

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Гірничо-металургійний факультет  
Кафедра металургії та інноваційних технологій

«Допущено до захисту»  
Гарант освітньої програми  
«Металургія чорних металів»

Христина МАЛІЙ

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
за підсумками виконання освітньо-професійної програми  
«Металургія чорних металів»  
за спеціальністю 136 Металургія

**на тему «Визначення раціональних технологічних  
параметрів обпалу окатишів в умовах ЦГЗК»**

Керівник роботи

Христина МАЛІЙ

Консультант  
від бази практики

Ігор ГАЙДАМАКА

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Кирило ШИНКАРЬОВ

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Євген БРАГІНЕЦЬ

Запоріжжя, 2026

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет гірничо-металургійний  
Кафедра металургії та інноваційних технологій  
Ступінь вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 136 Металургія  
ОПП Металургія чорних металів

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Гарант освітньої програми  
Христина МАЛІЙ  
«10» квітня 2026 р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Шинкарьов Кирило Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Визначення раціональних технологічних параметрів обпалу окатишів в умовах ЦГЗК

керівник роботи Малій Христина Василівна  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від № 41/23.02.2026 від 23.02.2026

2. Термін подання роботи 20.06.2026  
3. Вихідні дані до роботи дані щодо хімічного складу матеріалів та шихти які застосовуються при виробництві окатишів. Виробничі показники обпалу окатишів, температурні рівні в різних зонах обпалювальної машини. Матеріалів для оцінки економічних показників виробництва окатишів. Матеріали з охорони праці при виробництві окатишів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналітичні дослідження сучасних обпалу залізородних окатишів. 2. Аналіз показників обпалу окатишів на конвеєрній машині з використанням різних видів палива та шихти різного складу. Розробка рекомендацій щодо покращення технології обпалу окатишів для підвищення якості окатишів та зниження витрат палива. 3. Охорона праці і екологія при виробництві залізородних окатишів. 4. Розрахунок економічної ефективності запропонованих рекомендацій. Висновки. Перелік використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентаційний матеріал.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що їх стосуються

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта
1	Малій Х.В., доцент кафедри металургії та інноваційних технологій
2	Малій Х.В., доцент кафедри металургії та інноваційних технологій
3	Малій Х.В., доцент кафедри металургії та інноваційних технологій
4	Малій Х.В., доцент кафедри металургії та інноваційних технологій

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Технологічна частина	11.05 – 13.06.2026
2	Спеціальна частина	11.05 – 13.06.2026
3	Охорона праці та екологія	06 – 13.06.2026
4	Економічно-організаційна частина	06 – 13.06.2026
5	Оформлення пояснювальної записки	13 – 20.06.2026
6	Захист	за графіком

Здобувач

Кирило ШИНКАРЬОВ

Керівник роботи

Христина МАЛІЙ

## АНОТАЦІЯ

*Шинкарьов К.В.* Визначення раціональних технологічних параметрів обпалу окатишів в умовах ЦГЗК. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 136 Металургія, ОПП «Металургія чорних металів» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2026.

**Об'єктом дослідження** є технологічний процес випалу залізорудних окатишів на випалювальній машині ОК-324.

**Предметом дослідження** є технологічні параметри обпалу окатишів (температурні режими зон, склад шихти, витрата палива, швидкість руху палет, вологість матеріалу) та їх вплив на якість готової продукції.

У першому розділі проаналізовано сучасні методи виробництва залізорудних окатишів, розглянуто фізико-хімічні процеси сушіння, випалу, окислення магнетиту, твердофазні реакції та утворення рідкої фази. Визначено основні фактори, що впливають на міцність окатишів.

У другому розділі проведено аналіз показників обпалу на конвеєрній машині ОК-324, досліджено вплив вологості шихти (оптимум 8,5–8,7%), температурних режимів (зона випалу 1200–1340°C) та швидкості руху палет (1,5–3,2 м/хв) на якість окатишів. Обґрунтовано ефективність використання біопалива (лушпиння соняшнику) для часткового заміщення природного газу. Розроблено рекомендації щодо покращення технології обпалу.

У третьому розділі розглянуто питання охорони праці та екології: аналіз небезпечних факторів, системи аспірації та гідрознепилення, заходи цивільного захисту в умовах воєнного стану.

У четвертому розділі виконано розрахунок продуктивності випалювальної машини, показано залежність продуктивності від шару та швидкості руху палет. Визначено економічну ефективність запропонованих заходів, таких як зниження витрат газу та підвищення виходу придатного продукту.

Робота складається з: 75 сторінок, 6 ілюстрацій, 6 таблиць, 14 використаних джерел

**ЗАЛІЗОРУДНІ ОКАТИШІ, ВИПАЛЮВАЛЬНА МАШИНА ОК-324, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ВИПАЛ, БІОПАЛИВО, ВОЛОГІСТЬ ШИХТИ, МІЦНІСТЬ ОКАТИШІВ, ПРОДУКТИВНІСТЬ**

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ОБПАЛУ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ.....	8
1.1 Аналіз сучасного стану технології обпалу залізорудних окатишів ....	8
1.2 Технологічна схема виробництва окатишів в умовах ЦГЗК.....	19
1.2.1 Прийом, контроль, якість і транспортування сирих матеріалів..	19
1.2.2 Концентрат.....	20
1.2.3 Вапняк .....	21
1.2.4 Бентоніт .....	22
1.2.5 Повернення.....	23
1.2.6 Вимоги щодо заповнення та звільнення вихідних бункерів .....	24
1.2.7 Дозування концентрату .....	25
1.2.8 Дозування осушеного концентрату .....	26
1.2.9 Змішування шихти.....	27
1.2.10 Технологічні параметри установки подрібнення млина Ш - 50	28
1.2.11 Характеристика установок сухого подрібнення в млинах П-50	29
1.2.12 Шарові млини ШІ-50 .....	29
1.2.13 Виробництво сирих окатків .....	30
1.2.14 Отримання сирих окатків .....	31
1.2.15 Вологість шихти.....	33
1.2.16 Вимоги до сирих окатків .....	34
2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ОБПАЛУ ОКАТИШІВ НА КОНВЕЄРНИЙ МАШИНИ 3 ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ТА ШИХТИ РІЗНОГО СКЛАДУ. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБПАЛУ ОКАТИШІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОКАТИШІВ ТА ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА .....	35

2.1. Випалювальна машина ОК-1- 324 та її обладнання .....	35
2.2. Конструкція і принцип роботи випалювальної машини .....	37
2.3. Призначення і робота технологічних зон .....	37
2.3.1 Видалення вологи .....	38
2.3.2 Розкладання карбонатів.....	39
2.3.3 Десульфурація.....	40
2.3.4 Окислення магнетиту .....	42
2.3.5 Твердофазні реакції .....	43
2.3.6 Утворення рідкої фаз. ....	43
2.3.7 Рекристалізація .....	44
2.3.8 Основні контрольовані параметри процесу термообробки.....	44
2.4 Параметри газоповітряних потоків.....	53
Висновки до розділу 2.....	57
<b>3 ОХОРОНА ПРАЦІ І ЕКОЛОГІЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ.....</b>	<b>59</b>
3.1 Охорона праці .....	59
3.2 Цивільний захист працівників під час воєнних дій.....	64
3.3 Виробнича санітарія.....	65
3.4 Охорона навколишнього природнього середовища.....	66
3.5 Контроль якості продукції .....	67
<b>4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ.....</b>	<b>69</b>
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>72</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>74</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасна чорна металургія неможлива без використання високоякісної залізорудної сировини, зокрема залізорудних окатишів. В умовах Центрального гірничо-збагачувального комбінату (ЦГОК) виробництво окатишів є одним із ключових компонентів, що забезпечує доменні печі підготовленою сировиною з високим вмістом заліза. Адже на даному підприємстві була створена перша в Україні технологічна лінія з виробництва висококласних окатків для технології DRI (прямого відновлення заліза) із вмістом заліза понад 67 %. У зв'язку з необхідністю зниження витрат паливно-енергетичних ресурсів, підвищення продуктивності обладнання та покращення екологічних показників, визначення раціональних технологічних параметрів обпалу окатишів є актуальним завданням. Особливої уваги заслуговує використання альтернативних видів палива (соняшникове лушпиння) та оптимізація шихтового складу для досягнення стабільної якості окатишів.

**Метою кваліфікаційної роботи** визначення раціональних технологічних параметрів обпалу окатишів в умовах ЦГОК шляхом встановлення раціональних технологічних параметрів, що забезпечують підвищення якості продукції та зниження витрат палива.

### **Завдання кваліфікаційної роботи:**

- виконати аналітичний огляд сучасних методів виробництва та зміцнення залізорудних окатишів;
- зібрати дані щодо хімічного складу матеріалів та шихти які застосовуються при виробництві окатишів;
- проаналізувати виробничі показники обпалу окатишів, температурні рівні в різних зонах обпалювальної машини;

- проаналізувати показники роботи випалювальної машини ОК-324 при використанні різних видів палива (природний газ, біопаливо) та шихти різного складу;
- дослідити вплив параметрів сушіння, нагріву, випалу та охолодження на формування міцнісних властивостей окатишів;
- виконати оцінку економічної ефективності запропонованих заходів та розглянути питання охорони праці та екології.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес випалу залізородних окатишів на випалювальній машині ОК-324.

**Предмет дослідження:** технологічні параметри обпалу окатишів (температурні режими зон, склад шихти, витрата палива, швидкість руху палет, вологість матеріалу) та їх вплив на якість готових окатишів.

**Методи дослідження.** У роботі використано аналітичний метод (огляд літературних та нормативно-технічних джерел), порівняльний аналіз виробничих даних, розрахунки продуктивності та узагальнення результатів випробувань.

**Практичне значення отриманих результатів.** Запропоновані рекомендації щодо оптимізації температурних режимів, вологості шихти (8,5–8,7%) та швидкості руху палет (1,8–3,2 м/хв) дозволяють підвищити вихід придатного продукту, зменшити питому витрату природного газу за рахунок часткового використання біопалива для зменшення собівартості продукції, а також знизити рівень дефектів окатишів (тріщини, нерівномірна структура) та знизити вихід некондиційного дріб'язку (до 10 мм).

# 1 АНАЛІТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ОБПАЛУ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ

## 1.1 Аналіз сучасного стану технології обпалу залізорудних окатишів

Залізорудні окатиші – рудний матеріал, що отримується з дрібної (пилоподібної) руди і тонкоподрібнених концентратів шляхом грудкування і зміцнення випалом або безвипаловим методом. Доменні окатиші з вмістом заліза не менше 62% використовуються для виробництва чавуну в доменних печах. Окатиші під металізацію із дозбагаченого концентрату мають вміст заліза не менше 66% і використовуються насамперед для виробництва заліза прямого відновлення (DRI, HBI) [1].

Виробляються із залізорудного концентрату шляхом огрудкування і подальшого спікання, застосовуються як сировина в доменному виробництві.

На рис. 1.1 приведена схема виробництва окатишів. З шихтових бункерів 1 на конвеєрі 2 дозуються концентрат і подрібнений до крупності 0-0,3 мм вапняк. Потім шихту змішують в барабані 3 і подають на гранулятор 5. Він являє собою круглий диск (таріль) з бортами, розташований похило. При обертанні диска на його поверхні відбувається накопчення окатишів. Перед гранулятором для кращого огрудкування до шихти додається 0,3-1,5% бентонітової глини (частіше 0,5-1% від маси шихти), а на гранулятор через розпилюючі форсунку подається вода [3].

Окатиші після гранулятора подаються на пристрій для випалу. На схемі в якості такого пристрою показана найбільш поширена конвеєрна машина, аналогічна агломераційної [2].

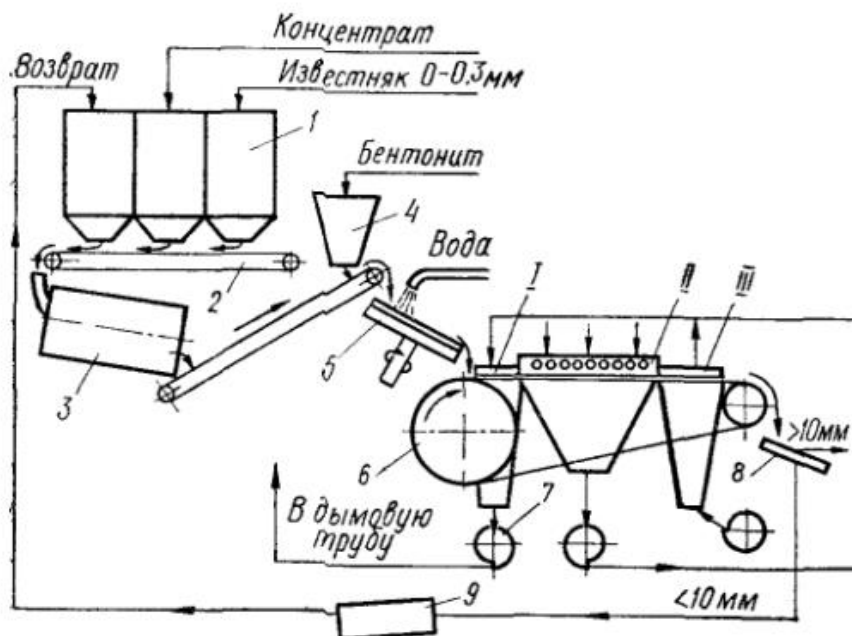


Рисунок 1.1– Схема виробництва окатишів: 1 - шихтові бункери; 2 - шихтовий конвеєр; 3 - змішувальний барабан; 4 - бункер для бентоніту; 5 - дисковий гранулятор; 6 - обпалювальна машина; 7- вентилятори; 8 - гуркіт, 9 - млин для змільчення повернення. Зони обпалювальної машини: I сушки; II - випалу; III – охолодження

Машина розділена на три зони: I - сушки, II- випалу і III- охолодження. У зону сушіння подаються нагріті газу, що відходять з зон випалу і охолодження, які нагрівають окатиші до 200 400 ° С.

Просмоктуючі зверху вниз газу високонапірним вентилятором 7 викидаються в димову трубу. Зона випалу перекрита горном з газовими пальниками. Продукти горіння просмоктуються вниз і нагрівають окатиші до 1300-1350 °С. відсмоктуваний вентилятором газу направляються в зону сушіння. В кінці машини розташовується зона охолодження окатишів, так як транспортувати їх нагрітими не можна. Охолодження проводиться продувом повітря від низу до верху [2].

Нагріте повітря подається також в зону сушіння. Охолоджені окатиші сортуються на грохоті 8, фракція  $> 10$  мм направляється споживачам, а фракція  $< 10$  мм є поверненням.

Головними етапами процесу є: підготовка шихтових матеріалів, дозування і змішування шихти; виробництво сирих окатишів; сушіння, випалювання і охолодження окатишів. Підготовка шихтових матеріалів і шихти при виробництві окатишів нічим не відрізняється від такого процесу на аглофабрике. Особливістю є необхідність тонкого подрібнення всіх шихтових матеріалів. Великі фракції в шихті порушують процес обливання на грануляторі і різко знижують міцність окатишів. Інша особливість полягає в необхідності подавати на гранулятор концентрат строго визначеної вологості - 9-10%. Зневоднення концентрату до заданої величини необхідно виконувати на збагачувальній фабриці [2].

Виробництво сирих окатишів є початковим етапом процесу. Принципово процес обливання в даному випадку нічим не відрізняється від огрудкування агломераційної шихти. Головними факторами, що визначають процес, є ступінь подрібнення концентрату, вміст вологи, властивості і кількість додаються сполучних речовин і властивості зволожуючої рідини. Практика показує, що задовільний обливання протікає тільки при вмісті в концентраті 85- 90% фракції  $< 0,074$  мм. Подрібнення вапняку та повернення необхідно вести до 0,3 мм [2].

Процес отримання сирих окатишів складається з утворення зародків, зростання грудок і масообміну між утвореними окатишами. Зародок утворюється в результаті того, що подрібнений рудний матеріал є гідрофільним (інтенсивно взаємодіє з водою). В системі рудний концентрат - вода прагнення до зменшення енергії реалізується як за рахунок зниження величини поверхневого натягу на межі поділу фаз, так і за рахунок укрупнення частинок в результаті їх зчеплення.

Міцність зчеплення частинок у вологому стані значною мірою визначається величиною питомою поверхнею матеріалів, яка визначається, в свою чергу, величиною частинок. Крім того, міцність зчеплення залежить від кількості вологи. Залежність міцності окатишів від кількості вологи - екстремальна. При збільшенні кількості вологи міцність зростає до певної межі, обумовленого дією капілярних сил.

При подальшому збільшенні вологості міцність окатишів знижується, а потім знову зростає. Другий максимум міцності пояснюється тим, що при збільшенні вологості з одночасним впливом динамічних навантажень і надлишок вологи вичавлюється на зерні концентрату, в результаті цього зерна ущільнюються. Міцність окатишів в цьому випадку обумовлена молекулярними силами. Оптимальна вологість тонких концентратів становить 9-10%. Сирі окатиші повинні мати достатню міцність, щоб не руйнуватися при транспортуванні до випалювальних агрегатів, а також високою термостійкістю, щоб не руйнуватися при нагріванні [2].

Для отримання достатньо міцних і термостійких сирих окатишів в шихту зазвичай вводять бентонітову глину (бентоніт). Бентоніт - своєрідний сорт глини, що відрізняється великою дисперсністю, іонообмінною здатністю, високим ступенем набухаємості при зволоженні, здатністю при нагріванні виділяти воду. При зволоженні бентоніт інтенсивно поглинає воду, збільшується в обсязі в 15-20 разів, утворюються гелі з надзвичайно розвиненою питомою поверхнею. Заповнюючи простір між рудними частинками, бентоніт значно підвищує їх зчеплення.

Обмеженість запасів бентоніту, а також віддаленість родовищ від місць споживання обумовлюють його дефіцитність і дорожнечу. Крім того, вміст в бентоніту 50-60% двоокису кремнію знижує вміст заліза в шихті. У зв'язку з цим в даний час ведуться дослідження по заміні бентоніту іншими матеріалами, наприклад сумішшю бентоніту і соди, вапном, хлоридом

кальцію, залізним купоросом, крохмалем, розчином сульфату марганцю, а так залізною рудою з порожньою породою, що вміщує підвищену кількість глінозему [2].

Для огрудкування використовують барабанні або дискові гранулятори. Барабанний гранулятор принципово не відрізняється від огрудковувача агломераційної шихти, за винятком значно більшої тривалості перебування матеріала в барабані. Тарілчастий гранулятор (рис 1.2) являє собою плоску чашу 1 діаметром 5,5 м з бортами, на відхилень до горизонту під кутом  $40-60^\circ$ . Кут нахилу за допомогою механізму 3 може змінюватися. Мотор через механізм приводу дозволяє змінювати швидкість обертання чаші від 6 до 9 об./хв.

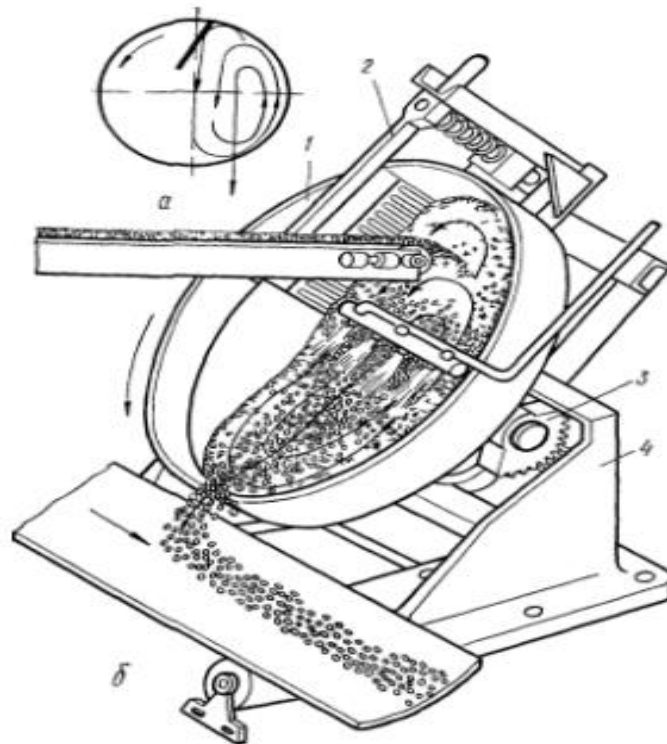


Рисунок 1.2 – Схема руху матеріалів в грануляторі (а) і загальний вид тарілчастого гранулятора (б): 1 - чаша 2 - установка скребків 3 - механізм з трансформаційних змін кута нахилу чаші 4 - рама гранулятора

Продуктивність такого гранулятора - 30-40 т/год. Тарілчасті гранулятори видають окатиша певного розміру, що залежить від висоти борта чаші, кута нахилу тарелі, вологості матеріалу, кількості бентоніту в шихті і т.д.

Сирі окатиші мають міцність, недостатню для транспортування їх в доменний цех, проплавку в доменних печах, тому потребують зміцненні Існують два методу зміцнення окатишів безопальний і високотемпературний випал. Безопальний метод не вийшов зі стадії дослідно промислового дослідження збільшення міцності окатиша досягається за рахунок введення в'язучої речовини. Такою сполучною речовиною може бути вапно (пушонка), портландцемент або шлаковий цемент при використанні вапна зміцнення відбувається при обробці окатишів в карбонізаційній камері зволоженим газом, що містить до 20% CO<sub>2</sub>, нагрітим до 40-60 °С, або в автоклаві паром при температурі 180 °С і тиску 0,8 Мпа. Основними недоліками безобпального методу є низька продуктивність агрегатів, невисока міцність окатишів (особливо при їх відновлення процесів ванні) і неможливість видалення з них шкідливих домішок в процесі отримання Високотемпературний випал окатишей здійснюється в агрегатах трьох типів шахтних печах, конвеєрних ма шинах і комбінованих установках Шахтні печі не отримали значного поширення, незважаючи на низькі експлуатаційні витрати на випал. Це пояснюється відносно низькою продуктивністю печей і можливістю руйнування і оплавлення окатишів, що призводить до утворення настилів на стінках шахти і порушення руху газового потоку в стовпі матеріалів [2].

Найбільшого поширення набув випал окатишів на конвеєрних машинах, які за своїм устроєм аналогічних агломераційним машинам. Відмінком конвеєрних машин для випалу окатишів полягає в тому, що вони мають підвищену стійкість колосників, так як нагріваються до більш

високих температур, більш низький вакуум під ґратами через високу газопроникності шару окатишів.

На рис. 1.3 показана схема конвеєрної машини для випалу окатишів У відповідності з технологією процесу обпалу для кращого використання тепла машина розділена на технологічні зони, перекриті зверху спеціальними секціями горна. Тепловий режим в кожній секції встановлюється незалежно від режиму інших секцій. Найчастіше конвеєрна машина складається з наступних секцій: сушіння (одна або дві секції), підігріву, випалу (від однієї до трьох секцій), рекуперації та охолодження (одна або дві).

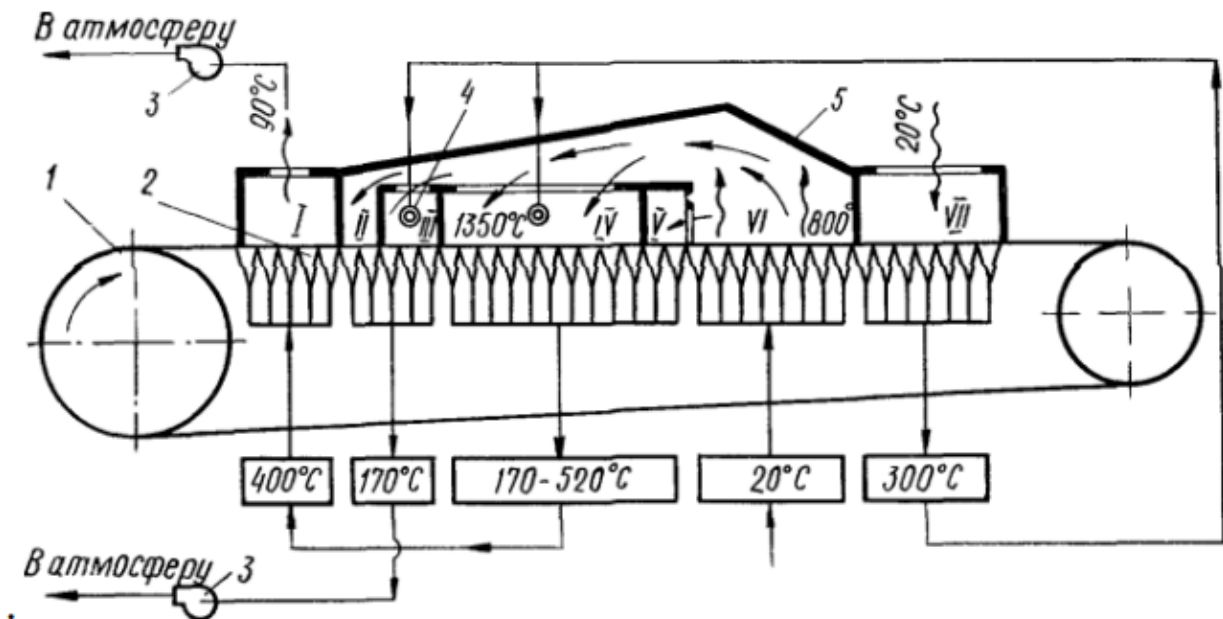


Рисунок 1.3 – Схема конвеєрної машини для випалу окатишів: 1 - привід машини, 2 - вакуум-камери, 3 - високотемпературні вентилятори; 4 - пальники; 5 - горн машини Зони горна: I і II - перша і друга зони сушки, III - підігріву; IV - випалу; V - рекуперації; VI і VII - перша і друга зони.

Сушка окатишів здійснюється гарячими газами, що подаються із зони обпалу від низу до верху (I зона сушіння) і із зони охолодження зверху вниз (II зона сушіння). Випал проводиться продуктами горіння газу, що спалюється над шаром окатишів в пальниках, які встановлюються в камері, що перекриває зону випалу. Охолоджуються окатиші продувкою холодним повітрям знизу і просмоктуванням його зверху через шар окатишів. Площа зони охолодження становить 30-35% від площі машини. Частина зони охолодження зверху перекрита колпаком, під яким створюється надлишковий тиск гарячого повітря, нагрітого вище 800 °С. Це повітря шляхом перетікання надходить в зону рекуперації і далі в зони підігріву та обпалу, де використовується для горіння газу в пальниках. З іншої частини зони охолодження повітря, нагріте до 300 °С, відсмоктується димососом і також направляється в пальники зон підігріву та випалу [2].

Першою стадією високотемпературної обробки окатишів є їх сушка. Високотемпературну обробку окатишів необхідно вести так, щоб при нагріві не відбувалося їх руйнування і, з іншого боку, швидкість процесу була досить великою, що забезпечує високу продуктивність випалювальних агрегатів. У процесі сушіння окатиші можуть або руйнуватися в результаті утворення тріщин на поверхні, або миттєво повністю розпадатися. Основною причиною руйнування є розвиток об'ємно-напруженого стану понад предельно допустимого, яке виникає в ході сушіння за рахунок зміни градієнтів вологовмісту і температури.

Виникнення об'ємних напруг, що призводять до утворення тріщин, визначається характером перерозподілу вологи в матеріалі. Нерівномірний розподіл вологи викликає нерівномірну усадку, що супроводжується досягненням граничних об'ємних напружень в

обкотишах. Утворення тріщин виникає в початковий період сушіння через наявність градієнту вологості і різної усадки в обсязі окатишів[2].

Чим щільніше окатиш, тим імовірніше такий вид руйнування при сушінні. Висушені окатиші піддаються подальшому нагріванню, при якому відбувається їх зміцнюючий випал. При випалюванні зміцнення є результатом спікання і злипання дрібних частинок залізорудних матеріалів, нагрітих до температури розм'якшення і плавлення. Процес спікання протікає при нагріванні до температури порядку 0,7-0,8 температури плавлення основного компонента окатишів. Спікання пояснюється дією одного з принципів термодинаміки - прагненням будь-якої системи до зниження її термодинамічної потенціалу. Окатиш складається з дисперсних матеріалів, які представляють собою системи з високорозвиненою питомою поверхнею, що володіють високою вільною поверхневою енергією. При спіканні відбувається одночасне зменшення поверхні частинок і вільної поверхневої енергії системи. Тому спікання є незворотнім процесом, при якому зменшення вільної енергії викликано зменшенням поверхні частинок.

Підвищення температури інтенсифікує процес спікання. Процес спікання можна розділити на дві стадії: низькотемпературну і високотемпературну. Кордон між ними знаходиться в інтервалі температур 850- 900 °С.

Швидкість спікання знижується з плином часу. Інтенсивність спікання знижується також зі збільшенням крупності матеріалу. Підвищення середнього розміру частинок залізорудного матеріалу в 2 рази викликає або збільшення часу спікання в 8 разів для досягнення тієї ж ступеня зміцнення, або погіршення міцності окатишів при збереженні колишнього часу процесу. Наявність в окатишів оксидів або сполук, що реагують з оксидами заліза в твердих фазах з освітою хімічних сполук (феритів,

силікатів) або твердих розчинів, змінює швидкість спікання. Так, додавання окислів кальцію, магнію або феритів кальцію до гематиту прискорює процес. Максимальна швидкість спікання відповідає суміші 92-95% оксидів заліза і 5-8% оксидів кальцію або магнію. Додаток кварцу (окис кремнію) до гематиту знижує швидкість спікання.

При нагріванні окатишів розвиток мають процеси окислення (якщо випал ведеться в окислювальному атмосфері). Так як в основному окатиші виготовляються з концентратів магнетитових руд, то магнетит окислюється до гематиту по реакції  $4\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{O}_2 = 6\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Цей процес істотно впливає на властивості обпалених окатишів: в результаті окислення магнетиту утворюється активна свіжоутвореними окис желе за, яка обумовлює зростання швидкості спікання частинок, отримання щільної малопористої структури окатишів. У перетині окатиш однорідний, не має двухзонної гематиту-магнетитової структури і напружений. Швидкість процесу окислення залежить від температури і вмісту кисню в газах. Процес протікає при температурі до 1000-1150 °С. Існувала точка зору, що провідною причиною зміцнення окатишів є рекристалізація зерен гематиту. Повторна кристалізація, яка відбувається в твердій фазі і яка веде до збільшення розміру зерен і їх числа (рекристалізація можлива при температурі вище 1000-1150 °С). Наявність інших оксидів, зокрема  $\text{SiO}_2$ , різко уповільнює зростання зерен. Для окатишів з магнетитового концентрату, випалюються в температурному інтервалі 1100- 1300 °С, розмір зерен гематиту практично однаковий, в той час як міцність їх зростає в 2-3 рази.

Отже, значення твердофазного зміцнення порівняно невелика. За реальний час випалу окатиші, виготовлені з концентратів, що містять 3% і більше порожньої породи, не встигають отримати високу міцність як в холодному стані, так і при відновно-тепловій обробці. Значно більший

вплив на зміцнення окатишів має освіту рідкої фази з наступним її застигання. Механізм зміцнення в цьому випадку аналогічний механізму освіти агломерату. Утворенню рідкої фази передують хімічні реакції в твердих фазах. При випалюванні марганцевий окатишів з магнетитових концентратів основна реакція - реакція взаємодії  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  з  $\text{SiO}_2$  з утворенням силікатів заліза. Швидке окислення магнетиту при окислювальному випалюванні перешкоджає утворенню силікатів заліза, так як  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  з  $\text{SiO}_2$  не взаємодіє [2].

При випалюванні офлюсованих окатишів в твердих фазах взаємодіють  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  з  $\text{SiO}_2$   $\text{Fe}_2\text{O}_3$  з  $\text{CaO}$  і  $\text{MgO}$ . Утворені сполуки мають відносно низькі температури плавлення, що і забезпечує отримання рідкої фази. На відміну від процесу агломерації при випалюванні окатишів кількість рідкої фази має бути невелика, тому що в протилежному випадку окатиші плавляться, що призводить до сплавлених їх в міцні грона і конгломерати. Обмеження кількості рідкої фази досягається шляхом випалення в строго визначеному інтервалі температур. Кількість розплаву, що забезпечує високу міцність окатишів і відсутність грон і конгломератів, коливається в межах 12-20% від маси окатишів. На міцність окатишів впливає не тільки кількість рідкої фази, але і її фізичні властивості (в'язкість, змочуваність). Рідка фаза з низькою в'язкістю і доброю смачивающою здатністю краще наділяє зерна концентрату і забезпечує отримання міцних окатишів. Добавка компонентів, що знижують в'язкість розплаву ( $\text{MgO}$ ), і отримання розплаву, добре змочувального зерна концентрату (розплав на основі феритів кальцію), збільшують міцність окатишів[2].

Конструкція обпалювальної конвеєрної машини показана на рис. 1.4. Випалювальна машина складається з каркаса 1, 4, 8, випалювальних візків 3, приводу стрічки 2 випалювальних візків, розвантажувального пристрою

з приводом 9, горнів 10, газоповітряних камер 11, укриття машини 12, пристрої для пересування візків 6. Газоповітряні камери, розташовані на внутрішній стороні робочої гілкою конвеєра, утворюють активну робочу площу машини, яка ділиться на технологічні зони.

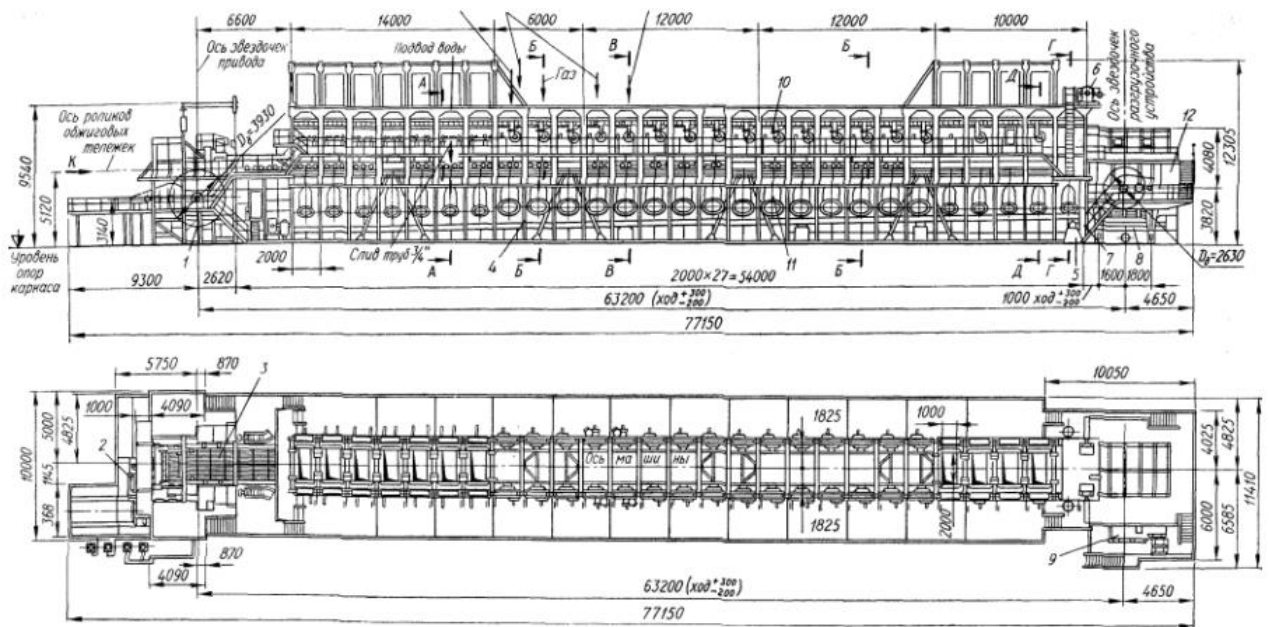


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд конвеєрної машини для випалу окатишів

## 1.2 Технологічна схема виробництва окатишів в умовах ЦГЗК

### 1.2.1 Прийом, контроль, якість і транспортування сирих матеріалів

Ділянка приготування шихти об'єднує в одному комплексі:

- корпус дроблення і сушіння бентоніту з обслуговуючими їх самохідними бункерами (4 шт) і конвеєрами КД-1, КД-2; КСБ-1, КСБ-2, КСБ-5; ПУ 3-1, ПУ3-2; Ш-5, ШІ-6, ШІ-7, Ш-10, Ш-34, Ш-35, ШІ-36, П-37, ШІ-38; СБ-1, СБ-2А, СБ-5, СБ-6;

- відділення подрібнення сирих матеріалів включає в себе чотири млини III-50;
- відділення приготування шихти з комплектом бункерів, дозаторів, конвеєрів, ваговимірювачів і змішувачів на 2-х паралельних потоках шихти (дільниці № 7 і № 8) [4].

На ділянку приготування шихти надходять всі складові компоненти шихти для отримання окатків: концентрат, флюс, зв'язувальні матеріали, повернення та ін.

Матеріали, що поступають в цех повинні відповідати за якістю технічним умовам і СТП, мати паспорта з зазначенням якості і ваги кожної партії. Для встановлення контролю за якістю сировини, що надходить на склад, ВТК зобов'язаний піддати випробуванню кожну партію сировини згідно карти випробування. При отриманні некондиційної сировини працівники ВТК повинні проводити контрольні її випробування і спільно з фабрикою огрудкування складати акт для пред'явлення претензій постачальнику[4].

Некондиційну сировину в цеху розвантажувати можна тільки з дозволу начальника фабрики або заступника начальника фабрики з технології та якості. Хімічні аналізи складових шихти передаються оператору ділянки шихти і є підставою, майстру зміни і дозувальнику, для коригування дозування компонентів[4].

### 1.2.2 Концентрат

Концентрат - основна складова частина шихти, системою конвеєрів подається з ділянки фільтрації або зі складу збагачувальної фабрики в витратні бункери №: 1-6 обсягом 100 м кожен на ділянку приготування шихти.

Забір концентратів зі складу збагачувальної фабрики повинен проводитися відповідно до СТП ЦГЗК-11-2019 «Концентрат для фабрики огрудкування та постачання споживачам. Технічні вимоги» [5].

Якість концентрату задається технологічною картою і СТП. Заповнення видаткових бункерів концентратом, проводиться за допомогою реверсивних пересувних конвеєрів Ш-3, Ш-4. Рівень матеріалів в бункерах не повинен опускатись нижче 30 % наповнення по висоті [5].

### 1.2.3 Вапняк

Вапняк додається в шихту як флюсова добавка.

Якість вапняку визначається технічними умовами. Вихідна крупність повинна складати 50 ... 0 мм. Вапняк надходить в піввагонах партіями до 4000 г і розвантажується на естакаді складу сирих матеріалів. З-під естакади вапняк грейферними кранами формується в штабель[3].

Місткість складу для вапняку - 50000 т. Склад обладнаний двома консольно-козловими грейферними кранами,  $Q = 15$  т з ємністю грейфера - 5,3 м , за допомогою яких матеріал подається в самохідні бункери. З бункерів вапняк видається дозаторами на збірний стрічковий конвеєр, і завантажується в млин.

Схема подрібнення - напіврозімкнута з рециркуляцією частини вентильованого сушильного агента в завантажувальний патрубок млина.

Як сушильний агент використовуються продукти згоряння природного газу з температурою 400 ... 500 ° С від топкових агрегатів[3].

Подрібнення вапняку проводиться відповідно до інструкції по експлуатації установок для подрібнення.

Очищення пило-повітряної суміші здійснюється в відцентрових сухих циклонах ЦН-15 НОГАЗ, остаточне очищення перед викидом в атмосферу

в електрофільтрах типу ЕГА1 20-7.5-6-3. Подрібнений до фракції -0,056 мм вапняк з пилосаджувальних агрегатів надходить в витратні бункера, звідки подається пневмотранспортом в бункера дозування, які розташовані в одному ряду з бункерами концентрату, крім цього передбачено по ділянці № 8 виробляти дозування з видаткових бункерів через дозатори ДН-7; ДН-9; ДН-13; ДН-15 на конвеєр ШІ-11[3].

#### 1.2.4 Бентоніт

Бентоніт - застосовується в якості сполучної добавки в шихті для поліпшення якості сирих окатків і інтенсифікації сушки при термообробці. Вагони з бентонітом на складі сирих матеріалів розвантажуються аналогічно вапняку [3].

Якість бентоніту визначається технічними умовами або сертифікатом, перевіряється ВТК зовнішнього відвантаження або ЦКЛ РВЛ (при необхідності).

До складу комплексу підготовки бентоніту входить: відкритий склад місткістю на 16000 т вузол підготовки, корпус сушки і закритий склад сухого бентоніту.

З відкритого складу, якщо дозволяє вміст вологи, забір бентоніту в шихту здійснюється через стаціонарні бункери, обладнані стрічковими дозаторами на конвеєр КД-1, КД-2, і далі аналогічно способу, викладеному вище для вапняку[3].

З закритого складу бентоніт за допомогою грейферного крана завантажуються в бункер об'ємом 4 м<sup>3</sup>. Бункер обладнаний регульовальним вікном, через яке бентоніт конвеєром КСБ-5 подається на конвеєр Ш-5 або Ш-6. Потім за допомогою конвеєрів ІІ-34, Ш-35, Ш-36, Ш-37 або ІІІ-38 подається в вихідні бункера, об'ємом 18 м, кульових млинів ШІ-50 № 3, 4,

7, 8. Для контролю кількості бентоніту, що надходить в млини бункера обладнані вагодозаторами[3].

#### 1.2.5 Повернення

Є продуктом, що утворюється в результаті просіювання обпалених окатків на самобалансних грохотах обпалювальної машини[3].

Повернення розміром 0 ... 6,3 мм після просіювання, системою конвеєрів III-39, Ш-31, Ш-32, Ш-33 подається в бункера повернення млинів Ш-50 (об'ємом 36 м<sup>3</sup> кожен) корпусу приготування шихти. Для зниження запилювання навколишнього середовища в голові конвеєра Ш-39 встановлена водяна форсунка. Вологість матеріалу, що надходить на млин, коливається в діапазоні 1.....10%[3].

Кількість повернення, та тонины помелу, регламентується дійсною технологічною картою виробництва залізорудних окатків, затвердженою директором з технології та якості:

- технологічна карта осн. 0.12 BF з кон-ту 70,5%;
- технологічна карта осн. 1.0 BF з кон-ту 70,5%;
- технологічна карта осн. 0.3 BF з кон-ту 70,5%;
- технологічна карта осн. 1.0 BF з кон-ту 70,0%;
- технологічна карта осн. 0.11 BF з кон-ту 70,0%;
- технологічна карта осн. 0.3 BF з кон-ту 70,0%;
- технологічна карта осн. 1.0 BF з кон-ту 69,7%;
- технологічна карта осн. 0.11 BE з кон-ту 69,7%;
- технологічна карта осн. 0.3 BF з кон-ту 69,7%.

### 1.2.6 Вимоги щодо заповнення та звільнення вихідних бункерів

Завантаження бункерів вихідним матеріалом встановлюється виробничою необхідністю. Звільнення бункерів нижче 1/3 їх висоти під час роботи млина забороняється.

При необхідності заповнити бункер матеріалом іншого сорту, матеріал, який раніше перебував у ньому, повинен бути повністю вироблений, а бункер очищений.

На час зупинки млинів понад двох діб бункера повинні бути вироблені і отшуровані [3].

У цеху передбачене автоматичне дозування всіх компонентів шихти, яке забезпечує стабілізацію дозування і мінімізацію відхилень. Включення автоматичного дозування компонентів шихти проводиться за спеціальною інструкцією [3].

Для вапняку, бентоніту, та повернення прийнято вагове дозування стрічковими автоматичними дозаторами: ДН-80, ДН-100. Всі зазначені дозатори включені в систему автоматичного дозування компонентів шихти.

Повернення в шихту дозується відповідно до його надходженням і наявністю, в кількості не більше 5-7%.

Бентоніт дозується в шихту в кількості 0,9 ... 1,5 % в залежності від його якості.

Вапняк дозується в шихту в кількості, необхідній для отримання основності окатків відповідно до діючих технічних умов та технологічних карт.

Коригування складу шихти проводиться у випадках, коли змінюється вміст окису кальцію в шихті або кремнезему і вологи в концентраті, які можуть викликати коливання основності окатків більш  $\pm 0,05$  д.од .; - 0,08 дод .; + 0,1 д.од в залежності від виду окатків[3].

Витрата суміші на задану кількість вологого концентрату визначається за формулою:

$$\frac{K(1-M)(A \cdot SiO_2^k - 0.3)}{(CaO + MgO)^c - A \cdot SiO_2^c} \quad (1.1)$$

де К - Кількість вологого концентрату кг (т);

М - Вологість концентрату, д.од .;

А - Основність, д.од .;

0,3 - Сума оксидів кальцію і магнію в концентраті, %;

SiO<sub>2</sub><sup>\*</sup> • SiO<sub>2</sub><sup>°</sup> - зміст кремнезему в концентраті і суміші, %;

С - Кількість вапняку і бентоніту в шихті;

(CaO + MgO) - Вміст окислів кальцію і магнію в суміші, %.

Після розрахунку дозувальником вводиться коригування завдання продуктивності живильника

### 1.2.7 Дозування концентрату

Концентрат являє собою вологий, погано сипучий матеріал, тому для нього прийнято об'ємне дозування тарілчастими живильниками типу ДТ-200 з приводом від електродвигунів постійного струму[3].

Регулювання кількості концентрату здійснюється шляхом зміни числа обертів тарелі при незмінному положенні засувки на телескопічній трубці. Контроль кількості концентрату проводиться дозувальником за показниками приладів ваг BULKTEQ WBS-IM/14 на конвеєрах ШІ-13, ШІ-14.

Всі живильники концентрату включені в систему автоматичного дозування компонентів шихти[3].

Установка завдання на необхідну продуктивність живильників проводиться дозувальником з пульта керування. При відключенній системі

автоматичного дозування, продуктивність кожного живильника встановлюється окремо в ручному режимі.

### 1.2.8 Дозування осушеного концентрату

Концентрат для сушіння подається в корпус приготування шихти системою конвеєрів зі складу збагачувальної фабрики. Для передачі вологого концентрату в відділення сушки і подрібнення необхідно використання конвеєрів КЛ-2 і КЛ-3, які транспортують матеріал з конвеєра Ш-2 на конвеєр Ш-7. На конвеєрі Ш-2 передбачено перекидний шибер для перемикання потоку подачі концентрату[3]:

1) На конвеєр Ш-4 і далі в витратні бункери з концентратом №1,3,5 (для роботи ділянкою № 8);

2) На конвеєрі КЛ-2 -> КЛ-3, які транспортують концентрат у відділення сушки і подрібнення.

3) Одночасно на конвеєр Ш-4 і КЛ-2.

По лінії конвеєрів КЛ-2 -> КЛ-3 -> Ш-7 -> Ш-10 концентрат завантажується в вихідні бункера млинів № 7 і № 8 обсягом 100 м'.

Максимальна продуктивність тракту конвеєрів (Ш-2 -> КЛ-2 -> КЛ-3 -> Ш-7 -> Ш-10) подачі концентрату в млиновий тракт приймається 600 т/год. Схема сушіння - напіврозімкнута з рециркуляцією частини вентилязованого сушильного агента в завантажувальний патрубок млина.

Як сушильний агент використовуються продукти згоряння природного газу з температурою 400-500 °С від толкових агрегатів.

Осушений концентрат з пилеосаджувальних агрегатів надходить в витратні бункери, з яких стрічковими вагодозаторами ДН-13, ДН-15 матеріал дозується в необхідному співвідношенні на конвеєр Ш-11[3].

### 1.2.9 Змішування шихти

Призначення змішування - ретельний і рівномірний розподіл часток окремих компонентів шихти між собою для отримання гомогенної шихти.

Перша стадія змішування шихти проводиться[3]:

- по ділянці № 7 в змішувальному барабані, розміром 3,2 x 7,5 м продуктивністю до 1200т/год;

- по ділянці № 8 - в змішувачі інтенсивної дії «EIRICH» продуктивністю до 400 т/год.

Під час роботи ділянкою № 8 є можливість додавання води в шихту. Додавання води організовано через гребінку, встановлену в змішувачі інтенсивної дії «EIRICH» [3].

Контроль навантаження на кожен змішувач проводиться за сумарними показниками ваг BULKTEQ WBS-1M/14 і ДН на потоці шихти.

Підготовка матеріалів до огрудкування повинна бути досить ретельної. Відхилення по гранулометричному і хімічному складу сировини, а також вологи, різко порушують технологічний процес, знижують продуктивність і погіршують якість сирих окатків[3].

Тому шихтові матеріали повинні мати певну тонину помелу і вологість, тобто вони вимагають відповідної попередньої підготовки.

Матеріали, що поступають на ділянку приготування шихти, вапно, бентоніт мають різну крупність і вміст вологи від 3% до 30%.

Прийнята в цеху схема підготовки матеріалів передбачає дроблення і подальше їх подрібнення в кульових млинах з одночасною сушкою.

Тонина помелу і крупність дроблення задаються технологічною картою [3].

### 1.2.10 Технологічні параметри установки подрібнення млина Ш - 50

Для установок подрібнення при нормальній її експлуатації встановлені наступні параметри, що контролюються обслуговуючим персоналом[3]:

Для млинів №7,8:

- температура за млином - не більше 110 °С;
- розрядження в топці - 3 ... 20 мм.вод.ст.;
- розрядження перед млином - 5 ... 20 мм.вод.ст.;
- температура сушильного агента - 150 ... 400 °С (для різного виду продукції);

- перепад тиску на млині - 120 ... 320 мм.вод.ст.;
- перепад тиску на сепараторі 40 ... 120 мм.вод.ст.;
- перепад тиску на циклони НІОГАЗ 3250 - 120 ... 160 мм.вод.ст.;
- перепад тиску на батареї циклонів - 80 ... 120 мм.вод.ст..

Для млина №4:

- температура за млином - не більше 110 °С;
- розрядження в топці - 0,10....0,30 кПа;
- розрядження перед млином - 0,10....0,30 кПа.;
- температура сушильного агента - 150 ... 400 °С (для різного виду продукції);

- перепад тиску на млині - 1,2.... 4,0 кПа.;
- перепад тиску на сепараторі 0,3.... 1,2 кПа.;
- перепад тиску на циклони НІОГАЗ 3250 - 1,0....0,18 кПа.;
- перепад тиску на батареї циклонів - 1,0...2,4 кПа...

### 1.2.11 Характеристика установок сухого подрібнення в млинах П-50

Кожна установка подрібнення шихтових матеріалів складається з[3]:

- Кульового млина III-50.
- Одного димососа ДН-22 і одного вентилятора: ВВН-20 для млинів NoN: 3, 4; ВМ -
  - 100/1200 для млинів NoN° 7, 8.
  - Агрегату для отримання сушильного агента.
  - Завантажувального конвеєра.
  - Сепаратора СП - 2 - 5500.
  - Вентилятора ВВД - 11 (для приготування сушильного агента).
  - Циклонів I ступеня пиловловлювання для млинів - Ø3250 - 2 шт.
  - Циклонів II ступеня пиловловлювання для млинів - Ø1450 - 8 шт.
  - Електрофільтру для млинів.

### 1.2.12 Шарові млини ШІ-50

В якості помельного агрегату застосовується кульовий млин типу ШБМ 370/850 -№№ 3, 4, 7, 8 з зубчастим приводом і циліндричним барабаном на цапфових опорах. Млин - це горизонтально розташований барабан, частково заповнений тілами (кулями діаметром 20-60 мм), що мелють і подрібнюють матеріал, який обертається в цапових опорах за допомогою електроприводу. Потужність електроприводу потужність 2000 кВт, для млинів № 7, 8; 1600 кВт, для млинів NoN° 3, 4; напруга 6 кВ[3].

Кульове навантаження млина складається з куль діаметром 40 мм - 60% і діаметром 60 мм - 40% і досягає по вазі 100 т [3].

Млин обладнаний автоматичною станцією подачі рідкого мастила з водяним охолодженням масла. Продуктивність млинів залежить крім її конструкції, від стану тракту пилеочищення, вхідної вологості та крупності матеріалу, що подрібнюється.

Прокрутка млина з кульовим навантаженням без наявності в ньому матеріалу, що подрібнюється допускається не більше 20 хв. щоб уникнути швидкого зносу броні і куль.

Завантаження і вивантаження матеріалу, що подрібнюється проводиться, через завантажувальні і розвантажувальні патрубки[3].

Подача матеріалу в млин повинна бути поступовою, поки млин не почне працювати з рівномірним звуком.

Управління млином передбачає:

- блокування роботи млина з усіма допоміжними механізмами;
- пускову і звукову сигналізацію.

Для проведення ремонту млин обладнаний ключем місцевого управління, для аварійних зупинок - ключем аварійного відключення.

Класифікація відпрацьованих куль проводиться після закінчення 3000 годин роботи млина, при цьому видаляються залишки куль розміром менше 20 мм. Після сортування в млин завантажуються кулі до оптимальної величини завантаження[3].

### 1.2.13 Виробництво сирих окатків

Корпус огрудкування є одним з основних технологічних ділянок фабрики огрудкування і призначений для окатування тонкоподрібненого залізородного концентрату в суміші з флюсом (вапняком) і зміцнюючими (бентонітом) добавками, поверненням[3].

Шихта надходить на огрудкування з корпусу приготування шихти на секцію №7.

До складу 7-ої секції входять 12 бункерів ємністю 65 м<sup>3</sup> розташованих в два ряди, і 6 огрудкувачами Ø7500.

7-ма секція складається з двох ліній[3]:

- ділянка №8 - шихта подається по стрічковим конвеєрам ОК-3, ОК-4 - останній забезпечений скидачами, які обладнані пневмоприводами, що працюють при тиску не менше 2,5 кгс/см<sup>2</sup>, за допомогою яких шихта розвантажується в витратні бункера 70-8,71-8,72-8,73-8,74-8,75-8;

- ділянка №7 - шихта подається по стрічковим конвеєрам ОК-2, ОК-5 – останній забезпечений скидачами, що працюють при тиску не менше 2,5 кгс/см<sup>2</sup>, за допомогою яких шихта розвантажується в витратні бункера 70-7,71-7,72-7,73-7,74-7,75-7

Шихта з бункерів стрічковими дозаторами подається на живильні конвеєра, а потім завантажується в тарілчасті огрудкувачі. Готові окатки з чаші вивантажуються на збірні конвеєра з маркуванням "Д" напівсекцій і потім загальним збірним конвеєром з маркуванням "ОБ" подаються на випалювальну машину ОК-324[3].

#### 1.2.14 Отримання сирих окатків

Якість сирих окатків залежить від[3]:

- гомогеності та однорідності шихти по фракційному складу;
- вологості і рівномірності розподілу вапняку, бентоніту, та обпаленого повернення по всій масі шихти;
- часу огрудкування шихти в тарілчастому огрудкувачі;
- змісту і якості добавок (вапняку, бентоніту та повернення).

Однорідність шихти досягається при правильному дозуванні складових шихти і їх ретельному перемішуванні в змішувальному барабані, або в змішувачі інтенсивної дії «EIRICH». При огрудкуванні однорідної шихти (за умови стабільної кількості сирого повернення) всі окатки утворюються з однаковою швидкістю, набувають однакові розміри і властивості, при цьому вихід придатного класу максимальний [3].

Якщо дозування і перемішування шихти незадовільне, то окатки утворюються різної крупності, що знижує продуктивність випалювальної машини.

Крупність окатків і їх міцність залежить також від часу накатування шихти, яка визначається кількістю матеріалу, що знаходиться одночасно в тарілчастому огрудкувачі, залежить від продуктивності огрудкувача, кількості обертів, кута нахилу та інших чинників[3].

Шихта різної вологості має різну комкувальну здатність.

При малій вологості шихти утворюються дрібні неміцні окатки, що містять багато дріб'язку і «недокатів». При підвищеній вологості шихти, навпаки, утворюються великі окатки при меншому часі накатування.

Шихта, виготовлена з концентрату, що містить велику кількість частинок більше 56 мкм, огрудковується погано, сирі окатки виходять з низькою міцністю і при вивантаженні з чаши руйнуються. Навпаки, шихта, виготовлена з концентрату, що містить велику кількість частинок менше 56 мкм, швидше огрудковується в міцні рівномірні по розміру окатки[3].

Залежно від властивостей шихти потрібно підібрати певні, найбільш відповідні даним якості окатків, оптимальні параметри роботи огрудкувача (кут нахилу, кількості обертів, навантаження шихтового матеріалу, подачу води на зволоження) [3].

Окатки розміром менше 10 мм і більше 14,7 мм вважаються некондиційними.

### 1.2.15 Вологість шихти

Огрудкування шихти з вологістю нижче оптимальної вимагає або зниження навантаження шихтового матеріалу та більш тривалого часу огрудкування, або добавки води в тарілчасті огрудкувачі для зволоження шихти. В іншому випадку будуть утворюватися дрібні окатки та «підшихтовка» [3].

Зі збільшенням вологості шихти, її здатність до огрудкування зростає, причому при певній вологості, яка називається оптимальною, виходять окатки найбільш високої якості за міцністю і ситовому складу. При зайвій вологості якість окатків падає, тарілчастий огрудкувач видає великі окатки та грудки, середній розмір окатків зростає.

У разі огрудкування шихти зі зниженою вологістю велике значення має подача води в огрудкувач. Для отримання зародків вода повинна подаватися дрібнодисперсним розпиленням, нижче місця подачі шихти в чашу [3].

Для збільшення крупності окатків воду потрібно подавати дрібнодисперсним розпиленням на окатки в точці початку їх скошування вниз. Залежно від навантаження та вологості шихтового матеріалу - відкривати одну, дві, або одночасно всі три форсунки. Для отримання окатків крупністю 10 ... 14,7 мм вологість шихти повинна бути 8,5 ... 8,7%.

Окрім описаних факторів, великий вплив на процес огрудкування справляє стан донного і бортового гарнісажу чаші. Товщина його повинна складати 15-25 мм, в іншому випадку виникає явище місцевого зриву гарнісажу, поява грудок матеріалу на виході з чаші і нерівномірність ситового складу окатків. Тому важливе значення має контроль і своєчасна заміна зношених ножів-очисників, а також ремонт днища огрудкувача [3].

### 1.2.16 Вимоги до сирих окатків

Якість окатків характеризується ситовим складом, міцністю на роздавлювання, числом скидання з висоти 500 мм на металеву плиту до руйнування. Вимоги до якості сирих окатків задаються технологічною картою [3].

Випробування якості сирих окатків здійснюється контролерами ВТК 6 разів за зміну. Окатки відбираються з конвеєра ОБ-7.

## 2 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ОБПАЛУ ОКАТИШІВ НА КОНВЕЄРНІЙ МАШИНІ З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ВИДІВ ПАЛИВА ТА ШИХТИ РІЗНОГО СКЛАДУ. РОЗРОБКА РЕКОМЕНДАЦІЙ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОБПАЛУ ОКАТИШІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОКАТИШІВ ТА ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТ ПАЛИВА

### 2.1. Випалювальна машина ОК-1- 324 та її обладнання

Випалювальна машина ОК-1-324 призначена для термічної обробки і охолодження окатків з залізорудних концентратів з метою надання їм необхідних фізико-хімічних і механічних властивостей.

Основні конструктивні розміри і технічні показники випалювальної машини ОК 1 324/336 наведені в таблиці № 2.1[3].

Таблиця 2.1 – Основні конструктивні розміри і технічні показники випалювальної машини ОК 1 324/336

№п/п	Найменування параметру	од. виміру	Показник
1	Площа активних технологічних зон	м <sup>2</sup>	324
2	Робоча площа прососа продукції	м <sup>2</sup>	336
3	Загальна довжина робочої поверхні	м	84
4	Робоча ширина машини	м	4
5	Продуктивність по готовим окаткам, до	т/ч	310
6	Площа по зонам:		
6.1	сушки 1	м <sup>2</sup>	42
6.2	сушки 2	м <sup>2</sup>	36

6.3	підігріву	м <sup>2</sup>	24
6.4	випалу 1	м <sup>2</sup>	36
6.5	випалу 2	м <sup>2</sup>	48
6.6	рекуперації	м <sup>2</sup>	36
6.7	охолодження 1	м <sup>2</sup>	48
6.8	охолодження 2	м <sup>2</sup>	66
7	Швидкість руху випалювальних візків	м/хв	1,5÷2,8
8	Висота шару сирих окатків, до	мм	370
9	Висота шару донної постілі.	мм	60±5
10	Кількість пальників.	кільк.	18
11	Максимальна розрахункова температура теплоносія над шаром окатків по зонах:		
11.1	сушки 1	°С	250÷310
11.2	сушки 2	°С	190÷310
11.3	підігріву	°С	320÷680
11.4	випалу 1	°С	750÷1110
11.5	випалу 2	°С	1200÷1340
11.6	рекуперації	°С	1110÷950
11.7	охолодження 1	°С	1020÷910
11.8	охолодження 2	°С	440÷120
12	Максимальна температура в в/к № 16.	°С	500
13	Потужність електроприводу приводу.	кВт	22
14	Маса машини з електрообладнанням без запчастин.	т	2614

## 2.2. Конструкція і принцип роботи випалювальної машини

Машина являє собою тепловий агрегат конвеєрного типу з безперервним процесом завантаження, термообробки і розвантаження окатків.

Машина має механічну і теплову частини, змонтовані на каркасі.

Механічна частина включає в себе: 142 випалювальних палет, що утворюють конвеєр; замкнуті направляючі, по яких рухаються випалювальні палети; привід з приводними зірочками; розвантажувальний пристрій.

Теплова частина машини включає в себе: горн з форкамерами та інжекційними пальними пристроями, кожухи горна, перетічний колектор, повітряні камери, ущільнення.

Колосникове поле випалювальних палет набрано з зазором 6 ... 8 мм. Випалювальні палети розташовані між горном зверху и газоповітряними камерами знизу, утворюють робочу площу рівну 324 м'. Відповідно до технологічного призначення, робоча площа машини ділиться на зони: сушки 1 і сушки 2, підігріву, випалу 1 і 2, рекуперації, охолодження 1, 2[3].

## 2.3. Призначення і робота технологічних зон

Виробництво окатків являє собою комбінацію з двох різних процесів низькотемпературного (склад шихти і формування сирих окатків) і високотемпературного (зміцнення окатків). Ці процеси взаємопов'язані, так як властивості готового продукту визначаються складом шихти і якістю сирих окатків.

Відповідно до технології, випал шару окатків здійснюється послідовно в п'яти технологічних зонах: сушки, нагріву, випалу, рекуперації та охолодження в яких реалізуються процеси: сушіння окатків, окиснення магнетиту до гематиту, декарбонізація, десульфюрація, дисоціація гематиту окатків. Температурний фактор є основним параметром випалу шару окатків на випалювальній машині. У зоні сушки температура підтримується лише на рівні 250-600 °С. У зоні нагрівання здійснюється поступовий підйом температури від 700 °С до 1200 °С. У зоні випалу температура встановлюється, залежно від типу концентрату та офлюсування окатишів 1200-1350 °С[3].

У процесі термообробки сирих окатків відбувається ряд фізико-хімічних перетворень[3]:

- видалення вологи;
- розкладання карбонатів;
- десульфюрація;
- окиснення магнетиту;
- твердофазні реакції;
- утворення рідкої фази;
- рекристалізація рудної фази;
- утворення кінцевої структури при охолодженні обпалених окатків.

### 2.3.1 Видалення вологи

Зони сушки на конвеєрній машині необхідні для підготовки окатків до високотемпературного випалу. В процесі шарової сушки залізорудних окатків відбувається перерозподіл вологи по висоті шару. В першу чергу

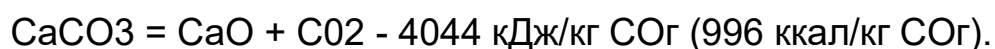
нагрівається поверхня окатків, що контактує з газом-теплоносієм. При цьому відбувається часткове переміщення води в рідкому стані від більш гарячого до менш нагрітого шару окатків. В результаті в окремих зонах шару окатків спостерігається їх перезволоження. Цьому сприяє і конденсація вологи з газу. Переміщення вологи в рідкому вигляді від одних окатків до інших, або в обсязі одного окатка від поверхні до центру, послаблює міцність зв'язку між частинками, що призводить до зниження міцності структури, а в деяких випадках до повного руйнування окатків[3].

Перезволоження окатків має місце на початку сушки. На якість обпалених окатків істотно впливає режим сушки. У процесі сушки окатків можливі два види руйнування: тріщиноутворення на поверхні окатків і високотемпературне вибухоподібне руйнування з утворенням дріб'язку («температурний шок»). Основною причиною руйнування є розвиток об'ємно-напруженого стану понад гранично-допустимого, що виникає за рахунок градієнтів вмісту вологи і температури. При збільшенні інтенсивності сушки можливе різке зниження міцності окатків, аж до руйнування. Саме цей фактор визначає критичну температуру та швидкість сушіння.

Підвищення термічної стійкості окатків дозволяє підвищити початкову температуру сушильних газів і, отже, інтенсифікувати процес сушки.

### 2.3.2 Розкладання карбонатів

У шихті для виробництва окатків флюсовим компонентом є вапняк. Карбонати кальцію і магнію, що входять до складу вапняку, при нагріванні розкладаються по реакціях:



$MgC = MgO + CO_2 - 2303 \text{ кДж/кг } CO_2 (551 \text{ ккал/кг } CO_2)$ .

Початок розкладання карбонатів відбувається в інтервалі 660 ... 770 °С. Вміст двоокису вуглецю в продуктах горіння, над шаром окатків становить близько 10%. Тоді при тиску газу 1 атм. парціальний тиск двоокису вуглецю складе в середньому 0,1 атм., пружність дисоціації  $CaCO_3$  відбуватиметься при 771 °С [3].

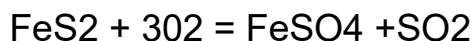
При зменшенні концентрації двоокису вуглецю в газі (наприклад, при збільшенні надлишку повітря при горінні) температура початку розкладання вапняку знижується. При тиску двоокису вуглецю в газі 0,05 атм. ця температура дорівнює 736 °С, при 0,01 атм. - 662 °С.

### 2.3.3 Десульфуріяція

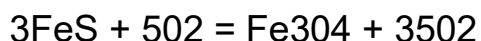
При випалу залізорудних окатків крім їх зміцнення відбувається видалення сірки. У рудах більшості типів, сірка знаходиться в вигляді хімічних сполук із залізом. Найбільш часто зустрічаються сполуками сірки є пірит і пірротин[3].

Основні процеси, що протікають при десульфуріяції окатків:

- окислення піриту при температурі вище 300 °С з утворенням сульфату заліза

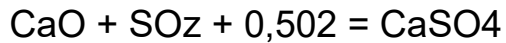
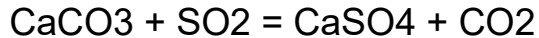


- дисоціація піриту при температурі вище 600 °С з утворенням сірчастого заліза та сірки, що окислюються з утворенням оксиду заліза:



- утворення сульфату кальцію через початок розкладання вапняку при температурі вище 600 °С.

Видалення сірки сповільнюється. При підвищенні температури до 900 °С свіжоутворене вапно активно поглинає сірку і видалення сірки з окатків не відбувається:



- дисоціація сульфату кальцію в окатках при температурах вище 1150°С у результаті впливу оксидів кремнію та заліза, а також зниженого вмісту кисню в зоні випалу, з утворенням оксидів заліза та сірки:



Фізична картина процесу десульфурації:

При нагріванні окатків видалення сірки починається при температурах 300-400 °С і зростає до максимуму при температурах 500-600 °С незалежно від основності. У зоні сушки вологі окатки поглинають сірку з газу теплоносія, погіршуючи процес десульфурації. При температурах 700-900 °С швидкість видалення сірки падає, а при температурах 900-1000 °С помітного видалення сірки не відбувається, так як швидкість утворення  $\text{CaSO}_4$  перевищує швидкість окислення сульфатів, поглинаючи оксид сірки. До зони випалу видаляється трохи більше 10-15% сірки і її частина (85%) на той час перетворюється на сульфатну форму. З підвищенням температури процес видалення сірки прискорюється за рахунок дисоціації сульфату в присутності оксидів  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ . Заміна вапняку доломітом в шихті окатишів знижує температуру початку активного видалення сірки з 1200 °С до 1100 °С. Найбільш повно відбувається процес десульфурації сірки в неофлюсованих окатках. При температурах близьких до 1300 °С ступінь десульфурації становить близько 95%[3].

### 2.3.4 Окислення магнетиту

В основному окатки виготовляють з магнетитового концентрату. Металургійні властивості магнетитових окатків істотно залежать від ступеня та характеру окиснення залізорудних матеріалів. Структура окислених рудних зерен багато в чому визначає міцність обпалених окатків, у тому числі міцність при відновленні. супроводжують термообробку магнетитових окатків. Цей процес має важливе значення для властивостей кінцевого продукту. Перетворення магнетиту в гематит супроводжується 3 помітним виділенням тепла[3]:



Завершення процесів окислення означає отримання рівномірної структури окатків. Наявність не окисленого ядра, як правило супроводжується появою концентричних тріщин між гематитовою периферією і магнетитовим ядром, що є причиною руйнування окатків при їх транспортуванні та відновлення в доменній печі. Реакція окислення і інші явища, що мають місце при випалюванні окатків, можуть лімітувати або швидкістю хімічної реакції (реакцією на кордоні фаз), або швидкістю транспортування реагентів (в газовій або твердій фазі), або швидкістю теплообміну[3].

Окислення магнетиту в окатках починається при 300 °С, найбільшим ступінем окислення відрізняються окатки, обпалені при температурі 1000 ... 1150 °С. З підвищенням температури випалу, понад 1200 °С окислюваність окатків знижується.

### 2.3.5 Твердофазні реакції

В процесі нагрівання і випалу окатків помітний розвиток набувають хімічні реакції між твердими компонентами окатків. Ці реакції певним чином впливають на перебіг процесів зміцнення окатків. Для окатків певне значення мають реакції, що протікають між окисом кальцію і магнію, кремнезем і оксидами заліза.

При випалюванні окатків в шихті знаходяться наступні основні матеріали, які можуть контактувати один з одним і між, якими можливі хіміко-мінералогічні впливи:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ . Продуктами їх взаємодії є три типи з'єднання: силікати кальцію ( $\text{CaSiO}_4$ ), силікати заліза ( $\text{FeSiO}_4$ ) і ферит кальцію ( $\text{CaOFe}_2\text{O}_3$ ),  $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$  і  $\text{CaO} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Температури початку утворення цих сполук складають відповідно 500 ... 600, 970 і 400 °С.

Для офлюсованих окатків велике значення має взаємодія між окисом кальцію і оксидами заліза. Повне протікання цієї реакції забезпечує відсутність вільного вапна і підвищує стійкість окатків проти руйнування при зберіганні[3].

### 2.3.6 Утворення рідкої фаз.

До моменту початку плавлення в звичайних умовах випалу окатків вже повністю завершені процеси сушки, дегідратації, декарбонізації і твердофазні реакції. В ході окислення і реакцій між твердими фазами утворюються речовини, температура плавлення яких значно нижче, ніж температура плавлення компонентів вихідної шихти. Так, якщо температура плавлення гематиту ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) становить 1565 °С, магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) - 1597°С, кварцу - 1713°С,  $\text{CaO}$  - 2585 °С, то плавлення фаяліта

( $\text{Fe}_2\text{SiO}_4$ ) відбувається вже при  $1205\text{ }^\circ\text{C}$ , а однокальцієвого фериту ( $\text{CaFe}_2\text{O}_3$ ) - при  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ .

Новоутворені в ході спікання легкоплавні речовини, плавляться першими, розчиняючи в собі масу шихти. При випалюванні окатків розвиток рідких фаз прагнуть обмежити, щоб не допустити спікання окатків в грони.

### 2.3.7 Рекристалізація

Провідною причиною зміцнення окатків висуваються рекристалізація зерен гематиту.

Утворення розплаву істотно не збільшує міцність окатків. При вивченні властивостей окатків поняття рекристалізації і зміцнення тісно пов'язані.

У металургії під терміном «рекристалізації» розуміють процес повторної кристалізації, яка відбувається в твердому тілі.

Для протікання процесів, що вимагають витрати тепла, шар окатків нагрівається до необхідних температур, після чого охолоджується, розрахункова зміна температур в шарі окатків по довжині опалювальної машини приведена[3].

### 2.3.8 Основні контрольовані параметри процесу термообробки

- температури та тиску газів у вакуумдутьових камерах, а також по довжині

-газоповітряних трактів, у тому числі перед та після димососів;

-температури та тиск горнових газів та рециркульованого повітря;

-температури та тиск води на виході з холодильників горна;

-витрата та тиск природного газу та повітря в загальних мережах та у кожного пальника;

-маса окатків на конвеєрах огрудкувачів та перед завантаженням на роликівий

-укладальник;

-висота шару окатків та висота донної постілі;

-рівень матеріалу в бункері постілі;

-витрата води на випалювальну машину;

-прогин палет;

-струмове навантаження ел. двигунів димососів.

Автоматичному регулюванню та керуванню піддаються параметри, перелік яких подано в таблиці 2.2. [3]

Таблиця 2.2 – Перелік автоматично регульованих параметрів обпалювальної машини ОК 324

Ділянка машини	Регульований параметр	Регулюючий орган
Перед зоною сушки I	Висота шару окатків	Швидкість пересування
Сушка I	Температура теплоносія в колекторі Д1 зони продувки. Розрідження в ковпаку зони тиск в газоповітряної камері № 2	Н.А. димососа Д1, Н.А. димососа Д5
Сушка 2	Тиск в ковпаку зони	Регулююча заслінка
Підігріву	Температура в горн	Зміна витрати природного газу на пальники

Випалу 1 і 2	Тиск в горні зони температура в горні. Температура в вакуум-камерах №12-14.	Н.А. димососа Д2; Д4Б зміна витрати природного газу на пальники, Н.А. димососа Д3
Охолодження 2	Тиск в зоні. Температура в ковпаку зони	Н.А. димососа Д1, Н.А. вент-ра Д46

### Зона сушки

У зоні сушки відбувається основне зневоднення сирих окатків і підготовка їх до подальшої обробки. Для випаровування вологи в зоні подається теплоносія[3].

З метою запобігання деформації та руйнації сирих окатків, що може виникнути при конденсації раніше випарованої в ході сушки вологи на холодних ділянках шару, передбачені дві зони сушки з протилежним напрямком теплоносія:

- зона сушки I;
- зона сушки II.

У зону сушки I теплоносія з температурою 250 ... 310 °С подається димососом Д-15000-12-1 (Д1) із зони охолодження через газоповітряні камери №№ Об, Іа, 1, 2, та проходячи через шар окатків, нагріває та підсушує його знизу. Відпрацьовані гази зони сушки I, пройшовши вологе очищення в скрубберах - краплевловлювачах з трубами Вентурі, димососом ДН26\*2-0,62 (Д5) викидаються у димову трубу[3].

Для часткового підвищення температур вологих газів, що відходять з шарів в зоні сушки 1 і запобігання конденсації вологи на стінках кожуха передбачена подача теплоносія з температурою 350 °С з ковпака зони сушки II. Горн сушки I працює під розрядження 30 ... 100Па.

У зону сушки II, розташовану над камерами №№3, 4а, 4б, 5, подається теплоносія з температурою 250 ... 350 °С з колектора відпрацьованих газів зони випалу II (газоповітряні камери №№11-16) димососом ГД26\*2-0,62 (Д3), а також в зону сушки II подається вторинний теплоносія із зони охолодження I через колектор прямого перетікання з температурою 800 ... 950 °С. Перед димососом Д3 для сухого очищення газів встановлені три циклони ЦП 2Л-3750[3].

Прососом теплоносія через шар окатків висушуються верхні горизонти шару. Сумарна ефективність сушки окатків в зонах сушки I і II складають 60 ... 80%.

У ковпаку зони сушки II підтримують розрідження 5 ... 25 і Па, шляхом регулювання подачі та відсмоктування газів, що просмоктуються через шар. Із зони сушки II відпрацьовані гази після мокрого газоочищення в скруберах-каплеуловлювачах з трубами Вентурі димососом Д27,5\*2 (Д2) скидаються в димову трубу.

### **Опалювальні зони**

В опалювальних зонах, окатки обробляють високотемпературними продуктами згоряння природного газу та вторинним теплоносієм із зони охолодження I просмоктуванням через шар.

Природний газ спалюють 9-ю парами інжекційних пальників, розташованими над кожною вакуум камерою зон підігріву, випалу I і II по обидва боки машини.

Зони обладнані спеціальними камерами - форкамерами. Винесення процесу горіння в форкамери сприяє вирівнюванню температурних полів і рівномірності випалу по всій ширині випалювальних палет. Для спалювання газу на інжекційні пальники димососом Д1 подається нагріте до температури 250 ... 350 ° С первинне повітря, при запуску після тривалої зупинки для подачі первинного повітря на пальники

використовується вентилятори ВДН-12,5 №№ 1; 2 подають первинне повітря з атмосфери[3].

Для отримання необхідних для випалу окатків кількості і температури теплоносія над шаром окатків при мінімальній витраті палива в ці форкамери із зони охолодження I, через переточний колектор та опускні патрубки подається теплоносій із температурою 800...950 °С.

### **Зона підігріву**

Зона призначена для підготовки до високотемпературного нагрівання окатків в зонах випалу, прогріву верхній частині шару до 350 ... 680 ° С, завершення сушіння нижніх горизонтів шару, розташовується над вакуум-камерами №№ 6-7. Розрідження в горні 20 ... 60 Па[3].

### **Зона випалу**

У зонах випалу I і II, що розташовуються над вакуум-камерами №№ 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, з розрядженням в горні 20 ... 60 Па, переважно здійснюється формування міцності окатків. У цих зонах відбуваються інтенсивні реакції окислення магнетиту, закінчується розкладання вапняку, утворення нових хімічних сполук і на цій основі зміцнення окатків. Добре окислені окатки мають однорідну структуру по всьому перетину окатка[3].

### **Зона рекуперації**

У неопалювальній зоні рекуперації закінчуються процеси випалу окатків і формування міцності в нижніх горизонтах шару окатків шляхом перенесення тепла повітрям з верхніх ділянок шару. Зона рекуперації розташовується над вакуум-камерами №№ 15,16,17[3].

В якості теплоносія в зоні використовується перетічне повітря із зони охолодження 1 з температурою 800 ... 950 ° С.

Температура газів під шаром в в/к № 16 - 350 ... 480 °С.

### **Зона охолодження**

Зони охолодження розташовані над вакуум-камерами №№ 18-27. Для охолодження застосована нереверсивна схема подачі охолоджуючого повітря по всій довжині зони, яка розділена на підзони: охолодження I, II. Поділ здійснено за принципом споживання одержуваного теплоносія і забезпечення достатніх швидкостей фільтрації повітря через шар[3].

Зона охолодження I розташована над камерами №№ 18, 19, 20, 21. У цій зоні починається поступове охолодження окатків холодним атмосферним повітрям. Повітря, що відходить із зони охолодження I та нагріте до температури 800 ... 950 °С, надходить в колектор прямого перетікання і використовується в якості теплоносія для розведення продуктів спалювання природного газу в зонах підігріву, випалу I і II, а також в зоні рекуперації[3].

Зона охолодження II призначена для охолодження шару окатків до температури менше ніж 120 ° С для чого атмосферне повітря вентилятором ВДН 25 \* 2 (Д46) подається в зону через повітряні камери №№ 22, 23, 24, 25, 26, 27 і проходячи через шар окатків знизу-вгору охолоджує їх. Нагріте в шарі повітря, подається в зону сушіння 1.

Але при експлуатації машини параметри будуть відрізнятися у зв'язку зі зміною характеристик шару окатишів і донного ліжка, вологості, діаметру, гранулометричного складу окатишів.

Техніко-технологічні характеристики обпалювальної машини ОК-324 наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Техніко-технологічні характеристики обпалювальної машини ОК-324

Параметри	Назва показника / конструктивного елемента	Технологічне значення / Характеристика
Основні характеристики	Тип агрегату	Конвеєрна випалювальна машина
	Робоча площа випалу (дзеркало спекання)	324 м <sup>2</sup>
	Номінальна ширина палети (В <sub>о</sub> )	4,0 м
Параметри шару матеріалу	Товщина захисної "постілі" (обпалені окатки)	80-100 мм (фракція 10-15 мм)
	Висота шару сирих окатків на палеті (Н <sub>о</sub> )	400- 500 мм (0,4- 0,5 м)
	Насипна маса сирих окатків (Р <sub>о</sub> )	2,2 т/м <sup>3</sup>
Режимні та кінематичні параметри	Швидкість переміщення палет (Υ <sub>о</sub> )	Регульована робоча швидкість (2,0- 5,5 м/хв)
	Коефіцієнт виходу обпалених окатків з сирих (К <sub>1</sub> )	0,848
	Коефіцієнт виходу придатних окатків (К <sub>2</sub> )	0,934 (з урахуванням відсіву повернення 5-7%)
Температурні зони процесу	Зони сушки (1 та 2)	250-450 °С

	Зона підігріву	800-1000 °С (початок окислення магнетиту)
	Зона випалювання (максимальне зміцнення)	1250-1320 °С
	Зона охолодження (на виході з машини)	Зниження температури окатків до 100-150 °С
Якісні показники готового продукту	Цільовий діаметр готових окатків	10-14 мм
	Міцність готових окатків на стиск	260-270 кг/окаток
	Ударна міцність сирих окатків	Не менше 25 скидань з висоти 0,5 м
	Оптимальна вологість шихти перед завантаженням	8,8-9,5 %

Для забезпечення цих параметрів потрібно реалізувати відповідні алгоритми керування технологічним процесом, враховуючи розподіл температур на кожному горизонті шару окатишів[14].

Результати зміни температури нижнього горизонту шару окатишів, що представлені графіками (1, 2), і теплоносіїв, що відходять (3, 4) залежно від температури в зоні випалювання, показано на рис. 2.1, а. На цьому рисунку дана зона представлена I– III секціями, а швидкість руху візків складає 0,0225 м/с, яка визначається виразом (2.1):

$$V = \frac{Q_c}{60HBM_{c\text{об}}} \quad (2.1)$$

де  $Q_c$  – продуктивність машини по сирим окатишам, т/год;

$H$ ,  $B$  – висота шару сирих окатишів, м і ширина візка конвеєрної стрічки, м;

$M_{c\text{об}}$  – насипна маса сирих окатишів, т/м<sup>3</sup> .

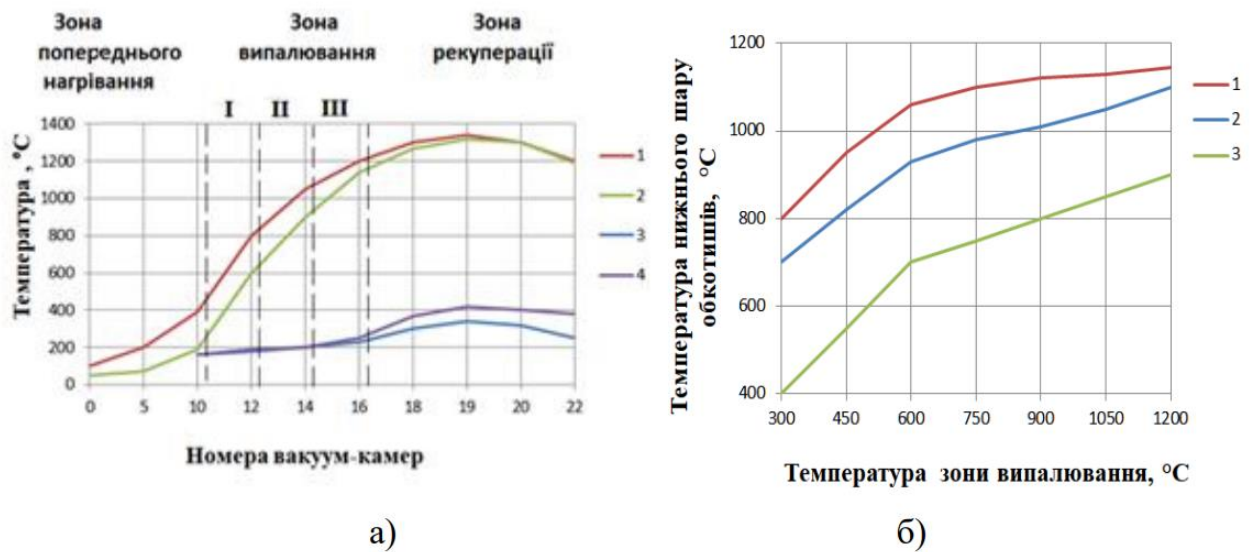


Рисунок 2.1 – Зміна температур у зоні випалювання: а – нижнього горизонту шару окатишів (1, 2) і теплоносіїв потоку, що відходять (3, 4); б – нижнього горизонту шару окатишів залежно від часу перебування в технологічній зоні (розрахункова)

На рис. 2.1, а представляють температуру нижнього шару окатишів на виході із першої секції зони випалювання на рівні 800 °С, а на виході з третьої секції вона вже складає 1200 °С. Видно, що значення на рівні 800 °С є межею, в якому визначається час випалювання або довжина зони випалювання. Чим вища швидкість фільтрації теплоносія потоку в шарі,

тим раніше настає зростання температурної кривої, що свідчить про більш швидку «теплонасиченість» шару окатишів[14].

Швидкості фільтрації потоку теплоносія 0,36 м/с, впливає на температуру шару окатишів у зоні випалювання. Покажимо її залежність від зміни швидкості руху візків на рис. 2.2.

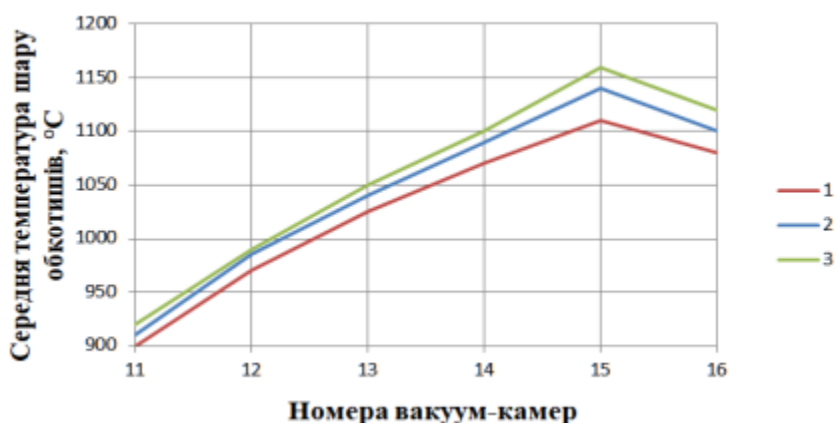


Рисунок 2.2 – Зміна температури окатишів від швидкості руху візків конвеєрної стрічки в зоні випалювання: 1-швидкість переміщення 0,0208 м/с; 2-0,0225 м/с; 3-0,0242 м/с

Можна спостерігати, що при температурі теплоносіїв над шаром окатишів 1300 °С час витримки їх у технологічній зоні складає 9–10 хв. Таким чином, можна отримувати температуру нижнього горизонту близько 1000 °С, а в середньому по шару окатишів 1100–1150 °С. При підвищенні температури потоку над шаром окатишів подібну температуру на його виході отримуємо раніше[14].

#### 2.4 Параметри газоповітряних потоків

Для випалу залізорудних окатків на випалювальній машині ОК-324 спільно використовується природний газ (склад і характеристика якого наведена в таблиці 2.4) і біопаливо (лушпиння соняшнику).

Для спалювання палива використовують повітря горіння і розбавлення[3].

Таблиця 2.4 – Склад та характеристика природного газу

Хімічний склад природного газу			
Показники	Позначення	Розмірність	Величина
метан	$CH_4$	% об'єму	92,0
етан	$C_2H_4$		2,5...2,9
пропан	$C_3H_8$		0,75...0,8
бутан	$C_4H_{10}$		0,23...0,26
пентан	$C_5H_{12}$		2,5...3,4
азот	$N_2$		0,36...0,40
двооксид вуглецю	$CO_2$		0,36...0,40
сірководень і меркаптани		мг/нм <sup>3</sup>	60...80
теплота згорання природного газу	$Q_H^*$	ккал/нм <sup>3</sup>	8400

Подача біопалива (лушпиння соняшнику) здійснюється шляхом використання комплексу заміщення палива біомасою (КЗПБ).

Підготовлене паливо з бункера-накопичувача подається пневмотранспортом в горн обпалювальної машини, де згорає, виділяючи теплову енергію, тим самим зменшуючи витрати газу.

#### Склад КЗПБ:

- приймально-розвантажувальний бункер, бункер твердого біопалива, форсунки подачі біопалива;

- приймально-розвантажувальний бункер, призначений для приймання біопалива, яке підвозиться автотранспортом і вивантажується в бункер. Потужність розвантаження розрахована на забезпечення максимальної витрати біопалива;

- бункер палива, призначений для подачі біопалива через систему шлюзових живильників і пневмотрасс до пальникового пристрою;

- форсунки, призначені для подачі біопалива в горн і його спалювання[3].

### **Дія персоналу при роботі випалювальної машини із застосуванням біопалива**

Після готовності КЗПБ до запуску, інформація про готовність повідомляється майстру міни.

Майстер зміни дає дозвіл на продувку магістралі стисненим повітрям без сировини. Тривалість продувки становить 5-10 хв.

Після продування по черзі подається мінімальна кількість сировини ~ 182 кг на пару форсунок (починаючи з 11-12 і закінчуючи 5-8) і виставляється необхідний факел під кожну форсунку.

Після того, як факела будуть налаштовані, за погодженням з майстром зміни і старшим агломератником, в магістраль подається сировина, в обсязі ~ 728 кг/год на всі форсунки, в разі необхідності, регулюється полум'я на форсунках. Налаштування напрямків, довжини факелів форсунок КЗПБ проводиться за погодженням із заступником начальника фабрики по технології і якості, фахівцями ПП «Алмаз-М» і фіксується для роботи в даному режимі. Напрямок факелів форсунок КЗПБ регулюється в осях вертикаль-горизонталь до 20°.

Довжина смолоскипів (швидкість подачі біопалива) регулюється двома способами:

- заміною форсунок, з подальшим перезапуском Комплексу;

- зміною тиску в магістралі подачі сировини.

Форма смолоскипа змінюється при заміні форсунок. За замовчуванням на Комплексі встановлені форсунки для досягнення середньої швидкості сировини.

Для регулювання тиску в мережі, зв'язок «Черговий майстер - Комплекс» відбувається через представника КЗПБ черговим телефоном.

Запуск Комплексу, регулювання обсягів сировини, тиску в магістралі можливий тільки з позначки 0 м, безпосередньо біля системи пневмоподачі[3].

У процесі спільного спалювання біопалива і природного газу витрати для кожного підготовленого біопалива, визначають:

- оптимальну витрату природного газу, що забезпечує необхідні якісні характеристики готової продукції. При цьому, після подачі біопалива, температура фіксується термопарою в зведенні горна;

- при збільшенні температури в горні вище заданих значень, агломератник здійснює зниження витрати газу, для досягнення необхідної температури;

- зміна витрати і регулювання подачі біопалива проводиться представником ПП «Алмаз-М» за погодженням з майстром зміни і старшим агломератником до максимального заміщення.

Витрата природного газу, що подається на випалювальну машину, визначається за показниками існуючого витратомірного вузлу, і передається оператором ПУ.

Витратні параметри випалювальної машини по спалюваного матеріалу зберігаються постійними - відповідними витраті, досягнуті під час роботи випалювальної машини на природному газі.

Додатково до миттєвої витрати підготовленої біомаси, що визначається за видатковою характеристикою, оцінка витрат біопалива

проводиться за рахунок обліку, поставленого на підприємство, в ході проведення випробувань, біопалива[3].

У разі аварійної зупинки випалювальної машини, подача сировини припиняється моментально, щоб не допустити перегріву в горні. При цьому подача стисненого повітря в магістралі триватиме протягом 2-х хвилин, щоб продути трасу і уникнути запресовки сировини в магістралі. Продування також здійснюється перед початком подачі біопалива в магістраль. Сигнал (блокування) аварійної зупинки береться з діючої АСУ.

Для контролю розігріву горна, набір температур в горні, при виході на заданий температурний режим (після коротких, або тривалих зупинок, ТР, ТО, та ін.), здійснюється на природному газі. По досягненню заданих температур запускається КЗПБ.

## Висновки до розділу 2.

На основі вище викладеного матеріалу в даному розділі, за проведеними аналізами показників роботи випалювальної машини ОК-324, а також з урахуванням досвіду використання альтернативних видів палива (лушпиння соняшнику) та наявної схеми комплексу заміщення палива біомасою (КЗПБ), для підвищення якості готової продукції та зниження питомих витрат природного газу рекомендується впровадження таких конструкційних та технологічних покращень:

1. заміна стандартних форсунок КЗПБ на модернізовані вихрові двоканальні пальники, які забезпечать більш рівномірне та концентроване розпилення дрібнодисперсного біопалива. Це дозволить оптимізувати геометрію та довжину смолоскипа в межах  $20^{\circ}$ , також забезпечить повне згоряння біомаси у зваженому стані, щоб запобігти попаданню недопалу на верхній шар окатишів;

2. встановлення автоматизованих засувок з електроприводом на лініях пневмотранспорту біопалива для оперативного регулювання тиску та витрати сировини;

3. збільшити частку заміщення природного газу твердим біопаливом (лушпинням соняшнику) у зонах підігріву та випалу, щоб забезпечити додаткове зниження питомої витрати природного газу на  $6 \text{ м}^3$  на тонну готових окатишів, при збереженні оптимального температурного профілю в зоні випалу на рівні  $1200\text{-}1340^\circ\text{C}$ ;

4. автоматично коригувати швидкості руху палет машини ОК-324 для усунення появи на виході дріб'язку менше 10 мм (повернення).

## 3 ОХОРОНА ПРАЦІ І ЕКОЛОГІЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ЗАЛІЗОРУДНИХ ОКАТИШІВ

Всі конструктивно-компонувальні рішення по розміщенню технологічного обладнання об'єкта фабрики огрудкування відповідають вимогам діючих норм і правил його безпечної експлуатації та безпечного обслуговування[3].

### 3.1 Охорона праці

На кожному робочому місці повинні бути забезпечені безпечні умови праці, відповідно до вимог Закону України "Про охорону праці".

Безпека технологічних процесів і експлуатації технологічного устаткування забезпечується шляхом виконання вимог діючих в Україні і на комбінаті нормативних актів з охорони праці, а саме:

- «Правил з ОП під час дроблення і сортування, збагачення корисних копалин і огрудкування руд і концентратів»;
- «Правил охорони праці у газовому господарстві підприємств чорної металургії»;
- «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів»;
- «Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів»;
- «Правил з ОП під час розробки родовищ корисних копалин у відкритий спосіб»;
- «Правил з ОП під час експлуатації хвостових і шламових господарств гірничорудних і нерудних підприємств»;

- «Стандарт «Аналіз Безпечного Виконання Робот»;
- «Положення про систему управління охороною праці у ПрАТ «ЦГЗК»;
- «Положення про порядок проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці у ПрАТ «ЦГЗК»;
- «Положення про порядок видачі нарядів на виконання робіт з підвищеною небезпекою ПрАТ «ЦГЗК»;
- «Положення щодо забезпечення безпеки робіт підвищеної небезпеки, які виконуються за наряд-допусками на ПрАТ «ЦГЗК»;
- «Положення про систему Блокування-Маркування-Перевірка обладнання у ПрАТ«ЦГЗК»;
- «Положення про біркову систему допуску до ремонтів технологічного обладнання з електроприводом у ПрАТ «ЦГЗК»;
- «Положення «Кардинальні правила охорони праці та промислової безпеки у ПрАТ «ЦГЗК»;
- Інструкцій ПрАТ «ЦГЗК» з охорони праці по професіям і видам робіт, що виконуються.

До виконання робіт в умовах фабрики огрудкування, де на робочих місцях в наявності шкідливі і небезпечні фактори технологічного процесу допускаються робітники, які пройшли попередній/періодичний медичний огляд і за його результатами не мають протипоказань до виконання робіт.

Всі робітники під час прийому на роботу та періодично проходять навчання, інструктажі і перевірку знань вимог нормативних актів з охорони праці.

Допуск до роботи працівників, які не пройшли навчання і перевірку знань з охорони праці, забороняється.

Всі робітники забезпечуються спецодягом, спецвзуттям, ЗІЗ та запобіжними пристроями відповідно до вимог Норм безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам гірничодобувної промисловості.

Допуск до роботи працівників без ЗІЗ, в несправних ЗІЗ чи ЗІЗ, які не відповідають роботі, що виконується, заборонено[3].

Для працівників розробляються інструкції з охорони праці по професіям і видам робіт, що виконуються.

Всі види ремонтів, обслуговування устаткування виконуються за технологічними картами, проектами організації робіт, у яких вказуються підготовчі заходи, необхідні пристосування та інструменти, визначні порядок і послідовність робіт, що забезпечують безпеку їх проведення.

Роботи підвищеної небезпеки виконуються за нарядом-допуском. У наряді-допуску, виданому на проведення робіт підвищеної небезпеки, зазначають повний обсяг організаційних та технічних заходів, вжиття яких забезпечить безпечне проведення робіт у конкретних умовах.

Перелік робіт, що виконуються за наряд-допуском в структурному підрозділі визначається наказом по підприємству.

Зупинку обладнання, агрегатів, апаратів і комунікацій для внутрішнього огляду, очищення і ремонту виконують з використанням биркової системи і системи БМП.

У приміщенні нарядних, на робочих місцях, біля агрегатів, у небезпечних зонах робляться написи про безпечні способи ведення робіт і застережні заходи[3].

Робочі місця та проходи утримують у чистоті та порядку. Захаращення робочих місць та проходів забороняється.

У виробничих приміщеннях фабрики пересування працівників здійснюється по передбачених для цього технологічних проходах, маршевих сходах та майданчиках.

Усі обслуговуючі майданчики, перехідні містки та маршеві сходи мають бути міцними, стійкими та оснащені перилами.

Усі монтажні отвори, прямки, зумпфи, колодязі, канали, розташовані в приміщеннях фабрики та на її території, огороджують перилами, чи перекриваються по всій поверхні настилами, що укладені врівень з підлогою.

Запірну та регулювальну арматуру трубопроводів встановлюють у доступних і безпечних для обслуговування місцях[3].

Усі відкриті рухомі частини устаткування, що доступні випадковому дотику, огороджують, огороження заблоковують з приводом механізма з метою виключення запуску механізму в роботу при знятому огороженні.

Для виконання ремонтних і регулювальних робіт, а також для спостереження за технологічним процесом і роботою механізмів за огороженням облаштовують вікна та люки, що закриваються для унеможливлення випадкового падіння в них працівників та заблоковуються з пусковим пристроєм устаткування, машин і механізмів.

Ремонт рухомих частин устаткування та огорож під час роботи машин, ручне прибирання просипу, а також ручне змащування без пристроїв забороняється.

Перед початком роботи на устаткуванні перевіряють наявність та цілісність огорож та кожухів, надійність пускових і гальмівних пристроїв, заземлення, справність захисних кожухів, ізоляції, сигналізації пуску та зупинки, автоблокування[3].

У разі виявлення несправностей або недоліків у забезпеченні безпечної експлуатації устаткування робота на ньому негайно припиняється.

Пуск виробничого устаткування виконують працівники, які його обслуговують та здійснюють нагляд за ним.

Пуск з пульта керування ланцюга виробничого устаткування, розташованого поза зоною видимості, здійснюють лише після підтвердження працівниками окремого устаткування безпеки його пуску.

Перед пуском ланцюга виробничого устаткування подають короткий звуковий сигнал тривалістю 5 - 10 с, що попереджає про початок дистанційного включення, після якого витримують паузу не менше ніж 30 с. Перед самим пуском устаткування подають другий звуковий сигнал тривалістю 30 с.

Блокування пускових пристроїв механізмів і устаткування забезпечує дотримання зазначеної часової витримки. Роботу найбільш важливого виробничого устаткування контролюють за допомогою телекомунікаційних систем.

Перед пуском устаткування, вузли якого або весь агрегат у процесі роботи переміщується, подають звукові та світлові сигнали тривалістю не менше ніж 10 с.

На кожному пункті обслуговування устаткування ведуть книгу прийому та здачі змін, у якій записують причини несправностей устаткування і заходи, вжиті щодо їх усунення.

Устаткування експлуатують з дотриманням технологічних режимів та параметрів, визначених паспортами, технологічними картами або інструкціями[3].

Усе обладнання, що експлуатується, інструмент та спеціальне обладнання, що використовується, утримують у робочому стані. Їх огляд,

періодичну перевірку та випробування проводять відповідно до вимог інструкцій та правил експлуатації. Робота на несправному обладнанні, використання несправних пристроїв та інструменту забороняються.

### 3.2 Цивільний захист працівників під час воєнних дій

З метою забезпечення належних та безпечних умов праці на робочих місцях, забезпечення системного підходу в управлінні та координації діями щодо запобігання виникнення кризових ситуацій та мінімізації ризиків виникнення нещасних випадків з працівниками під час виконання робіт в умовах воєнного стану в Україні передбачається[3]:

- визначенням плану евакуації працівників, що знаходяться на території підрозділу, до сховищ, інших укриттів у разі оголошення повітряної тривоги, артилерійських обстрілів та бомбардувань;
- інформування персоналу щодо поведінки у разі створення небезпеки і загроз життю та здоров'я людей під час проведення дій військового характеру;
- встановленням правил поведінки працівників на території підприємства в умовах воєнного стану, дотримання яких є обов'язковим для забезпечення особистої безпеки і здоров'я, а також безпеки і здоров'ю оточуючих людей;
- під час оголошення повітряної тривоги, виникнення загрози бомбардування, артилерійського обстрілу, інших бойових дій, негайно прямувати до визначених сховищ та укриттів, де перебувати до оголошення про скасування повітряної тривоги.

### 3.3 Виробнича санітарія

З метою створення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці (дотримання вимог ДСП 3.3.1.038-99, ДСН 3.3.6.042-99, ДБН В.2.5-67:2013) передбачається:

- оснащення робочих місць, а також технологічного обладнання, робота яких супроводжується виділенням пилу при транспортуванні продукції до місця завантаження її в бункера, подрібнювальне обладнання в місцях перевантажень сипучих матеріалів[3]:

- місцевою витяжною вентиляцією (аспірацією) в поєднанні з укриттями і герметизацією, аспіраційними системами (в т.ч. укриттями з пилоприймальними патрубками місцевих відсмоктувачів, системами повітропроводів, пиловловлювачами, тяговим обладнанням);

- системами гідрознепилення (зволоження, мокре прибирання пилу, що осів, очищення холостої лінії стрічкових конвеєрів);

- дотримання нормального температурного режиму на робочих місцях за допомогою повітряного і конвективного опалення в холодну пору року, застосування припливної системи вентиляції в поєднанні з природною вентиляцією через дефлектори;

- термоізоляція поверхні виробничого обладнання, яке є джерелом виділення надлишкового тепла;

- застосування матеріалів, інструментів, засобів індивідуального захисту, що знижують рівень вібрації і шуму на робочих місцях.

- комплекс будівельних, технологічних і санітарно-технічних антивібраційних і антишумових заходів для обладнання, яке генерує вібрацію і шум (млини, димососи, вентилятори, стрічкові конвеєра, насоси, та ін.);

- з метою зниження шкідливого впливу підвищеного рівня шуму, робочі місця операторів організовані в звукоізованих приміщеннях, обладнання з підвищеним рівнем шуму оснащується звукоізоляційними пристроями, засобами поглинання шуму.

### 3.4 Охорона навколишнього природного середовища

Проблеми безпеки та поліпшення умов праці, охорона навколишнього середовища та забруднення мають виняткове значення для підприємства [3].

Процеси виробництва окатків супроводжуються виділенням пилу і надмірного тепла, шкідливих газів, високими рівнями шуму і вібрації.

Найбільш висока інтенсивність виділення пилу має місце при транспортуванні компонентів шихти, роботі подрібнювального обладнання в місцях перевантажень сипучих матеріалів.

Основними джерелами шуму і вібрації є млини, стрічкові конвеєри, насоси, приводи чашових огрудкувачів, вентиляторів, димососів.

Поліпшення умов праці на фабриці огрудкування здійснюється за такими основними напрямками[3]:

- вдосконалення технологічних процесів підготовки компонентів шихти для поліпшення якості сирих і обпалених окатків;
- застосування комплексів санітарно-технічних пристроїв;
- озробка і здійснення заходів, що сприяють зниженню виділень шкідливих речовин.

На робочих місцях, в місцях перевантаження сипучих матеріалів застосовується:

- аспіраційні системи, що включають аспіраційні укриття перевантажувальних вузлів конвеєрів з пилеприємними патрубками

місцевих відсмоктувачів, систему повітропроводів, пиловловлювачі, тягове обладнання (ДСТУ Б А.3.2-12:2009, Правил технічної експлуатації ГОУ);

- гідрознепилення, що передбачає зменшення інтенсивності пиловиділення шляхом зволоження компонентів шихти, мокре прибирання осілого пилу, а також очищення холостої вітки стрічкових конвеєрів.

Змиви підлог разом з сливами газовідчисток [3].

### 3.5 Контроль якості продукції

Контроль технології виробництва продукції і стану технологічного устаткування здійснюється відповідно до СТП ЦГЗК і Технічних умов ТУ У 13.1-00190977-003:2007 постійно робочими, інженерними технічними працівниками фабрики і ВТК відповідно до посадових інструкцій.

Об'єкти контролю ВТК:

- Відбір проб шихти: - опробування шихти здійснюється контролером ВТК кожні 2 години. Проба шихти відбирається із двох потоків: 1 - на перепаді потоку шихти з конвеєра ОК-3 на ОК-4 (8 дільниця); 2 - барабаний змішувач №2 (7 дільниця).

- Відбір проб подрібнених добавок суміші вапняку та бентоніту: - опробування добавок здійснюється контролером ВТК 1 раз на 2 години. Проби подрібнених добавок відбираються з кожного працюючого млина після стрічкових дозаторів [3].

- Відбір проб сирих окатків: - відбір проб проводиться контролером ВТК за допомогою спеціального відбірника (лопати) вручну зі збірного конвеєра ОБ - 7 через кожні 4 години роботи фабрики.

- Відбір проб обпалених окатків: - опробування проводиться контролером ВТК 1 раз на дві години. Проби відбираються з голови

конвеєрів ПУ 6-1 та ПУ 6-2 спеціальним совком шляхом перетину потоку матеріалу.

Журнали реєстрації фізико-механічних властивостей окатків, хімічного аналізу подрібнених добавок, шихти, обпалених окатків повинні містити такі дані [3]:

- найменування проби;
- номер проби;
- найменування компонентів проби;
- позначення зміни;
- номер ділянки чи конвеєра;
- дата та час відбору;
- прізвище контролера.

Якість товарного окатка контролюється ділянкою зовнішнього відвантаження відповідно до СТП ЦГЗКа і Технічних умов ТУ У 13.1-00190977-003:2007 "Окатки залізорудні ПРАТ "Центральний гірничо-збагачувальний комбінат", а також зміною до технічних умов від 11.10.2017 року.

Відбір проб окатків з вагонів, проводиться ручним методом, із застосуванням ручного пробовідбірника – щупа.

#### 4 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ

Продуктивність обпалювальної машини по додатним окаткам визначається співвідношенням параметрів[3]:

$$C_r = 60 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot V_o \cdot H_o \cdot P_c \cdot Y_o, \text{ т/ч} \quad (4.1)$$

де  $K_1$  - вихід обпалених окатків з сирих, згідно з розрахунками  $K_1 = 0,848$ ;

$K_2$  - вихід додатних окатків з обпалених, прийнято  $K_2 = 0,934$ ;

$V_o$  і  $H_o$  - ширина і висота шару сирих окатків на палеті, м;

$P_c$  - насипна маса сирих окатків на палеті, т/м' прийнята  $P = 2,2$ ;

$Y_o$  - швидкість переміщення випалювальних палеті, м/хв.

Зробимо розрахунок  $C_r$  для машини ОК=324 при різних значеннях ширини і висоти шару сирих окатків на палеті та свмій зміні швидкості руху палет:

##### **Приклад 1.**

Вхідні дані:  $V_o=3$  м,  $H_o=0,4$  м,  $Y_o=2,0$  м/хв.

Розрахунок

$$C_r = 60 \cdot 0,848 \cdot 0,934 \cdot 3 \cdot 0,4 \cdot 2,2 \cdot 2 = 250,92 \text{ т/ч}$$

##### **Приклад 2.**

Вхідні дані:  $V_o=4$  м,  $H_o=0,4$  м,  $Y_o=3,2$  м/хв.

Розрахунок

$$C_r = 60 \cdot 0,848 \cdot 0,934 \cdot 4 \cdot 0,4 \cdot 2,2 \cdot 3,2 = 535,29 \text{ т/ч}$$

Видно, що зі збільшенням швидкості вийшло підвищити продуктивність.

**Приклад 3.**

Вхідні дані:  $V_0=4$  м,  $H_0=0,5$  м,  $Y_0=1,8$  м/хв.

Розрахунок

$$C_r=60 \cdot 0,848 \cdot 0,934 \cdot 4 \cdot 0,5 \cdot 2,2 \cdot 1,8=376,37 \text{ т/ч}$$

З результатів видно, що через повільний рух палетів загальна продуктивність знизилась, але якість випалу окатків при цьому стає кращою.

Також потрібно зазначити, що обпалювальна машина зазнавала модернізації, параметри наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри обпалювальної машини після модернізації

Рік модернізації	1992	2011	2012
Роб.площа	324/1	324/1	324/1
продуктивність машини річна, млн/т	2,3	2,3	2,5
продуктивність машини годинна, т/год	285	285	317
продуктивність, т/м <sup>2</sup> год	0,88	0,88	0,98
продуктивність, %		-	+10,2
витрати газу, м <sup>3</sup> /т	18,9	10,8	9,7
витрати газу, %		-10,1	-8,98
витрати електроенергії, кВтгод/т	25,5	23,4	20,4
витрати електроенергії, %		-8,2	-12,8
викиди в атмосферу, тис.м <sup>3</sup> /т	3,7	3,5	3
викиди в атмосферу, %		-5,4	-14,3

Таким чином видно, що модернізація призвела до підвищення продуктивності машини та зниження собівартості продукції за рахунок витрат пального та електроенергії.

На останок зробимо розрахунок оцінки економічного ефекту від впровадження покращень, запропонованих в 2 частині роботи для реалізації технічного переоснащення системи спалювання біопалива (лушпиння соняшнику) та автоматизації комплексу заміщення палива біомасою (КЗПБ), необхідні капітальні вкладення на придбання обладнання, його доставку та монтаж.

Для реалізації покращень потрібні інвестиції на модернізовані вихрові пальники, елементи автоматики, засувки з електроприводом його загальна вартість 100 млн грн, вартість транспортування та встановлення 50 млн грн. Тоді загальні інвестиції  $100+50 = 150$  млн грн.

Завдяки конструкційному вдосконаленню пальників та підвищенню ефективності горіння лушпиння соняшнику, можемо досягнути зниження питомої витрати природного газу на  $6 \text{ м}^3$  на 1 тону окатишів. При його вартості для промислового підприємства 25000 грн за  $1000 \text{ м}^3$ . Тобто,  $1 \text{ м}^3 = 25$  грн, тоді  $6 \text{ м}^3$  коштує 150 грн.

Також додається 10 кг/т витрата лушпиння соняшнику, вартість його 5000 грн/т. Тобто від 150 грн економії на природному газі віднімемо  $10 \cdot 5000 / 1000 = 50$  грн додаткових витрат на лушпиння:  $150 \text{ грн} - 50 \text{ грн} = 100 \text{ грн}$ .

Так як, річна продуктивність машини 2,5 млн т окатишів.

Тоді річна економія  $100 \cdot 2,5 \text{ млн} = 250 \text{ млн грн}$ .

Термін окупності інвестицій:  $150 / 250 = 0,6 \text{ року} = 219 \text{ днів}$

Проведений розрахунок показує, що запропонована модернізація системи спалювання біопалива є високоефективною. При загальних капітальних витратах у розмірі 150 млн грн, проект повністю окупає себе за 0,6 року виключно за рахунок заміщення природного газу та зниження паливної складової в собівартості залізородних окатишів. Це підтверджує доцільність практичної реалізації рекомендованих заходів на підприємстві.

## ВИСНОВКИ

Під час написання роботи на основі проведених аналітичних та практичних досліджень вирішено важливе технологічне завдання щодо визначення раціональних параметрів обпалу окатишів в умовах "Центральний гірничо-збагачувальний комбінат" (ЦГЗК) та було детально вивчено технологічні процеси виробництва залізородних окатків, які є ключовою сировиною для металургійної промисловості.

На даному підприємстві була створена перша в Україні технологічна лінія з виробництва висококласних окатків для технології DRI (прямого відновлення заліза) із вмістом заліза понад 67 %.

Продуктова лінійка залізородних окатишів Метінвесту для доменного виробництва представлена неофлюсованими окатишами виробництва Центрального ГЗК основністю 0,1 із вмістом заліза 65,5%, неофлюсованими окатишами виробництва Північного ГЗК основністю 0,12 із вмістом заліза 62,5% та офлюсованими окатишами основністю 0,5 із вмістом заліза 60-61,9%.

Основні висновки можна сформулювати наступним чином:

1. виробництво окатків складається з кількох етапів, включаючи підготовку шихти, огрудкування, сушіння, випалювання та охолодження. Кожен етап має критичне значення для отримання якісної продукції з високим вмістом заліза ;

2. обпалювальні окатки від випалювальної машини ОК-324 класифікує окатки по гранулометричному складу на чотири фракції: 0...6,3 мм, 6,3...10 мм. 10...16 мм і понад 16 мм. Частина окатків після грохоту розміром 10...16 мм системою конвеєрів прямує на випалювальну мвшину для використання як захисн апостіль;

3. відсів крупних та некондиційних окатків понад 16 мм направляється в корпус на приготування шихти. Кондиційні окатки

направляються на склад готової продукції, де за допомогою штабельукладача закладаються в штабель;

4. підприємство дотримується суворих норм охорони праці, виробничої санітарії та цивільного захисту. Реалізовано комплекс заходів для зниження шкідливого впливу пилу, шуму та вібрації, а також забезпечено належні умови для працівників у разі надзвичайних ситуацій, включаючи воєнні дії;

5. ЦГЗК активно впроваджує заходи для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, зокрема системи аспірації та гідрознеплення для зниження викидів пилу, а також оптимізацію використання ресурсів;

6. система контролю якості на всіх етапах виробництва забезпечує відповідність продукції високим стандартам. Регулярний відбір проб та аналіз властивостей окатків дозволяють оперативно коригувати технологічні процеси;

7. постійна робота над вдосконаленням технологій, зниженням собівартості та підвищенням ефективності виробництва свідчить про стратегічний підхід підприємства до розвитку та конкурентоспроможності на міжнародному ринку.

Аналіз показників обпалу виявив, що критичними параметрами є:

- вологість шихти в оптимальному діапазоні 8,5-8,7%;
- зона випалу 120-1340 °С, зона підігріву 320-680 °С, зона сушіння 190-310 °С;
- через повільний рух палетів загальна продуктивність знизилась, але якість випалу окатків при цьому стає кращою;
- використання біопалива (соняшникове лушпиння) дозволяє частково замінити природній газ без погіршення температурного режиму.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Metinvest : веб-сайт. URL: <https://metinvestholding.com/ua/products/semi-finished-products/iron-ore-concentrate> (дата звернення: 06.07.2025).

2. Конспект лекцій з дисципліни «Металургія чорних металів». Розділ 1 «Теорія та технологія процесів підготовки сировини до плавки» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 136. «Металургія» освітньо-професійної програми «Металургія чорних металів» /Укл.: Руденко М.Р. Кам'янське: ДДТУ, 2019. – 76 с : веб-сайт. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/23/5-23-kl54.pdf> (дата звернення: 06.07.2025).

3. «Типова технологічна інструкція з виробництва окатків» відповідно до Стандарту підприємств СТП ЦГЗК-12-2019 «Окатки. Технічні вимоги»,

4. СТП ЦГЗК-15-2017 «Порядок проведення вхідного контролю при прийманні матеріально-технічних ресурсів та сировини»

5. СТП ЦГЗК-11-2019 «Концентрат для фабрики огрудкування та постачання споживачам. Технічні вимоги».

6. Правила охорони праці під час дроблення і сортування, збагачення кориснихкопалин і огрудкування руд та концентратів: веб-сайт. URL: [https://dnaop.com/html/54513\\_2.html](https://dnaop.com/html/54513_2.html) (дата звернення: 02.06.2026).

7. Хорона праці та пожежна безпека в Україні: веб-сайт. URL: <https://otipb.at.ua/load/2-4> (дата звернення: 02.06.2026).

8. Відповідність параметрів обпалу окатишів різній витраті твердого палива : веб-сайт. URL:

[https://nmetau.edu.ua/file/zbirnik\\_naukovih\\_prats\\_udunt\\_2024.pdf](https://nmetau.edu.ua/file/zbirnik_naukovih_prats_udunt_2024.pdf) (дата звернення: 02.06.2026).

9. The large-scale disc pelletizing : веб-сайт. URL: <https://www.zkcomp.com> (дата звернення: 03.06.2026).

10. Determining the impact of different types of biofuels on the quality of iron ore pellets : веб-сайт. URL: <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/313633> (дата звернення: 03.06.2026).

11. A review on hematite concentrate pelletization: effect of process parameters on iron ore pellet quality : веб-сайт. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785425022495> (дата звернення: 08.06.2026).

12. Модернізація обпалювальних машин : веб-сайт. URL: <https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/20202/1/urfu1242s.pdf> (дата звернення: 10.06.2026).

13. <https://gmk.center/ua/manufacturer/centralnij-gzk/> (дата звернення: 10.06.2026).

14. Автоматизація процесу керування термічним обробленням окатишів на конвеєрній машині на основі методології нечіткої логіки: веб-сайт. URL: <https://www.knu.edu.ua/storage/files/2/disertaciya-na-zdobuttya-naukovogo-stupenya-doktora-filosofii.pdf> (дата звернення: 10.06.2026).