однак, при транспортуванні в доменний цех агломерат додатково руйнується, що призводить до збільшення вмісту в ньому дрібниці, погіршує техніко-економічні показники доменної плавки.

Тому дані показники важко застосовувати для порівняльної оцінки виходу огрудкованого матеріалу, отриманого на різних аглофабриках або в різні періоди спікання.

Для порівняльної оцінки виходу огрудкованого матеріалу, отриманого на різних аглофабриках або в різні періоди спікання краще застосовувати сумарний вихід придатного агломерату (з урахуванням первинного, на аглофабриці, і вторинного, в доменному цеху, повернення). Однак, крупність повернення, а, отже, і придатного агломерату, на аглофабриках відрізняється, що ускладнює визначення даного показника. Як правило, сумарна кількість повернення на різних металургійних підприємствах змінюється від 25 до 45% від маси аглоспека [11].

## **1.2 Вплив добавок повернення в аглошихту на показники аглопроцесу і якість агломерату**

У вітчизняній практиці вміст повернення в шихті становить 20-30%, проте сумарний вихід агломерату з урахуванням відсіву дрібної фракції перед доменними печами змінюється в межах 55-75% [12].

Частинки повернення фр. +2 мм грають роль центрів грануляції шихти. За міру збільшення вмісту повернення в шихті, значно збільшується її газопроникність, особливо в початковій і середній стадіях процесу, що свідчить про переважне вплив повернення на стан зон перезволоження і нагрівання. Мабуть, повернення сприяє утворенню в насипній масі шихти жорсткого скелета, що не розмиваються водою і не руйнується при нагріванні [12, 13].

Крупність повернення повинна вибиратися відповідно крупності руди, що спікається, або концентрату. При огрудкуванні аглошихти в барабані, повернення і великі частки руди крупністю більше 1,6 мм є центрами утворення гранул, на які накочуються тонкі фракції менше 0,2 мм руди і концентрат [6].

В проведених спіканнях аглошихти з добавками в неї повернення різної крупності, які показали, що доцільніше використовувати в аглошихту повернення розміром 3-5 мм.

Підтримка крупності повернення на оптимальному рівні особливо важливо при спіканні тонких концентратів, коли необхідно ефективно огрудкування шихти. Посилене огрудкування і використання більшої аглоруди дозволяє різко збільшити газопроникність шихти [14].

При спіканні аглоруди (-12 мм) повернення має мати таку ж крупність, а агломерація тонких (-0,1 мм) концентратів вимагає повернення розміром -5 мм або 3 мм [3]. У той же час за умовами прогріву і плавлення розміри верхньої межі крупності гранул або рудних часток не повинні перевищувати 5-6 мм [6].

Гранулометричний склад являє собою співвідношення великих (зародкових центрів) і дрібних (комкуємих) частинок в шихті. Наявність в шихті надмірної кількості великих або дрібних частинок призводить до погіршення якості огрудкованої шихти. Дрібні частинки, налипнув на великі, утворюють сирий окатиш. При великій кількості дрібних частинок процес огрудкування проходить не ефективно, швидкість коефіцієнта грануляції низька, при цьому погіршується газопроникність огрудкованого шару.

Велика кількість великих часток призводить до підвищеної газопроникності, що також негативно позначається на швидкості спікання і якості агломерату, так як не забезпечується швидкий прогрів часток і їх участь в структурних перетвореннях, що відбуваються в твердій фазі [12]. Застосування повернення фракції -5 мм в процесі огрудкування агломераційної шихти призводить в основному до позитивного ефекту на вплив її гранулометричного складу, так як збільшується кількість центрів огрудкування, і повернення близький по мінералогічному складу до готового агломерату, що призводить до швидкого прогріву і плавлення шихти в процесі спікання [15].

Негативний вплив на огрудкування надає фракція 0,2-1,6 мм (проміжна), яка не бере участі в огрудкуванні. У гранульованій шихті зерна цієї фракції розподіляються в проміжку між грудочками, зменшуючи порозність шару і еквівалентний діаметр каналів [16].

Згідно з дослідженнями [16] агломераційна шихта складається з фракцій: -0,4 мм (70,4%), 0,4-1,0 мм (11,7%), 1-5 мм (8,3%), 5 -10 мм (6,8%), +10 мм (2,8%), тобто співвідношення між її огрудкуванням, грудками і проміжної частинами становить приблизно 70:15:15 і характеризується відносно невеликою кількістю центрів огрудкування. В результаті неефективного протікання процесу огрудкування гранульована шихта містить до 34% фракцій 0,5-1,0 мм, що знижують газопроникність шару, і до 14% аероактивних фракцій менше 0,5 мм, що призводить до істотного зниження продуктивності аглопроцесу до 30%. Теоретично ця проблема може бути вирішена введенням в шихту великих фракцій будь-яких матеріалів або відходів, придатних до агломерації [17].

На практиці її рішення полягає у використанні середніх фракцій (від 4-6 мм до 9,5 мм) дробленого конвертерного шлаку або сирих окатишів [18]. До цього напрямку належить і використання в шихті відсіву та повернення агломерату фракції менш 5 мм.

Зміцнення гранул шихти при зволоженні в процесі огрудкування обумовлено дією капілярних сил. Залежність газопроникності від вмісту вологи має екстремальний характер. Зі збільшенням вмісту в шихті вологи сили зчеплення спочатку зростають, а потім зменшуються.

На величину сил зчеплення впливають розмір, форма і стан поверхні зерна. Максимальним капілярним силам зчеплення відповідає певна вологість шихти, при якій шихта набуває пухку пористу структуру, що володіє максимальною пористістю і мінімальною об'ємною масою [19]. Для кожної шихти існує єдиний вміст вологи, що забезпечує максимальну швидкість спікання. Крім того, встановлено [19], що присутність вологи різко посилює теплопередачу від газу до шихті і внаслідок цього концентрує тепло в малому по висоті шарі, що і визначає можливість отримання в зоні спікання високих температур при порівняно невеликій питомій витраті палива. Абсолютне значення оптимальної вологості  $W_{\text{опт}}$  агломераційних

шихт визначається в першу чергу величиною питомої поверхні залізорудних матеріалів  $S$ ,  $\text{см}^2/\text{г}$  [1]; так, для шихт, що містять:

- кускові руди ( $S$  менше 500),  $W_{\text{опт}} = 5,5-6,0\%$ ;
- грубозернисті концентрати ( $S = 500-1000$ ),  $W_{\text{опт}} = 6,0-7,0\%$ ;
- тонкоподрібнені концентрати ( $S = 1500-2000$ ),  $W_{\text{опт}} = 8,0-8,5\%$ ;
- бурожелезнякові рудні матеріали ( $S$  більше 6000),  $W_{\text{опт}} = 10-12\%$ .

У зв'язку з тим, що повернення є гідрофобним розчином в силу своєї природи, маючи склоподібну поверхню, яка відштовхує воду, необхідно його змішувати з гідрофільними речовинами при оптимальній кількості вологи для поліпшення огрудкування агломераційної шихти.

Агломераційний процес здійснюється просмоктуванням повітря через шар шихти, в якому відбувається горіння твердого палива [20]. Швидкість горіння палива визначає вертикальну швидкість спікання, а, отже, і продуктивність аглоустановки. Швидкість горіння твердого палива залежить від кількості кисню, що надходить в зону горіння. Чим більше повітря засмоктується в шар, тим вище швидкість горіння і вертикальна швидкість спікання. Тому одним з головних завдань агломератників-технологів є створення умов, що забезпечують надходження в спекаємий шар великої кількості повітря за рахунок збільшення швидкості руху газу в шарі [4].

Для забезпечення необхідної швидкості руху газу в агломераційному шарі потрібно створити певну різницю тисків газу (повітря) на вході в шар і на виході з нього ( $\Delta P = P_{\text{вх}} - P_{\text{вих}}$ ). Величина різниці тисків буде визначатися як кількістю просмоктуємого газу, так і тим газодинамічним опором, яке надає шар газовому потоку, що проходить.

Газодинаміка агломераційного шару характеризується тим, що, по-перше, з самого початку агломерації в шарі спекаємого матеріалу утворюється кілька зон, що розрізняються за структурою і володіють, внаслідок цього, різним газодинамічним опором. Агломераційний шар є типово неоднорідним. По-друге, в результаті протікання різних хімічних

реакцій і фізичних процесів змінюється кількість, склад і температура газу при переході його з однієї зони в іншу.

Газопроникність шихти грає двояку роль: чим вище показник газопроникності, тим більше вертикальна швидкість спікання; з іншого боку, газопроникність для певного речового складу шихти є обернено пропорційною висоті шару шихти і її насипній масі. Зростання газопроникності шару дає можливість збільшення її висоти, а, отже, забезпечує поліпшення якості агломерату і зниження витрати палива.

Для успішного перебігу процесу огрудкування також необхідно застосовувати сполучні добавки або поверхнево-активні речовини [21], що призводить до зміцнення утворених гранул при огрудкуванні.

Також якість огрудкованої шихти залежить і від вибору обладнання для огрудкування і режиму його роботи [22].

Таким чином, поряд з сприятливим гранулометричним складом і оптимальною вологістю обов'язковою умовою успішного перебігу процесу огрудкування є наявність в обсязі вологого матеріалу особливих центрів - зародків грудочок і певних ущільнюючих навантажень.

Відповідно к таким механізмом швидкість огрудкування і газопроникність агломераційних шихт повинні істотно підвищуватися зі збільшенням частки грудок фракцій - кількості повернення.

Повернення, покращуючи газопроникність шихти, підвищує продуктивність установок. З іншого боку, повернення є браком агломераційного виробництва і знижує продуктивність аглофабрики. Тому залежність між продуктивністю і кількістю повернення в шихті носить екстремальний характер.

Іншими словами, понад певного вмісту повернення в агломераційній шихті ніяке збільшення газопроникності і вертикальної швидкості спікання не може вже компенсувати зменшення виходу придатного [10].

Режим повернення також впливає і на якість готового агломерату. Повернення по мінералогічному складу близький к придатному агломерату і



значно відрізняється від складу вихідної шихти. У поверненні, отриманому при спіканні гематитової шихти з кварцовою порожньою породою, переважає магнетит, між кристалами якого розташовується феритна або силікатна зв'язка. Таким чином, в поверненні містяться вже в готовому вигляді легкоплавкі з'єднання, евтектики, що активізують процеси розм'якшення, змочування, розчинення шихти первинним розплавом.

У той же час, у свіжій шихті повинні спочатку пройти реакції розкладання гідратів, карбонатів, дисоціації та відновлення оксидів, реакції між твердими фазами і тільки потім починається утворення розплаву. Введення повернення в шихту прискорює утворення розплаву, збільшує кількість рідких фаз в зоні горіння, кількість зв'язування в готовому агломераті після кристалізації рідини, а також міцність агломерату.

Подвійна роль повернення позначається і на якості агломерату. При шихтовці коксовий дріб'язок дається тільки в свіжу шихту (повернення в переважній більшості випадків не зважається); вважається, що на сталому режимі його кількість приблизно постійна. Вміст вуглецю в поверненні рідко перевищує 0,5%. З цього випливає, що повернення завжди є споживачем тепла і в тепловому відношенні не може вважатися суто циркуляційним навантаженням. При спіканні повернення майже не вимагає витрат тепла на розкладання гідратів, карбонатів, на дисоціацію оксидів. Однак, залишаючи стрічку при температурі трохи меншою, ніж середня температура пирога агломерату, він втрачає тепло під час транспортування по змішувальному барабану або заливається водою до повного охолодження. Нагрівання холодного повернення до середньої температури пирога агломерату вимагає порівняно невеликої кількості тепла. Зі збільшенням частки повернення в шихті пропорційно ростуть, звичайно, і витрати тепла на його нагрівання. Понад певної межі, ці витрати тепла починають впливати на температурний рівень процесу, погіршуючи якість агломерату. Цим пояснюється наявність максимуму міцності на кривих, що зв'язують якість агломерату з кількістю повернення в шихті [10].

Має значення і та обставина, що шматочки повернення не містять в собі частинок палива, прогриваються і плавляться лише за рахунок вуглецю грудок з свіжої шихти. Центральні зони шматочків повернення можуть в цих умовах недостатньо прогриватися і слабо засвоюватися розплавом, що підсилює неоднорідність агломерату і знижує його міцність, коли повернення занадто багато.

Підвищена витрата твердого палива в свіжу шихту, що створює певний надлишок тепла в спекаємом шарі, дозволяє мати більше повернення в шихті з відповідним поліпшенням якості продукту.

На противагу звичайному уявленню про повернення як про основне джерело утворення первинного розплаву в книзі С.В. Базилевича і Е.Ф. Вегмана [23] зазначалося, що повернення є одним з найбільш, тугоплавких компонентів шихти і не може служити центром виникнення рідкої фази. У той же час в інших дослідженнях [24] було встановлено, що при тісному контакті з флюсом повернення взаємодіє з ним в твердій фазі, утворюючи легкоплавкі з'єднання типу феритів кальцію, які при спіканні шихти плавляться в першу чергу.

Якість агломерату залежить багато в чому від блокової структури, яка утворюється після спікання (рис. 1.3).

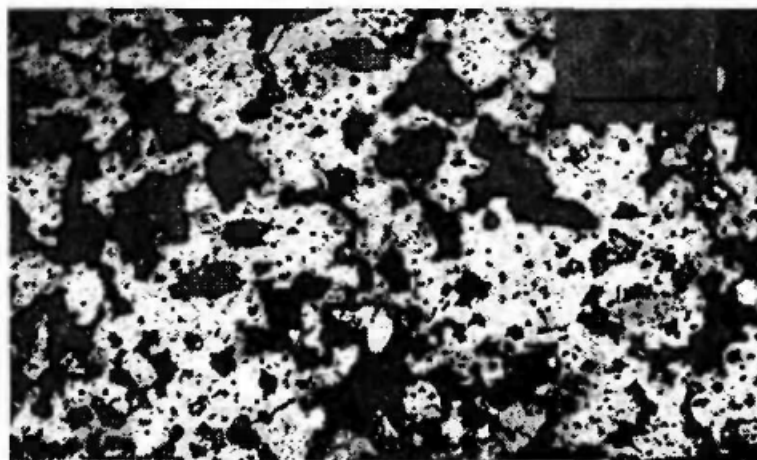


Рисунок 1.3 – Макроструктура агломераційного спека

Агломераційний спік, що закристалізувався розташований на колосникових гратах, являє собою структуру, що складається з ущільнених обсягів залізородного матеріалу розміром від 5 до 25 мм, з'єднаних один з одним невеликої товщини перегородками. Такі ущільнені обсяги чергуються з порами розміром 5-10 мм. проф. Е.Ф. Вегман назвав ущільнені обсяги, або «згустки речовини», «блоками», а таку макроструктуру спека - блоковою текстурою [25].

Проблема, яким чином вільно насипаний шар шихти перетворюється при агломерації в пористий спік, що закристалізувався, завжди цікавила дослідників. Але, мабуть, вперше спробу змоделювати послідовність і хід хімічних реакцій, мінералогічних і фізичних перетворень, що ведуть до утворення агломерату, зробив Е.Ф. Вегман [25], який зазначив, що головною причиною виникнення «блокової текстури» є неоднорідне температурне поле в зоні формування агломерату, обумовлене точковим розташуванням частинок палива в шихті – осередки горіння частинок палива віддалені один від одного на відстань від 5 до 10-15 мм. Сутність запропонованої Е.Ф. Вегманом «теорії» формування «блокової текстури» агломерату ґрунтувалося на твердженні, що утворений навколо палаючої частинки палива розплав натікає на неї і поступово заповнює простір, який займала ця частка. Після повного вигорання на її місці утворюється «блок». Більшість фахівців-агломератчиків вважають запропонований механізм формування блоків неправдоподібним [1].

Викладені раніше основи теорії деяких процесів агломерації, аналіз особливостей структури агломераційної шихти і агломераційного спека дозволяють уявити більш достовірну схему процесів, що протікають в зоні формування агломерату.

Процесам, що відбуваються в високотемпературній зоні спекаемого матеріалу і визначальним формування фізичної структури агломераційного спека (плавлення рудного матеріалу, капілярного просочення, сплавлення рудних частинок і ін.), передують «підготовчий» період в області помірних

температур (300-1100 °С), в якому відбувається ряд хіміко-мінералогічних перетворень, що сприяють появі залістих розплавів при відносно невисоких температурах – 1100-1200 °С.

Найбільш інтенсивно всі ці процеси йдуть в поровому просторі між грудочками шихти, заповненому дрібним залізородним концентратом, вапняком і коксиком фр. 0,4-1,6 мм. Саме по цим порам-каналам з великою швидкістю рухається газовий потік, що забезпечує насамперед інтенсивне горіння паливних частинок.

При отриманні агломерату з магнетитових концентратів першим процесом, що починається з температур 300 °С, є окислення  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Утворений при цьому гематит при 500-600 °С вступає у взаємодію з кальцитом, в результаті чого утворюються кальцієві олівіни, ферити кальцію. В області більш високих температур, починаючи з 800 °С, йде інтенсивне горіння вуглецю палива, що супроводжується виділенням тепла і  $\text{CO}$ .

У цій зоні одночасно йдуть два процеси: поблизу палаючих частинок коксика відбувається відновлення оксидів заліза з утворенням  $\text{FeO}$ ; а у віддалених від вогнища горіння точках інтенсифікується утворення олівінів і феритів кальцію, а також і силікатів заліза – з'єднань, що мають невисокі температури плавлення. Орієнтовні розрахунки показують, що в міжгрудкованому поровому просторі знаходиться матеріал, що містить, %: Fe - 41, CaO - 12,  $\text{SiO}_2$  - 8, C - 13.

У момент, коли ця частина шихти буде нагріта до температур вище 1000 °С, основна кількість заліза буде відновлена до  $\text{FeO}$ . Матеріал такого складу потрапляє на діаграмі стану системи  $\text{CaO-SiO}_2\text{-FeO}$  в область з температурами плавлення 1100-1200 °С.

Перші порції розплаву з'являються, природно, поблизу палаючих частинок коксика, що мають температуру на поверхні вище 1600 °С (основну роль тут відіграє променистий теплообмін). Утворений розплав, по хіміко-мінералогічного складу представляє собою залізо-кальцієвий олівін, не тільки не натікає на палаючу частинку палива, а навпаки, віддаляється від

неї, втягуючись капілярними силами в пори шихти, що ще не розплавилася (енергія взаємодії первинного агломераційного розплаву з залізородними мінералами на порядок величини вище, ніж з вуглицем коксу). Згодом простір навколо палаючої частинки коксика збільшується – саме воно і стає в результаті великою порою, що розділяє блоки.

Агломераційний спік володіє невисокою міцністю і легко під дією сил відносно невеликої величини розділяється на фрагменти, шматки різних розмірів: від 500 до 100-200 і до 0-5 мм [26]. Подібна поведінка пирога агломерату пов'язана з особливостями його структури.

Добре відомо, що тверде тіло, пронизане каналами, з великою кількістю пор володіє зниженою міцністю. Це обумовлено, з одного боку, скороченням площі твердої фази, що чинить опір впливаючим навантаженням, а з іншого - тим, що пори є концентраторами (підсилювачами) напружень [14].

Дослідження [14] показують, що агломераційний спік, що має блочну структуру, при подальшій механічній обробці розділяється на окремі шматки агломерату цілком певним чином. Первинне руйнування відбувається ще на спекальному візку під дією тільки внутрішніх напружень - агломераційний пиріг розколюється на окремі фрагменти розміром до 0,5 м. Після сходу з палети йде руйнування фрагментів на більш дрібні шматки в дробарці, при грохоченні і охолодженні. Руйнування агломерату триває і далі при його русі по тракту від аглофабрики до доменної печі на перевантажувальних вузлах, при проходженні через бункера [27].

За пропозицією Л. Р. Мігуцького [28], потрібно піддати агломерат інтенсивній механічній обробці, щоб всі неміцні шматки були зруйновані, а що утворилася дрібниця повинна бути відсіяна з агломерату до його завантаження в доменну піч. Така обробка, що отримала назву «стабілізація», попереджає утворення великої кількості дрібних фракцій в ході плавки і дозволить значно підвищити техніко-економічні показники роботи доменних печей [29].

В якості апаратів - «стабілізаторів» агломерату було запропоновано використовувати барабани, що обертаються, циліндрична поверхня яких була виконана у вигляді колосникових ґрат. Таким чином, барабани-стабілізатори одночасно виконували і роль грохотів. Іншим варіантом апарату-стабілізатора може бути роторна дробарка ударно-інерційної дії.

### **1.3 Сучасні способи підготовки агломераційного повернення перед спіканням**

Виходячи з механізму огрудкування, агломераційна шихта ділиться на три частини. Великі частинки розміром більше 1,6 мм служать центрами огрудкування, дрібні частинки розміром менше 0,4 мм накочуються на поверхню великих часток, а проміжна фракція з розміром частинок 0,4-1,6 мм приймає незначну участь в огрудкуванні, тобто. погано грудкується [6].

Таким чином, ефективне спікання огрудкованої шихти забезпечує повернення фракції більше 3 мм.

Існує кілька варіантів утилізації повернення в агломераційному виробництві. Одним із способів утилізації повернення є подрібнення, тобто перетворення всієї його маси в огрудковану частину агломераційної шихти, іншим способом – укрупнення частинок дрібного повернення, тобто переведення всієї його дрібної маси в частину агломераційної шихти, що огрудковується. Як відомо, подрібненням є процес зменшення розмірів частинок твердого матеріалу в результаті механічної дії. Нові поверхні утворюються в результаті подолання зовнішніми силами сил молекулярного тяжіння в здрібнілому твердому тілі. Збільшення в результаті подрібнення поверхні фазового контакту взаємодіючих мас значно інтенсифікує процес огрудкування шихти [30].

Раніше запропонований спосіб агломерації залізородних матеріалів [31], в якому повернення фр. -1 мм подрібнюють до крупності концентрату,

тобто переводять його в огрудковану частину агломераційної шихти для підвищення її газопроникності після огрудкування, змішують з іншими компонентами, а потім спікають за звичайною технологією.

Згідно із запропонованою технології [32] ефективною є спільна підготовка шламів з вологістю 12-15%, які пошарово укладають з сухим дрібно подрібненим поверненням фракції -3 мм в співвідношенні 10:(1÷1,5) і після коагуляції частинок вводять в агломераційну шихту в кількості 100-150 кг на 1 т готового продукту.

У способі [33] запропоновано окремо огрудковувати фракцію повернення менше 3 мм з іншими компонентами аглошихти тієї ж фракції в барабанних або чашевом комкувачі. Однак спосіб не набув поширення, оскільки фракція 0-3 мм повернення погано злипається, має непостійний склад і містить значну кількість частинок, що погано грудкуються, в той час як огрудкування вимагає суворого дотримання компонентного і фракційного складу, точності дозування і підтримки заданого рівня коливань вологості на рівні  $\pm 0,5\%$ , які в умовах чинного агловиробництва забезпечити досить складно.

Найбільш доцільним видається укрупнення частинок дрібного повернення -3 мм, тобто переведення його в огрудковану частину агломераційної шихти, наприклад гранулювання з еднальними різними способами. Відомо, що гранулювання є формування твердих частинок (гранул) певних розмірів і форми з заданими властивостями [18].

Основні види гранулювання представлені нижче:

1) огрудкування - процес отримання окатишів (гранул); здійснюється в барабанних, тарілчастих або конусних грануляторах в результаті взаємодії між частинками руди або концентрату з водою. Поверхневий натяг тонкої плівки води на частинках руди обумовлює стискаючий ефект, а капілярна волога, що розташовується в порах між частками, під дією негативного капілярного тиску утримує їх в такому положенні [34]. Інтенсивність взаємодії залежить від природи (поверхневих властивостей) рудних

матеріалів, їх змочуваності і головним чином від крупності і форми частинок. Укрупнення частинок до необхідних розмірів в грануляторі відбувається за принципом утворення снігової грудки. Міцність окатишів, які утворюються, пропорційна ступеню гідрофільності і дисперсності частинок;

2) екструзія - безперервний технологічний процес отримання гранул шляхом продавлювання суміші матеріалу через формуючий отвір екструдера за рахунок тиску, що створюється шнеком;

3) брикетування - процес перетворення дрібнозернистих сипких матеріалів в механічно і термічно міцний продукт, який має певну форму, розміри і масу. З застосуванням тиску пресування пухка брикетна суміш перетворюється в міцний шматок - брикет.

За кордоном з другої половини минулого століття стали поширюватися технології примусового гранулювання дрібних компонентів шихти, перш за все сталеплавильного і колошникового пилу. Так, в США і Японії сухий сталеплавильний пил огрудковується в чашевом комкувачі. Отримані окатиші розміром 1,6-9,5 мм після затвердіння подають в агломераційну шихту, що позитивно позначається на процесах її спікання.

Крім огрудкування застосовують методи гранулювання дрібної частини шихти брикетуванням. Так, відомо обтиснення концентрату в валкових пресах, після якого виготовлені з концентрату брикети об'ємом  $12 \text{ см}^3$  дроблять на шматочки розміром більше 1 мм, вводять в агломераційну шихту і спікають за звичайною технологією, забезпечуючи високу продуктивність установки [10]. У 1975 р Е.Ф. Вегман подібний спосіб поширив на суміші концентрату та палива. Основним недоліком даного способу є неміцність гранул і їх значне руйнування при перевантаженнях і огрудкуванні аглошихти. Це передбачає обробку всього концентрату, викликаючи необхідність значних капітальних і поточних витрат на реалізацію даного способу.

Переробка гранулюванням дрібних фракцій повернення в більш великі може бути здійснена різними відомими способами, проте для відсіву



агломерату, що володіє низькими адгезійними властивостями, найбільш ефективними, що дозволяють здійснити гранулювання частинок фракції менше 3 мм, є огрудкування за відомою технологією отримання окатишів, екструзія продавлюванням суміші через фільтру з діаметром отворів 4 мм і брикетування з наступним сушінням і подрібненням отриманих брикетів до фракції -6 мм [35].

Як сполучна речовина при виробництві гранул переважно поряд з вапном використовувати відсів вапна або вапняний пил - дрібнодисперсний продукт очищення технологічних газів вапняно-випалювальних печей. Ці матеріали мають високі в'язучі властивості при помірній ціні.

Їх використання дозволить виключити зниження вмісту заліза в агломераті, оскільки дані матеріали є флюсом, введення яких до складу агломераційної шихти необхідно для досягнення заданого хімічного складу агломерату. Іншим компонентом, який поліпшує процес огрудкування, є шлам (пил) газоочисток, який утворюється на металургійних підприємствах і утилізується в агломераційній шихті.

#### **1.4 Висновки**

1. Якість агломерату характеризується його виходом придатного і механічною міцністю на удар. Порівняння якості агломерату різних аглофабрик за даними показниками некоректно при застосуванні різних схем обробки аглоспека. Для порівняльної оцінки виходу окускованного матеріалу, отриманого на різних аглофабриках або в різні періоди спікання краще застосовувати сумарний вихід придатного агломерату і вихід агломерату, що не містить фракції менше 5 мм. Однак, крупність повернення на аглофабриках відрізняється, що ускладнює порівняння якості агломерату і продуктивність агломашин за даними показниками.

Отже, актуальною є розробка об'єктивних показників для порівняння продуктивності аглофабрик і якості агломерату, отриманого на різних аглофабриках або в різні періоди спікання.

2. Залежність між кількістю повернення в шихті і продуктивністю аглопроцесу носить екстремальний характер. Підвищення вмісту повернення в шихті на 1% до 20-30% сприяє підвищенню продуктивності агломашин на 1% і супроводжується підвищенням міцності агломерату. Подальше підвищення частки повернення в шихті призводить до зниження продуктивності агломашин. Великі частинки повернення є центрами огрудкування агломераційної шихти. У зв'язку зі збільшенням частки дрібнозернистого залізородного концентрату в аглошихті, що погіршує ефективність процесу огрудкування, необхідно досліджувати вплив частинок повернення різної крупності на ступінь її огрудкування, а також дослідити вплив частки каліброваного повернення (фракції 3-5 мм) на показники агломераційного процесу і якість агломерату.

3. Повернення містить до 50% великих частинок фр. більше 1,6 мм (центри огрудкування). Для перетворення дрібних частинок повернення до центрів огрудкування необхідно їх гранулювати. Існують різні способи гранулювання дрібнодисперсних матеріалів, наприклад, такі як огрудкування, брикетування і екструзія.

Для підвищення ефективності процесу огрудкування аглошихти необхідно досліджувати міцність гранул на основі агломераційного повернення і визначити оптимальний склад шихти для отримання гранул з дрібного повернення (фракції 0-3 мм), вапняного пилу і залізовмісних шламів металургійного виробництва.

4. Повернення є браком агломераційного виробництва і його необхідно утилізувати. При утилізації повернення в агловиробництві його направляють на повторне спікання шляхом додавання в аглошихту. Для утилізації повернення розроблені способи, що передбачають подрібнення його дрібною

фракції до комкуємої, або гранулювання з метою переведення його в огрудковану частину шихти.

Дані способи не набули широкого поширення, тому необхідно розробити спосіб агломерації залізородних матеріалів, що забезпечує підвищення продуктивності агломераційного процесу без погіршення якості агломерату, що дозволяє регулювати газопроникність агломераційного шару введенням в нього гранульованого повернення.

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБІВ ПІДГОТОВКИ ВОЗВРАТУ В АГЛОМЕРАЦІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

### 2.1 Дослідження показників агломераційного процесу в залежності від режиму повернення

У аглодоменному виробництві застосовується велика кількість показників, які оцінюють якість готової продукції (агломерату) і продуктивність аглофабрик. Наприклад, такі як вихід придатного продукту на аглофабриці  $\beta$  і, пов'язаний з ним, вихід повернення з аглоспека  $\varphi'$  (первинне повернення); вміст фракції -5 мм в агломераті на аглофабриці  $P_{-5}^A$  (вміст фракції +5 мм в придатному агломераті  $A_{+5}$  відповідно) і в доменному цеху  $P_{-5}^D$ , що визначають вихід вторинного повернення в доменному цеху; сумарний вихід придатного агломерату з аглоспеку  $\beta_{\Sigma}$ ; показник механічної міцності агломерату на удар після випробування в стандартному барабані  $X_{+5}$ . Оцінка якості агломератів різних підприємств не завжди є коректною внаслідок застосування різних схем обробки аглоспека.

Міцність аглоспека характеризується виходом фракції -5 мм при розсіві агломерату після дроблення на аглофабриці  $P_{-5}^A$ . При подальшому транспортуванні і перевантаженнях агломерат руйнується. Оцінка міцності придатного агломерату, обумовлена розсівом проби масою 2-3 т, відібраної під бункерами доменного цеху  $P_{-5}^D$ , є більш представницькою. Однак агломерат, який прибув в доменний цех, містить частину дрібної фракції, що утворилася при дробленні аглоспека, так як на різних аглофабриках застосовують різні пристрої для дроблення і просіювання агломерату з властивою їм ефективністю роботи [1]. Крім того, даний показник не враховує дрібницю, що утворилася при дробленні аглоспека і відсіялася на аглофабриці, а також відстань транспортування агломерату.

Для порівняльної оцінки виходу окускованного матеріалу, отриманого на різних аглофабриках або в різні періоди спікання краще застосовувати

сумарний вихід агломерату по фр. +5 мм (з урахуванням первинного, на аглофабриці, і вторинного, в доменному цеху, повернення)  $k_{\Sigma}$ , що враховує міцність аглоспека і придатного агломерату,

$$k_{\Sigma} = \frac{(100 - P_{-5}^D) \cdot \beta_{+5}}{100} \quad (2.1)$$

де  $\beta_{+5}$  - вихід агломерату фр.+5 мм з аглоспека на аглофабриці, %.

Однак, крупність повернення, а, отже, і придатного агломерату, на аглофабриках відрізняється, що ускладнює визначення даного показника. Як правило, сумарна кількість повернення на різних металургійних підприємствах змінюється від 25 до 45% від маси аглоспека [1].

Величина якого в середньому становить 51,3%. Значення даного показника дещо занижені в порівнянні з виробничими даними 55-75%, що обумовлено ефективністю грохочення, і не досягає 100% та фактичним розміром повернення, що перевищує 5 мм.

Для вибору показників придатних для порівняльної оцінки якості агломерату проведено статистичний аналіз його міцності. Для порівняльного аналізу якості агломерату різних підприємств розраховували вихід агломерату фракції +5 мм  $A_{+5}$  з аглоспека з урахуванням сумарного виходу придатного агломерату  $\beta_{\Sigma}$  фракції +5 мм на аглофабриці і в доменному цеху.

За фактичними даними вміст в агломераті фр.+5 мм перед завантаженням в доменні печі в середньому становить 80,6%, що значно вище середнього значення механічної міцності на удар агломерату 63,0%. Вихід агломерату фр.+5 мм після випробування на міцність в стандартному барабані в середньому на 17,6% нижче вмісту в агломераті фр.+5 мм у доменних печей, що обумовлено більшою величиною роботи руйнування в барабані в порівнянні з навантаженнями, що випробовуються агломератом

при транспортуванні і перевантаженнях, яким зазвичай відповідають 40-45 оборотів барабана [5]. Цим фактом пояснюються більш низькі значення виходу стандартно стабілізованого агломерату з аглоспека 26,4-43,3%.

Середнє значення сумарного виходу агломерату 51,3% відповідає стабілізації агломерату, при якій з нього видалена не пропечена або не повністю зазнала мінералогічні перетворення шихта.

Технологія стабілізації агломерату з виділенням максимальної кількості повернення на аглофабриці особливо актуальна для металургійних комбінатів, що мають старі доменні цехи, де технічно ускладнена організація відсіву дрібниці з агломерату.

Вихід аглоспека з сирової шихти зазвичай становить 0,85-0,90 кг/кг шихти, а вихід придатного агломерату з аглопирога знаходиться на рівні 0,65-0,70 кг/кг аглоспека. Вихід придатного залежить від міцності аглоспека і обраної схеми його обробки, зокрема граничного розміру зерна при виділенні повернення [4]. Графічно залежність при різному виході аглоспека з шихти представлена на рис. 2.1.

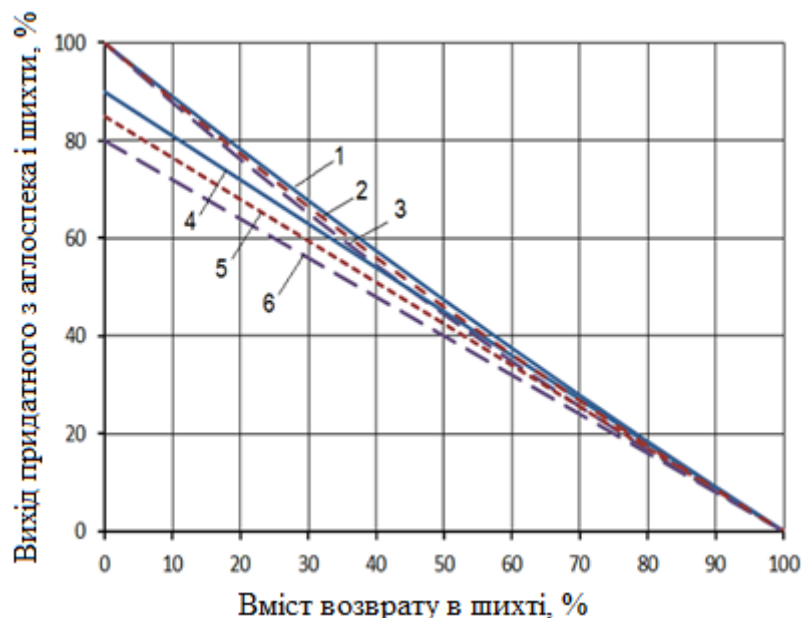


Рисунок 2.1 - Зміна виходу придатного агломерату з аглоспека (1, 2, 3) і шихти (4, 5, 6) при різному виході аглоспека з шихти, кг / кг шихти: 0,90 (1, 4); 0,85 (2, 5); 0,80 (3, 6)

Вихід придатного агломерату з аглоспека  $\beta$  для шихт з різним вмістом летких практично однаковий при рівній частці повернення в шихті (рис. 2.1, 1-3). При вмісті повернення в шихті  $\varphi = 20\%$   $\beta$  змінюється у вузьких межах 76,2-78,3%, при  $\varphi = 30\%$   $\beta = 65,1-67,7\%$ , при  $\varphi = 40\%$   $\beta = 54,6- 57,5\%$ . Продуктивність агломераційного процесу визначається виходом придатного агломерату з шихти  $k = \beta / b = 1000 / (M_{ш} + M_{в})$ , який залежить від вмісту летких в шихті (рис. 2.1, 4-6): чим більше летючих, тим нижче вихід придатного з шихти.

Для шихт з часткою повернення 20-30% при виході твердого залишку з шихти  $a = 0,90$  кг/кг шихти  $k = 63,0-72,0 \%$ , при  $a = 0,85$  кг/кг шихти  $k = 59,5-68,0 \%$ , при  $a = 0,80$  кг/кг шихти  $k = 56,0-64,0 \%$ . Зі збільшенням частки повернення в шихті вихід придатного агломерату знижується, що призводить до зменшення продуктивності агломераційних машин. Однак, у міру збільшення вмісту повернення в шихті знижується її уявна теплоємність і підвищується газопроникність агломераційного шару, що сприяє зростанню вертикальної швидкості спікання [4]. Залежність якості агломерату від вмісту повернення в шихті також, як і продуктивність агломераційного процесу, носить екстремальний характер [4, 10]. Одним з факторів, що визначають оптимальну кількість повернення в шихті, є його крупність. Краще грудкується повернення фракції 3-6 мм [1], для агломерації тонких концентратів переважніше більш дрібні фракції повернення -5 мм або 3 мм [12]. Питома продуктивність агломераційного процесу в виробничих умовах визначається масою придатного продукту, спеченого на одному квадратному метрі агломераційній стрічки в одиницю часу, і становить для аглофабрик СНД 0,96 - 1,88 т/(м<sup>2</sup>·год). Однак к придатному агломерату відносять продукт з різним вмістом дрібниці, різної крупності частинок, нижню межу розміру яких варіюється в межах 6 - 12 мм, і різної здатністю до подальшого руйнування, що впливає на оцінку продуктивності аглофабрики.

Зміна мінімального розміру частки гідного агломерату на 1 мм в інтервалі крупності 6 - 10 мм для офлюсованих агломератів призводить до

зміни виходу придатного на 5 - 7%, а, отже, істотно позначається на продуктивності аглопроцесу і кількості некондиційного агломерату, що повертається на повторне спікання. Крім того, розрахунок продуктивності агломераційного процесу по виходу придатного агломерату, коли придатний продукт обмежується виходом шматків певного класу крупності з аглоспека без урахування кількості повернення в шихті, призводить до спотворення результатів досліджень, отриманих в лабораторних умовах.

Наявність екстремальної залежності між продуктивністю агломашини і кількістю повернення в шихті, а також можливість виділення з аглоспека певної кількості придатного продукту обумовлює тісний взаємозв'язок між кількісними і якісними показниками виробленого агломерату.

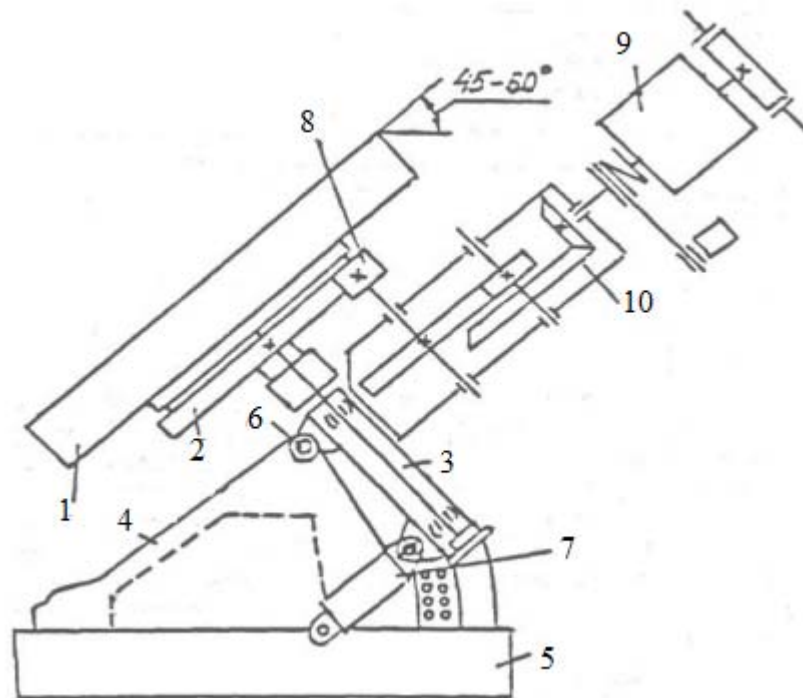
## **2.2 Дослідження впливу добавок повернення на якість огрудкування залізородного концентрату**

Для визначення оптимальної крупності повернення проведені дослідження процесу огрудкування шихти, що складається з залізородного концентрату і повернення різної крупності: 2-3, 3-5, 5-7 і 7-10 мм. Вміст повернення в шихті прийнято на основі виробничих даних постійним і рівним 20%. Дослідження проводилися в лабораторному тарілчастому грануляторі (кут нахилу 45°, тривалість огрудкування 4 хв, швидкість обертання 14 об/хв) при постійній вологості 8% (рис. 2.2).

Тарілчастий, або чашевий, гранулятор складається з чаші 1 звареної конструкції. У виробничих умовах для кращого утворення і збереження гарнісажу внутрішня поверхня чаші покривається сіткою або шаром бетону. Чаша кріпиться до опори зубчастого вінця 2, який разом з чашею встановлюється на вал 3 рами чаші 4. Рама чаші з'єднується зі станиною 5 за допомогою шарнірів 6, що дозволяє регулювати кут нахилу чаші. Поворот комкувача на опорній рамі здійснюється гідродомкратом 7. Привід чаші



зазвичай складається з відкритої зубчастої передачі 8, електродвигуна 9, редуктора 10, тахогенератора і гальма.



1 – чаша зварної конструкції; 2 – опори зубчастого вінця; 3 – вал;  
4 – рами чаші; 5 – станина; 6 – шарніри; 7 – гідродомкрат;  
8 – відкрита зубчаста передача; 9 – електродвигун; 10 – редуктор

Рисунок 2.2 – Тарілчастий комкувач

Якість огрудкованої шихти з використанням повернення різної крупності оцінювалося ступенем огрудкування і еквівалентним діаметром гранул. Гранулометричний склад огрудкованої шихти з використанням повернення різної крупності представлений в табл. 2.1.

Аналіз результатів дослідження процесу огрудкування показав (табл. 2.2), що ступінь огрудкування шихти змінювалася в межах 64,57-76,76%, а еквівалентний діаметр гранул - в межах 2,25-2,84 мм

Максимальні значення  $C = 76,76\%$  і  $d_{\text{екв}} = 2,84$  мм досягалися при додаванні к дрібнодисперсному концентрату повернення фракції 3-5 мм.

Як відомо, кращої з точки зору процесу огрудкування агломераційної шихти фракцією слід вважати 3-6 мм, так як більш дрібні класи (до 1,5 мм)

слабо беруть участь в огрудкуванні, а великі фракції мають меншу питому поверхню.

Таблиця 2.1 – Гранулометричний склад огрудкованої шихти з використанням повернення різної крупності

Крупність повернення d, мм	Маса огрудкованої шихти по фракціям $m_{см}$ , г							
	0-2 мм		2-5 мм		5-10 мм		+10 мм	
	г	%	г	%	г	%	г	%
2-3	422	25,89	947	58,10	208	12,76	53	3,25
3-5	303	18,59	644	39,51	586	35,95	97	5,95
5-7	450	27,61	385	23,62	775	47,55	20	1,23
7-10	462	28,34	546	33,50	565	34,66	57	3,50

Таблиця 2.2 – Показники процесу огрудкування шихти з використанням повернення різної крупності

Крупність повернення d, мм	Маса огрудкованої шихти $m_{см}$ , г	Ступінь огрудкування C,%	Еквівалентний діаметр грудочок $d_{екв}$ , мм
2-3	1208	67,63	2,25
3-5	1327	76,76	2,84
5-7	1180	65,48	2,45
7-10	1168	64,56	2,33

Крупність повернення повинна вибиратися відповідно крупності спекаємої руди або концентрату. При огрудкуванні аглошихти в барабані, повернення і великі частки руди є центрами утворення гранул, на які накочуються тонкі (-0,2 мм) фракції руди і концентрат.

Підтримка крупності повернення на оптимальному рівні особливо важливо при спіканні тонких концентратів, коли ефективно огрудкування шихти необхідно. Що стосується верхньої межі крупності гранул або рудних

частинок, то за умовами прогріву і плавлення їх розміри не повинні перевищувати 5-6 мм. Тому в подальших дослідженнях застосовували повернення фракції 3-5 мм, званий каліброваним.

### **2.3 Визначення оптимальної вологості шихти при огрудкуванні залізородного концентрату з каліброваним поверненням**

З метою уточнення значень оптимальної вологості шихти при огрудкуванні залізородного концентрату з каліброваним поверненням проведені три серії дослідів з вологістю 6, 8, 10%. Ефективність процесу огрудкування оцінювали гранулометричним складом огрудкованої шихти (фр. +10, 5-10, 2-5 і -2 мм), на основі якого розраховували ступінь огрудкування  $C$ , еквівалентні діаметри частинок огрудкованої шихти  $d_{cm}$  і отриманих гранул  $d_{гр}$ .

Гранулометричний склад шихти, огрудкованої при різному співвідношенні концентрату і каліброваного повернення представлений в табл. 2.3, а показники процесу огрудкування  $C$ ,  $d_{cm}$  і  $d_{гр}$  на рис 2.3.

Лабораторні дослідження впливу кількості каліброваного повернення на процес огрудкування залізородного концентрату показали, що оптимальний  $d_{гр} \sim 5$  мм для процесу їх спікання забезпечується при частки повернення 20-40% (в інтервалі  $W = 10-6\%$ ), при цьому досягається відносно висока ступінь огрудкування шихти 85-92%.

При вологості концентрату 6% без додавання повернення ступінь огрудкування була низькою і склала 41%,  $d_{cm}$  склав лише 1,42 мм, при цьому гранули були занадто великі - 9,31мм з точки зору спікання аглошихти (рис. 2.3, а). Додаток повернення сприяла збільшенню ступеню огрудкування. При 50-60% повернення досягалася максимальна концентрація  $C_{max} = 85-99\%$ , однак різко збільшився  $d_{гр}$ , а процес огрудкування порушувався в зв'язку зі зменшенням питомої поверхні частинок суміші.

Оптимальний  $d_{гр}$  забезпечувався при 40% повернення при відносно високій  $C = 77\%$ .

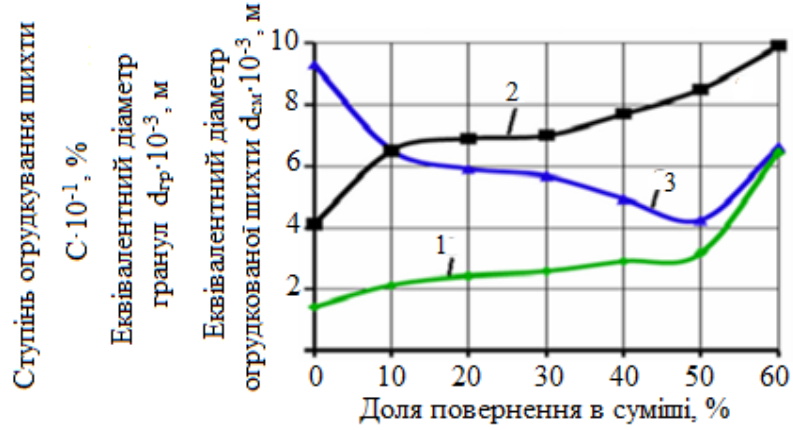
Таблиця 2.3 – Ситовий склад огрудкованої шихти з різною вологістю

Вологість $W, \%$	Доля возврату в шихті $\phi, \%$	Маса огрудкованої шихти по фракціям $m_{см}, г$			
		+10 мм	10-5 мм	5-2 мм	2-0 мм
6	0	0	82,51	525,35	892,14
	10	0	413,97	609,49	476,54
	20	3,14	462,64	671,43	362,79
	30	3,79	473,18	702,65	320,37
	40	5,45	410,63	872,63	211,29
	50	10,37	272,2	1108,8	108,63
	60	74,34	1201,58	218,19	5,89
8	0	6,76	194,48	520,31	778,45
	10	0	320,98	542,49	636,53
	20	1,83	417,6	756,8	323,77
	30	4,17	395,59	870,85	229,39
	40	155,5	765,2	508,3	71,0
	50	7,37	432,15	1005,41	55,07
	60	852,42	534,08	74,33	39,77
10	0	8,42	71,90	485,79	933,89
	10	3,95	364,63	1079,80	51,62
	20	37,67	823,88	158,80	50,45
	30	163,72	1179,49	127,19	29,60
	40	1294,57	148,33	50,10	7,00

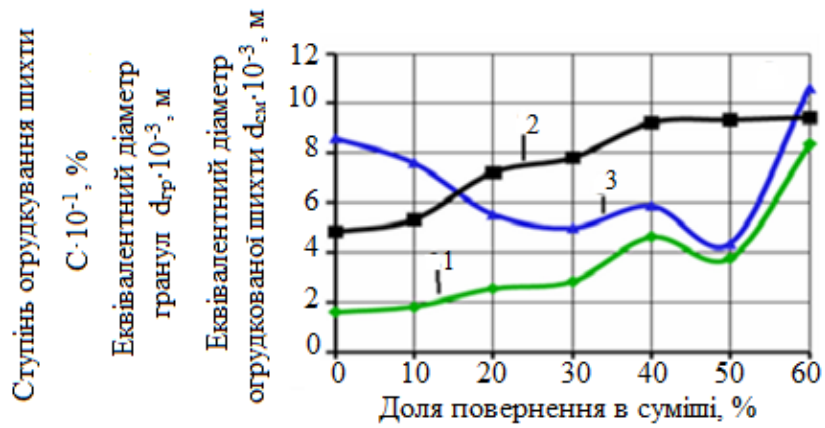
При вологості концентрату 8% без додавання повернення  $C = 48\%$ , що вище, ніж при вологості 6%,  $d_{гр}$  дещо менше 8,57 мм, а суміші вище 1,57 мм (рис. 2.3, б). Ступінь огрудкування росла зі збільшенням частки повернення і досягла максимальних значень при частки повернення понад 40%, однак при цьому процес огрудкування порушувався, шихта ставала перезволоженою, діаметр гранул різко збільшився. Кращі результати спостерігалися при частки повернення 30-40% ( $C = 78-95\%$ ,  $d_{см} = 2,89-4,59$  мм,  $d_{гр} = 4,97-5,86$  мм).

При вологості концентрату 10% без додавання повернення досягалася  $C_{max} = 69\%$  в порівнянні з 6 і 8% вологості,  $d_{гр} = 2,24$  мм,  $d_{см} = 4,99$  мм.

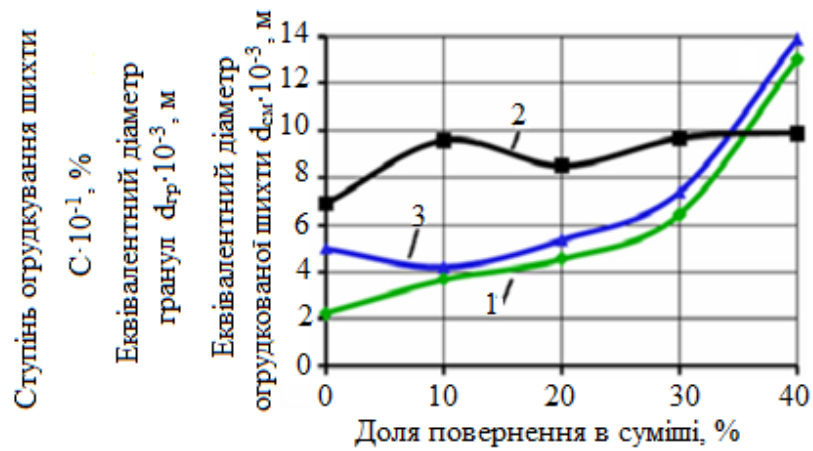
Високі значення ступеня огрудкування досягалися вже при додаванні 10% повернення (рис. 2.3, в). Оптимальні результати вийшли при досягненні частки повернення 10-20% ( $C = 85-96\%$ ,  $d_{гр} = 4,19-5,36$  мм,  $d_{см} = 3,67-4,54$  мм).



а)



б)



в)

Рисунок 2.3 – Вплив долі каліброваного повернення в шихті на показники огрудкування: 1 -  $d_{см}$ ; 2 -  $C \cdot 10^{-1}$ ; 3 -  $d_{гр}$

З точки зору оптимальної крупності гранул агломераційної шихти ~ 5 мм частка каліброваного повернення не повинна перевищувати 20-40%. З ростом долі повернення в суміші оптимальна вологість знижується.

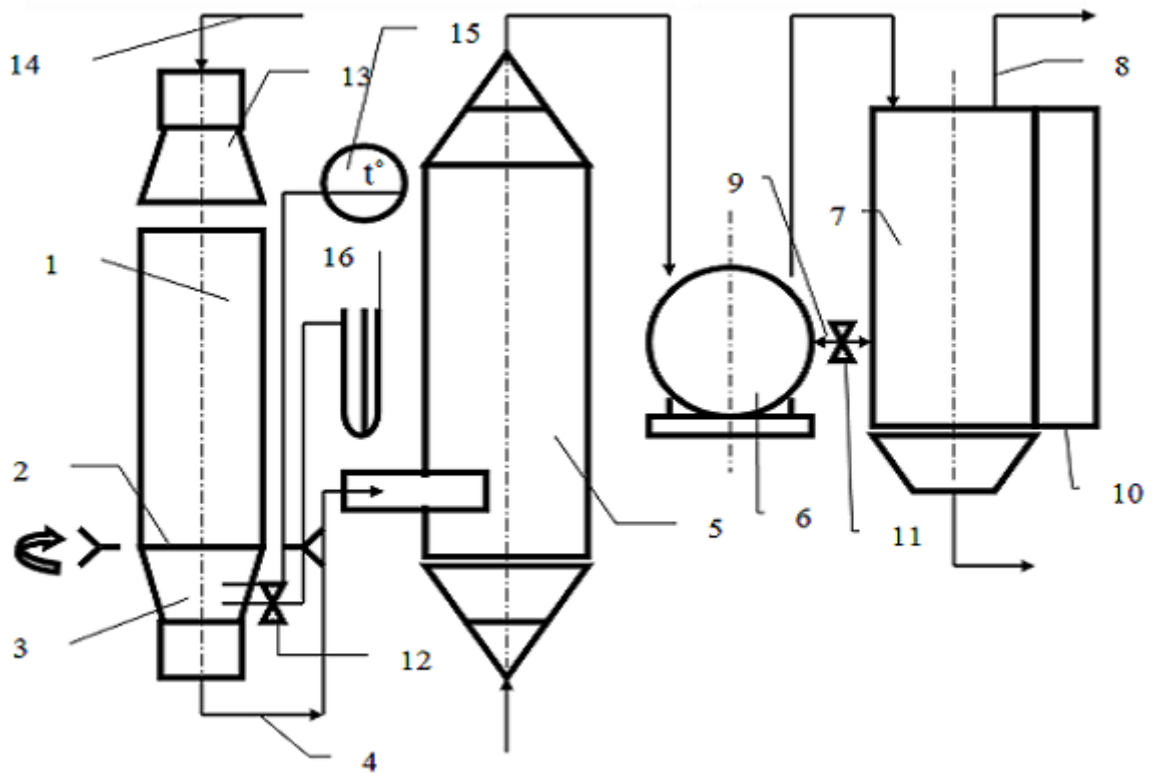
#### **2.4 Дослідження впливу добавок каліброваного повернення на показники агломераційного процесу**

З метою дослідження впливу кількості каліброваного повернення (фр. 3-5 мм) на показники агломераційного процесу були проведені лабораторні спікання агломераційної шихти (аглоруда - 17,5%, залізорудний концентрат - 60%, вапняк - 17,5%, коксик - 5%). Склад агломераційної шихти представлений в табл. 2.4. У базовому спіканні (БС) крупність повернення становила -5 мм при його вмісті в шихті 20% (10% - фр. 0-3 мм, 10% - фр. 3-5 мм), в дослідному спіканні застосовували калібровані повернення фракції 3 5 мм при його вмісті в шихті 20, 30 і 40% (КВ20, КВ30, КВ40).

Спікання шару агломераційної шихти заввишки 180 мм проводилися в лабораторній агломераційній чаші діаметром 140 мм з розрідженням під колосниковими ґратами 10 кПа (рис. 2.4).

До складу установки входить циліндрична чаша 1, в яку завантажують огрудковану шихту. У нижній частині чаші розташована решітка 2. Під чашею розташована вакуум-камера 3, яка газопроводом 4 з'єднується послідовно з пиловловлювачем 5 і 7. Розрядка під ґратами створюється екстаурстером 6. Запалювання шихти проводять спеціальної газовим пальником 13.

Установка обладнана приладовою дошкою, на яку винесені потенціометр 15 і вакуум-метр 16, з'єднані з датчиками в газопроводі.



1 – циліндрична чаша; 2 – решітка; 3 – вакуум-камера;  
4 – газопровід; 5,7 – пиловловлювачі; 6 – ексгаустер; 13 – газовий пальник; 15 – потенціометр; 16 – вакуум-метр

Рисунок 2.4 – Схема лабораторної установки для агломерації

Таблиця 2.4 – Склад агломераційної шихти з звичайним і каліброваним поверненням при постійному розрідженні 10 кПа

Склад аглошихти	Спiкання шихти з поверненням			
	Звичайним 20% (БС)	Калiброваним		
		20% (КП20)	30% (КП30)	40% (КП40)
Шихта, г:				
концентрат	2400	2400	2100	1800
руда	700	700	6125	525
вапняк	700	700	6125	525
коксик	200	200	175	150
Повернення, всього	1000	1000	1500	2000
в т.ч. фр. 3-5 мм	500	1000	1500	2000
фр. 0-3 мм	500	-	-	-

Дослідні спікання привели до наступних результатів, які представлені на рис. 2.5 і в табл. 2.5.

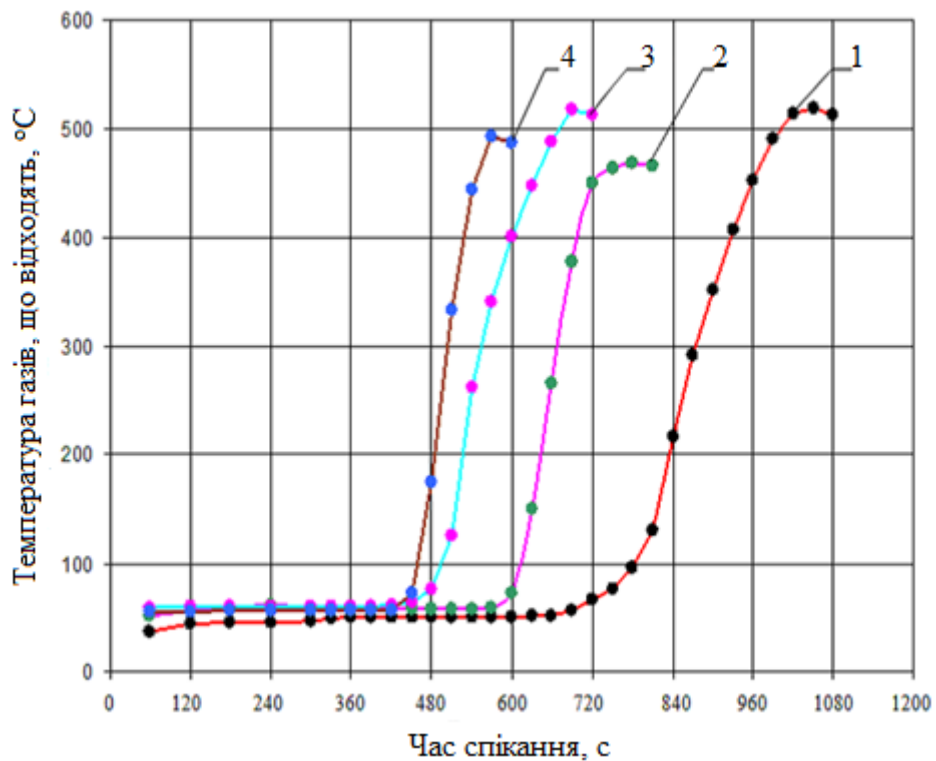


Рисунок 2.5 – Залежність температури газів, що відходять від часу спікання: 1 - БС; 2 - КВ20; 3 - КВ30; 4 - КВ40

Заміна звичайного повернення фракції -5 мм каліброваним привела до підвищення вертикальної швидкості спікання з 10,3 до 13,9 мм/хв, підвищення вмісту каліброваного повернення в шихті з 20 до 40% сприяло зростанню вертикальної швидкості спікання до 19 мм/хв і збільшення питомої продуктивності агломераційного процесу з 1,095 до 1,431 т/м<sup>2</sup>·год.

Добавки каліброваного повернення в шихту покращували процес її огрудкування і газопроникність огрудкованої шихти, яка є основним чинником, що визначає продуктивність агломераційного процесу.



Таблиця 2.5 – Результати спікання зі звичайним і каліброваним поверненням при постійному розрідженні 10 кПа

Показники	Спікання шихти з поверненням			
	Звичайним 20% (БС)	Каліброваним		
		20% (КП20)	30% (КП30)	40% (КП40)
Час спікання, с	1050	780	690	570
Вертикальна швидкість спікання, мм/хв	10,29	13,85	15,65	18,95
Розсівання агломерату після спікання, %:				
0-2 мм	6,28	4,37	3,85	3,72
2-3 мм	11,59	8,25	8,17	7,91
3-5 мм	6,28	8,25	9,13	16,28
5-10 мм	14,01	13,11	18,75	20,00
+ 10 мм	61,84	66,02	60,10	52,09
Вихід придатного, %:				
по фракції +5 мм	75,85	79,13	78,85	72,09
при замкнутому циклі повернення	76,15	76,03	64,40	54,08
стандартно стабілізованого	58,41	57,55	52,84	44,01
Розсівання після механічної міцності на удар, %:				
0-2 мм	4,60	5,68	5,32	7,37
2-3 мм	10,34	10,23	11,70	12,63
3-5 мм	8,05	11,36	15,96	18,95
5-10 мм	17,24	20,45	26,60	24,21
+ 10 мм	59,77	52,27	40,43	36,84
Механічна міцність агломерату на удар $X_{+5}$ , %	77,01	72,72	67,03	61,05
Питома продуктивність:				
по аглоспеку, т/м <sup>2</sup> ·год	0,923	1,236	1,411	1,756
по виходу придатного (фр.+5 мм), т/м <sup>2</sup> ·год	0,700	0,978	1,112	1,273
при замкнутому циклі повернення, т/м <sup>2</sup> ·год	0,703	0,940	0,908	0,954
по виходу стандартно стабілізованого агломерату, т/м <sup>2</sup> ·год	0,539	0,711	0,745	0,777

Заміна звичайного повернення, застосовуваного в базовому спіканні, каліброваним при його незмінній частці в шихті 20% привела до зростання продуктивності практично на 20%, збільшення частки каліброваного повернення в шихті з 20 до 40% супроводжувалося відповідним підвищенням продуктивності на 20%. Таким чином, збільшення частки каліброваного повернення на 1% при його вмісті в шихті 20-40% супроводжувалося

підвищенням продуктивності на 1% відповідно в прийнятих умовах спікання. Слід врахувати, що коригування умов спікання (склад шихти, розрідження, висота шару і т. п.) спричинить зміну величини приросту продуктивності при підвищенні частки повернення шихти.

Зміна виходу придатного по фракції +5 мм і +10 мм при спіканні агломераційних шихт з різним вмістом каліброваного повернення якісно однаково. При заміні звичайного повернення каліброваним без зміни його частки в шихті, що дорівнює 20%, спостерігалось збільшення виходу придатного по фр. +5 мм з 77,47 до 80,55%, по фр. + 10 мм з 64,41 до 68,33% за рахунок більш повного вигорання палива в шихті.

Однак, збільшення крупності повернення без відповідного коригування витрати палива призвело до зниження механічної міцності агломерату на удар з 77,01 до 72,72%. Підвищення частки каліброваного повернення в шихті супроводжувалося зниженням приходу тепла в процесі спікання агломерату, так як експерименти проводилися при постійній витраті палива в сиру шихту. В результаті при підвищенні частки каліброваного повернення в шихті з 20 до 40% вихід придатного агломерату знизився по фр. +5 мм з 80,55 до 73,92%, по фр. + 10 мм з 68,33 до 55,22%, а механічна міцність агломерату на удар - з 72,72 до 61,05%. При спіканні шихти зі звичайним поверненням збільшення його вмісту в шихті понад певної межі вимагає коригування витрат в неї палива.

Щоб зберегти міцності агломерату та забезпечення необхідного рівня виходу придатного необхідне підвищення витрати палива в шихту при збільшенні крупності і кількості повернення в ній.

З метою визначення доцільності використання каліброваного повернення в агломераційній шихті були проведені лабораторні спікання.

Спіканню піддавалася агломераційна шихта (17% аглоруди, 55% залізородного концентрату, 13% вапняку, 5% залізовмісного шламу, 5% вапняного пилу, 5% палива) масою 5 кг з 20 і 40% звичайного повернення, представляє собою відсів дрібного агломерату розміром менше 5 мм, в шарі

висотою 180 мм при початковому розрідженні 10 кПа. Склад агломераційної шихти представлений в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Склад агломераційної шихти спікання з звичайним і каліброваним поверненням при початковому розрідженні 10 кПа

Склад аглошихти	Спікання шихти з поверненням			
	20%		40%	
	БС	КП	БС	КП + Т
Шихта, г:				
концентрат	2219	2219	1664	1634
руда	700	700	525	576
вапняк	493	493	370	363
коксик	204	204	153	204
шлам	200	200	150	147
вапняний пил	184	184	138	136
Повернення, всього	1000	1000	2000	2000
в т.ч. фр. 3-5 мм	500	1000	1000	1000
фр. 0-3 мм	500	-	1000	1000

Результати спікання представлені на рис. 2.6 і в табл. 2.7. В якості базового прийнято спікання шихти з 20% звичайного повернення (БС20), хід якого представлений на рис. 2.6 кривими зміни температури газів, що відходять і розрідження під колосниковими ґратами.

Як видно з рис. 2.6, процес базового спікання завершився за 16,5 хвилин при досягненні газами максимальної температури 530 °С, при цьому розрідження під колосниковими ґратами знизилося до 4,5 кПа.

Питома продуктивність по сирій шихті склала 0,934 при  $Q_{ш} = 1,167 \text{ т/м}^2 \cdot \text{год}$ .

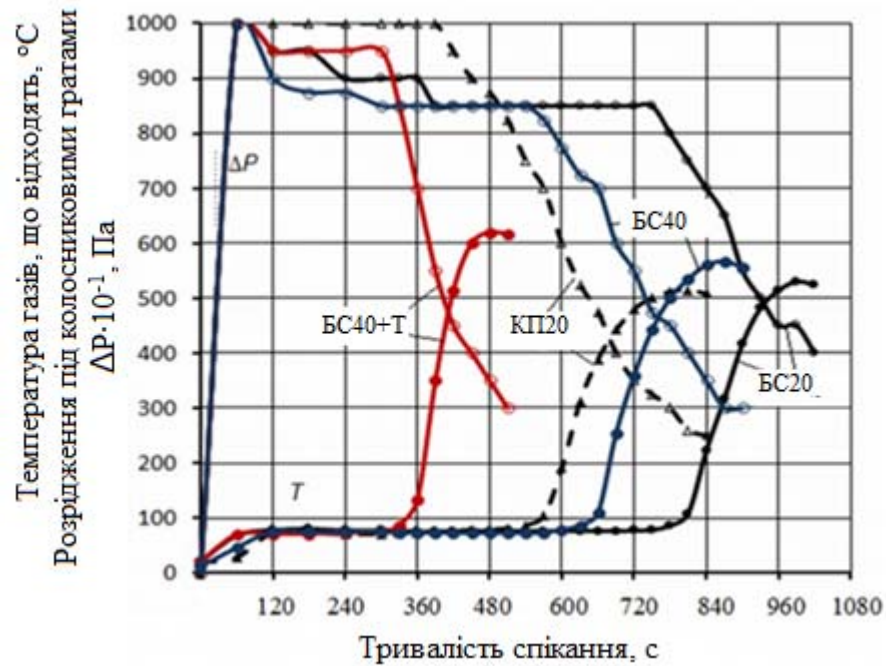


Рисунок 2.6 – Зміна показників спікання шихти зі звичайним і каліброваним поверненням при початковому розрідженні 10 кПа

Результати лабораторних дослідів спікання шихти зі збільшенням вмісту повернення до 40% (BC40) представлені на рис. 2.6 кривими зміни температури газів, що відходять, і розрідженні під колосниковими ґратами. Тривалість процесу спікання скоротилася на 2 хвилини, при цьому продуктивність по шихті з поверненням зросла на 13,8%, по аглоспеку - на 8,6%, по виходу придатного - на 10,3%, по виходу стандартно стабілізованого агломерату - на 16,1% за рахунок підвищення міцності агломерату на 3,6% абс. при збільшеній частці повернення в шихті. Таким чином, підвищення частки повернення шихти при сталості вихідного складу сирової шихти забезпечило зростання її газопроникності і продуктивності аглопроцесу на 9 - 16% в лабораторних умовах без збереження балансу повернення в шихту, що є недостатнім для покриття необхідної витрати повернення в шихту в виробничих умовах. Питома продуктивність аглопроцесу по сирій шихті при незмінному її складі і підвищенні вмісту повернення в шихті з 20 до 40% знизилася на 14,8%, що свідчить про об'єктивне зниження продуктивності агломераційного процесу, незважаючи

на приріст продуктивності по всій шихті, придатному продукту і стандартно стабілізованому агломерату в лабораторних умовах.

Таблиця 2.7 – Показники спікання шихти зі звичайним і каліброваним поверненням при початковому розрідженні 10 кПа

Показники	Спікання шихти з поверненням			
	20%		40%	
	БС	КП	БС	БС+Т
Час спікання, с	990	810	870	480
Вертикальна швидкість спікання, мм/хв	10,91	13,33	12,41	22,50
Розсівання агломерату після спікання,%:				
0-2 мм	3,05	3,55	3,72	4,15
2-3 мм	8,63	7,61	6,91	8,29
3-5 мм	5,58	7,11	5,32	8,29
5-10 мм	9,64	7,11	10,11	8,81
+ 10 мм	73,10	74,62	73,94	70,47
Вихід придатного,%:				
по фракції +5 мм	82,74	81,73	84,04	79,27
при замкнутому циклі повернення	74,94	74,94	47,48	48,85
стандартно стабілізованого	56,86	57,91	60,76	57,87
Розсівання після механічної міцності на удар,%:				
0-2 мм	6,68	6,47	6,95	2,99
2-3 мм	13,21	9,68	10,05	10,80
3-5 мм	11,39	12,99	10,70	13,21
5-10 мм	23,91	22,62	23,53	23,64
+ 10 мм	44,81	48,24	48,77	49,36
Механічна міцність агломерату на удар $X_{+5}$ ,%	68,72	70,86	72,30	73,00
Питома продуктивність:				
по аглоспеку, т/м <sup>2</sup> ·год	0,931	1,138	1,011	1,882
по виходу придатного (фр.+5 мм), т/м <sup>2</sup> ·год	0,770	0,930	0,850	1,492
при замкнутому циклі повернення, т/м <sup>2</sup> ·год	0,698	0,853	0,480	0,919
по виходу стандартно стабілізованого агломерату, т/м <sup>2</sup> ·год	0,529	0,659	0,613	1,087

Отже, в лабораторних умовах для отримання об'єктивних результатів досліджень необхідно прагнути до досягнення режиму повернення,

встановленого в результаті його самобалансування (замкнутий збалансований цикл повернення постійної крупності).

Як відомо, підвищена витрата повернення в шихту вимагає збільшення витрати палива. Хід процесу агломерації з вмістом коксика в сирій шихті 6,8% при збереженні його частки в загальній масі шихти на рівні базового спікання (БС40+Т) представлений на рис. 2.6 кривими зміни температури газів, що відходять і розрідженні під колосниковими ґратами. Тривалість процесу спікання скоротилася на 8,5 хвилин в порівнянні з базовим спіканням. Заміна в шихті базового спікання звичайного повернення великим (каліброваним) фракції 3 - 5 мм (КВ20) сприяла практично рівному підвищенню продуктивності аглопроцесу по шихті з поверненням, сирої шихти, аглоспека на 22%. Тривалість спікання знизилася в порівнянні з базовим спіканням на 3 хвилини (рис. 2.6). Приріст продуктивності по виходу придатного склав 20,7 і стандартно стабілізованого агломерату - 24,5%, а при замкнутому циклі повернення - 22,7%. Позитивний приріст продуктивності по всім розрахунковим показникам свідчить про об'єктивне її підвищенні при заміні звичайного повернення каліброваним. Міцність агломерату в даному випадку дещо зросла, так як, не дивлячись на скорочення на 1% абс. виходу придатного з аглоспека, підвищилася міцність агломерату більш ніж на 2% абс., а вихід стандартно стабілізованого агломерату відповідно - на 1,85% відн.

Проведені дослідження показали доцільність використання в агломераційній шихті каліброваного повернення фр. 3-5 мм. Однак, при реалізації технології спікання агломерату з застосуванням каліброваного повернення неминуче виникає проблема утилізації дрібного повернення. Найбільш доцільним видається укрупнення частинок дрібного повернення, наприклад гранулювання з еднальними і подальше введення гранул в агломераційну шихту.

## 2.5 Дослідження впливу добавок гранульованого різними способами повернення на показники агломераційного процесу

З метою дослідження впливу добавок гранул повернення (фр. 3-5 мм) на показники агломераційного процесу проведені лабораторні спікання агломераційної шихти з вмістом каліброваного (фр. 3-5 мм) 10% і дрібного повернення (фр. 0-3 мм) в складі гранул - 10%. У шихті масою 5 кг містилося 62% рудної частини, 4% палива, 14% флюсу і 20% повернення. У базовому спіканні (БС) крупність повернення становила 0-5 мм (50% фр. 0-3 мм і 50% фр. 3-5 мм) при його загальному вмісті в шихті 20%. Гранулюванню піддавалися дисперсні (фракція менше 0,4 мм) і дрібні які погано грудкуються (фракція 0,4-1,6 мм) частинки повернення, шламу і вапняного пилу в співвідношенні 40:34:26, що забезпечує достатню для агломераційного процесу міцність на розчавлювання 12-14 Н. Склад вихідної сирової агломераційної шихти і співвідношення огрудкованих матеріалів в шихті приведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Склад агломераційної шихти в лабораторних дослідах спікання зі звичайним, каліброваним та гранульованим поверненням

Склад аглошихти	Спікання шихти з поверненням			
	звичайним	гранульваним		
		грудкуванням	екструзією	брикетуванням
Шихта, г				
концентрат	2219	2219	2219	2219
руда	700	700	700	700
вапняк	493	493	493	493
коксик	204	204	204	204
Шлам:				
сипучий	200	89	89	89
у складі гранул	-	111	111	111
Вапняний пил:				
сипучий	184	-	-	-
в складі гранул	-	184	184	184
Повернення, всього	1000	1000	1000	1000
в т.ч. фр. 3-5 мм	500	500	500	500
фр. 0-3 мм	500	-	-	-
в складі гранул	-	500	500	500

Гранулювання проводилося трьома способами: грудкуванням, брикетуванням і екструзією. Фотографії гранул наведені на рис. 2,7, 2,8, 2,9. Брикети фракції 30-60 мм пресували, сушили, а потім дробили до фракції 3-5 мм і додавали в агломераційну шихту. Лабораторні спікання проводилися при початковому розрідженні 10 кПа.



Рисунок 2.7 – Фотографія гранул, отриманих грудкуванням



Рисунок 2.8 – Фотографія гранул, отриманих: а - дробленням брикетів (брикетне кришиво); б - вихідні брикети



Рисунок 2.9 – Фотографія гранул, отриманих екструзією



Добавки гранульованого повернення в шихту покращували процес її огрудкування і газопроникність огрудкованої шихти, яка є основним чинником, що визначає продуктивність агломераційного процесу (табл. 2.9).

Таблиця 2.9 – Результати лабораторних дослідів спікання шихти зі звичайним, каліброваним та гранульованим поверненням

Показники	Спікання шихти з поверненням			
	звичайним	Гранульованим		
		грудкуванням	екструзією	брикетуванням
Час спікання, с	990	750	630	690
Вертикальна швидкість спікання, мм/хв	10,91	14,40	17,14	15,65
Розсівання агломерату після спікання, %:				
0-2 мм	3,05	3,55	5,53	3,61
2-3 мм	8,63	9,55	8,54	8,76
3-5 мм	5,58	6,03	8,54	6,70
5-10 мм	9,64	8,54	8,04	9,28
+ 10 мм	73,10	72,36	69,35	71,65
Вихід придатного, %:				
по фракції +5 мм при замкнутому циклі повернення стандартно стабілізованого	82,74	80,90	77,39	80,93
	74,94	75,19	75,19	74,56
	56,86	54,73	48,36	53,75
Розсівання після механічної міцності на удар, %:				
0-2 мм	6,68	2,41	8,67	6,68
2-3 мм	13,21	16,79	14,11	14,33
3-5 мм	11,39	13,16	14,73	12,57
5-10 мм	23,91	22,89	24,41	25,83
+ 10 мм	44,81	44,76	38,09	40,59
Механічна міцність агломерату на удар $X_{+5}$ , %	68,72	67,65	62,50	66,42
Питома продуктивність: по аглоспеку, $t\ m^{-2}\cdot год$	0,931	1,242	1,478	1,316
по виходу придатного (фр.+5 мм), $t/m^2\cdot год$	0,770	1,005	1,144	1,065
при замкнутому циклі повернення, $t/m^2\cdot год$	0,698	0,934	1,111	0,981
по виходу стандартно стабілізованого агломерату, $t/m^2\cdot год$	0,529	0,680	0,715	0,707

Підвищення в шихті частки центрів огрудкування на 15,9% призвело до зниження тривалості спікання з 990 до 630-750 с. Заміна дрібного повернення фракції -3 мм гранульованим привела до підвищення вертикальної швидкості спікання з 10,91 до 14,40-17,14 мм/хв.

Відносна продуктивність аглопроцесу зросла по аглоспеку і при замкнутому циклі повернення на 33-59%, по виходу придатного (фр. +5 мм) на 30-48% в залежності від способу гранулювання дрібного повернення.

Показники аглопроцесу при введенні в шихту брикетного кришива і гранул, виготовлених грудкуванням, були близькі. При добавці окатаних гранул, що мають округлу форму і сприяють більш щільному укладанню огрудкованої шихти, продуктивність аглопроцесу при замкнутому циклі повернення підвищилася лише на 33,80% при зниженні механічної міцності агломерату на удар на 1,07%. Добавка гранул, отриманих методом екструзії, що мають неправильну геометричну форму, сприяла менш щільному укладанню огрудкованої шихти, більшої продуктивності аглопроцесу при замкнутому циклі повернення рівній 159,10% при погіршенні механічної міцності агломерату на удар на 6,22%, обумовленому надмірно високою газопроникністю агломераційного шару.

Лабораторні спікання вищевказаної аглошихти з добавками окатаних гранул при більш низькому розрідженні під колосниковими ґратами 7 кПа привели до меншого зростання продуктивності по виходу придатного (фр. +5 мм), однак міцність агломерату при цьому практично не змінилася: механічна міцність на удар склала 68,34%.

Застосування гранульованого повернення дозволяє регулювати кількість центрів огрудкування в аглошихту для забезпечення необхідної продуктивності аглопроцесу.

Зберегти міцність агломерату на колишньому рівні можливо за рахунок підвищення висоти спекаемого шару, коригування витрати палива в шихту, вакууму під аглоленту і інших методів інтенсифікації.

Продуктивність аглопроцесу по виходу стандартно стабілізованого агломерату, що враховує міцність отриманого агломерату, при введенні екструдованих гранул також була найбільш високою і перевищувала при введенні окатаних і брикетованих гранул на 4-5%.

## **2.6 Розробка способу гранулювання відсіву агломерату**

У подальших дослідженнях з'явилася потреба в розробці способу гранулювання відсіву агломерату, який може бути застосований для ефективного гранулювання подрібнених відходів, зокрема, відсіву агломерату розміром до 3 мм, шламів і пилу, що використовуються в агловиробництві.

При наявності необхідної кількості центрів огрудкування і досить тонких накочуваних на них дрібних компонентів шихти, одним з компонентів якої є сталеплавильний шлам або концентрат, а також наявності зв'язуючої речовини, утворення гранул протікає досить інтенсивно, а гранули володіють необхідною міцністю, достатньою для їх подальшої обробки. Застосування тарілчастого гранулятора замість барабанного сприяє отриманню гранул близького розміру.

Недоліком даного способу є те, що при використанні центрів огрудкування з низькими адгезійними і когезійними властивостями, наприклад з повернення розміром до 3 мм, що володіє гладкою склоподібною поверхнею, має місце зниження ефективності грудкування, а гранули виходять недостатньо міцними і руйнуються при їх подальшій обробці.

Крім того, виробництво окатишів з сталеплавильного пилу і шламів технічно складно і має ряд особливостей. Так, дрібно подрібнений сталеплавильний пил вимагає для свого огрудкування суворого дотримання технології, зокрема, стабільного хімічного і фракційного складу і підтримання сталості коливань вологості на рівні  $\pm 0,5\%$ , що в умовах реального виробництва забезпечити досить складно.

Необхідність термозміцнення гранул роблять цей спосіб економічно витратним.

При використанні подрібненої сировини гранули виходять досить міцними, а задовільний вихід придатного вже при двохступінчатому дробленні забезпечує високу ефективність процесу.

До недоліків даного способу відноситься його відносна складність, оскільки включає три додаткових переділу - брикетування, сушку і щадне дроблення, що забезпечує максимальний вихід гранул, вимагає вкладення значних капітальних і поточних витрат. При використанні сировини зі зниженими адгезійними і когезійними властивостями, наприклад повернення розміром до 3 мм, що володіє гладкою поверхнею, має місце зниження міцності гранул, внаслідок розупрочнення зв'язків частинок в гранулах під впливом локальних напружень, що виникають при дробленні брикетів.

Найбільш близьким до розробленого способу гранулювання є спосіб гранулювання шламів, що включає їх дозування, зволоження, змішування з іншими компонентами і пресування.

Даний спосіб отримання гранул з дрібноподрібнених матеріалів (шламів і пилу), технічно простий, має високу продуктивність, не вимагає використання первинної сировини.

Істотним недоліком цього способу є його непридатність для отримання гранул з великих матеріалів, зокрема відсіву повернення агломерату розміром до 3 мм (далі – відсів агломерату), внаслідок його низьких аутогезійних властивостей. Гранули виходять неміцними, а високо абразивний відсів агломерату призводить до швидкого зносу фільтри.

В основу розробленого способу поставлена задача отримання гранул з відсіву агломерату розміром до 3 мм, в якому за рахунок використання нових матеріалів досягається необхідна міцність гранул.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі гранулювання відсіву агломерату, який включає підготовку і дозування компонентів шихти, їх зволоження, змішування і пресування, згідно з винаходом в відсів агломерату

розміром до 3 мм вводять зв'язуюче і пластифікатор, взяті в співвідношенні  $(2 \div 5) : 1 : 1$ . При цьому в якості зв'язуючого використовують вапняний піл, а в якості пластифікатора – сталеплавильний шлам.

З особливостей екструзії як методу згрудкування слід, що такій обробці піддають переважно пластичні, подрібнені матеріали, розмір яких, очевидно, повинен бути істотно менше отворів фільтри. Якщо цей розмір можна порівняти, фільтера буде забиватися, а гранулятор - зупинятися на очистку. К пластичним подрібненим матеріалам відносять глиняні суміші, суміші шламів і ін. Такі матеріали володіють суцільністю, тобто відсутністю великих пір і порожнин, які створюють локальні неоднорідності, що сприяють руйнуванню або зниженню міцності гранул. Ці порожнини повинні бути заповнені будь-яким матеріалом, подібно глиняному або штукатурному розчину. Роль останніх в металургії виконують шлами і піл.

Крім того, суміш повинна володіти низьким коефіцієнтом тертя, що не створює значної протидії, оскільки величина зусилля для шнекового пристрою обмежена за величиною, а надмірне тертя призводить до швидкого зносу прес-форм.

Звідси випливає, що для ефективного екструдювання відсіву агломерату розміром до 3 мм його гострі і тверді частинки повинні знаходитися всередині м'якої подрібненої суміші, яка виконує роль мастила, заповнювач пір, зв'язуючого і пластифікатора. Така суміш легше проходить через фільтеру, а отвори служать довше. У цьому випадку вважається, що процес екструдювання шихти здійснюється задовільно.

Необхідність виконання вищенаведених умов підготовки відсіву агломерату розміром до 3 мм ґрунтується на наступних його властивостях, відмінних від властивостей інших матеріалів, що обробляються екструзією.

1. Повернення володіє низькими адгезійними і когезійними властивостями, як в силу фізичних властивостей матеріалу, так і наявності гладкої склоподібної поверхні частинок. Свіжоотримане повернення має

дещо кращі адгезійні і когезійні властивості, тому що потребується менше для гранулювання.

2. Деяке підвищення адгезійних і когезійних властивостей повернення можливо подрібненням до фракції тонкого концентрату, проте в сучасних умовах діючого виробництва, де має місце надлишок подрібнених матеріалів, такий спосіб підготовки недоцільний і до того ж вимагає додаткових витрат.

3. Повернення має високу абразивність і викликає швидкий знос фільтер. До останніх можна віднести сталеплавильний пил (шлам), дрібні аглодомени шлами, які вимушено використовують в аглошихту в якості оборотної сировини з метою зниження їх негативного впливу на навколишнє середовище, і, особливо, вапняний пил газоочистки печей випалювання вапна, який до того ж є хорошим зв'язуючим, що належать до дешевих і поширених видів відходів.

Процес гранулювання відсіву агломерату розміром менше 3 мм екструзією полягає в наступному. Одержуване повернення агломерату розміром менше 5 мм розсівають на дві фракції: менше 3 мм і 3-5 мм. Відсів агломерату розміром менше 3 мм направляють на ділянку гранулювання в бункер відсіву.

Поруч встановлений бункер гашеного вапняного пилу і бункер сталеплавильного шламу. Зазначені компоненти в співвідношенні 2:1:1 дозують і направляють на змішування, де при необхідності зволожують. Отриману суміш вологістю 12,5% гранулюють в екструдері, отримані гранули транспортером подають в барабанний комкувач агломераційної шихти, де вони проходять додаткове огрудкування, а звідти разом з усією огрудкованою шихтою надходять на спікання.

Для порівняння технічних характеристик розробленого способу отримання гранул і виявлення його переваг у порівнянні з аналогами виконано отримання і використання в аглошихту гранул, вироблених різними способами.

При цьому:

- досліді № 1-2 виконані огрудкуванням і сумішей з співвідношенням компонентів 2:1:1 і 5:1:1 відповідно;
- досліді № 3-4 виконані брикетуванням з подальшим дробленням для умов способу, викладеного в аналогу № 2 і тих же сумішей;
- досліді № 5-6 виконані екструзією для умов заявленого способу і тих же сумішей.

Результати випробувань представлені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Порівняльна таблиця результатів спікання агломерату з використанням відсіву агломерату розміром менше 3 мм, гранульованого різними способами

Показники	Номер досліді					
	1	2	3	4	5	6
Спосіб отримання гранул	грудкування		брикетування		екструзія	
Міцність гранул розміром 5 мм, Н - теж саме,%	5,2 102,0	5,1 102,0	5,1 100,0	5,0 100,0	6,7 134,0	5,5 110,0
Середньозважений розмір гранул огрудкованої аглошихти, мм - теж саме,%	3,0 102,0	2,9 102,0	2,9 100,0	2,8 100,0	3,4 131,4	3,1 110,0
Продуктивність аглоустановки,%	119,3	109,8	108,5	100,0	134,1	114,8

З табл. 2.10 випливає, що розроблений спосіб отримання гранул виявляє при однакових вихідних умовах кращу продуктивність аглоустановки в порівнянні з іншими існуючими способами. Так, при роботі на запропонованому способі гранулювання відсіву агломерату в залежності від складу гранул продуктивність аглоустановки становить 114,8-134,1% в порівнянні з альтернативними способами гранулювання, продуктивність яких становить лише 100,0-119,3%, тобто збільшення продуктивності складе 14,8-25,6%.

Застосування даного способу в порівнянні з альтернативними дозволить поліпшити огрудкування шихти зі 100,0-102,0% до 110,0-131,4%, або на 10,0-29,4%, а також підвищити міцність гранул на 8-32%.

Таким чином, розроблений спосіб отримання гранул має істотні переваги перед існуючими способами.

## 2.7 Висновки

1. На основі досліджень процесу огрудкування дрібнодисперсного залізородного концентрату з поверненням різної крупності 2-3, 3-5, 5-7 і 7-10 мм встановлено, що максимальні ступінь огрудкування шихти  $C = 76,76\%$  і еквівалентний діаметр гранул  $d_{\text{екв}} = 2,84$  мм досягалися при додаванні до тонкодисперсного концентрату повернення фракції 3-5 мм (калібровані повернення).

2. Експериментально визначені основні закономірності заміни звичайного повернення каліброваним фракції 3-5 мм при його вмісті в шихті 20 - 40%, що забезпечує підвищення продуктивності аглоустановки по виходу придатного на 1,5% при збільшенні частки підготовленого повернення в шихті на 1% (абс.); встановлено, що при частці каліброваного повернення в шихті понад 20% продуктивність аглопроцесу при замкнутому циклі повернення не підвищується.

3. На основі досліджень міцності гранул, отриманих методом екструзії, визначені оптимальні склади трикомпонентної шихти, яка містить дрібне агломераційне повернення фракції менше 3 мм, вапняний пил і залізовмісний шлам в співвідношенні  $(2\div 5):1:1$ , для виготовлення гранул фракції 3-5 мм, що дозволяє підвищити міцність гранул на 8-32%, покращити огрудкування шихти на 10,0-29,4% і збільшити продуктивність агломашин за рахунок введення гранул на 14,8-25,6%.

4. Встановлено експериментальним шляхом більш ефективно застосування в агломераційній шихті гранул, отриманих методом екструзії,



що дозволило підвищити продуктивність аглоустановки на 4-5% в порівнянні з процесом спікання агломерату з шихти з гранулами, виготовленими грудкуванням і брикетуванням з подальшим дробленням.

## **3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

### **3.1 Аналіз потенційних небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища при проведенні досліджень в лабораторії**

Об'єктом дослідження є приміщення лабораторії МК ВАТ «Запоріжсталь», яке розташоване на першому поверсі центральної заводської лабораторії. Поблизу знаходяться виробничі приміщення з підвищеним рівнем вібрації та шуму, але відсутні високі дерева, які закривали б небосхил, зменшуючи природну освітленість.

Загальна площа приміщення 98 м<sup>2</sup>, висота – 3 м, приміщення має 4 вікна. Кількість працюючих в приміщенні 3 особи. У приміщенні розташовано 1 комп'ютер, лабораторне електрообладнання, розміщено 4 письмових столів, шафа для зберігання документів.

В приміщенні лабораторії на людину можуть негативно впливати наступні фактори:

#### 1) Шкідливі:

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

#### 2) Небезпечні:

- небезпека ураження електричним струмом;

#### 3) Психофізіологічні:

- статичні, фізичні навантаження та недостатня рухома активність;
- нервово-емоційне напруження;
- розумове напруження [37].

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів для робочого місця працівника лабораторії представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Оцінка факторів виробничого та трудового процесу працівника лабораторії

№	Фактори виробничого середовища та трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас: шкідливі та небезпечні умови, характер праці			Час дії фактора, %
				I ступінь	II ступінь	III ступінь	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup> : I клас безпеки – озон	0,1	0,1				40
	II клас безпеки						
	III-IV клас безпеки – оксиди азоту	5	2				40
2	Пил, фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>	4	4				50
3	Шум, дБА	50-60	60				75
4	Мікроклімат в приміщенні: - температура повітря, °C	22-24	24				100
	- швидкість руху повітря, м/с	0,1-0,2	0,2				100
	- відносна вологість повітря, %	40-60	50				100
5	Важкість і напруженість праці	категорія важкості праці – легка, категорія напруженості праці – мало напружена					

Таким чином, аналіз шкідливих і небезпечних факторів дозволяє зробити висновок, що умови праці в приміщенні лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

### **3.2 Розробка заходів захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища лабораторії**

Приміщення лабораторії є приміщенням легкої категорії (виконуються легкі фізичні роботи), тому повинні дотримуватися такі вимоги [38]:

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

Температура повітря в приміщенні не повинна опускатися нижче +19°С, а при повній завантаженості устаткування температура повітря не повинна перевищувати +25°С.

Для створення і автоматичної підтримки в приміщенні оптимальних значень температури та вологості повітря в холодну пору року використовується водяне опалення, в теплу пору року застосовується кондиціонування повітря [38].

Всі роботи із шкідливими речовинами проводять у витяжній шафі. Для розведення токсичних газів до безпечних концентрацій роботи проводять при максимальному постачанні повітря в приміщення. Поточно-витяжна вентиляція в приміщенні вмикається за 30 хвилин до початку проведення робіт і вмикається по закінченню робочого дня.

Робітники лабораторії розпочинають роботу тільки в спецодязі і засобах індивідуального захисту, які передбачені інструкцією з техніки безпеки, виробничої санітарії та пожежної безпеки.

В приміщенні лабораторії на видному та легкодоступному місці знаходиться аптечка з необхідними медикаментами для надання першої допомоги.

Кожен посуд з хімічною речовиною має етикетку, на якій зазначено назву продукту, його кваліфікацію та інші данні згідно з ГОСТ 3885-73.

При виконанні зорових робіт високої точності загальна освітленість повинна складати 300 лк, а комбінована – 750 лк; аналогічні вимоги при виконанні робіт середньої точності – 200 лк і 300 лк відповідно [38].

У зв'язку з тим, що природне освітлення приміщення здійснюється через віконні отвори і є дуже слабким, на робочому місці також застосовується штучне освітлення, яке обладнане системою загального рівномірного освітлення. Застосовують лампи накаливання, потужністю 100 Вт, кількість ламп у світильнику – 2 шт. Мінімальна освітлюваність лампи розжарювання за нормами  $E_{\min}=100$  лк [43].

Високий рівень шуму створюється в приміщенні лабораторним обладнанням, друкованими пристроями, розмножувальною технікою, обладнанням для кондиціонування повітря та вентиляторами систем охолодження.

Тривала дія шуму високої інтенсивності призводить до патології слухового органу та негативно впливає на нервову систему. Шум призводить до швидкої стомлюваності людини, що в свою чергу веде до виробничих помилок.

Для зниження шуму під настільні шумливі апарати можна підкладати м'які килимки з синтетичних матеріалів, а під ніжки столів, на яких вони встановлені, – прокладки з м'якої гуми, войлоку, завтовшки 6-8 мм. Кріплення прокладок можливо шляхом приклейки їх до опорних частин.

Зниження рівня шуму, проникаючого в приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції захищаючих конструкцій, ущільненням по периметру притворів вікон, дверей. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБА [38].

### **3.3 Електробезпека**

Приміщення лабораторії згідно ПБЕ можна віднести до 1 класу – без підвищеної небезпеки ураження струмом (сухе, безпиллове, з нормальною температурою повітря, ізольованими підлогами і малим числом заземлених приладів)[40].

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

- дотик до металевих не струмоведучих частин електроустаткування, які можуть опинитися під напругою в результаті пошкодження ізоляції;
- заборонене використання електричних приладів, таких як електричні плити, чайники, обігрівачі.

Виконання роботи пов'язано з застосуванням електрообладнання напругою, що не перевищує 220 В змінного струму. Проведення експериментальної частини роботи здійснювалось в умовах можливого впливу електричного струму, а також інших факторів, що визначаються санітарно-гігієнічними показниками виробничого приміщення.

При використанні електрообладнання аварійні умови виникають при замкненні робочої фази на корпус.

В лабораторії створюються умови підвищеної електробезпеки і тому необхідно використовувати електричну мережу з заземленою нейтраллю. До того ж необхідно використовувати захисне заземлення корпусу електрообладнання. Небезпечність дії електричного струму полягає в тому, що виникають обставини електричної травми або електричного удару. Електрична травма характеризується локальним ураженням цільності

організму. Форми місцевого ураження під дією електричного струму: електричні знаки; металізація шкіри; електричні опіки; механічні травми. Електричні опіки поділяються на три види: контактні, дугові та комбіновані. В умовах застосування електрообладнання напругою 220 В електричні опіки виникають лише в результаті проходження електричного струму.

Небезпечність дії електричного струму залежить не тільки від його величини, а і від тривалості замкнення електричної мережі. Тому в аварійних умовах необхідно негайно відключити систему електроживлення.

Небезпечна дія електричного струму залежить від індивідуальних особливостей людини: стану здоров'я, вікових ознак, величини електричного опору шкіри людини, тощо.

Небезпека електричного струму велика, внаслідок чого була розроблена ефективна система по її запобіганню. Основними мірами захисту від поразки електричним струмом є [43]:

- правильне улаштування і експлуатація електричного устаткування;
- електрична ізоляція; усі струмоведучі частини електроустановок повинні мати гарну ізоляцію з урахуванням напруги в ланцюзі;
- захисні пристрої, що забезпечують неприступність для людини елементів, що знаходяться під напругою;
- заземлення елементів устаткування; занулення;
- застосування індивідуальних засобів захисту;
- наявність попереджувальних плакатів, написів.

При різних несправностях частини електроустаткування можуть виявитися під напругою. Так як людина включається в ланцюг заземлення паралельно, то відбувається розподіл струму відповідно до законів Кірхгофа: струм, що протікає по двом паралельним провідникам прямо пропорційний опору провідника. Так як опір людини на кілька порядків перевищує опір провідника, то струм, що протікає через людину, буде на кілька порядків менше.

Несправності електричних мереж, устаткування і запобіжних пристроїв можуть призвести до пожеж і вибухів.

Основними мірами профілактики в таких випадках є: щільне приєднання проводів у місцях контакту скручування і пропайка з'єднань проводів; застосування захисного заземлення і системи захисного відключення. Захисне відключення виконується на додаток чи замість заземлення. Відключення здійснюється автоматично.

У випадку загоряння проводів необхідно їх знеструмити і погасити за допомогою вуглекислого газу чи покривалами з азбесту.

Для виключення випадків загоряння електропроводки, необхідно застосовувати провідник такого діаметру, при якому не відбувається розігріву. А також не перевантажувати електромережу.

При ураженні людини електричним струмом необхідно застосовувати такі перші міри [43]:

- відключити напругу;
- відтягнути людину від струмоведучих частин устаткування;
- винести на свіже повітря, розстебнути комір;
- викликати лікаря.

### **3.4 Пожежна та техногенна безпека**

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 [44].

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;
- використання в приміщенні електронагрівальних приладів з відкритими нагрівальними елементами;
- виникнення пожежі внаслідок попадання блискавки в будинок;
- загоряння будівлі внаслідок зовнішніх впливів;
- неакуратне поводження з вогнем та недотримання заходів пожежної безпеки.

Для гасіння пожеж в лабораторії використовується вуглекислотний вогнегасник ВВ-5 та ручний пожежний інструмент – гаки, ломы, сокири, відра, лопати, ножиці для різання металу. Інструмент розміщується на видному і доступному місці на стендах та щитах [41, 44].

Якщо загорілася навіть невелика кількість легкозаймистих рідин необхідно:

- негайно вимкнути всі електронагрівальні прилади;
- прибрати від місця загорання всі легко запалювальні предмети.

Якщо загорілася рідина треба накинути на полум'я вологу вовняну або азбестову ковдру.

При загоранні одягу на людині необхідно збити полум'я. При опіках обов'язково необхідно надати медичну допомогу. До надання медичної допомоги треба обережно звільнити потерпілого від одягу і накрити місця опіків стерильною пов'язкою. Не можна доторкатися руками до опеченого місця, скривати пухирі, обривати приставші до шкіри шматки одягу, обмивати або змазувати поранену поверхню будь-якими розчинами або мазями. Це може робити тільки лікар у відповідних умовах.

Для швидкого виявлення та повідомлення про місце виникнення пожежі в лабораторії є автоматична пожежна сигналізація АДС

(автоматичний димовий сповіщувач) і автоматична система пожежогасіння.

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

### 3.5 Розрахунок захисного заземлення

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

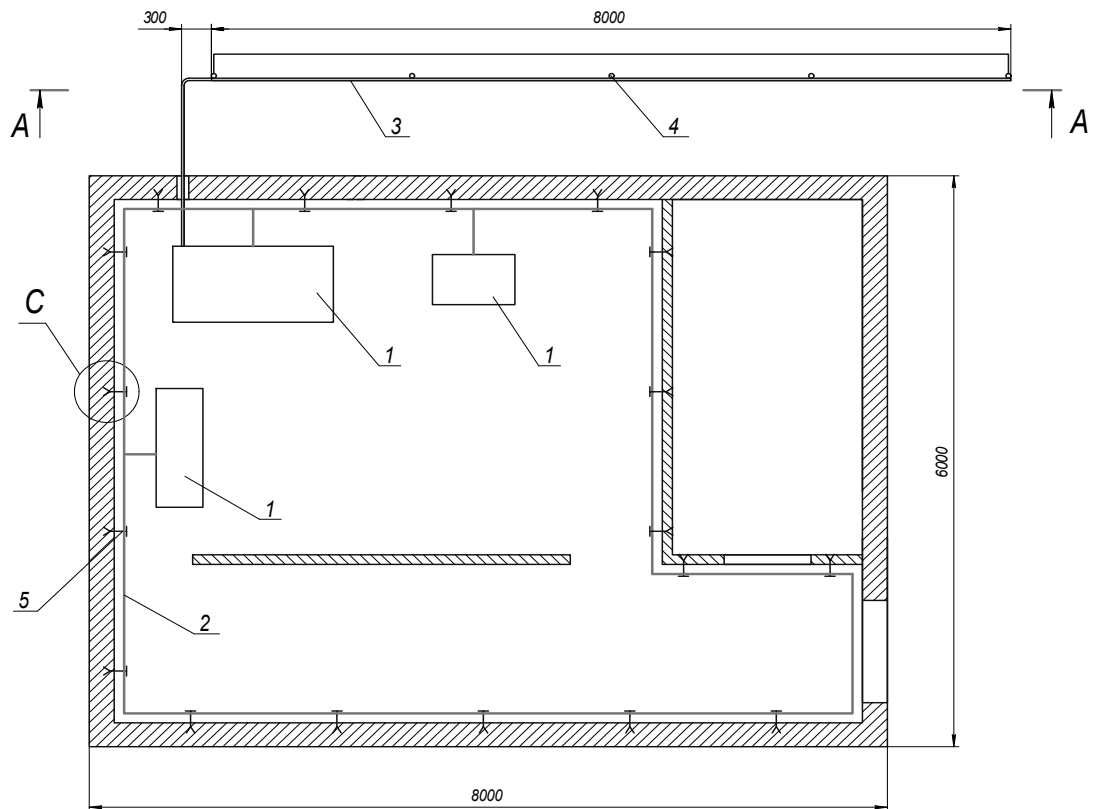
Зробимо розрахунок захисного заземлення для лабораторії (рис. 3.1).

Вибираємо виносний заземлювальний пристрій, який застосовується при малих струмах замикання на землю, зокрема в установках до 1000 В.

Заземлювач передбачається виконати з вертикальних труб  $l = 2$  м із зовнішнім діаметром  $d = 0,03$  м, верхні кінці яких з'єднуються між собою за допомогою горизонтального електрода – сталевий смуги перетином  $4 \times 40$  мм, покладеної в землю на глибині  $t = 0,7$  м. Питомий електричний опір ґрунту  $\rho = 100$  Ом·м. Коефіцієнт сезонності для вертикального заземлювача дорівнює  $\psi = 1,3$ . Нормативний опір заземлювача – 4 Ом.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту для вертикального заземлювача:

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



1 – електроустановка; 2 – внутрішній контур заземлення;  
3 – сполучна смуга; 4 – заземлювач; 5 – скоба кріплення.

Рисунок 3.1 - Схема виносного заземлення

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

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

Орієнтовна кількість вертикальних заземлювачів складе:

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

Знаходимо відношення відстані між заземлювачами до їх довжини:

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

Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_v = 0,7$ ,  
горизонтальних заземлювачів –  $\eta_g = 0,74$ .

Опір розтіканню струму групи вертикальних заземлювачів:

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

Довжина горизонтальної сполучної смуги:

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

Коефіцієнт сезонності для горизонтального заземлювача при довжині смуги 8 м –  $\psi_g = 2,5$ .

Розрахунковий питомий опір ґрунту для горизонтального заземлювача:

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

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

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

Опір заземлювачів в цілому:

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

Отриманий опір заземлювачів дорівнює номінальному (4 Ом), що відповідає вимогам ПБЕ.

Розташовуємо 5 заземлювачів в ряд на відстані 2 м один від одного.

### 3.6 Висновки

1. Умови праці в приміщенні лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

2. Зниження рівня шуму, проникаючого в приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції захищаючих конструкцій, ущільненням по периметру притворів вікон, дверей. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБА.

3. 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.

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

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі наведено теоретичне узагальнення і нове рішення науково-практичного завдання підвищення ефективності агломераційного виробництва за рахунок вдосконалення способів підготовки повернення шляхом введення в агломераційну шихту добавок каліброваного і гранульованого екструдуваним повернення (фр. 3-5 мм).

1. Запропоновано показники - вихід стандартно стабілізованого агломерату і продуктивність по виходу стандартно стабілізованого агломерату, що враховують відсів фракції менш 5 мм на всіх стадіях обробки агломерату зі стандартними руйнівними впливами на нього, що дозволило об'єктивно порівнювати якість продукції та продуктивність агломашин або в різні періоди спікання.

2. На основі досліджень процесу огрудкування дрібнодисперсного залізородного концентрату з поверненням різної крупності 2-3, 3-5, 5-7 і 7-10 мм встановлено, що максимальні ступінь огрудкування шихти  $C = 76,76\%$  і еквівалентний діаметр гранул  $d_{\text{екв}} = 2,84$  мм досягалися при додаванні до дрібнодисперсного концентрату повернення фракції 3-5 мм (калібровані повернення).

3. Експериментально визначені основні закономірності заміни звичайного повернення каліброваним фракції 3-5 мм при його вмісті в шихті 20 - 40%, що забезпечує підвищення продуктивності аглоустановки по виходу придатного на 1,5% при збільшенні частки підготовленого повернення в шихті на 1% (абс.); встановлено, що при частці каліброваного повернення в шихті понад 20% продуктивність аглопроцесу при замкнутому циклі повернення не підвищується.

4. На основі досліджень міцності гранул, отриманих методом екструзії, визначені оптимальні склади трикомпонентної шихти, яка містить дрібне агломераційне повернення фракції менше 3 мм, вапняний пил і залізовмісний шлам в співвідношенні  $(2 \div 5):1:1$ , для виготовлення гранул фракції 3-5 мм, що

дозволяє підвищити міцність гранул на 8-32%, покращити огрудкування шихти на 10,0-29,4% і збільшити продуктивність агломашин за рахунок введення гранул на 14,8-25,6%.

5. Встановлено експериментальним шляхом більш ефективно застосування в агломераційній шихті гранул, отриманих методом екструзії, що дозволило підвищити продуктивність аглоустановки на 4-5% в порівнянні з процесом спікання агломерату з шихти з гранулами, виготовленими грудкуванням і брикетуванням з подальшим дробленням.

6. Умови праці в приміщенні лабораторії характеризуються наявністю нешкідливих виробничих чинників, які не призводять до зростання захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

7. Зниження рівня шуму, проникаючого в приміщення ззовні, може бути досягнуто збільшенням звукоізоляції захищаючих конструкцій, ущільненням по периметру притворів вікон, дверей. Еквівалентний рівень звуку не повинен перевищувати 60 дБА.

8. 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.

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

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. **Коротич, В.И.** Агломерация рудных материалов [Текст]/ В.И. Коротич, Ю.А. Фролов, Г.Н. Бездежский. // Научное издание. – Днепропетровск: ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ». – 2003. – 400 с.
2. Теоретические основы производства окускованного сырья [Текст]/ Д.А. Ковалев [и др.]. – НМетАУ. – Днепропетровск: ИМА-прес. – 2011. – 476 с.
3. **Сальников, И.М.** Определение эффективности процесса окомкования агломерационных шихт [Текст]/ И.М. Сальников, В.И. Тихонов, М.Ю. Пазюк// Известия вузов. Черная металлургия. – 1993. – №2. – С. 6-11.
4. Формирование гранулометрического состава агломерата при механической обработке спека [Текст]/ А.В. Малыгин, Э.А. Хапунов, В.Б. Тарасов [и др.] // Сталь. – 1990. – №8. – С. 6-11.
5. **Ефименко, Г.Г.** Металлургия чугуна [Текст]/ Г.Г. Ефименко, А.А. Гиммельфарб, В.Е. Левченко. – Киев: Вища школа, 1981. – 496 с.
6. **Половой, П.А.** К вопросу об интенсификации процесса окомкования железорудных материалов [Текст]/ А.П. Половой, Л.Г. Введенский // Известия вузов. Черная металлургия. – 1990. – №9. – С. 10-14.
7. **Плискановский, С.Т.** Пневмокласификатор для отсева мелких фракций агломерата [Текст]/ С.Т. Плискановский// Киев Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1991. – №1. – С. 11-14.
8. **Абрамов, В.С.** Автоматическое определение производительности агломерационной машины и выхода возврата [Текст]/ В.С. Абрамов // Киев Сталь. – 1994. – № 2. – С. 112-116.
9. **Жгулев, А.С.** Грохочение агломерата у доменных печей [Текст]/ А.С. Жгулев, Л.А. Гольдин // Киев Сталь. – 1994. – №6. – С. 501.
10. **Вегман, Е.Ф.** Теория и технология агломерации [Текст]/ Е.Ф. Вегман. – Киев.: Металлургия, 1974. – 288 с.



11. **Вегман, Е.Ф.** Доменное производство: Справочное издание. В 2-х т. Т.1. Подготовка руд и доменный процесс [Текст]/ Под. ред. Е.Ф. Вегмана. – Киев.: Metallurgy, 1989. – 496 с.
12. **Федоровский, Н.В.** Агломерация железных руд: Справочник [Текст]/ Н.В. Федоровский, Шанидзе Д.И. // Киев.: Техніка, 1991. – 141 с.
13. **Пузанов, В.П.** Взаимосвязь макроструктурной подготовки агломерационной шихты и процесса ее спекания [Текст]/ В.П. Пузанов, В.А. Кобелев. // Киев Сталь. – 2010. – №10. – С. 3-7.
14. К вопросу о связи между предельными напряжениями в агломерате и его прочностью во вращающемся барабане [Текст]/ И.С. Берсенов, В.А. Горбачев, В.И. Клейн [и др.] // Киев Сталь. – 2013. – №1. – С. 6-8.
15. **Энтин, И.И.** К вопросу о качестве агломерата [Текст]/ И.И. Энтин, Г.И. Галан // Metallurgical and Iron-ore Industry. – 1997. – №2. – С. 13-17.
16. Об оценке механической прочности агломерата [Текст]/ Н.С. Минаков, Б.М. Боранбаев, Г.А. Арыков [и др.] // Киев Сталь. – 1991. – №11. – С. 7-9.
17. Изменение гранулометрического состава агломерационного спека в процессе стабилизации [Текст]/ С.Г. Савельев, Г.А. Чичиянц, В.Д. Кучук [и др.] // Киев Сталь. – 1989. – №10. – С. 6-8.
18. **Ожогин, В.В.** Основы теории и технологии брикетирования измельченного металлургического сырья: Монография [Текст]/ В.В. Ожогин. – Мариуполь, ПГТУ, 2010. – 442 с.
19. **Ожогин, В.В.** Способы получения гранул и влияние их на процессы спекания и механические свойства агломерата [Текст]/ В.В. Ожогин // Киев Metallurgical processes and equipment. – 2006. – № 3. – С. 19-24.
20. **Семакова, В.Б.** Теорія та технологія використання вторинних ресурсів у аглодоменному виробництві [Текст]/ В.Б. Семакова, В.П. Руських. – Мариуполь: ПДТУ, 2005. – 105 с.

21. **Лурье, Л.А.** Брикетирование в черной и цветной металлургии [Текст]/ Л.А. Лурье. – Киев: Металлургиздат, 1963. – 324 с.
22. Комбинированное окомкование агломерационной шихты в аппаратах барабанного типа и тарельчатых грануляторах [Текст]/ Г.И. Исаенко, А.Н. Сапрыкин, А.С. Кузнецов [и др.] // Киев Сталь. – 2009. – №8. – С. 2-7.
23. **Базилевич, С.В.** Агломерация [Текст]/ С.В. Базилевич, Е.Ф. Вегман. – Киев: Металлургия, 1967. – С. 266–274.
24. **Ковалев, Д.А.** Роль возврата при образовании жидкой фазы в процессе агломерации [Текст]/ Д.А. Ковалев, Г.Г. Ефименко, А.И. Каракаш// «Известия вузов. Черная металлургия», 1989. – № 6. – С. 54—57.
25. **Вегман, Е.Ф.** Некоторые итоги исследования блочной текстуры железорудного агломерата [Текст]/ Е.Ф. Вегман, Л.Н. Крафт // Киев Известия вузов. Черная металлургия. – 1983. – № 9. – С. 11.
26. Исследование процесса разрушения агломерата [Текст]/ С.В. Базилевич, Л.И. Александров, М.А. Цейтлин [и др.] // Киев Сталь. – 1998. – № 3. – С. 196-198.
27. **Коморников, Г.И.** Состояние и перспективы разработки средств дробления, охлаждения и грохочения агломерата [Текст]/ Г.И. Коморников, В.И. Губанов // Сталь. – 1983. – № 11. – С. 13-14.
28. Получение калиброванного агломерата и его использование в доменной плавке [Текст]/ Л.Р. Мигуцкий, Д.И. Малюта, А.З. Крижевский [и др.] // Бюл. Киев. – 1965. – № 18. – С. 25-27.
29. Изменение гранулометрического состава агломерационного спека в процессе стабилизации [Текст]/ С.Г. Савельев, Г.А. Чичиянц, В.Д. Кучук [и др.] // Киев Сталь. – 1999. – №10. – С. 6-8.
30. Производство агломерата и окатышей: Справ. изд. [Текст]/ С.В. Базилевич, А.Г. Астахов, Г.М. Майзель [и др.]. – Киев: Металлургия, 1984. – 216 с.

31.Способ подготовки агломерационной шихты к спеканию: а. с. 1082848 Киев С22В 1/14 [Текст]// Ю.А. Болотов, В.В. Боровков, Н.С. Щетинин [и др.] – № 2534990/22-02; заявл. 06.10.77; опубл. 30.04.81. – Бюл. № 16, 1981.

32. **Мигуцкий, Л.Р.** Способ подготовки агломерационной шихты к спеканию: а. с. 420670 Киев С21В 1/10 [Текст]// Л.Р. Мигуцкий, А.Л. Матов, В.П. Маймур – № 1832630/22-2; заявл. 02.10.72; опубл. 25.03.74 – Бюл. № 11, 1974.

33. Способ подготовки агломерационной шихты: а. с. 825663 Киев С22В 1/00 [Текст]// М.П. Вишневецкий, С.А. Требуков, А.А. Салтыкин [и др.] – № 2534990/22-02; заявл. 06.10.77; опубл. 30.04.81. – Бюл. № 16, 1981.

34. **Mohamed, F.M.** Granulation of coke breeze fine for using in the sintering process/ Mohamed F.M., El-Hussiny N.A., Shalabi M.E.H.// Sci. Sinter. – 2010. – 42, №2. – С. 193-202.

35. Спосіб агломерації руд і концентратів з використанням дрібнодисперсних шлаків [Текст]: Пат. 55955 А Україна, МПК С22В1/00 / В.О. Носков, Л.В. Биков, В.В. Ожогін [та ін.] – опубл. 15.04.2003.

36. Связующее: пат. 81205 Украина, С22В 1/242 [Текст]// В.В. Ожогин, А.А. Томаш, А.В. Остроушко [и др.] – № а 2006 11649; заявл. 06.11.06; опубл. 25.04.07. – Бюл. № 5, 2007.

37. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]: ДСН 3.36.042-99: – Увед.1999-12-01. – 9 с.

38. Державні будівельні норми. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення [Текст]: ДБН В.2.2 – 28: 2010: затв. Мінрегіонбуд України 30.12.10 : уведенні з 10.10.11.- К. : ПАТ Київ ЗНДІЕП. 2010.- 28 с.: «Укрархбудінформ». – УКНД 91.040.99

39. Державні будівельні норми. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва [Текст]: ДБН В.1.1.7-2002: затв. Держбуд України 03.12.02 : уведенні з 01.05.03. – К. : УкрНДІПБ. 2002. – 44 с.

40. ДСТУ Б В.2.5-38:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Улаштування блискавкозахисту будівель і споруд [Текст]. – Увед. 2009-01-01. К.: Мінрегіонбуд України. 2008. – 65 с. :

41. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні [Текст]. – Увед. 2004-11-04. К.: М-во України з питань НС. 2004. – 143 с.

42. **Трахтенберг, А.М.** Гигиена труда и производственная санитария [Текст] / А.М. Трахтенберг, М.М. Коршун, О.В. Чебанова. – К.: Киев, 1997. – 462 с.

43. **Долин, П.А.** Основы техники безопасности в электроустановках: [учеб. пособие для вузов] / Павел Александрович Долин. – Киев: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.

44. **Рожков, А.П.** Пожарная безопасность на производстве [Текст] / Антон Петрович Рожков. – Киев: Охрана труда, 1997. – 448с.

45. **Курис Ю.В.,** Дослідження впливу додавань гранул з повернення на показники процесу спікання та якість агломерату [Текст]/ О.В. Литвин, Т.О. Плохінська, Ю.В. Мосейко// *Металургія як основа сучасної промисловості: матеріалі ХХІІ науково-техн. конф. студентів, магістрантів, аспірантів і викладачів ЗДІА, Запоріжжя, 23–27 жовтня 2017 р.* – Запоріжжя: ЗДІА, 2017. – Т.1. – С.4.

46. **Курис Ю.В.** Дослідження процесу спікання агломерату з добавкою в шихту каліброваного возврату [Текст]/ **Курис Ю.В.** // *Збірник наукових праць магістрантів кафедри металургії.* – Вип. 13. – Запоріжжя: ЗДІА, 2017. – С.13–19