

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної атестаційної роботи бакалавра
зі спеціальності 136 – **Металургія**

**Тема роботи: «РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА 5,5 МЛН.
Т/РІК ЗАЛІЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТУ ОСНОВНІСТЮ 1,2
ЯКА ЗАБЕЗПЕЧУЄ ПІДВИЩЕННЯ ВИСОТИ ШАРУ ШИХТИ,
ЩО СПІКАЄТЬСЯ»**

Виконав:
студент групи МТ-22-2 _____ Євген КАЛЮЖНИЙ

Керівник випускної роботи _____ Тетяна ЯРОШ

Нормоконтролер _____ Тетяна ЯРОШ

Т.в.о. завідувача кафедри _____ Дмитро БАБОШКО

Кривий Ріг
2026 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: гірничо-металургійнийКафедра металургії чорних металів і ливарного виробництваОсвітньо-кваліфікаційний рівень: бакалаврСпеціальність: 136 Металургія

Затверджую

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на випускню атестаційну роботу бакалавра

Калюжний Євген Олександрович

1. Тема роботи: __ Розробка технології виробництва 5,5 млн. т/рік залізородного агломерату основністю 1,2 яка забезпечує підвищення висоти шару шихти, що спікається _____

керівник роботи: __ к.т.н., доцент Ярош Тетяна Петрівна _____

затверджено наказом по КНУ від « __ 19 __ » _____ 02 _____ 2026 р. № __ 113с _____

2. Строк подання роботи студентом « __ 01 __ » _____ 06 _____ 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: тарілчастий гранулятор; огрудкувач барабаний; обладнання EXPERT 4L; хімічний склад вихідних елементів шихти; вихід вороття 15%; співвідношення повернення першої та другої стадії грохочення, %: 57:43; температура гарячого повернення 700°C; вологість повернення після охолодження 3%; механічні втрати компонентів шихти приймаються рівними 1,5%; крупність дроблених матеріалів: флюсів -5 мм; коксового дріб'язку після першої стадії просіювання -10 мм; спеку -150 мм.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питання, які потрібно розробити)

Теоретичні передумови збільшення висоти шару шихти в процесі агломерації. Вивчення особливостей технології огрудкування агломераційної шихти. Нормування витрат сировинних матеріалів при виробництві агломерату. Розробка технологічної схеми підготовки шихти та спікання агломерату. Розрахунок потреби в технологічному устаткуванні.

5. Перелік графічного матеріалу

Характеристика шихтових складових. Дослідження процесу огрудкування в тарілчастому огрудкувачі. Огрудкування аглошихти в барабанному огрудкувачі. Порівняння міцності гранул, сформованих у барабанному огрудкувачі. Порівняння гранулометричного складу агломераційної шихти. Порівняльні

показники швидкості спікання. Технологічна схема виробництва окатишів.
Схема ланцюга апаратів.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер етапу	Назва етапів виконання бакалаврської роботи	Термін виконання етапів
1	Збір і обробка необхідного матеріалу для виконання кваліфікаційної роботи	19.01-27.01.2026
2	Аналіз літературних джерел та постановка завдання дослідження	28.01-08.02.2026
3	Теоретичні передумови збільшення висоти шару шихти в процесі агломерації	09.02-25.02.2026
4	Вивчення особливостей технології огрудкування агломераційної шихти	26.02-10.03.2026
5	Нормування витрат сировинних матеріалів при виробництві агломерату	11.03-10.04.2026
6	Розробка технологічної схеми підготовки шихти та спікання агломерату	11.04-30.04.2026
7	Розрахунок потреби в технологічному устаткуванні	01.05-20.05.2026
8	Оформлення роботи та креслення	21.05-31.05.2026
9	Перевірка роботи на плагіат	01.06-15.06.2026
10	Захист кваліфікаційної роботи	19.06.2026

Дата видачі завдання « 19 » 02 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Євген КАЛЮЖНИЙ
(підпис)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____ Тетяна ЯРОШ
(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи на тему:
«Розробка технології виробництва 5,5 млн. т/рік залізородного агломерату
основністю 1,2 яка забезпечує підвищення висоти шару шихти, що спікається»:
59 стор., 17 табл., 5 рис., 25 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: процес отримання офлюсованого залізородного агломерату.

Предмет дослідження: закономірності формування структури та властивостей агломерату при використанні комбінованої технології підготовки шихти та її спіканні у високому шарі.

Метою роботи є обґрунтування технології спікання залізородної шихти у високому шарі для підвищення продуктивності агломашин та покращення якості агломерату основністю 1,2.

Результати роботи: обґрунтовано ефективність переходу на спікання шихти у високому шарі, що забезпечує приріст продуктивності агломашин на 4-15% та зниження витрат палива на 5-10%. Доведено, що використання комбінованої технології з формуванням щільних мікроокатишів дозволяє стабілізувати газопроникність шару та покращити механічну міцність агломерату при скороченні частки повернення до 13-15%.

ЗАЛІЗОРУДНИЙ АГЛОМЕРАТ, ВИСОКИЙ ШАР ШИХТИ,
КОМБІНОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ, МІКРООКАТИШІ, ТАРИЛЬЧАСТИЙ
ГРАНУЛЯТОР.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.Р					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ					
Розробив	Калюжний							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Ярош								1	1
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Ярош									
Затвердив	Бабошко									

ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1						
2	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.ПЗ	Пояснювальна записка	59		
3						
4			Графічна частина			
5			(Презентація)			
6	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.01	Характеристика шихтових складових	1		
7	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.02	Дослідження процесу огрудкування			
8			в тарілчастому огрудкувачі	1		
9	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.03	Огрудкування аглошихти в			
10			барабанному огрудкувачі	1		
11	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.04	Порівняння міцності гранул,			
12			сформованих у барабанному огрудкувачі	1		
13	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.05	Порівняння гранулометричного			
14			складу агломераційної шихти	1		
15	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.06	Порівняльні показники			
16			швидкості спікання	1		
17	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.07	Технологічна схема виробництва			
18			окатишів	1		
19	A4	КНУ.РБ.136.26.113с-04.08	Схема ланцюга апаратів			
20						
21						
22						
23						
24						
КНУ.РБ.136.26.113с-04.В0						
Изм. Лист		№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Калюжний				
Проб.		Ярош				
Н.контр.		Ярош				
Утв.		Бабюшко				
Відомість об'єму матеріалів кваліфікаційної роботи Чертеж общего вида				Лист	Лист	Листов
				р д	1	1
				кафедра МЧМ/В група МТ-22-2		
Копировал				Формат А4		

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	4
ВІДОМІСТЬ МАТЕРІАЛІВ.....	5
ВСТУП.....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗБІЛЬШЕННЯ ВИСОТИ ШАРУ ШИХТИ В ПРОЦЕСІ АГЛОМЕРАЦІЇ.....	9
1.1 Технологічні заходи з виробництва офлюсованого агломерату.....	9
1.2 Заходи з підвищення висоти шару агломераційної шихти.....	11
2 ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ОГРУДКУВАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ.....	15
3 НОРМУВАННЯ ВИТРАТ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АГЛОМЕРАТУ.....	27
3.1 Обчислення питомих витрат сировинних компонентів шихти.....	27
3.2 Прогнозування хімічних характеристик офлюсованого агломерату....	33
4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПІДГОТОВКИ ШИХТИ ТА СПІКАННЯ АГЛОМЕРАТУ.....	40
5 РОЗРАХУНОК ПОТРЕБИ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ УСТАТКУВАННІ...	46
5.1 Розрахунок годинного навантаження за компонентами шихти.....	46
5.2 Розрахунок основного обладнання.....	47
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.3			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Калюжний						1	1
Перевірив	Ярош							
Рецензент								
Н. контр.	Ярош					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Затвердив	Бабошко							

ВСТУП

Актуальність теми зумовлена сучасними вимогами до енергоефективності та екологічності металургійного виробництва. Виготовлення агломерату з базовою основністю 1,2 є оптимальним для стабільної роботи доменних печей, оскільки забезпечує необхідний вміст шлакоутворюючих компонентів без надмірного введення сирого вапняку безпосередньо в доменну піч.

Спікання шихти у високому шарі (понад 400 мм) є однією з найбільш прогресивних технологій у підготовці сировини. Такий метод дозволяє значно знизити питому витрату палива завдяки кращому використанню тепла відхідних газів та покращенню теплообміну всередині шару. Окрім економічного ефекту, високий шар сприяє зниженню шкідливих викидів в атмосферу за рахунок часткової фільтрації пилу та продуктів згоряння самими нижніми шарами шихти.

Необхідність проведення детальних досліджень з виробництва агломерату у високому шарі шихти обумовлена складністю фізико-хімічних процесів, що протікають у зоні спікання. По-перше, збільшення висоти шару понад традиційні норми створює додатковий газодинамічний опір, що потребує обов'язкового обґрунтування параметрів ексгаустерів. Дослідження дозволяють встановити оптимальний баланс між швидкістю фільтрації повітря та товщиною шихти для недопущення зниження продуктивності. По-друге, при основності 1,2 змінюється мінералогічний склад агломерату, що впливає на його міцність та відновлюваність у доменній печі. Аналіз мікроструктури спеченого матеріалу допомагає знайти умови для формування найбільш стійких феритів кальцію.

Необхідність глибокого вивчення теплообмінних процесів у високому шарі обумовлена прагненням мінімізувати термічну нерівномірність, яка часто

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.ВС					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВСТУП					
Розробив	Каложний							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Ярош								1	2
Рецензент								Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Ярош									
Затвердив	Бабошко									

стає причиною гетерогенної структури готового продукту. Детальне дослідження температурних полів дозволяє запобігти утворенню дефектних зон – від крихких недопечених ділянок до перепалених масивів із низькою відновлюваністю. Особливої актуальності це набуває в умовах реалізації ефекту саморегенерації тепла, що дозволяє значно скоротити питому витрату дефіцитного твердого палива. Оскільки теоретичні моделі не завжди здатні точно врахувати динаміку газового потоку в умовах змінного опору високого шару, практичні випробування стають єдиним надійним інструментом оптимізації. Таким чином, наукове обґрунтування параметрів теплообміну є фундаментом для створення енергоефективної та стабільної технології виробництва високоякісного агломерату. Комплексний підхід до цієї проблеми забезпечує не лише економію ресурсів, а й підвищення загальної металургійної цінності сировини для доменної плавки

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.ВС	Аркуш
						2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗБІЛЬШЕННЯ ВИСОТИ ШАРУ ШИХТИ В ПРОЦЕСІ АГЛОМЕРАЦІЇ

1.1 Технологічні заходи з виробництва офлюсованого агломерату

Агломераційна шихта – це комбінація сировинних компонентів, паливних матеріалів і промислових відходів, змішаних у певному співвідношенні. Такий склад формується для отримання продукції з необхідними характеристиками при дотриманні встановлених технологічних регламентів. Ключовими елементами суміші під час виготовлення агломерату виступають залізородні концентрати й руда, шлами, окалина, флюсуючі добавки та тверде паливо. Роль останнього зазвичай виконує коксовий дріб'язок – побічний продукт доменного циклу, дефіциту якого не виникає завдяки близькості відповідних цехів.

Процес підготовки перед завантаженням на агломашину передбачає усереднення інгредієнтів на спеціалізованих складах, після чого вони спрямовуються до прийомних бункерів (рис.1.1). У ці ж ємності подають подрібнений вапняк (або вапно), паливо та повернення. Згідно з розрахунковим дозуванням, матеріали вивантажуються на загальну конвеєрну лінію для подальшого перемішування та огрудкування. Особливе місце в цьому ланцюжку посідає повернення, оскільки його властивості часто змінюються. Попередня обробка сировини включає:

- подрібнення коксового дріб'язку в чотиривалкових дробарках до фракції менше 3 мм;
- доведення флюсів у молоткових млинах до розміру частинок не більше 3 мм;
- ретельне усереднення всіх інших складових шихти.

КНУ.РБ.136.26.113с-04.01.ТПЗВІШПА				
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Калюжний			
Перевірив	Ярош			
Рецензент				
Н. контр.	Ярош			
Затвердив	Бабошко			
ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ЗБІЛЬШЕННЯ ВИСОТИ ШАРУ ШИХТИ В ПРОЦЕСІ АГЛОМЕРАЦІЇ				
		Літ.	Аркуш	Аркушів
		1.1	1.1	6
Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2				

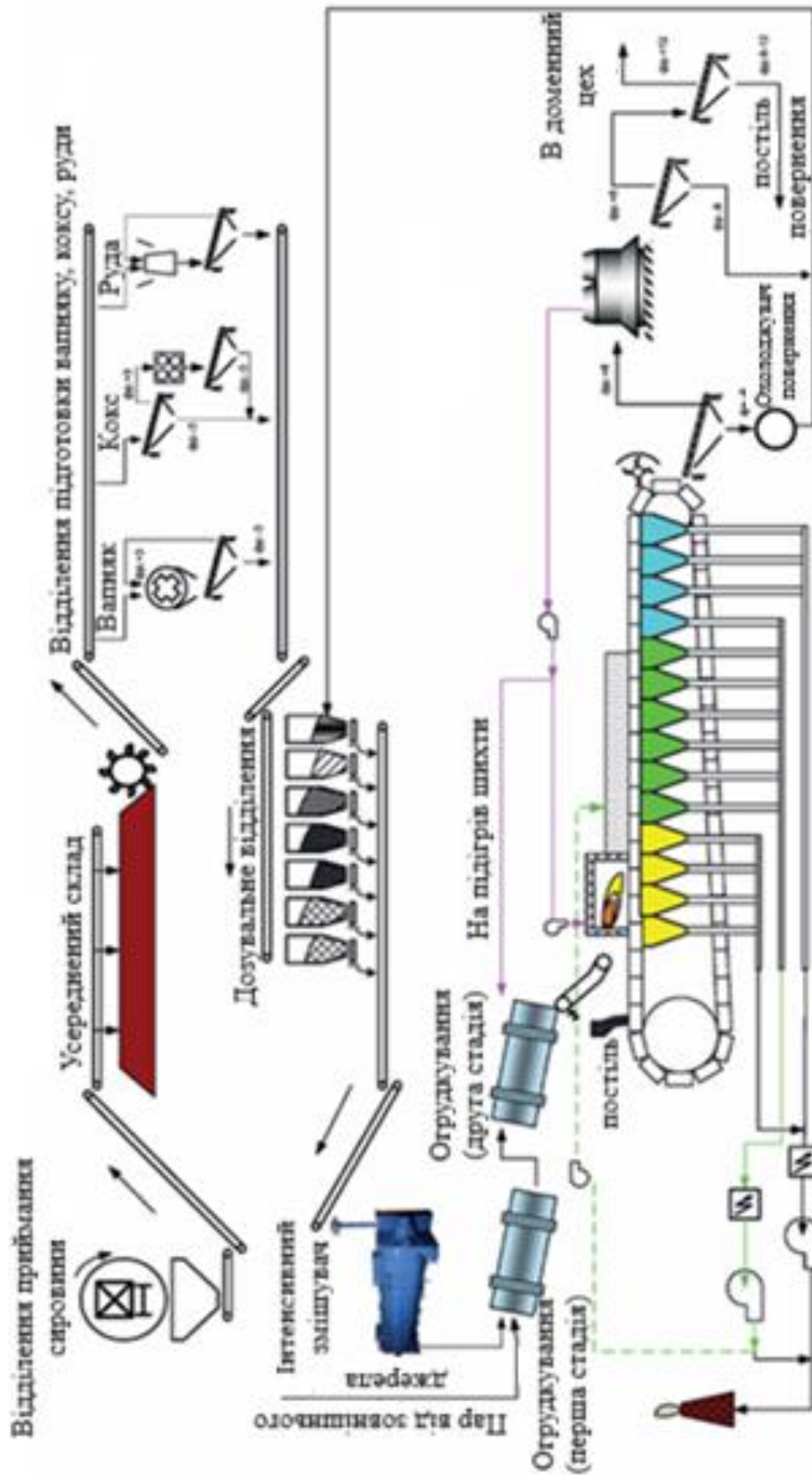


Рисунок 1.1 – Технологічна і теплова схема виготовлення агломерату

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після підготовки складові шихти проходять етапи перемішування та огрудкування, після чого готову суміш спрямовують на агломераційну машину. Процес термічної обробки розпочинається із запалювання шихти у спеціальному горні, а подальше спікання відбувається завдяки інтенсивному просмоктуванню повітря крізь шар матеріалу.

Отриманий після завершення реакцій аглоспек піддають механічному дробленню та охолодженню. Наступним етапом є грохочення (просіювання), під час якого матеріал розділяють на придатний до використання продукт та дрібну фракцію (менше 5 мм). Цей відсів, відомий як повернення, знову вводять до складу вихідної шихти для повторної переробки. Газоподібні продукти згорання перед викидом у навколишнє середовище проходять систему очищення від пилових часток і виводяться через димову трубу.

1.2 Заходи з підвищення висоти шару агломераційної шихти

Зростання ефективності агломераційного процесу забезпечується шляхом впровадження заходів, що максимізують використання теплової енергії. Це реалізується насамперед через збільшення товщини шару шихти, що спікається, та якісне вдосконалення фізико-хімічних властивостей вихідних компонентів.

Це пояснюється тим, що ефективність роботи агломераційних машин безпосередньо залежить від швидкості проходження повітря крізь шар матеріалу, оскільки питома витрата повітря на спікання майже не піддається зовнішньому регулюванню. Прискорити цей процес можна шляхом покращення газопроникності шихти, створення більшого перепаду тиску над і під шаром, а також збільшення частки кондиційного агломерату завдяки підвищенню його механічної стійкості.

Найдієвішим інструментом для підвищення продуктивності вважається якісна підготовка шихти до спікання. Це досягається через оптимізацію фракційного складу компонентів, використання спеціальних зв'язувальних домішок та вдосконалення режимів роботи огрудкувачів. Значного прискорення

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.01.ТПЗВШШПА	Аркуш
						1.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесу вдається досягти шляхом порційної подачі твердого палива на фінальній стадії огрудкування. У такому разі паливні частки зосереджуються на зовнішній поверхні гранул, що інтенсифікує їхнє згоряння та суттєво збільшує вертикальну швидкість просування зони спікання.

Процеси плавлення та усадки суттєво визначають характер формування структури агломерату, що найбільш помітно у нижніх горизонтах спеченого масиву. Це явище не лише збільшує аеродинамічний опір матеріалу, а й опосередковано позначається на якісних характеристиках кінцевого продукту. Для розв'язання проблеми газопроникності, спричиненої тиском власної ваги шихти, було розроблено метод «спікання на опорах». Ця технологія передбачає використання спеціальних пластин або брусків, інтегрованих у конструкцію спікальних візків, які механічно підтримують шар матеріалу. Завдяки такому підходу мінімізується ущільнення нижніх шарів, що забезпечує вільне проходження повітря крізь шихту.

Високу ефективність демонструє гібридна технологія виробництва гранульованого агломерату (HPS), яка поєднує в собі класичні методи агломерації та виготовлення окатишів. На відміну від стандартного спікання, така технологія передбачає попереднє змішування рудного концентрату, вапняку та обпаленого вапна з їх подальшим гранулюванням на дискових агрегатах. У результаті утворюються мікроокатиші, поверхня яких у спеціальному змішувачі покривається шаром коксового дріб'язку безпосередньо перед завантаженням на конвеєр агломашини.

Своєю чергою, корпорація Nippon Steel розробила метод селективного гранулювання дрібнодисперсних залізних руд, що містять глинисті сполуки. У межах цієї технології сировину попередньо просіюють крізь сита з отворами 2-4 мм для виділення дрібної фракції, що зазвичай перенасичена глиноземом. Саме ці часточки стають центрами (зародками) майбутніх гранул. Після формування псевдочастинок їх об'єднують із грубозернистими компонентами та іншою сировиною. Застосування інтенсивних змішувачів-огрудковувачів гарантує

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.01.ТПЗВШШПА	Аркуш
						1.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ідеальну гомогенізацію дрібної руди та вапна, що суттєво покращує здатність суміші до гранулювання та її газопроникність.

Порівняння міцності мікроокатишів (технологія HPS) та звичайних гранул шихти демонструє суттєві технологічні переваги гібридного підходу:

1. Структурна цілісність: звичайна аглошихта огрудковується переважно за рахунок зчеплення дрібних часток навколо більших рудних зерен. Мікроокатиші в системі HPS мають щільнішу структуру, оскільки створюються на дискових грануляторах, що забезпечує їхню високу міцність на стискання ще в сирому стані.

2. Стійкість до руйнування при завантаженні: традиційні гранули легко руйнуються при падінні з конвеєра на агломашину, що призводить до появи дріб'язку та погіршення газопроникності. Мікроокатиші завдяки рівномірному розподілу вологи та вапна значно краще витримують механічні навантаження під час транспортування.

3. Термічна стабільність: у процесі HPS кокс знаходиться на поверхні гранули, тоді як у звичайній шихті він розподілений випадково. Це захищає ядро мікроокатиша від різкого термічного удару та забезпечує поступове формування розплаву, зберігаючи міцність каркаса матеріалу до моменту завершення спікання.

4. Рівномірність огрудкування: звичайна шихта часто містить «застійні» зони з пилоподібними частками, які знижують міцність усього шару. Гібридна технологія дозволяє отримати гранули однакового розміру, що забезпечує стабільну міцність агломерату по всій висоті високого шару.

Отже, серед розглянутих способів збільшення висоти шару шихти, що спікається, найбільш перспективним рішенням впровадження гібридної технології. Завдяки заміні традиційного огрудкування на дискове гранулювання досягається виняткова однорідність та міцність мікроокатишів, що мінімізує їх руйнування при завантаженні. Високий вміст фракції +5 мм та відсутність пилоподібних часток радикально покращують газопроникність шихти,

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.01.ТПЗВШШПА	Аркуш
						1.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяючи збільшувати висоту шару до 700-800 мм без втрати швидкості спікання. Зосередження палива на поверхні гранул забезпечує оптимальний тепловий режим та прискорює вертикальну швидкість процесу, що веде до зростання питомої продуктивності агломашин. Такий підхід не лише стабілізує якість агломерату з основністю 1,2, але й суттєво знижує витрати палива та екологічне навантаження на довкілля.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.01.ТПЗВШШПА	Аркуш
						1.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ОГРУДКУВАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ

Нинішня металургійна галузь активно використовує дрібнодисперсні залізородні концентрати у процесах підготовки сировини до металургійних процесів. Проте наукові дані підтверджують, що навіть незначне збільшення частки такого концентрату (на 10%) призводить до падіння продуктивності машин для спікання агломераційної шихти на 2,6-3,3%.

На здатність шару пропускати газ впливає низка факторів: від фракційного складу та рівня вологості суміші до специфіки газових потоків і виникнення ділянок надмірного зволоження чи плавлення.

Розмір часток компонентів шихти є визначальним для ефективності спікання – чим крупнішою є структура матеріалу, тим кращою стає його газопроникність і, як наслідок, вищою потужність обладнання.

Найдієвішим методом оптимізації структури шихти визнано її попереднє огрудкування. Максимальна газопроникна здатність шару забезпечується лише тоді, коли всі дрібнофракційні елементи перетворюються на стійкі гранули.

Отже, подальший розвиток та інтенсифікація агломераційного виробництва, спрямовані на покращення споживчих властивостей продукту та мінімізацію енерговитрат, базуються на впровадженні попереднього гранулювання концентратів. Дослідження проводились з використанням шихтових матеріалів, фізико-хімічні властивості яких представлено в таблиці 2.1.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОТОАШ			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Калюжний				ВИВЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТЕХНОЛОГІЇ ОГРУДКУВАННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Ярош						2.1	12
Рецензент						Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Ярош							
Затвердив	Бабошко							

Таблиця 2.1 – Характеристика шихтових складових

Компоненти	Крупність, мм	Питома поверхня, см ² /г
Концентрат (65%)	0,074-0	1810
Аглоруда	10-0	470
Вапно гашене	1-0	7000
Вапняк дроблений	3-0	330
Повернення	12-0	170
Коксик дроблений	3-0	370

Теоретичні основи та практичний досвід гранулювання залізорудної сировини [1-4] дозволяють виділити ключові критерії, яким має відповідати вихідна суміш. До них належать: значна питома поверхня часток (понад 1500 см²/г), гомогенність фізико-хімічного складу, застосування зусиль для ущільнення з метою активації сил молекулярної взаємодії, а також присутність колоїдних елементів, що гарантують стійкість гранул після термічної обробки.

Проте результати аналізу агломераційної шихти (див. табл. 2.1) свідчать про її низьку придатність до якісного огрудкування. Головною перешкодою є недостатній показник питомої поверхні більшості інгредієнтів, окрім вапна та концентрату. Інші складові не відповідають вимогам, що висувуються до матеріалів, здатних до формування міцних агрегатів. Крім того, практика також спростовує гіпотезу про те, що крупні частки шихти автоматично стають ядрами, навколо яких концентруються дрібнодисперсні матеріали.

Експерименти щодо формування гранул розміром 3-7 мм із залізрудного концентрату здійснювалися на тарілчастому грануляторі з витримкою часу 2 хвилини (табл. 2.2).

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОГОАШ	Аркуш
						2.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Дослідження процесу огрудкування в тарілчастому огрудкувачі

Склад шихти	Вологість %	Міцність окатишів, кг/ок.	
		сирі	сухі
Концентрат без добавок	8,1	0,047	0,02
Концентрат – 90%, вапняк – 10%	8,35	0,124	0,076
Концентрат – 90%, повернення (5-0 мм) – 10%	8,25	0,546	0,137
Концентрат – 95%, кокс – 5%	8,6	0,255	0,121
Концентрат – 98%, вапно – 2%	8,05	0,149	0,336
Концентрат – 97%, вапно – 3%	8,1	0,152	0,352
Концентрат – 96%, вапно – 4%	8,1	0,167	0,348
Концентрат – 95%, вапно – 5%	8,5	0,134	0,327
Концентрат – 94%, вапно – 6%	8,0	0,126	0,250
Концентрат – 97,5%, вапно – 2%, бентоніт – 0,5%	8,3	0,187	0,337

Аналіз результатів табл. 2.2 демонструє, що введення 3-4 % вапна є достатнім для досягнення необхідного рівня міцності висушених гранул. Будь-які інші шихтові компоненти призводять до зниження цього показника, хоча міцність вологого матеріалу при цьому може перевищувати 0,1 кг/ок. Дослідження грудкуємості чистого концентрату без вапняних добавок визнано недоцільним через вкрай низькі міцнісні показники зразків після сушіння. Важливо зауважити, що присутність у структурі гранул монолітних зерен розміром 2-5 мм (зокрема при додаванні повернення) дещо спотворює результати, штучно завищуючи показники механічної міцності.

Результати процесу огрудкування всієї агломераційної шихти за різних часових режимів в лабораторному барабані представлено в табл. 2.3.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОТОАШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.3

Таблиця 2.3 – Огрудкування аглошихти в барабанному огрудкувачі

Тривалість огрудкування шихти, хв.	Вологість, %	Міцність окатишів, кг/ок	
		сирі	сухі
2	7,25	0,006	Легко руйнувалися
4	7,6	0,11	без навантаження
6	7,9	0,130	0,064

Світовий досвід експлуатації потужних аглофабрик свідчить, що оптимальний рівень заповнення барабанів-огрудкувачів становить близько 5%, а час обробки триває від 3 до 3,5 хвилин. Схожі технологічні параметри діють також на фабриках огрудкування, тому під час виконання експериментів заповнення барабана підтримували в межах 4-5%, варіюючи час процесу від 2 до 6 хвилин. З'ясувалося, що навіть триразове збільшення тривалості огрудкування не дозволяє досягти високих результатів: міцність сухих гранул шихти виявилася в п'ять разів меншою за показники окатишів, виготовлених лише з концентрату і вапна. Це дозволяє зробити висновок про те, що суто механічне коригування режимів роботи обладнання не здатне забезпечити необхідну міцність гранул без відповідної підготовки сировини.

Для якісного поліпшення структури суміші та прискорення спікання було застосовано підхід, за якого залізородний концентрат і вапно (матеріали з найвищою питомою поверхнею) попередньо гранулювали на тарілчастому грануляторі до розміру 3-7 мм. Частина такої фракції становила 70-75%. Надалі ці гранули змішували з іншими, більш крупними компонентами шихти протягом 2 хвилин у режимі водопаду. При здійсненні цього процесу дрібні частки грубозернистих матеріалів нашаровувалися на зволожені гранули концентрату, а паливо та вапняк рівномірно розподілялися на їхній поверхні або у міжгранульному просторі. В результаті середній діаметр часток зріс на 3-5 мм. Порівняльні випробування показали, що швидкість проходження повітря крізь

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОГОАШ	Аркуш
						2.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шар заввишки 300 мм збільшилася з 0,65 нм/сек для звичайної шихти до 0,72 нм/сек для гранульованої (при розрідженні 1000 мм вод. ст.).

Сьогодні на аглофабриках гранули шихти формуються переважно завдяки капілярному зчепленню частинок. Механічних навантажень у циліндричних барабанах недостатньо для подолання молекулярних сил, тому гранули виходять трифазними та мають високу пористість. Аналіз динамічних навантажень по всій довжині барабана показує, що таке обладнання не забезпечує належного зміцнення: чим ближче шихта до виходу, тим меншим стає рівень заповнення барабана, а отже – і тиск на матеріал.

Хоча показник швидкості грануляції ($K_{ш.г.}$) є корисним інструментом для аналізу результатів процесу огрудкування, головною проблемою технології залишається не швидкість процесу, а якість готових гранул – передусім їхня щільність та міцність. Досягти необхідних параметрів можна лише тоді, коли основою (зародками) для гранул виступають частки повернення або міцні мікрогранули, сформовані з концентрату (рис. 2.1).

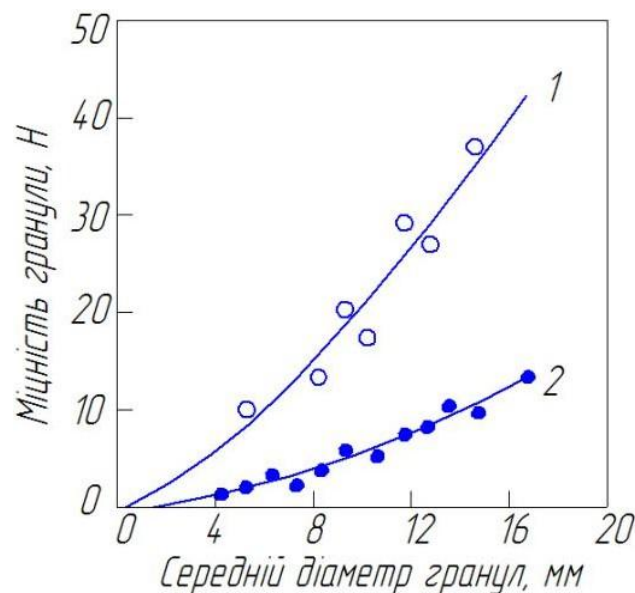


Рисунок 2.1 – Порівняння міцності гранул, сформованих у барабанному огрудкувачі: 1 – з використанням твердих зародків;
2 – без їхнього застосування

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОТОАШ	Аркуш
						2.5
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зазвичай нестачу часток повернення, які слугують центрами огрудкування, компенсують за рахунок використання готового агломерату, що автоматично знижує обсяги товарної продукції (рис. 2.2). Однак результати експериментальних досліджень доводять, що створення штучних щільних центрів із концентрату дозволяє суттєво оптимізувати процес, скоротивши частку повернення в шихті до 13-15%.

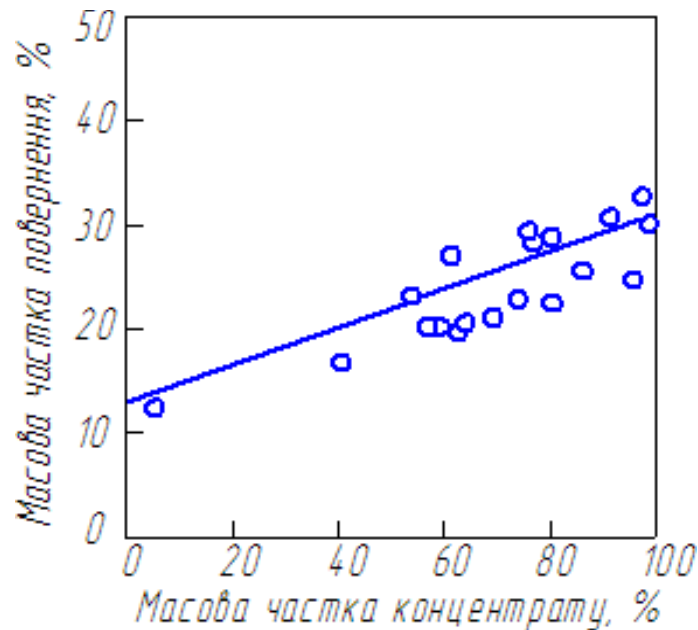


Рисунок 2.2 – Зміна виходу повернення залежно від масової частки залізородного концентрату в шихті

Водночас якісні зародки з концентрату можна сформуванати лише за умови значного посилення зовнішнього тиску. З одного боку, це активує молекулярні сили зчеплення між частинками, а з іншого – руйнує нетривкі грудки, що тримаються лише на капілярних зв'язках. Такий підхід гарантує ретельне перемішування структур та обмежує появу занадто великих гранул навіть при високій вологості, яка потрібна для повної гідратації та розчинення вапна. Головним результатом є отримання щільних центрів з концентрату, які забезпечують міцне двостороннє ущільнення оболонок гранул.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОГОАШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.6

Дослідниками було встановлено, що енергія, яку передає барабанний огрудковувач окремій гранулі, є вкрай низькою (3,9-6,1 мДж). Натомість тарілчастий гранулятор забезпечує у п'ять разів сильніші динамічні навантаження, що робить його дуже перспективним для підготовки сировини. Проте повна відсутність дрібних фракцій у шихті може спричинити перевитрату палива та знизити якість агломерату, адже великі грудки довше розчиняються в розплаві. Саме тому доцільно подавати на тарілчасті гранулятори не всю суміш, а лише 10-30 % від її загального обсягу. Таке співвідношення дозволяє збільшити продуктивність на 4-15% та одночасно зменшити кількість дріб'язку (фракція 0-5 мм) на 3,5-7,0%.

Порівняльну характеристику гранулометричного складу шихти для традиційної технології огрудкування та технології з використанням мікроокатишів показано в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняння гранулометричного складу агломераційної шихти

Показник фракційного складу	Традиційне огрудкування (змішувач-барабан)	Гібридна технологія (з використанням гранулятора)	Вплив на процес спікання
Вміст фракції +5 мм	25-40%	60-85%	Високий вміст крупної фракції в різко підвищує газопроникність шару.
Вміст фракції -0,5 мм (пил)	10-15%	менше 2-3%	У гібридній технології дріб'язок майже відсутній, що усуває забивання каналів для повітря.

Показник фракційного складу	Традиційне огрудкування (змішувач-барабан)	Гібридна технологія (з використанням гранулятора)	Вплив на процес спікання
Середній діаметр гранул	2,5-3,5 мм	5,0-8,0 мм	Більший діаметр гранул дозволяє збільшувати висоту шару до 700-800 мм без втрати швидкості.
Однорідність (коефіцієнт варіації)	Низька (значний розкид розмірів)	Висока (вузький діапазон розмірів)	Однорідні мікроокатиші забезпечують рівномірне просування фронту горіння.
Структура гранули	Пухка, ядро оточене дріб'язком	Щільна, багат шарова (ядро + оболонка)	Мікроокатиші стійкіші до механічного руйнування при завантаженні на стрічку.

Ключовою відмінністю цих двох технологій огрудкування є те, що у традиційній шихті значна частина дрібних часток залишається незв'язаною або слабо закріпленою на поверхні великих зерен. Технологія з використанням мікроокатишів фактично перетворює всю масу шихти на штучні агрегати заданого розміру, що є критично важливим для стабільної роботи саме у високому шарі.

На рисунку 2.3 відображено результати аналізу фракційного складу проб шихти, які були відібрані з тарілчастих грануляторів при зміні режимів їхнього обертання.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОГОАШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2.8

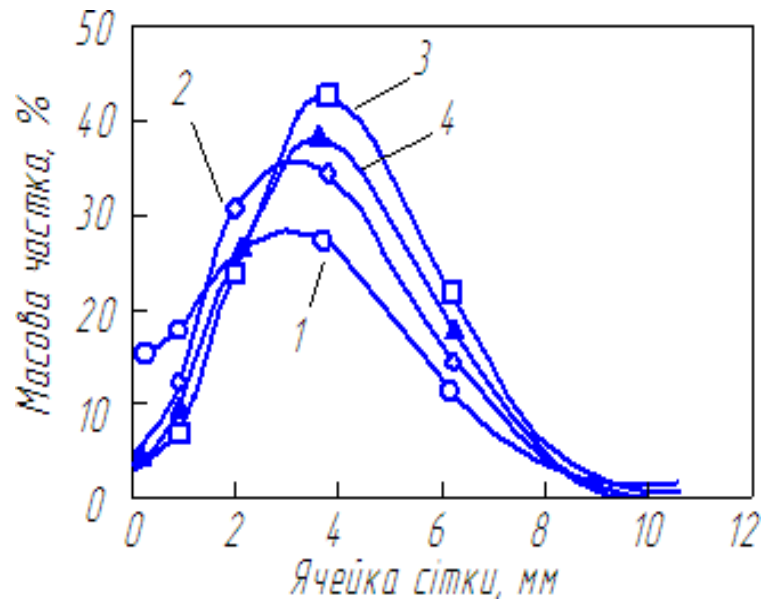


Рисунок 2.3 – Гранулометричний склад кінцевої загальної шихти (1) і шихти, огрудкованої в тарілчастих грануляторах із швидкістю 7 (2), 9 (3) і 10 (4) хв⁻¹

Встановлено, що збільшення середнього розміру часток відбувається в основному через зростання обсягу фракції 3-5 мм та одночасне скорочення кількості дріб'язку (менше 1,25 мм). Зменшення останнього позитивно позначається на газопроникності шару та інтенсивності процесу спікання. Загалом, використання тарілчастих агрегатів дозволяє отримати шихту із середнім діаметром гранул, що на 6,0-20,4% (у середньому на 14,9%) перевищує показники барабанних огрудковувачів.

Надлишкова вологість у поєднанні з використанням вапна відіграє двояку, але критично важливу роль у зміцненні гранул:

1. Повнота гідратації: достатня кількість води необхідна для завершення хімічної реакції перетворення негашеного вапна (CaO) на гідроксид кальцію (Ca(OH)₂). Цей процес супроводжується збільшенням об'єму частинок вапна, що сприяє заповненню мікропорожнеч між зернами концентрату.

2. Диспергування та пластичність: волога сприяє рівномірному розподілу (диспергуванню) дрібних часток вапна по всій поверхні гранули. Це створює

пластичну «зв'язку», яка дозволяє гранулі деформуватися без руйнування під час транспортування.

3. Формування кристалізаційних містків: під час сушіння або нагрівання надлишок вологи випаровується, а розчинений гідроксид кальцію кристалізується, створюючи міцні «містки» між частинками руди. Саме ці зв'язки забезпечують високу міцність сухих гранул.

Водночас важливо дотримуватися балансу, оскільки занадто велика кількість води може перетворити шихту на текучу масу, що зробить гранули занадто липкими та призведе до їх злипання у великі некеровані грудки, які погано прогріваються.

Вплив вологості на міцність гранул суттєво різниться залежно від обраної технології підготовки шихти.

При традиційному огрудкуванні (барабан) показник вологості треба підтримувати у вузькому діапазоні, тому що міцність гранул дуже чутлива до найменших коливань вологи. Недостатня вологість не дозволяє сформувати капілярні містки, і гранули розсипаються. Крім того, треба запобігати перезволоженню шихти. Це пов'язано з тим, що в барабані діють низькі динамічні навантаження, надлишок води швидко перетворює шихту на липку масу, яка замазує обладнання та злипається у великі нещільні грудки з низькою міцністю.

При гібридній технології та використанні тарілчастих грануляторів:

1. Стабільність при підвищеній вологості: завдяки високим динамічним навантаженням (обтисканню), метод дозволяє працювати з дещо вищою вологістю, яка необхідна для повної гідратації вапна.

2. Механізм зміцнення: волога тут виступає не просто як «клей», а як середовище для щільного пакування частинок. Під дією відцентрової сили в грануляторі зайва волога витісняється до периферії, створюючи дуже щільне ядро.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОГОАШ	Аркуш
						2.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як результат, гранули, отримані цим методом, зберігають високу міцність навіть після висихання, оскільки щільна упаковка часток посилює молекулярну взаємодію, а вапно створює міцний кристалічний каркас.

Таким чином, якщо в барабані волога часто стає причиною нестабільності, то в тарілчастих грануляторах вона використовується як інструмент для створення максимально щільної та міцної структури зародка.

Для забезпечення стабільної роботи агломашин важливо дотримуватися критичних меж вологості, за якими починається руйнування або різке погіршення якості гранул. При традиційному огрудкуванні в барабанному агрегаті оптимальна вологість становить 6,5-7,5%. При вологості нижче 6,0% гранули не формуються і залишаються у вигляді сухого пилу. При перевищенні 8,5% шихта втрачає форму, стає текучою, а гранули злипаються у великі пластичні маси («грудки»), які не мають міцності та забивають колосникову решітку.

Оптимальна вологість для мікроокатишів при застосуванні комбінованої технології огрудкування знаходиться в межах 8,0-9,5%. Через інтенсивне ущільнення в грануляторі, гранули зберігають форму навіть при вологості до 10-11%. Проте при вологості нижче 7,5% енергії стиснення стає недостатньо для активації молекулярних сил, і міцність зародка різко падає. Критичним порогом зверху є 12%, коли починається ефект «видавлювання» вологи на поверхню, що робить гранули занадто липкими для подальшого змішування.

Висновок: комбінована технологія зміщує робочий діапазон у зону вищої вологості (на 1,5–2,0%), що дозволяє краще підготувати дрібнодисперсний концентрат і вапно до спікання.

Для візуалізації переваг комбінованої технології огрудкування порівняно з традиційною, у табл. 2.5 наведено опис основних технологічних показників процесу спікання аглошихти.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОГОАШ	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Порівняльні показники швидкості спікання

Параметр порівняння	Традиційне спікання (шар 300-400 мм)	Комбінована технологія (шар 450-600 мм)
Вертикальна швидкість спікання	18-22 мм/хв	25-32 мм/хв
Газодинамічний опір шару	Стрімко зростає при збільшенні висоти	Залишається стабільно низьким завдяки пористості
Час спікання високого шару	Значно зростає (ризик перегріву верху)	Скорочується на 15-20% порівняно з прогнозованим
Питома продуктивність	1,1-1,3 т/(м ² ·год)	1,5-1,8 т/(м ² ·год)

Основні висновки:

1. Лінійність швидкості. У комбінованій технології графік швидкості спікання залишається майже лінійним навіть при збільшенні висоти шару до 800 мм, тоді як у звичайної шихти швидкість різко падає через ущільнення нижніх шарів.

2. Точка оптимуму. Для комбінованої технології «золота середина» між продуктивністю та якістю зміщується в бік значно вищих шарів, що дозволяє отримувати міцніший агломерат без втрати темпів виробництва.

3. Температурний профіль. Графік термічного циклу для комбінованої технології показує більш вузьку та інтенсивну зону горіння, що свідчить про ефективніше використання палива.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.02.ВОГОАШ	Аркуш
						2.12
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 НОРМУВАННЯ ВИТРАТ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АГЛОМЕРАТУ

3.1 Обчислення питомих витрат сировинних компонентів шихти

Визначення елементарного складу використовуваних матеріалів здійснювалося на рентгенофлуоресцентному спектрометрі EXPERT 4L (рис. 3.1). Експериментальна частина роботи виконувалася в лабораторних умовах: заздалегідь сформовані зразки піддавалися скануванню безпосередньо у вимірювальній камері апарату.



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд аналізатора EXPERT 4L, за допомогою якого досліджувався хімічний склад шихти

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив	Каложний				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Ярош					3.1	13
Рецензент					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Н. контр.	Ярош						
Затвердив	Бабошко						
					НОРМУВАННЯ ВИТРАТ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ АГЛОМЕРАТУ		

Результати кількісного аналізу основних сполук, що входять до складу шихтових матеріалів, узагальнено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика хімічного складу вихідних елементів шихти

Матеріали	Вміст компонентів, %						
	Fe _{заг}	S _{заг}	P	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Залізорудний концентрат	67,0	0,015	0,025	28,60	63,94	3,90	0,38
Аглоруда	53,7	0,26	0,052	0,82	75,80	15,2	2,64
Вапняк	0,72	0,024	-	0,12	0,90	1,95	0,14
Вапно	0,32	0,05	-	-	0,45	2,84	0,58
Зола коксового дріб'язку	16,28	0,221	-	-	23,26	43,56	21,28

продовження табл. 3.1

Вміст компонентів, %					
CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	інші	ВПП
0,33	0,42	0,057	0,038	2,335	-
0,42	0,45	0,12	0,594	1,056	2,90
53,47	0,09	-	0,06	1,01	42,26
89,17	1,83	-	0,125	1,985	3,02
6,13	2,02	-	0,55	3,20	-

Спираючись на результати технічного дослідження твердого палива, наведені в таблиці 3.2, виконується обчислення його хімічного складу.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
						3.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Характеристики технічного аналізу коксового дріб'язку

Вміст вологи, %	Вміст компонентів, %			
	зола	сірка горюча	леткі	карбон горючий
8,4	15,8	1,72	2,1	80,38

Алгоритм розрахунку базується на припущенні, що такі елементи, як горючий вуглець, горюча сірка та леткі компоненти, переносяться з даних технічного аналізу до хімічного складу без коригування їхніх значень (табл. 3.3). При цьому горючу сірку разом із леткими речовинами відносять до категорії втрат при прожарюванні (ВПП). Для визначення концентрації інших складників використовується формула, що надається в методиці [4]:

$$Fe_2O_{3ТВ.Т} = Fe_2O_{3ЗОЛИ} \cdot \frac{A^c}{100}; \quad (3.1)$$

$$SiO_{2ТВ.Т} = SiO_{2ЗОЛИ} \cdot \frac{A^c}{100}, \quad (3.2)$$

де $Fe_2O_{3ТВ.Т}$, $Fe_2O_{3ЗОЛИ}$, $SiO_{2ТВ.Т}$, $SiO_{2ЗОЛИ}$ – вміст оксидів, відповідно, в твердому паливі та золі оксидів, %;

A^c – вміст золи в твердому паливі, %.

Таблиця 3.3 – Результати визначення хімічного складу використовуваного палива

Матеріал	Вміст компонентів, %				
	Fe _{заг}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Коксовий дріб'язок	2,57	-	3,68	6,88	3,36

продовження табл. 3.3

Вміст компонентів, %						
CaO	MgO	C _Г	SO ₃	ВПП		інші
				S _Г	леткі	
0,97	0,32	80,38	0,09	1,72	2,10	0,50

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
						3.3
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи, що співвідношення залізорудного концентрату і аглоруди в рудній суміші становить 80:20, розраховується середньозважений склад цієї суміші (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Розрахункові показники вмісту елементів у залізовмісній частині шихтового матеріалу

Матеріали	Вміст компонентів, %						
	Fe _{заг}	S _{заг}	P	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Залізорудний концентрат (0,8)	53,6	0,012	0,02	22,88	51,15	3,12	0,30
Аглоруда (0,2)	10,74	0,052	0,01	0,16	15,16	3,04	0,53
Рудна суміш	64,34	0,064	0,03	23,04	66,31	6,16	0,83

продовження табл. 3.4

Вміст компонентів, %					
CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	інші	ВПП
0,27	0,34	0,046	0,03	1,87	-
0,08	0,09	0,024	0,12	0,21	0,58
0,35	0,43	0,07	0,15	2,08	0,58

Рівняння матеріального балансу має вид:

$$G_o = P \cdot K_p + \Phi \cdot K_\Phi + B \cdot K_B + П \cdot K_\Pi \pm O_2, \quad (3.3)$$

де G_o – одиниця прийнятої для розрахунку маси (100 або 1000 кг окатишів);

$P, \Phi, B, П$ – питомі витрати відповідно рудної, флюсової, бентонітової і паливної сумішей, кг/100(1000) кг окатишів;

K_p, K_Φ, K_B, K_Π – коефіцієнти виходу випаленої маси з сухої маси відповідно рудного, флюсового, бентонітового і паливного компонентів шихти, част. од.;

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
						3.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

O_2 – приріст (+) або втрата (–) маси відповідно від окислення або відновлення оксидів заліза, що містяться в шихті, кг/100 (1000) кг окатишів.

Обчислення коефіцієнту виходу термічно обробленого продукту відносно початкової маси сухої сировини для кожного компонента шихти здійснюється за такою формулою:

$$K^0 = 0,01(100 - \eta_S \cdot S_{\text{заг}}^0 - C_{\Gamma}^0 - \eta_{\text{ВПП}} \cdot \text{ВПП}^0 - MnO_2^0 \cdot \frac{16}{87}), \text{ част.од.} \quad (3.4)$$

де $S_{\text{заг}}^0$, C_{Γ}^0 , ВПП^0 , MnO_2^0 – середньозважений вміст, відповідно загальної сірки, горючого вуглецю, втрат при прожарюванні й оксидів марганцю в компонентах шихти, %;

$\eta_{\text{ВПП}}$, η_S , – прийняті ступені видалення, відповідно, ВПП і сірки, част.од.

З огляду на прийняті технологічні параметри (ступінь десульфурзації на рівні 82% та повне видалення летких речовин при прожарюванні), отримаємо:

$$K_p^0 = 0,01(100 - 0,82 \cdot 0,064 - 0,58) = 0,9937.$$

$$K_{\Phi}^0 = 0,01(100 - 0,82 \cdot 0,024 - 42,26) = 0,5772.$$

$$K_B^0 = 0,01(100 - 0,82 \cdot 0,05 - 3,02) = 0,9694.$$

$$K_{\Pi}^0 = 0,01(100 - 0,82 \cdot 0,035 - 80,38 - 3,82) = 0,1577.$$

Зміна маси шихтових матеріалів, зумовлена перебігом окисно-відновних перетворень оксидів заліза під час обробки агломерату:

$$O_2^0 = \frac{1}{9} \left(\frac{P_{\Sigma} \cdot FeO_p^0}{100} + \frac{\Phi_{\Sigma} \cdot FeO_{\Phi}^0}{100} + \frac{\Pi_{\Sigma} \cdot FeO_{\Pi}^0}{100} + \frac{B_{\Sigma} \cdot FeO_B^0}{100} - FeO_{a(0)}^0 \right), \text{ кг/т,} \quad (3.5)$$

де FeO^0 – середньозважений вміст закису заліза в сумішах компонентів шихти й окатишах, %.

За умови, що залишкова концентрація FeO у готовому агломераті становитиме 10,2%, сумарна зміна маси сировинних компонентів розраховується як:

$$O_2^0 = \frac{1}{9} \left(\frac{P \cdot 23,04}{100} + \frac{\Phi \cdot 0,12}{100} + \frac{B \cdot 0}{100} + \frac{\Pi \cdot 0}{100} - 10,2 \right) = 0,0256 \cdot P + 0,00013 \cdot \Phi - 1,1333.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.5

Матеріальний баланс процесу, що враховує змінення маси під час термічної обробки на агломераційній машини, описується наступним рівнянням:

$$1000 = 0,9937 \cdot P + 0,5772 \cdot \Phi + 0,9694 \cdot B + 0,1577 \cdot \Pi + 0,0256 \cdot P + 0,00013 \cdot \Phi - 1,1333.$$

Для спрощення рівняння необхідно врахувати, що введення 3-4 % вапна є достатнім для досягнення необхідних міцнісних властивостей висушених гранул. Крім того, витрата палива при збільшенні висоти шару шихти до 400-550 мм зазвичай знижується порівняно з низькими шарами (200-250 мм). Для процесу спікання у високому шарі питома витрата твердого палива становить 3,2-4,2% від маси шихти (або приблизно 45-60 кг на тонну придатного агломерату). Результатом математичних перетворень буде вираз:

$$956,0493 = 1,0193 P + 0,57733 \Phi.$$

Для визначення показника основності шихти з урахуванням співвідношення головних оксидів лужного та кислотного характеру використовується формула:

$$m_{a(0)} = \frac{P_{\Sigma} \cdot (CaO_{P_{\Sigma}}^0 + MgO_{P_{\Sigma}}^0) + \Phi_{\Sigma} \cdot (CaO_{\Phi_{\Sigma}}^0 + MgO_{\Phi_{\Sigma}}^0) + P_{\Sigma} \cdot (SiO_{2P_{\Sigma}}^0 + Al_2O_{3P_{\Sigma}}^0) + \Phi_{\Sigma} \cdot (SiO_{2\Phi_{\Sigma}}^0 + Al_2O_{3\Phi_{\Sigma}}^0) + \Pi_{\Sigma} \cdot (CaO_{\Pi_{\Sigma}}^0 + MgO_{\Pi_{\Sigma}}^0) + B_{\Sigma} \cdot (CaO_{B_{\Sigma}}^0 + MgO_{B_{\Sigma}}^0)}{P_{\Sigma} \cdot (SiO_{2P_{\Sigma}}^0 + Al_2O_{3P_{\Sigma}}^0) + \Phi_{\Sigma} \cdot (SiO_{2\Phi_{\Sigma}}^0 + Al_2O_{3\Phi_{\Sigma}}^0) + \Pi_{\Sigma} \cdot (SiO_{2\Pi_{\Sigma}}^0 + Al_2O_{3\Pi_{\Sigma}}^0) + B_{\Sigma} \cdot (SiO_{2B_{\Sigma}}^0 + Al_2O_{3B_{\Sigma}}^0)}, \quad (3.6)$$

де CaO^0 , MgO^0 , SiO_2^0 , $Al_2O_3^0$ – середньозважений вміст основних і кислих оксидів у відповідних сумішах, %;

m_0 – основність агломерату, част. од.

$$1,2 = \frac{(0,35+0,43)P+(53,47+0,09)\Phi+(89,17+1,83)B+(0,97+0,32)\Pi}{(6,16+0,83)P+(1,95+0,14)\Phi+(2,84+0,58)B+(6,88+3,36)\Pi}.$$

Після спрощення:

$$7,608 P - 51,052 \Phi = 3035,92.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.6

Обчислення питомих витрат шихтових матеріалів ґрунтується на одночасному вирішенні системи рівнянь, що описують матеріальний баланс і показник основності продукту:

$$\begin{cases} 1,0193 P + 0,57733 \Phi = 956,0493 \\ 7,608 P - 51,052 \Phi = 3035,92 \end{cases}$$

Виконані розрахунки дозволяють встановити масову витрату шихтових матеріалів для отримання заданого хімічного складу та оптимальних експлуатаційних характеристик готового продукту (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Розрахункова кількість шихтових компонентів

Компонент шихти	Питома витрата кг/т
Залізорудний концентрат	716,8
Агломераційна руда	179,2
Вапняк	74,1
Вапно	40
Коксовий дріб'язок	40

Сумарна маса сухих інгредієнтів шихти становить 1050,1 кг/т агломерату.

3.2 Прогнозування хімічних характеристик офлюсованого агломерату

Використовуючи розраховані питомі витрати та фізико-хімічні властивості кожної складової шихти, було визначено підсумковий склад готової продукції. Цей етап дає змогу оцінити очікувану концентрацію заліза, ключових оксидів та небажаних домішок у кінцевому продукті. Отримані дані є базою для аналізу металургійної якості окатишів та їхньої придатності для ефективної переробки в доменних печах.

Щоб встановити розрахунковий хімічний склад, було підраховано загальну кількість оксидів та елементів, які потрапляють у шихту разом із залізорудним концентратом, аглорудою, флюсуючими добавками та паливом:

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.7

$$Fe_{\text{заг}} = 716,8 \cdot 0,67 + 179,2 \cdot 0,537 + 74,1 \cdot 0,0072 + 40 \cdot 0,0032 + 40 \cdot 0,0257 = 578,176 \text{ кг.}$$

$$S_{\text{заг}} = 716,8 \cdot 0,00015 + 179,2 \cdot 0,0026 + 74,1 \cdot 0,00024 + 40 \cdot 0,0005 + 40 \cdot 0,00035 = 0,625 \text{ кг.}$$

$$FeO = 716,8 \cdot 0,286 + 179,2 \cdot 0,0082 + 74,1 \cdot 0,0012 + 40 \cdot 0 + 40 \cdot 0 = 206,563 \text{ кг.}$$

$$Fe_2O_3 = 716,8 \cdot 0,6394 + 179,2 \cdot 0,758 + 74,1 \cdot 0,009 + 40 \cdot 0,0045 + 40 \cdot 0,0368 = 596,474 \text{ кг.}$$

$$SiO_2 = 716,8 \cdot 0,039 + 179,2 \cdot 0,152 + 74,1 \cdot 0,0195 + 40 \cdot 0,0284 + 40 \cdot 0,0688 = 60,527 \text{ кг.}$$

$$Al_2O_3 = 716,8 \cdot 0,0038 + 179,2 \cdot 0,0264 + 74,1 \cdot 0,0014 + 40 \cdot 0,0058 + 40 \cdot 0,0336 = 9,135 \text{ кг.}$$

$$CaO = 716,8 \cdot 0,0033 + 179,2 \cdot 0,0042 + 74,1 \cdot 0,5347 + 40 \cdot 0,8917 + 40 \cdot 0,0097 = 78,795 \text{ кг.}$$

$$MgO = 716,8 \cdot 0,0042 + 179,2 \cdot 0,0009 + 74,1 \cdot 0,0014 + 40 \cdot 0,0183 + 40 \cdot 0,0032 = 4,744 \text{ кг.}$$

$$C_r^c = 716,8 \cdot 0 + 179,2 \cdot 0 + 74,1 \cdot 0 + 40 \cdot 0 + 40 \cdot 0,8038 = 32,152 \text{ кг.}$$

$$SO_3 = 716,8 \cdot 0,00038 + 179,2 \cdot 0,00594 + 74,1 \cdot 0,0006 + 40 \cdot 0,00125 + 40 \cdot 0,0009 = 1,467 \text{ кг.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
						3.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned} \text{Інші} &= 716,8 \cdot 0,02335 + 179,2 \cdot 0,01056 + 74,1 \cdot 0,0101 + 40 \cdot 0,01985 + 40 \cdot 0,005 \\ &= 20,372 \text{ кг.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ВПП} &= 716,8 \cdot 0 + 179,2 \cdot 0,029 + 74,1 \cdot 0,4226 + 40 \cdot 0,0302 + 40 \cdot 0,0382 = \\ &= 39,248 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Змінення хімічного складу шихти під час термічної обробки зумовлена різною стійкістю її складових. Такі сполуки, як SiO_2 , Al_2O_3 , CaO та MgO , характеризуються термічною стабільністю, тому їхня маса в процесі випалювання залишається практично незмінною. Проте загальна частка компонентів у готових окатишах коригується через побічні фізико-хімічні процеси: декарбонізацію, випаровування вологи та окисно-відновні реакції.

Зокрема, змінення маси характерно для:

- вуглецю та сірки (внаслідок переходу в газоподібний стан);
- компонентів, що формують втрати при прожарюванні (через дисоціацію карбонатів та дегідратацію);
- оксидів заліза (внаслідок окиснення магнетиту та перетворення (FeO) на (Fe_2O_3)).

Формули для обчислення процентного вмісту складових частин у готових окатишах після термічної обробки:

$$Fe_{\text{зага}(o)} = \frac{P_{\Sigma} \cdot Fe_{P_{\Sigma}}^0 + \Phi_{\Sigma} \cdot Fe_{\Phi_{\Sigma}}^0 + \Pi_{\Sigma} \cdot Fe_{\Pi_{\Sigma}}^0 + Б_{\Sigma} \cdot Fe_{Б_{\Sigma}}^0}{G_{a(o)}}, \% \quad (3.7)$$

$$SiO_{2a(o)} = \frac{P_{\Sigma} \cdot SiO_{2P_{\Sigma}}^0 + \Phi_{\Sigma} \cdot SiO_{2\Phi_{\Sigma}}^0 + \Pi_{\Sigma} \cdot SiO_{2\Pi_{\Sigma}}^0 + Б_{\Sigma} \cdot SiO_{2Б_{\Sigma}}^0}{G_{a(o)}}, \% \quad (3.8)$$

де Fe^0, SiO_2^0 – середньозважений вміст елементів і оксидів у відповідній суміші, %.

Математична модель враховує різницю між масою сухої шихти та масою готового продукту після завершення всіх фізико-хімічних перетворень.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3.9

При переході (FeO) у (Fe_2O_3) відбувається приєднання кисню, що призводить до збільшення маси цього компонента. Розрахунок ведеться за стехіометричним коефіцієнтом (зазвичай 1,111), який відображає збільшення ваги закису заліза при його повному окисненні:

$$G_{FeO} = G_{FeO_{ш}} - G_{FeO_{a(o)}}, \text{ кг/т аглом. (окат.)}; \quad (3.9)$$

де G_{FeO} , $G_{FeO_{ш}}$, $G_{FeO_{a(o)}}$ – маса FeO , відповідно, що окислюється (відновлюється), в шихті і в агломераті (окатишах), кг/т.

$$G_{FeO} = 1000 \cdot 0,102 - 206,563 = -104,563 \text{ кг.}$$

Зазначений параметр використовується для обчислення маси вторинного оксиду заліза (III), що утворюється при окисненні магнетитового концентрату або закису заліза (враховується зі знаком «+»). Якщо ж у системі переважають відновлювальні реакції, що призводять до розкладання вищих оксидів, показник вказується зі знаком «-». Такий підхід забезпечує високу точність при визначенні підсумкової кількості залізородної складової в готовому продукті.

$$G_{Fe_2O_3} = \frac{G_{FeO} \cdot 160}{144}. \quad (3.10)$$

$$G_{Fe_2O_3} = \frac{104,563 \cdot 160}{144} = +116,181 \text{ кг.}$$

Зведені результати математичних розрахунків для всіх інгредієнтів шихти представлені у формі матеріального балансу (табл. 3.6).

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
						3.10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.6 – Баланс маси речовин та прогнозований вміст оксидів у кінцевій продукції

Матеріали	Вміст компонентів, %											
	Fe _{заг}		FeO		Fe ₂ O ₃		SiO ₂		Al ₂ O ₃		CaO	
	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг
Залізорудний концентрат	67,0	484,566	28,60	206,845	63,94	462,435	3,90	28,206	0,38	2,748	0,33	2,387
Аглоруда	53,7	97,094	0,82	1,483	75,80	137,053	15,2	27,483	2,64	4,773	0,42	0,759
Вапняк	0,72	0,431	0,12	0,072	0,90	0,538	1,95	1,167	0,14	0,084	53,47	31,992
Вапняк	0,32	0,128	-	0	0,45	0,18	2,84	1,136	0,58	0,232	89,17	35,668
Коксовий дріб'язок	2,57	1,028	-	0	3,68	1,472	6,88	2,752	3,36	1,344	0,97	0,388
Всього шихти	55,06	578,176	19,67	206,563	56,80	596,474	5,76	60,527	0,87	9,135	7,50	78,795
Приріст (+) Втрата (-) маси				-104,563		+116,181						
Агломерат	58,45	578,176	10,31	102,0	72,05	712,656	6,12	60,527	0,92	9,135	7,97	79,795

Вим.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА

2.11

Архив

продовження табл. 3.6

Вміст компонентів, %												Витрати сухих шихтових матеріалів, кг/т
MgO		P ₂ O ₅		C _Г ^с		SO ₃		інші		ВПП		
%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	
0,42	3,038	0,057	0,412	-	0	0,038	0,275	2,335	16,888	-	0	716,8
0,45	0,814	0,12	0,217	-	0	0,594	1,074	1,056	1,909	2,90	5,243	179,2
0,09	0,054	-	0	-	0	0,06	0,036	1,01	0,604	42,26	25,285	74,1
1,83	0,732	-	0	-	0	0,125	0,05	1,985	0,794	3,02	1,208	40
0,32	0,128	-	0	80,38	32,152	0,09	0,036	0,50	0,2	3,82	1,528	40
0,45	4,744	0,06	0,624	3,06	32,152	0,14	1,467	1,94	20,372	3,74	39,248	1050,1
					-32,152		-1,203				- 39,248	
0,48	4,744	0,06	0,624	-	-	0,03	0,264	2,06	20,372	-	-	989,1

Вим.

Арк.

№ докум.

Підпис

Дата

КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА

2.12

Архив

Фізико-хімічні властивості отриманих окатишів, визначені шляхом розрахунків, наведено у формі зведеної характеристики в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Теоретична фізико-хімічна характеристика випаленої залізорудної сировини

Компоненти	Fe _{заг}	S _{заг}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Вміст, %	58,45	0,01	10,31	72,05	6,12	0,92

продовження табл. 3.7

Компоненти	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	Інші	ВПП
Вміст, %	7,97	0,48	0,06	0,03	2,06	-

$$O_{CH} = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} = \frac{7,97 + 0,48}{6,12 + 0,92} = 1,20 \text{ част. од.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.03.НВСМВА	Аркуш
						3.13
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПІДГОТОВКИ ШИХТИ ТА СПІКАННЯ АГЛОМЕРАТУ

Розробка та аналітичне підтвердження схеми отримання агломерованого продукту здійснюється з урахуванням комплексу фізико-хімічних властивостей сировинної бази: її мінералогії, фракційного складу та вологовмісту окремих елементів. Зазначені чинники відіграють вирішальну роль при плануванні процесів підготовки шихти до спікання. Реалізація наступних переділів (гомогенізація, огрудкування та термічна обробка на машині) базується на використанні перевірених практикою інженерних рішень, що застосовуються на діючих агломераційних підприємствах.

Основні відомості для обчислення технологічного циклу представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Показники фізико-механічного стану та норми витрат вихідної сировини для агломерації

Компоненти шихти	Питомі витрати $M_{сух.}$, кг/т окатишів	Вміст вологи, %	Крупність, мм
Залізорудний концентрат	716,8	10,2	-0,074
Аглоруда	179,2	4,8	-10
Вапняк	74,1	2,8	-100
Вапно	40	-	-10
Коксовий дріб'язок	40	7,5	-25

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.04.РТСПШСА			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ПІДГОТОВКИ ШИХТИ ТА СПІКАННЯ АГЛОМЕРАТУ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Каложний						4.1	6
Перевірив	Ярош					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Рецензент								
Н. контр.	Ярош							
Затвердив	Бабошко							

Для забезпечення коректності технологічних розрахунків було використано наступний масив вихідних даних:

1) вихід вороття 15%; співвідношення повернення першої та другої стадії грохочення, %: 57:43;

4) крупність дроблених матеріалів:

– флюсів -5 мм;

– коксового дріб'язку після першої стадії просіювання -10 мм;

– спеку -150 мм;

5) температура гарячого повернення 700°C;

6) вологість повернення після охолодження 3%;

7) механічні втрати компонентів шихти приймаються рівними 1,5%.

Робоча вага компонентів шихти, необхідна для експлуатації ваговимірювального вузла, встановлюється шляхом перерахунку сухої маси з урахуванням поточної вологості матеріалів. Окрім вологовмісту, у формулу вводиться спеціальний коефіцієнт, що нівелює механічні втрати сировини у транспортних ланцюгах. Такий підхід забезпечує дотримання заданого хімічного складу шихти при фізичному дозуванні складників:

$$M_{\text{вол.}} = \frac{M_{\text{сух.}} \cdot 100 \cdot 100}{(100 - W)(100 - \text{Втр.})} \quad (4.1)$$

де W – вміст води в матеріалі, %.

Втр. – механічні втрати компонентів шихти, %

Визначальним компонентом розрахунку є залізородний концентрат, оскільки цей матеріал формує мінеральну основу шихти та забезпечує цільовий вміст заліза в агломераті:

$$M_{\text{з.к.}} = \frac{716,8 \cdot 10^4}{(100 - 10,2)(100 - 1,5)} = 810,37 \text{ кг.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.04.РТСПШСА	Аркуш
						4.2
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса аглоруди з урахуванням вологи встановлюється для регулювання мінералогічного складу шихтового потоку. Врахування початкової вологості руди дозволяє стабілізувати роботу транспортних систем та забезпечити задану насипну масу шихти на агломераційній стрічці:

$$M_a = \frac{179,2 \cdot 10^4}{(100-4,8)(100-1,5)} = 191,10 \text{ кг.}$$

Маса вапняку з урахуванням вологи розраховується з міркувань необхідності досягнення заданої основності агломерату. Оскільки вапняк є основним флюсом, його фактична маса коригується на вміст гігроскопічної води для забезпечення точного введення оксиду кальцію. Це критично важливо для формування рідкофазних зв'язок (феритів кальцію) під час спікання, які визначають міцність готового спеку:

$$M_b = \frac{74,1 \cdot 10^4}{(100-2,8)(100-1,5)} = 77,40 \text{ кг.}$$

Маса вологого коксового дріб'язку є стратегічним показником, оскільки вуглець палива забезпечує теплову енергію для всього процесу спікання. Розрахунок фактичної маси палива вимагає особливої точності: надлишок вологи може призвести до недопалу та зниження температури в зоні горіння, а поправка на механічні втрати при дробленні дозволяє підтримувати стабільний вміст горючого вуглецю у суміші:

$$M_{к.д.} = \frac{40 \cdot 10^4}{(100-7,5)(100-1,5)} = 43,90 \text{ кг.}$$

Технологічна операція дроблення вапняку. За умови використання лінійної апроксимації для характеристики гранулометричного складу дробленого вапняку фракції 0–5 мм, стає можливим розрахунок вмісту класу понад 3 мм. Вихід даної фракції визначається шляхом пропорційного перерахунку загальної кривої крупності, що дає наступний результат:

$$\begin{array}{ll} 5 \text{ мм} & 100 \% \\ 5-3 = 2 \text{ мм} & x \end{array} \quad x = \frac{2 \times 100}{5} = 40\%.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.04.РТСПШСА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.3

Враховуючи, що показник ефективності грохочення флюсу за контрольним класом 3 мм становить 85%, проводиться обчислення обсягу циркуляційного навантаження, що повертається на повторну обробку. На основі цих даних визначається сукупна маса дробленого вапняку, яка проходить крізь дробильний агрегат, що дозволяє оцінити реальне механічне навантаження на обладнання вузла підготовки шихти:

$$M_{об.в.} = 77,40 \cdot 0,4 + 77,40 \cdot (1 - 0,4)(1 - 0,85) = 37,93 \text{ кг.}$$

$$M_{др.в.} = M_{в.} + M_{об.в.} = 77,40 + 37,93 = 115,33 \text{ кг.}$$

Дроблення коксового дріб'язку. З огляду на те, що вміст фракції понад 20 мм у вихідному коксовому дріб'язку становить 12%, а ефективність її виділення на грохоті сягає 85%, проводиться розрахунок розподілу матеріалу на підрешітний та надрешітний продукти. Дані обчислення дозволяють кількісно оцінити потоки палива, що спрямовуються на подальше додроблювання та безпосередньо в дозувальні бункери:

$$M_{під.} = 43,90 \cdot (1 - 0,12) \cdot 0,85 = 32,84 \text{ кг.}$$

$$M_{над.} = 43,9 - 32,84 = 11,06 \text{ кг.}$$

Для складання повного матеріального балансу обчислюється сукупна вага шихти та визначається її середньозважена вологість. Даний розрахунок враховує кількісне співвідношення всіх вихідних компонентів у їхньому природному (вологодому) стані:

Маса шихти:

$$M_{ш} = M_{з.к.} + M_a + M_b + M_{вп} + M_{к.д.} \quad (4.2)$$

$$M_{ш} = 810,37 + 191,10 + 77,40 + 40 + 43,90 = 1162,77 \text{ кг.}$$

Сумарний вміст води у багатокomпонентній шихтовій суміші розраховується як середньозважена величина, що базується на масовій частці та початковому вологовмісті кожного інгредієнта:

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.04.РТСПШСА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.4

$$W_{\text{сер.}} = W_1 \cdot \frac{M_1}{\sum M_i} + W_2 \cdot \frac{M_2}{\sum M_i} + W_3 \cdot \frac{M_3}{\sum M_i} + \dots + W_i \cdot \frac{M_i}{\sum M_i}, \quad (4.3)$$

де $M_1, M_2, M_3, \dots, M_i$ – маса першого, другого, третього, ..., i -го компонентів суміші, кг;

$\sum M_i$ – сумарна маса всіх компонентів суміші, кг.

$$W_{\text{вих.ш}} = \frac{W_{\text{з.к.}} \cdot M_{\text{з.к.}}}{M_{\text{ш}}} + \frac{W_{\text{а.}} \cdot M_{\text{а.}}}{M_{\text{ш}}} + \frac{W_{\text{в.}} \cdot M_{\text{в.}}}{M_{\text{ш}}} + \frac{W_{\text{вп.}} \cdot M_{\text{вп.}}}{M_{\text{ш}}} + \frac{W_{\text{к.д.}} \cdot M_{\text{к.д.}}}{M_{\text{ш}}}. \quad (4.4)$$

$$W_{\text{вих.ш}} = \frac{10,2 \cdot 810,37}{1162,77} + \frac{4,8 \cdot 191,10}{1162,77} + \frac{2,8 \cdot 77,40}{1162,77} + \frac{0 \cdot 40}{1162,77} + \frac{7,5 \cdot 43,90}{1162,77} = 8,37 \%$$

Маса вороття. Формування однорідних мікроокатишів фракції 5-8 мм дозволило скоротити вихід дріб'язку (фракція 0-5 мм) на 3,5-7,0%, що безпосередньо впливає на повноту використання сировини:

$$m_{\Sigma} = \frac{1000 \cdot 15}{100 - 15} = 176,47 \text{ кг.}$$

Розподіл вороття між стадіями грохочення:

$$m_{\nu_1} = 176,47 \cdot \frac{57}{100} = 100,59 \text{ кг.}$$

$$m_{\nu_2} = 176,47 - 100,59 = 75,88 \text{ кг.}$$

Процес зниження температури гарячого вороття реалізується шляхом його зрошення водою, що зумовлює необхідність розрахунку фазових змін рідини. У зв'язку з цим визначається об'єм води, що миттєво випаровується під впливом високої температури матеріалу

$$M_{\text{вод.вип}} = 100,59 \cdot 0,158 = 15,89 \text{ кг,}$$

а також кількість залишкової вологи, яка адсорбується порами вороття і забезпечує його подальше транспортування в охолодженому стані

$$M_{\text{вод.зал}} = \frac{100,59 \cdot 3}{(100 - 3)} = 3,11 \text{ кг.}$$

Загальна кількість води, витраченої на процес охолодження вороття:

$$M_{\text{вод.охол}} = 15,89 + 3,11 = 19,0 \text{ кг.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.04.РТСПШСА	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4.5

Для коректного формування шихтового потоку розраховується підсумкова вага зволоженого вороття після завершення стадії охолодження:

$$M_{\text{в1вол}} = 100,59 + 3,11 = 103,70 \text{ кг.}$$

На основі отриманих даних встановлюються сукупні масові та вологісні характеристики циркуляційного продукту:

$$M_{\text{в}\Sigma} = M_{\text{в1вол}} + M_{\text{в2}}. \quad (4.5)$$

$$M_{\text{в}\Sigma} = 103,70 + 75,88 = 179,58 \text{ кг.}$$

$$W_{\text{в}\Sigma} = \frac{3,11}{179,58} \cdot 100 = 1,73\%.$$

Оскільки за технологічним регламентом вороття змішується з вихідною шихтою, наступним кроком є розрахунок параметрів змішаної шихти:

$$M_{\text{сум}} = M_{\text{ш}} + M_{\text{в}\Sigma}. \quad (4.6)$$

$$M_{\text{сум}} = 1162,77 + 179,58 = 1342,35 \text{ кг.}$$

$$W_{\text{сум}} = W_{\text{вих.ш}} \frac{M_{\text{ш}}}{M_{\text{сум}}} + W_{\text{в}\Sigma} \frac{M_{\text{в}\Sigma}}{M_{\text{сум}}}. \quad (4.7)$$

$$W_{\text{сум}} = 8,37 \cdot \frac{1162,77}{1342,35} + 1,73 \cdot \frac{179,58}{1342,35} = 7,5\%.$$

Оскільки розрахований рівень вологості змішаної шихти зафіксований на рівні 7,5%, додаткове зволоження під час здійснення технологічної операції первинного змішування є недоцільним. Після завершення початкової гомогенізації шихта надходить на стадію вторинного змішування та огрудкування. Зважаючи на те, що нормативний показник вологості для формування міцних гранул на цьому етапі становить 7,4%, наявного вмісту води в матеріалі достатньо, що дозволяє виключити операцію примусової подачі води в змішувач-огрудкувач.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.04.РТСПШСА	Аркуш
						4.6
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 РОЗРАХУНОК ПОТРЕБИ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ УСТАТКУВАННІ

5.1 Розрахунок годинного навантаження за компонентами шихти

На основі годинного випуску готового агломерату та розрахованого матеріального балансу визначається кількість матеріалів, що споживаються цехом за одну годину роботи. Обчислення охоплюють основну залізородну частину, добавки, що формують шлакову фазу, та паливо. Отримані результати використовуються для подальшого розрахунку необхідної кількості технологічного обладнання.

Обсяг виробництва агломерату за годину (P_o , т/год):

$$P_o = \frac{G}{\eta \cdot 365 \cdot 24}, \quad (5.1)$$

де G – річне виробництво агломерату, т/рік;

η – коефіцієнт використання обладнання – відношення робочого часу до календарного, част.од. (приймаємо 0,9);

365 – календарна кількість днів в рік;

24 – кількість годин в добі.

$$P_o = \frac{5500000}{0,9 \cdot 365 \cdot 24} = 697,615 \text{ т/год.}$$

Годинна витрата компонентів шихти:

$$P_{з.к.} = P_{a(o)} \cdot X_{з.к.}, \quad (5.2)$$

де $P_{з.к.}$ — годинна потреба в компоненті шихти, т/год.;

$X_{з.к.}$ — питома витрата компонента шихти, т/т агл.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.05.РПТО			
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗРАХУНОК ПОТРЕБИ В ТЕХНОЛОГІЧНОМУ ОБЛАДНАННІ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розробив	Калножний						5.1	9
Перевірив	Ярош					Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Рецензент								
Н. контр.	Ярош							
Затвердив	Бабощко							

$$P_{з.к.} = 697,615 \cdot 0,8104 = 565,35 \text{ т/год.}$$

$$P_a = 697,615 \cdot 0,1911 = 133,31 \text{ т/год.}$$

$$P_B = 697,615 \cdot 0,0774 = 54,00 \text{ т/год.}$$

$$P_{вп.} = 697,615 \cdot 0,040 = 27,90 \text{ т/год.}$$

$$P_{к.д.} = 697,615 \cdot 0,0439 = 30,63 \text{ т/год.}$$

5.2 Розрахунок основного обладнання

«Розрахунок необхідної кількості витратних бункерів для компонентів ШИХТИ»:

$$n_{з.к.} = \frac{P_{з.к.} \cdot \tau}{\gamma \cdot V_б \cdot 0,85}, \quad (5.3)$$

де $P_{з.к.}$ – погодинна потреба в компоненті шихти, т/год;

τ – прийнятий нормативний запас компонента шихти в бункерах (4-10 год), год;

$V_б$ – об'єм стандартних бункерів (100, 130, 200), м³;

0,85 – ступінь заповнення бункерів, част. од.;

γ – насипна маса компонента шихти, т/м³.

«Після розрахунку кількість бункерів округляється до цілого числа (в більшу сторону). Приймається парна кількість бункерів, виходячи з необхідності забезпечення роботи двох потоків».

$$n_{з.к.} = \frac{565,35 \cdot 10}{2,23 \cdot 200 \cdot 0,85} = 14,9.$$

$$n_a = \frac{133,31 \cdot 10}{1,95 \cdot 200 \cdot 0,85} = 4,0.$$

$$n_B = \frac{54,00 \cdot 10}{1,51 \cdot 200 \cdot 0,85} = 2,1.$$

$$n_{вп.} = \frac{27,90 \cdot 10}{0,9 \cdot 200 \cdot 0,85} = 1,8.$$

$$n_{к.д.} = \frac{30,63 \cdot 10}{0,63 \cdot 200 \cdot 0,85} = 2,9.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.05.РПТО	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5.2

Усього бункерів у шихтовому відділенні: $n = 30$ шт.

«Розрахунок необхідної кількості дробарок і млинів»:

$$n = \frac{P_{\epsilon} + P_{\delta.\epsilon}}{q}, \quad (5.4)$$

$$n = \frac{P_{\kappa.\delta} + P_{a.ш}}{q}, \quad (5.5)$$

де P_{ϵ} , $P_{\delta.\epsilon}$, $P_{\kappa.\delta}$, $P_{a.ш}$ - годинна потреба у, відповідно, вапняку, доломітизованому вапняку, коксовому дріб'язку та антрацитовому штибі, т/год;

q – продуктивність дробарки або млина, т/год.

Отримані розрахункові значення кількості дробарок та млинів округлюються до найближчого більшого цілого числа. Для підтримки безперебійної роботи під час технічного обслуговування чи ремонту передбачається встановлення однієї резервної одиниці обладнання додатково до розрахункової кількості.

Вихідна крупність вапняку становить -100 мм, що дозволяє використовувати для його переробки дробарки молоткового типу. Згідно з технологічною схемою, процес передбачає замкнений цикл: після дроблення матеріал проходить грохочення, де готова фракція спрямовується до бункерів шихтового відділення, а крупний (надрешітний) продукт повертається на повторне дроблення.

$$n_{\text{др.в.}} = \frac{54,00}{250} = 0,22.$$

Коксовий дріб'язок з початковою крупністю -25 мм потребує попередньої підготовки для досягнення необхідного гранскладу. Технологія передбачає попередню класифікацію на грохотах за класом 10 мм, після чого надрешітний продукт надходить на першу стадію дроблення в молоткових дробарках. Остаточне доведення палива до кондиційного стану здійснюється на другій стадії дроблення із застосуванням чотиривалкових дробарок.

$$n_{\text{др.1}} = \frac{30,63}{250} = 0,12.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.05.РПТО	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5.3

$$n_{\text{др.2}} = \frac{30,63}{16} = 1,91.$$

Досягнення необхідної крупності вапна забезпечується у вентиляваних кульових млинах; їхня розрахункова кількість становить:

$$n_{\text{мл.вп.}} = \frac{27,90}{50} = 0,56.$$

Для технологічної лінії з виробництва залізорудного агломерату прийнято наступний склад дробильно-розмелювального обладнання:

- молоткові дробарки для вапняку: 2 одиниці;
- молоткові дробарки для палива: 2 одиниці;
- чотиривалкові дробарки для палива: 3 одиниці;
- кульові млини для вапна: 2 одиниці.

Процес спікання агломераційної шихти реалізується на агломашинах конвеєрного типу. Необхідна сумарна площа спікання визначається за наступною формулою:

$$S_{\Sigma} = \frac{P_o}{q}, \text{ м}^2, \quad (5.6)$$

де S_{Σ} – сумарна площа машини, м^2 ;

P_o – погодинне виробництво агломерату, т/год;

q – питома виробнича продуктивність машини, $\text{т}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

Розрахункова питома продуктивність агломашини коригується залежно від складу шихти: збільшення вмісту залізорудного концентрату та колошникового пилу на кожні 10% призводить до зниження продуктивності на 5,3% (що еквівалентно $0,12 \text{ т}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$). При частці концентрату в залізорудній суміші на рівні 80% питома продуктивність агломераційної машини становитиме $q = 1,29 \text{ т}/\text{м}^2 \cdot \text{год}$.

З огляду на необхідну годинну продуктивність, розрахункова сумарна площа зони спікання становитиме:

$$S_{\Sigma} = \frac{697,615}{1,29} = 540,8 \text{ м}^2.$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.05.РПТО	Аркуш
						5.4
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При компоюванні цеху слід дотримуватися регламенту: кількість машин має варіюватися в межах від 2 до 10 одиниць.

На основі проведених розрахунків та порівняльного аналізу характеристик типового обладнання, до впровадження прийнята конвеєрна машина АК-312. Вона відповідає технологічним вимогам щодо продуктивності та дозволяє ефективно здійснювати процес спікання шихти з високим вмістом дрібнодисперсних концентратів.

Розрахунок необхідної кількості агломераційних машин виконується за наведеною нижче формулою:

$$N_o = \frac{S_{\Sigma}}{S_M}, \quad (5.7)$$

де N_o – кількість машин;

S_M – корисна площа вибраної машини, m^2 .

Отриманий результат округлюється до найближчого більшого цілого числа. Слід зауважити, що на відміну від дробильного устаткування, специфіка роботи випалювального вузла не передбачає наявності резервних одиниць – стабільність виробництва забезпечується високим коефіцієнтом використання робочого часу та плановим обслуговуванням основних агрегатів.

$$N_o = \frac{540,8}{312} = 1,7.$$

Згідно з проведеними розрахунками, для забезпечення планових показників випуску проектом передбачено встановлення двох агломераційних машин.

Наступним кроком визначається фактична годинна продуктивність однієї машини під час спікання агломерату:

$$P_M = S_M \cdot q, \text{ т/год.}, \quad (5.8)$$

$$P_M = 312 \cdot 1,29 = 402,5 \text{ т/год.}$$

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.05.РПТО	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5.5

Кількість змішувачів-огрудкувачів, необхідних для підготовки шихти до роботи однієї агломашини, визначається за формулою:

$$n_{\text{огр.}} = \frac{P_{\text{м}}}{K \cdot P_{\text{огр.}}}, \quad (5.9)$$

де $P_{\text{м}}$ – годинна продуктивність агломашини, т/год;

K – коефіцієнт виходу 1 т агломерату з вологої шихти (визначається з балансової таблиці), част. од.;

$P_{\text{огр.}}$ – годинна продуктивність огрудкувача, т/год.

Коефіцієнт виходу агломерату з вологої шихти – це розрахунковий показник, який визначає, скільки тон підготовленої сирої шихти (з урахуванням її природної та доданої вологи) необхідно подати на агломашину для отримання однієї тони готового охолодженого агломерату. Як свідчать виконані розрахунки, для виготовлення 989,1 кг агломерату необхідно витратити 1162,77 кг шихтових матеріалів.

«Коефіцієнт виходу 1 т агломерату з вологої шихти»:

$$K = \frac{989,1}{1162,77} = 0,85.$$

$$n_{\text{огр.}} = \frac{402,5}{0,85 \cdot 450} = 1,1.$$

Розрахункове число змішувачів-огрудкувачів округлюється до найближчого більшого цілого значення. З метою підтримання безперебійної подачі шихти на агломашину під час технічного обслуговування агрегатів, проектом передбачено встановлення однієї резервної одиниці обладнання. Таким чином, загальна кількість огрудкувачів становить:

$$n_{\Sigma \text{огр.}} = N_0 \cdot n_{\text{огр.}}, \quad (5.10)$$

де $n_{\Sigma \text{огр.}}$ – кількість огрудкувачів цеху, шт.;

N_0 – кількість агломераційних машин, шт.;

$n_{\text{огр.}}$ – кількість огрудкувачів на одній машині, шт.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.05.РПТО	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5.6

$$n_{\Sigma\text{огр.}} = 2 \cdot 3 = 6 \text{ шт.}$$

Крім того, для формування однорідних мікроокатишів фракції 5-8 мм із суміші залізородного концентрату і вапна проектом передбачено використання тарілчастих грануляторів. Але на цю стадію огрудкування доцільно подавати не всю суміш, а лише 10-30 % від її загального обсягу. Кількість тарілчастих огрудкувачів можна розрахувати наступним чином:

$$n = \frac{(P_{\text{з.к.}} + P_{\text{вп.}}) \cdot 0,3}{P_{\text{тар.огр.}}}, \quad (5.11)$$

де $P_{\text{з.к.}}$ і $P_{\text{вп.}}$ – погодинна потреба, відповідно в концентраті та вапні, т/год;

$P_{\text{тар.огр.}}$ – годинна продуктивність тарілчастого огрудкувача, т/год.

$$n = \frac{(565,35 + 27,90) \cdot 0,3}{100} = 1,8.$$

Визначення необхідної кількості змішувачів першого ступеня виконується за методикою, аналогічною розрахунку огрудкувачів.

Для зниження температури готового продукту до технологічно допустимих значень проектом обрано охолоджувач прямолінійного типу (наприклад, ОП-315 із паспортною продуктивністю 370 т/год).

Підсумкові дані виконаних розрахунків систематизовано та представлено у таблицях 5.3-5.6.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.05.РПТО	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5.7

Таблиця 5.3 – Підсумковий баланс споживання основної сировини та допоміжних матеріалів шихти

Компоненти шихти	Питома витрата, кг/т окатишів	Годинна витрата, т/год.	Добова витрата, т/добу	Річна витрата, т/рік
Залізорудний концентрат	810,37	565,35	13568,40	4457219,40
Аглоруда	191,10	133,31	3199,44	1051016,04
Вапняк	77,40	54,00	1296,00	425736,00
Вапно	40	27,90	669,60	219963,60
Коксовий дріб'язок	43,90	30,63	735,12	241486,92
Разом вологої шихти	1162,77	811,19	19468,56	6395421,96

Таблиця 5.4 – Показники хімічного складу агломерату

Компоненти	Fe _{заг}	S _{заг}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃
Вміст, %	58,45	0,01	10,31	72,05	6,12	0,92

продовження табл. 5.4

Компоненти	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	інші	ВПП
Вміст, %	7,97	0,48	0,06	0,03	2,06	-

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.05.РПТО	Аркуш
						5.8
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.5 – Основне технологічне обладнання

Найменування обладнання	Кількість, шт.	Тип	Продуктивність, т/год.
Витратні бункери шихтових матеріалів	30	200 м ³	-
Молоткові дробарки для вапняку і палива	4	ДМРИЭ-1450x1300	250
Чотиривалкові дробарки для коксового дріб'язку	3	Д4Г 900×700	16
Кульові вентильовані млини	2	ШБМ-3700/850	50
Барабанні огрудкувачі	6	ОБ6-3,2×12,5	450
Тарілчасті огрудкувачі	3	Ø 7,5 м	100
Агломераційні машини	2	АК-312	-

Таблиця 5.6 – Виробнича програма агломераційної фабрики

Продукція	Годинне виробництво, т/год.	Добове виробництво, т/добу	Річне виробництво, т/рік
Агломерат	697,615	16742,76	5499997,0

ВИСНОВКИ

На основі порівняльного аналізу технологічних параметрів традиційного та комбінованого способів виробництва залізорудного агломерату доведено доцільність використання комбінованої технології та спікання у високому шарі, оскільки:

1. Формування однорідних мікроокатишів фракції 5-8 мм є ключовим фактором інтенсифікації процесу. Це дозволило збільшити швидкість фільтрації повітря на 10-12% (з 0,65 до 0,72 нм/сек) і створило умови для збільшення висоти шару до 550-600 мм, що забезпечує стабільний хід процесу без зростання питомого опору.

2. Висока структурна міцність отриманих гранул мінімізує їхнє механічне руйнування під час завантаження. Використання тарілчастих грануляторів забезпечило приріст середнього діаметра гранул на 14,9% порівняно з барабанными огрудковувачами. Це дозволило скоротити вихід дріб'язку (фракція 0-5 мм) на 3,5-7,0%, що безпосередньо впливає на корисне використання сировини.

3. Стабілізація термічного режиму та фазового складу по всій глибині спікання гарантує високу якість продукції. Це дозволяє отримувати агломерат зі стабільною механічною міцністю та покращеною відновлюваністю, що критично важливо для ефективної роботи доменної печі.

4. Кумулятивний ефект від зниження частки повернення та інтенсифікації горіння призводить до суттєвого зростання продуктивності. Комплексна модернізація підготовки шихти та режиму спікання забезпечує приріст питомої продуктивності агломашин на 4-15%. Масова частка повернення в шихті при цьому знижується до 13-15%, що вивільняє значні потужності для виробництва придатного агломерату.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.В		
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ Кафедра МЧМЛВ гр. МТ-22-2		
Розробив	Калюжний						
Перевірив	Ярош						
Рецензент							
Н. контр.	Ярош						
Затвердив	Бабошко				Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	2

5. Впровадження високого шару та рециркуляції відхідних газів дозволяє скоротити обсяг викидів в атмосферу на 20-40%. Це досягається за рахунок ефекту самофільтрації пилу шаром шихти та повторного допалювання шкідливих компонентів.

Таким чином, поєднання попереднього гранулювання концентрату та спікання у високому шарі є найбільш перспективним напрямком модернізації аглофабрик, що забезпечує комплексне вирішення завдань з енергоефективності та якості залізорудної сировини.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.В	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 136 «Металургія» / уклад. С.Г. Савельєв, Л.Н. Саїтгарєєв, В.А. Чубенко, Т.П. Ярош, І.Е. Скідін, А.А. Хіноцька. Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2023. 32 с.
2. <https://studfile.net/preview/8901899/page:10/>.
3. <http://jrn.isi.gov.ua/sb/26-12/26%20100.pdf>.
4. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Теорія і технологія процесів окускування» / уклад. С.Г. Савельєв, О.В. Бабаєвська. Кривий Ріг: Видавничий центр КНУ, 2022. 52 с.
5. <https://msd.com.ua/osnovy-aglomeracii-zheleznyx-rud/usloviya-polucheniya-oflyusovannogo-aglomerata/>
6. Вергельська Н.В. Агломерат (металургія) // Велика українська енциклопедія. URL: <https://vue.gov.ua/>.
7. <http://www.nbuv.gov.ua> (Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського).
8. Бочка В.В. Удосконалення технології виробництва якісного агломерату / В.В. Бочка, А.В. Сова, А.В. Двоєглазова, М.О. Ващенко // VIII Міжнародна науково-практична конференція «Металлургия 2019», м. Запоріжжя, 21-23 травня, ст. 256-257.
9. Плотніков В.В., Саїтгарєєв Л.В. Інтенсифікація агломераційного процесу за рахунок вдосконалення технології комбінованого огрудкування і завантаження шихти. Вісник ПГТУ. Вип 25. 2018. С. 41-46.
10. L. Lu. Important iron ore characteristics and their impacts on sinter quality – a review. Minerals & Metallurgical process. 2015. 32. 88–96.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.Л					
Вим.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата	ЛІТЕРАТУРА					
Розробив	Калюжний							Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірив	Ярош								1	3
Рецензент										
Н. контр.	Ярош									
Затвердив	бабошко									

11. Influence of beneficiated sinter grade iron ore fines size on sinter productivity and quality. Umadevi Tekkalakote, Brahmacharyulu Angalakuditi, Rameshwar sah, Marutiram Kaza and Pradipta chandra Mahapatra. Metall. Res. Technol. Volume 114, Number 1, 2017. 105.

12. A. Kumasaka, K. Kondo, N. Sakamoto, O. Komatsu, H. Noda and M. Shimiz. Granulation characteristics of iron ore fines for hybrid pelletized sinter process. Caractéristiques des fines de minerai de fer dans le procédé HPS. Rev. Met. Paris. Volume 89, Number 3, Mars 1992. P. 225–232.

13. ДСТУ 8811.0:2019 Руди залізні, концентрати, агломерати, окатки та брикети. Загальні вимоги до методів хімічного аналізування; прийнято від 15.07.2019 р.; дійсний з 01.07.2020 р.; ДП «УкрНДНЦ». 11 с.

14. ДСТУ 8811.1:2018 Руди залізні, концентрати, агломерати, окатки та брикети. Метод визначення загального заліза; прийнято від 18.10.2018 р.; дійсний з 01.01.2019 р.; ДП «УкрНДНЦ». 12 с.

15. ДСТУ 8811.4:2019 Руди залізні, концентрати, агломерати, окатки та брикети. Методи визначення сірки; прийнято від 15.07.2019 р.; дійсний з 01.07.2020 р.; ДП «УкрНДНЦ». 15 с.

16. ДСТУ 8811.9:2021 Руди залізні, концентрати, агломерати, окатки та брикети. Методи визначення масової частки вуглецю; прийнято від 13.10.2021 р.; дійсний з 01.07.2022 р.; ДП «УкрНДНЦ».

17. ДСТУ 8811.8:2021 Руди залізні, концентрати, агломерати, окатки та брикети. Методи визначення масової частки гігроскопічної вологи; прийнято від 13.10.2021 р.; дійсний з 01.07.2022 р.; ДП «УкрНДНЦ».

18. ТІ 226-ОА-02-2019. Технологічна інструкція. Виробництво афлюсованого агломерату. Запоріжжя: ПАТ «Запоріжсталь». 2019. – 34 с.

19. Теорія та технологія доменного процесу: навчальний посібник / Г.Ю. Крячко, Є.М. Сігарьов, О.Л. Мастеровенко. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. 306 с.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

20. Іващенко О.Д., Нікозять Ю.Б., Дмитренко В.І., Іващенко О.Д. Хімія і методи дослідження сировини та матеріалів: навч. посіб. Рекомендовано МОН Київ, 2011. 606 с.

21. Бочка В.В. Удосконалення технології виробництва якісного агломерату / В.В. Бочка, А.К. Тараканов, А.В. Сова, М.М. Бойко, М.В. Ягольник, А.В. Двоєглазова // Теорія і практика металургії. 2019. №1. С. 5-14. doi:10.34185/tpm.1.2019.01.

22. Чернега Д.Ф. Основи металургійного виробництва металів і сплавів. Київ: Вища школа, 2006. 503 с.

23. Мовчан В.П., Бережний М.М. Основи металургії. Дніпропетровськ: Пороги. 2001. 336 с.

24. Нечитайло В.М., Мисько С.М., Міщенко П.Д., Шнипко А.І. і ін. Спосіб дозування агломераційної шихти // Деклараційний патент України на корисну модель № 7785, бюл. №7, 2005.

25. Kinzel J., Rammer O., Gebert W., et. al. Successful application of the top-layer-sintering process for recycling of ferrous residuals contaminated with organic substances. - In book: Ironmaking conference proceedings. 1997. P. 377-381.

					КНУ.РБ.136.26.113с-04.Л	Аркуш
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3