

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра металургії чорних металів і ливарного виробництва

Пояснювальна записка
до випускної магістерської роботи

зі спеціальності 136 – Металургія

Тема роботи: «Дослідження впливу домішок активного вапна на якість
офлюсованого залізорудного агломерату»

Виконав: магістрант групи МЧМ-24-1м

Дмитро СОЛОВЙОВ

Керівник випускної роботи

Володимир ПЛОТНІКОВ

Нормоконтролер

Володимир ПЛОТНІКОВ

Завідувач кафедри

Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг
2025 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної (випускної) роботи на тему «Дослідження впливу домішок активного вапна на якість офлюсованого залізорудного агломерату» на базі ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг: ___ стор., ___ рис., ___ табл., ___ літературних джерел.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження впливу заміни вапняку активним вапном в умовах ГЗК ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», потужністю 4 млн. т/рік.

Дана робота містить розробку рішень по основним технологічним операціям агломераційної фабрики, експериментальні дані впливу домішки активного вапна на показники аглопроцесу. В ній описані загальні вимоги до сировини і готової продукції, визначені властивості агломерату при різній витраті активного вапна в шихту ті запропоновані заходи щодо поліпшення його властивостей, розглянуті питання охорони праці.

Визначені техніко - економічні показники роботи фабрики з річною продуктивністю 4 млн. т по виробництву агломерату. Техніко-економічна оцінка проекту показала доцільність його впровадження.

АГЛОШИХТА, СПІКАННЯ, ВАПНЯК, АКТИВНЕ ВАПНО, ПАЛИВО, ЗМІШУВАННЯ, ОГРУДКУВАННЯ, ГОТОВИЙ АГЛОМЕРАТ, ОСНОВНІСТЬ АГЛОМЕРАТУ, ЯКІСТЬ АГЛОМЕРАТУ.

ЗМІСТ

Вступ

1. Відомості про комбінат	
1.1. Історичні відомості про НКГЗК	
1.2. Дробильно-збагачувальний комплекс	
1.3. Агломераційне виробництво	
1.4. Вимоги до сировинних матеріалів	
1.5. Вивантаження й складування сировини	
1.6. Підготовка вапняків	
1.7. Підготовка твердого палива	
1.8. Дозування компонентів агломераційної шихти	
1.9. Первинне змішування шихтових матеріалів	
1.10. Вторинне змішування й окомкування шихтових матеріалів	
1.11. Завантаження шихти на агломашину	
1.12. Зовнішнє нагрівання аглошихти й експлуатація горнів	
1.13. Процес спікання	
1.14. Дроблення, просівання, охолодження агломерату. Режим звороту	
1.15. Порядок вивантаження й складування агломерату	
1.16. Склад агломерату	
1.17. Відвантаження агломерату зі складу	
2. Аналіз літературних даних	
2.1. Способи виробництва вапна в агломераційному виробництві	
2.2. Обпал вапняку в печах що обертаються	
2.3. Обпал вапна в печах киплячого шару	
2.4. Виробництво вапна на машинах ОПР і ПОР	
2.5. Застосування модернізованої без провальної цепної решітки (БЦРМ) для обпалу вапна	
2.6. Конвеєрна машина для обпалу вапна	
2.7. Використання вапна при агломерації	
2.8. Роль вапна в процесах окомкування і спікання агломераційної шихти .	

2.9. Вплив основності агломерату на його якість і економіку виробництва .	
3. Постановка задачі	
4. Дослідна частина	
4.1. Аналіз стану виробництва агломераційного вапна і ефективності його використання	
4.2. Вапно при спіканні агломерат	
4.3. Оптимальна витрата вапна при агломерації	
2.4. Раціональна крупність агломераційного вапна	
4.5. Вплив основності і активності СаО на показники спікання і якість агломерату	
4.6. Вплив якості активного вапна на показники спікання шихти основністю 1,4	
4.7. Вплив вапна на показники процесу спікання при різній висоті спікаємого шару	
4.8. Раціональне співвідношення вапна і вапняку в агломераційній шихті ..	
4.9. Вплив способу введення в шихту вапна на показники аглопроцесу	
4.10. Методика дослідження технології виробництва офлюсованого агломерату	
4.11. Визначення міцності агломерату	
5. Економічна частина	
6. Охорона праці	
6.1. Заходи електробезпеки	
6.2. Захист від шуму та вібрації	
6.3. Пожежна безпека	
6.4. Робота за персональним комп'ютером	
6.5. Забезпечення оптимального освітлення	
6.6. Джерела пилу	
6.7. Висновки	
7. Висновки	
Використана література	

ВСТУП

Залучення у використання залізних руд з низьким вмістом заліза і одночасне підвищення вмісту заліза у концентраті з метою більш ефективного використання їх у доменній плавці зумовлює збільшення глибини збагачення залізних руд з одночасним збільшенням тонкості їх подрібнення.

Збільшення частки концентрату в агломераційній шихті дозволяє не тільки збільшити вміст заліза в агломераті, але й більш широко використовувати в металургії бідні залізні руди, не придатні для прямого використання.

Але зі збільшенням частки тонкоподрібнених концентратів в агломераційній шихті знижується продуктивність агломераційних машин. По результатам досліджень, добавка кожних 10 % концентрату в шихту знижує продуктивність агломераційних машин на 2,6 – 3,3 % [1].

Для інтенсифікації процесу спікання агломераційних шихт з високим вмістом тонкоподрібнених концентратів застосовують різні технологічні операції і устаткування, що дозволяють покращувати гранулометричний склад шихти, сприяють більш рівномірному завантаженню шихти на агломераційну машину, а також конструктивні рішення, що дозволяють більш раціонально використовувати тепло запалювального горна і покращувати вакуумний режим [1 – 4].

З метою поліпшення гранулометричного складу шихти, підвищення міцності гранул і рівномірності розподілу компонентів шихти по висоті слою в агломераційну шихту вводяться різні зв'язуючі добавки. Найбільш ефективною добавкою в шихту з високим вмістом тонкоподрібнених концентратів є негашене вапно.

Введення вапна у кількості 3 – 4 % від ваги рудної частини шихти супроводжується значним підвищенням продуктивності агломашини і покращенням якості агломерату.

Вапно вводиться у агломераційну шихту у вигляді CaO , при змішуванні і зволоженні у змішувальному барабані утворює Ca(OH)_2 – гідрат окису кальцію.

При гідратації він збільшується в об'ємі з утворенням тонко дисперсних частинок крупністю менше 30 мк. Це забезпечує добру комкуємість шихти, збільшення міцності грудок і, як наслідок, газопроникності агломераційної шихти. Крім того, при гасінні вапна виділяється 4214 кал тепла на 1 кг CaO , що підвищує температуру шихти і інтенсифікує процес спікання.

Інтенсивне поглинання води вапном зменшує перезволоження шихти при спіканні, котре призводить до руйнування її структури, ущільнення, зниження газопроникності слою. Це явище набуває особливого значення при збільшенні долі тонкоподрібнених концентратів у агломераційній шихті.

Вапно активізує процес горіння палива в агломераційній шихті, підвищує реакційну здатність палива, збільшує швидкість горіння і знижує температуру запалювання.

1.1. Історичні відомості про НКГЗК

Новокриворізький гірничо-збагачувальний комбінат – це підприємство по відкритій добичі та збагаченню бідних магнетитових кварцитів з подальшою агломерацією отриманих концентратів.

Перша черга комбінату введена у експлуатацію у 1959 р. з проектною потужністю по добичі сирової руди 9,05 млн. т у рік і по виробництву концентрату 4,54 млн. т у рік зі вмістом заліза вище 62 %, а також комплексом допоміжних цехів.

У 1970 – 1976 рр. завершилось будівництво другої черги і реконструкція комбінату, що забезпечило зростання потужності по добичі і переробці сирової руди до 30,5 млн. т у рік і виробництву концентрату зі вмістом заліза більше 65 % до 13,1 млн. т у рік і агломерату – до 9,9 млн. т у рік.

Основними видами продукції комбінату є:

- концентрат залізорудний магнетитовий ТУ-14-9-248-82, вміст заліза 65,4 % і вологи 10,2 %
- агломерат залізорудний офлюсований магнезійний ТУ-14-9-388-92, у тому числі:
 - а) аглоцех № 1 зі вмістом заліза 53,6 % і фракцією 0 – 5 мм до 16 %;
 - б) аглоцех № 2 зі вмістом заліза 53,2 % і фракцією 0 – 5 мм до 8,5 %.

Основними споживачами металургійної сировини (агломерату і концентрату) НКГЗКу є металургійний комбінат «АрселорМіттал Кривий Ріг». Не значна частина агломерату і концентрату періодично відправляється інших заводам України або експортується у країни ближнього зарубіжжя.

Сировинна база комбінату представлена залізистими кварцитами Новокриворізького і Валявкінського родовищ, що розробляються двома кар'єрами: № 2-біс і № 3. По відпрацьованому кар'єру № 1 ведеться масштабні ре культиваційні роботи. Основний мінерал залізистих кварцитів – магнетит. Вміст заліза загального – 33,4 %, заліза магнітного – 23,93%. Коефіцієнт міцності по шкалі Протодяконова $f=15 - 19$.

Характеристика основного обладнання НКГЗК наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 –

Характеристика основного обладнання НКГЗК

Найменування обладнання і технічні показники	Одиниці виміру	Кількість
1	2	3
Корпус первинного змішування		
Живильник дисковий ДТ-20	шт.	4
Барабанний змішувач	шт.	2

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Продуктивність	т/г	850
Корпус спікання		
Агломераційна машина	шт.	6
Довжина робочої частини	м	48
Ширина візка	м	2,5
Площа спікання	м ²	75
Швидкість руху візка	м/хв.	0 – 5
Кількість візків	шт.	116
Висота бортів візків	м	0,32
4-х горілочний запалювальний горн	шт.	6
Вентилятор ВДН-11,2	шт.	12
Барабанний окомковувач	шт.	6
Діаметр	м	2,8
Довжина	м	8
Продуктивність	т/г	150
Човниковий живильник В-200	шт.	6
Дробарка щокоча ДЦГ-1688	шт.	6
Ширина щілини	мм	150 – 200
Продуктивність	т/г	200 – 300
Віброгрохот агломерату ГСТ-61В	шт.	6
Барабан тушіння звороту	шт.	2
Діаметр	м	2,8
Довжина	м	11,4
Тарілчастий живильник ДТ-20	шт.	6
Стрічковий живильник шихти	шт.	6
Експаустер 6500	шт.	2
Продуктивність	м ³ /хв	6500
Експаустер 7700	шт.	4
Продуктивність	м ³ /хв	7000
Температура від ходячих газів	°С	100 – 150
Розрідження під експаустером	мм вод.ст	1200
Димосос Д-21,5	шт.	8
Батарейний циклон	шт.	8

1.2. Дробильно-збагачувальний комплекс

Комплекс по дробленню і збагаченню залізистих кварцитів і виробництву залізорудного концентрату складається з двох черг.

До складу першої черги входять:

- об'єкти дроблення руди по чотирьох стадійній схемі з двома головними дробарками крупного дроблення, що забезпечують дроблення і грохочення сирови руди по розміру куска від 1200 мм до класу крупності 0 – 20 мм;

- корпус збагачення в складі 9 технологічних секцій, що виробляє магнітний

продукт зі вмістом заліза 66 % і 10,2 % вологи;

- склад концентрату з конвеєрним трактом на аглофабрику.

До складу другої черги комплексу входять:

- об'єкти дроблення по трьох стадійній схемі з однією головною дробаркою крупного дроблення;

- комплекс збагачення у складі 5 технологічних секцій подрібнення;

- склад концентрату з конвеєрним трактом подачі концентрату на аглофабрику.

1.3. Агломераційне виробництво

Агломераційне виробництво представлене трьома цехами, що були введені у експлуатацію у 1962 р.: спікальними № 1 і № 2 і цехом шихтопідготовки № 3. У корпусі аглоцеху № 1 встановлено 6 агломашин КЗ-75 площею спікання 75/45 м² кожна. В корпусі аглоцеху № 2 встановлено 6 агломашин, площа спікання 1 агломашини 135 м², для охолодження агломерату використовуються лінійні охолоджувачі площею 125 м².

Основною залізорудною сировиною, що використовується при агломерації, слугує залізорудний концентрат що надходить зі збагачувальної фабрики.

В якості добавок для спікання агломерату використовуються аглоруда, більшою частиною РУ ім. Дзержинського зі вмістом заліза 50 % і магнетитовий концентрат Нікополь-Марганцевого басейну.

В якості флюсуючи добавок використовуються вапняки Балаклавського родовища і доломітизовані вапняки Докучаєвського родовища.

Паливом для спікання агломерату слугує антрацитовий штиб донецьких вугіль і коксовий дріб'язок Криворізького коксохімічного заводу. Для запалювання агломераційної шихти використовується суміш доменного, коксового і природного газів.

Агломерат з аглоцеху № 1 поставляється залізорудним транспортом у бункери доменного цеху № 1 «АрселорМіттал Кривий Ріг», а аглоцеху № 2 – стрічковими конвеєрами у бункери доменної печі № 9 [2].

1.4. Вимоги до сировинних матеріалів

До складу агломераційної шихти надходять наступні сировинні матеріали:

- залізорудний концентрат;
- агломераційна руда;
- збагачений сталеплавильний шлак;
- легуючі домішки (ільменитовий концентрат – періодично на вимогу доменних цехів);
- вапняки (кальцинований і доломітизований);
- тверде паливо (коковий дріб'язок, антрацитовий штиб);
- залізовмісний оборотний продукт агловиробництва.

Сировина, що надходить до АЦ № 3: агломераційна руда, легуючі домішки, збагачений сталеплавильний шлак, вапняки, коксовий дріб'язок й антрацитовий штиб повинні відповідати діючим технічним умовам.

Контроль відповідності, якість сировини що надходить, якість твердого палива повинні відповідати вимогам технічних умов і договірним зобов'язанням які контролює ВТК ГЗК відповідно до переліку продукції, що підлягає вхідному контролю на ГЗК.

Прийманню підлягає кожна контрольована партія, що здійснює ділянку контролю й випробування сировини ВТК ГЗК. Під контрольованою партією розуміється вагонів одночасно подаваних під вивантаження.

Якість залізрудного концентрату, суміші залізрудного концентрату й оборотного продукту, показники підготовки вапняків і твердого палива, що надходять на агломерацію, регламентуються СОУ 740-06-2004.

Оборотний продукт агломераційного виробництва ГЗК використовується в складі суміші з концентратом. Порядок навантаження оборотного продукту в думпкери, його вивантаження і складування на складі концентрату № 1, а також приготування суміші з оборотного продукту й концентрату розробляються у відповідності з діючою технологічною інструкцією «Порядок складування й усереднення концентрату й залізозмісного оборотного продукту агломераційного виробництва ГЗК» ТІ 228-ГК-РОФ-1-02-2005.

1.5. Вивантаження й складування сировини

Шихтові матеріали, що надходять до АЦ № 3 вивантажуються вагоноперекидачем і по системі конвеєрів подаються на напільні майданчики складу сировини відкритого типу.

Для забезпечення безперервної й стійкої роботи ГЗК по виробництву агломерату заданої якості й виключення часткового перемішування штабелів сировини на складі АЦ № 3, з урахуванням його ємності, створюється запас шихтових матеріалів і твердого палива відповідно до затверджених норм незнижуваних місячних запасів.

Норми незнижуваних місячних запасів шихтових матеріалів і твердого палива (доб.) по цеху наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Норми незнижуваних запасів шихтових матеріалів і твердого палива

- концентрат залізорудний	5,5
- аглоруда	5,5
- вапняк звичайний (0 – 5 мм)	1,6
- вапняк звичайний (20 – 40, 40 – 80, 20 – 50 мм)	8,5
- вапняк доломітизований	8,5
- збагачений сталеплавильний шлак	5,0
- коксовий дріб'язок	9,0
- вугілля	8,0

Антрацитовий штиб і коксовий бріб'язок подаються системою конвеєрів і розміщуються під галереєю конвеєра Г-5, пов'язаною з ПУ-2. Від перевантаження ПУ-2 першим розміщується антрацитовий штиб, потім – коксовий дріб'язок.

Кальциновані і доломітизовані вапняки, збагачений сталеплавильний шлак і аглоруда подаються системою конвеєрів і розміщуються під галереєю конвеєрів Г-4 і 3-1, що примикають до ПУ-3. Послідовність розміщення матеріалів від ПУ-3: вапняк-черепашняк фракції 0 – 5 мм, вапняк кальцинований великих фракцій, вапняк доломітизований, збагачений сталеплавильний шлак, агломераційна руда.

Ільменитовий концентрат (легуючі домішки) вивантажується на вагоноперекидачі в міру необхідності і системою конвеєрів подається в бункери шихтових матеріалів.

1.6. Підготовка вапняків

Агломераційні цехи ГЗК використовують два види вапняків: кальцинований і доломітизований, складування яких відбувається роздільно.

Співвідношення вапняків у суміші флюсів задається технологічною картою й щомісяця регулюється залежно від вмісту MgO у суміші флюсів і збагаченому сталеплавильному шлаку.

Зі складу вапняки подаються лопатними живильниками в заданому співвідношенні на збірний конвеєр П-4, далі по конвеєрах ДИ-1 у проміжні корпуси дроблення, і потім піддаються дробленню в молоткових дробарках ДМРИЄ-14,5×13.

Дроблений вапняк після дробарок конвеєрами подається в проміжні бункери корпусу просівання. З бункерів вапняк конвеєрами подається на віброгрохоти ГСТ-62Б для відсівування класу крупності 0 – 5 мм.

Вапняк класу крупності 0 – 5 мм конвеєрами подається в бункери шихтового відділення.

Крупність вапняку регламентується СОУ 740-06-2004.

Вапняк черепашиник (клас крупності 0 – 5 мм) використовується в технологічній схемі виробництва агломерату при капітальних і планово-попереджувальних ремонтах. Крупність вапняку-черепашняку повинна відповідати вимогам технологічних умов на його поставку.

1.7. Підготовка твердого палива

Основним видом твердого палива для агломерації слугує коксовий дріб'язок. Антрацитовий штиб використовується як заміна коксового дріб'язку. Складування кожного виду палива й забір його у виробництво здійснюється роздільно.

Співвідношення коксового дріб'язку й антрацитового штибу в складі суміші твердого палива задається відповідно до складу шихти й визначається по співвідношенню навантажень дробарок коксового дріб'язку й антрацитового штибу працюючих одночасно.

Дроблення коксового дріб'язку відбувається у дві стадії з попереднім просіванням матеріалу на грохоті ГІТ-42 з розміром щілини поверхні що просіває не більше 20 мм.

Шматки коксу розміром більше 20 мм дробляться у коротко конусних дробарках ККД 01750, а клас менше 20 мм у чотирьохвалкових дробарках Д4М

900×700 мм. Антрацитовий штиб дробиться у молоткових дробарках ДМРИЄ 14,5×13, крупність палива регламентується СОУ 740-06-2004.

1.8. Дозування компонентів агломераційної шихти

Основне призначення дозування – забезпечення шихтовими матеріалами виробництва агломерату в заданому співвідношенні і здійснюється автоматичними системами, що враховують: фактичну продуктивність, необхідну продуктивність по компонентах і їх процентне співвідношення.

Дозування шихтових матеріалів проводиться у шихтовому відділенні у ваговому співвідношенні відповідно до розрахунку шихти.

Співвідношення матеріалів у шихті повинно забезпечувати якість агломерату відповідно до діючих технічних вимог.

У шихтовому відділенні над збірними конвеєрами розташовано 64 бункера ємністю по 90 м³:

- 16 бункерів концентрату;
- 12 бункерів аглоруди;
- 4 бункери збагачених сталеплавильних шлаків (ільменитового концентрату);
- 20 бункерів для суміші кальцинованого й доломітизованого вапняків;
- 12 бункерів для суміші твердого палива – коксового дріб'язку й вугілля АШ.

Для забезпечення максимального усереднення компоненти шихти повинні, по можливості, завантажуватися одночасно у два бункери самоскидним візком, що працює в човниковому режимі. При цьому дозування кожного компоненту відбувається максимально можливим числом вагодозаторів на кожен конвеєр.

Щоб уникнути підвисання матеріалів і порушення точності їхнього дозування не допускається скорочення запасів матеріалів у бункерах менш ніж на 1/3 їх ємності.

Рівномірність видачі матеріалів з бункерів забезпечується їх систематичним обваленням за допомогою систем пневмообвалення.

Дозування концентрату технологічного здійснюється тарілчастими живильниками; аглоруди – тарілчастими живильниками й стрічковими дозаторами; вапняку, палива і збагачених сталеплавильних шлаків (ільменітового концентрату) – стрічковими вагодозаторами, включеними в схему дозування аглошихти.

Регулювання, видача з бункерів компонентів шихти здійснюється на тарілчастих живильниках шляхом зміни швидкості обертання тарелі, а на стрічкових вагодозаторах – зміною швидкості руху стрічки.

Залізородна частина шихти зважується конвеєрними вагами, установленими на збірних конвеєрах.

Флюси дозуються у шихту в кількості необхідній для одержання основності агломерату відповідно до діючих технічних вимог.

Паливо в шихту дозується вагодозаторами. Його витрата коректується за розпорядженням агломератника 6-го розряду залежно від ходу процесу спікання.

Сукупною кінцевою продукцією аглоцеху № 3 й аглоцехів № 1 і № 2 є агломерат, спікаємий в аглоцехах № 1 і № 2 з підготованої аглоцехом № 3 шихти. Показники хімічного складу агломерату, за винятком вмісту в ньому закису заліза (FeO) і фракції 0 – 5 мм, ставиться до показників АЦ № 3 і повинні відповідати вимогам ТУ В322-228-67-2003.

Технічні вимоги включають наступні показники якості агломерату:

- масову частку заліза й припустими відхилення;
- базову основність по відношенню CaO/SiO_2 і припустимі відхилення;
- масову частку закису заліза, окису магнію й інших елементів (при необхідності) і припустимі відхилення;
- масову частку крупності 0 – 5 мм і припустимі відхилення.

Випробування агломерату й визначення фактичних показників якості здійснює ВТК ГЗК, а контроль визначення показників якості робить ЦЗЛ ГЗК.

Якість агломерату регламентується технічними умовами ТУУ 322-228-67-2003 «Агломерат залізорудний офлюсований магнезійний гірничо-збагачувального комплексу».

Завданням агломераційного виробництва є одержання агломерату для доменного переділу із суміші залізорудного концентрату, аглоруди, сталеплавильного шлаку (легуючих домішок) і залізовмісного оборотного продукту шляхом спікання її з відповідною кількістю флюсів (звичайного і доломітизованого вапняків, вапна) при використанні твердого палива (коксового дріб'язку, антрацитового штибу).

Високі техніко-економічні показники агломераційного виробництва досягаються на основі суворого дотримання оптимальних параметрів технологічних процесів, установлених відповідно до діючої нормативно-технічної документації.

Установлення єдиної методики ведення й регулювання технологічних процесів й операцій здійснюється з метою досягнення оптимальної продуктивності агломашин й одержання агломерату відповідно до вимог діючих стандартів і технічних умов (ТУ) і Єдиними правилами безпеки при дробленні, сортуванні, збагаченні корисних копалин й окускуванні руд і концентратів» при оптимальних витратах сировини і палива.

1.9. Первинне змішування шихтових матеріалів

Після дозування в АЦ № 3 шихтові матеріали подаються двома потоками конвеєрів і розвантажуються в змішувальні барабани для первинного змішування.

Метою первинного змішування є одержання однорідної суміші компонентів шихтових матеріалів і твердого палива.

Первинне змішування шихти відбувається у первинних змішувальних барабанах СБ 3,2×8 (діаметр – 3,2 м і довжина – 8 м) при швидкості їх обертання 5 – 9 об./хв.

У поступаючи на первинне змішування шихту вводиться зворот. Крупність звороту не повинна перевищувати 12 мм. Подача звороту в шихту з бункерів виконується тарілчастими живильниками з регульованою швидкістю обертання тарелі.

Після первинного змішування шихтові матеріали подаються двома потоками в бункери агломераційних машин. Видача шихти з бункерів здійснюється тарілчастими живильниками з регульованою швидкістю обертання тарелі.

Далі шихта подається стрічковими живильниками (по одному на кожен бункер) в окомковувальні барабани.

1.10. Вторинне змішування й окомкування шихтових матеріалів

Вторинне змішування і зволоження й окомкування шихти проводиться в окомковувальних барабанах СБ 2,8×8 (діаметр – 2,8 м і довжина – 8 м) при швидкості їх обертання 5 – 9 об./хв.

Зволоження шихти здійснюється розбризкувачами у вторинних змішувачах, що забезпечують розподіл вологи по всій масі шихти й дозволяють зменшити час окомкування.

Відхилення вологості шихти від оптимальної величини призводить до погіршення її газопроникності, порушення температурно-теплового режиму, зниженню виходу придатного агломерату і продуктивності агломашин.

У вторинних змішувачах здійснюється підігрів шихти шляхом спалювання суміші природного і коксодоменного газів.

1.11. Завантаження шихти на агломашину

Змішана, зволожена, окомкована і підігріта шихта човниковим розподільником завантажується в бункер барабанного живильника а потім по розвантажувальному лотку надходить на агломашину.

Продуктивність барабанного живильника регулюється таким чином, щоб рівень шихти на колосникових ґратах в момент завантаження був трохи вище нижнього краю завантажувального лотка. Площа колосникових ґрат повинна бути повністю заповнена шихтою.

Завантаження шихти повинне здійснюватись без переущільнення, рівномірним шаром по довжині й ширині поверхні палет.

Для вирівнювання поверхні шихти за завантажувальним лотком встановлена гладилка.

Висота шару шихти встановлюється відповідно до технологічних карт.

Висота шару шихти на агломераційних машинах повинна бути не менше 280 мм і змінюватись за узгодженням з головним агломератником ГЗК.

1.12. Зовнішнє нагрівання аглошихти й експлуатація горнів

Зовнішнє нагрівання аглошихти здійснюється запалювальними горнами з торцевим розташуванням пальників (4 шт.), що працюють на суміші природний-коксодомений газ, що забезпечує інтенсивність запалювання в активній зоні (кількість тепла в одиницю часу, віднесена до 1 м² поверхні спікаємого шару) у межах 28 – 48 МДж/м², при коефіцієнті витрати повітря 2,8 – 5 од.

При нагріванні аглошихти протікають три послідовних і безперервних у часі процеси:

- попереднє нагрівання шару шихти;
- запалювання палива;
- додаткове нагрівання шару (вирівнювання максимальних температур по шару).

Оптимальний режим зовнішнього нагрівання забезпечує:

- мінімальне зниження газопроникності шару (мінімальну усадку шару);
- швидке запалення й інтенсивне вигорання часток твердого палива у верхній частині шару шихти під горнами);

- одержання спеку верхньої частини шару, близького по міцності до спеку середньої частини шару;
- максимальне зниження питомої втрати газового палива;
- рівномірну температуру продуктів згорання над шаром і по ширині горну;
- підтримку тиску в горні, рівного атмосферному (без вибивання газів з горну й підсмоктувань у нього повітря).

Запалювання шихти відбувається сумішшю природний-коксодоменний (доменний) газ, теплотворною здатністю 2700 – 3300 ккал/м³ у кількості, що забезпечує оптимальний режим запалювання шихти. Температура запалювання шихти повинна бути не меншою 1100 °С.

Тиск суміші газів у газопроводі повинен бути не менше 1,0 кПа.

Кожен горн обладнано дуттєвими вентиляторами (12 вентиляторів на 6 агломашин, тобто один основний і один резервний на кожну агломашину).

1.13. Процес спікання

Спікання підготованої шихти є основним етапом у технології виробництва агломерату. Спікання шихти проводиться на колосникових ґратах агломераційної машини при просмоктуванні повітря зверху вниз за рахунок розвитку високих температур при горінні вуглецю в шарі шихти й рекуперації тепла верхніх шарів агломерату.

Вміст вуглецю для кожної шихти повинен встановлюватись за умови одержання міцного агломерату при максимальній продуктивності агломашини. Як підвищення, так і зниження вмісту вуглецю в шихті від оптимального супроводжується погіршенням якості агломерату по механічній міцності й зниженням продуктивності агломашини.

Оптимальний вміст вуглецю (палива) в шихті залежить від складу, вологості, висоти шару шихти і у кожному конкретному випадку підбирається

експериментально. При визначенні необхідної витрати палива варто враховувати наявність в шихті вуглецю, внесеного усіма компонентами шихти.

Вміст вуглецю в шихті повинен бути в межах 2,5 – 5,5 %.

Ретельна підготовка шихти повинна забезпечувати стабільність роботи агломашини (з максимально постійною швидкістю і незмінною висотою шару шихти).

Завантаження й зовнішнє нагрівання шару шихти повинні забезпечувати мінімальну зміну швидкості спікання шихти, хімічного складу і міцності агломерату.

Швидкість руху спікальних візків регулюється залежно від вертикальної швидкості спікання шихти. При цьому процес спікання повинен закінчуватись над передостанньою вакуум-камерою зони спікання агломашини.

Про хід процесу спікання судять по даним про розрідження й температурі відходячих газів у вакуум-камерах і газовому колекторі, і по зламу пирога агломерату у розвантажувальній частині машини і по виду агломерату в хоперах.

1.14. Дроблення, просівання, охолодження агломерату. Режим звороту

Спик що розвантажуються з агломашин, піддається дробленню на шнекових дробарках ДЩГ-1688 (дробарка шокова гаряча) і розсіву на грохотах ГСТ-61У (грохот само балансний важкого типу) із щілинами ґрат – 6 мм. Крупність шматків агломерату після дроблення не повинна перевищувати 200 мм.

Охолодження агломерату здійснюється на лінійних охолоджувачах типу ОП-3-125 (охолоджувач прямолінійний) за допомогою продуву повітря через дуттьові камери, які встановлені під полотном лінійного охолоджувача, знизу через шар агломерату висотою не менше 500 мм.

Температура охолодженого агломерату не повинна перевищувати 120 °С, для чого необхідне повне заповнення всієї лощі охолоджувача шаром агломерату однакової висоти й забезпечення витрати повітря в кількості 3000 – 5000 м³ на 1 т агломерату.

Спик після охолодження на лінійному охолоджувачі піддається другій стадії розсіву на грохотах ГСТ-62Б (грохот само балансний важкого типу) із щілинами верхніх ґрат 12 – 20 мм, нижніх – 5 мм.

Охолоджений і сортований агломерат подається конвеєрами на доменну піч № 9. При зупинці конвеєрних трактів доменної печі агломерат відвантажується в доменні цехи в хоперах або обкотишевозах.

Фракція 0 – 5 мм називається зворотом. Зворот є неминучим продуктом агломераційного виробництва і містить у собі дріб'язок і не спечену шихту, що утворюються при розвантаженні спеку з агломашины, просипу пилових мішків газового колектора.

Для прийому звороту під грохотами ГСТ-61У встановлені бункери. Далі гарячий зворот пластинчастими конвеєрами подається в барабани гасіння, де охолоджується водою до температури не більше 90 °С. Після охолодження в барабанах гасіння зворот подається на збірні конвеєра.

1.15. Порядок вивантаження й складування агломерату

Вивантаження агломерату на склад здійснюється за вказівкою виробничого відділу ГЗК. Подача аглохоперів і вивантаження агломерату здійснюється працівниками УЖДТ ГЗК.

Формування штабелів здійснюється з обох сторін естакади на в'ю робочу довжину рівномірно.

Агломерат АЦ №1 і АЦ №2 вивантажуються роздільно на відведених для них ділянках складу, позначених показчиками. На початку естакади складується агломерат АЦ №2, за ним агломерат АЦ №1.

1.16. Склад агломерату

Склад агломерату потрібен для забезпечення безперебійної роботи аглоцехів №1 і №2 у випадку відсутності можливості відвантаження агломерату

по звичайній технологічній схемі і створення буферного запасу агломерату для відвантаження споживачам.

1.17. Відвантаження агломерату зі складу

Відвантаження агломерату зі складу здійснюється за вказівкою виробничого відділу ГЗК.

Товарний агломерат відвантажується зі складу екскаватором ЄКГ-4 зі штабелів, вказаних майстром ділянки відвантаження сировини.

Подача агломерату, відвантаженого зі складу, проходить випробування на ділянці контролю й випробування сировини ВТК і відправляється споживачеві.

Контроль зі відвантаженням агломерату здійснює майстер ділянки відвантаження сировини агломераційного цеху №3.

Якісні показники відвантаженого агломерату повинні відповідати діючим вимогам технічних умов «Агломерат залізорудний офлюсований магнезіальний гірничо-збагачувального комплексу» [1].

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ

2.1. Способи виробництва вапна в агломераційному виробництві

За останні роки рівень використання вапна в агломераційному виробництві нашої країни практично не змінювався і складає 25 – 40 кг/т агломерату. На вітчизняних фабриках використовують вапно, що отримується як на обладнанні, що забезпечує виробництво різних за призначенням типів вапна (конвертерного,

агломераційного, електросталеплавильного та інш.), так і у спеціальних агрегатах, що призначенні тільки для отримання агломераційного вапна. У останньому випадку обпалювальні агрегати, як правило, включені до технологічної схеми аглофабрики і реалізують різноманітні способи обпалу на рухливій колосниковій решітці [3].

Шахтні піч представляє собою встановлену вертикально на фундаменті шахту, в верхній частині якої передбачений пристрій для завантаження початкових матеріалів, а у нижній – пристрій для вивантаження готового продукту.

Матеріал рухається по шахті з гори до низу і послідовно проходить три технологічні зони: підігріву, обпалу і охолодження. В зоні підігріву відбувається нагрів сирих матеріалів до 900 °С за рахунок тепла газоподібних продуктів, що підіймаються з зони обпалу. В зоні обпалу має місце горіння палива і розклад вапняку на вапно і вуглекислий газ при 1000 – 1200 °С.

В нижній частині вапно охолоджується холодним повітрям що рухається з низу до гори до 80 – 120 °С. По способу обпалу розрізняють наступні шатні печі: пересипні, напівгазові, на газоподібному та рідкому паливі.

Пересипними називають печі, в яких шар обпалює мого матеріалу знаходиться між шарами твердого та короткополум'яного палива.

Напівгазовими називаються печі, в яких паливо надходить до зони обпалу у вигляді газоподібних продуктів газифікації довгополум'яного палива. Газифікація твердого палива здійснюється у виносних топках.

Шахтні печі на газоподібному паливі обладнані пристроями для введення та розподілення у шахті природного, штучного або змішаних газів. Шахтні печі на рідкому паливі обладнані пристроями для введення, розпилення та газифікації мазуту.

Виробництво вапна здійснюється в шахтних печах продуктивністю 50 – 200 т/сут, обладнаних механізмами для автоматичного завантаження та розвантаження матеріалів, керування якими здійснюється з центрального диспетчерського пульта. У різних галузях народного господарства, що

виробляють вапно, запроваджуються шахтні пересипні печі (на твердому паливі) продуктивністю 200 – 450 т/доб і шахтні печі на газоподібному та рідкому паливах продуктивністю 100, 200 і 500 т/доб.

Основними недоліками шахтних печей є: висока собівартість вапна, високі капітальні витрати. По крупності отримане вапно не може використовуватись в агломерації без попередньої підготовки [4].

2.2. Обпал вапняку в печах що обертаються

Обпал вапняку у печах що обертаються набуває все більш широкого застосування завдяки перевагам випальних агрегатів у порівнянні з шахтною піччю, а саме: великої одиничної потужності агрегату, рівномірної якості отримуємого вапна при високому ступені його обпалу (90 – 96 %), можливості обпалу мілких фракцій карбонатної сировини будь-якої механічної міцності і високого ступеня вологості (18 – 30 %). Піч що обертається – це футерований зсередини барабан, встановлений похило (3 – 4 %) на роликових опорах. Розрізняють довгі печі що обертаються з відношенням довжини барабана до діаметра в межах 30 – 40 і короткі з запічними теплообмінниками, для яких відношення довжини до діаметра складає 14 – 20.

Довгі печі що обертаються використовують для виробництва вапна сухим і мокрим способами. При сухому способі карбонатна сировина надходить до печі у вигляді кусків крупністю 5 – 20 або 20 – 50 мм з вологістю 2 – 24 %. При мокрому способі сировина надходить до печі в вигляді сметаноподібної маси (шламу), що містить 37 – 40 % води. Для виробництва вапна використовують переважно сухий спосіб. Довгі печі що обертаються випускаються з внутрішніми теплообмінними пристроями або без них.

В коротких печах що обертаються в залежності від конструкції запічного теплообмінника обпалюють вапняки вузьких фракцій: 0,1 – 2; 10 – 20 ; 20 – 40 мм (вологість до 8 %).

Основним недоліком печей що обертаються є: підвищена питома витрата палива на обпал, великі капіталовкладення на обладнання і споруди, велика металоємність.

2.3. Обпал вапна в печах киплячого шару

При обпалі у киплячому шарі через шар сипкого матеріалу, за знаходиться на решітці, пропускаються висхідний потік газу з такою швидкістю, при якій окремі частинки безперервно циркулюють. У такому стані матеріал набуває текучості, тобто має схожість з рідиною і підкорюється законам гідравліки.

Псевдо зрідження подрібненого матеріалу (до 12 мм) сприяє різкому збільшенню поверхні його контакту з газом. Тепло переноситься від однієї частини слою до іншої завдяки інтенсивному перемішуванню частинок, що сприяє вирівнюванню температури слою. Тому при обпалі вапняку у киплячому слою температуру газів можна підтримувати близькою до теоретичної температури розкладу вапняку, тоді як в шахтній та печі що обертається температура газів повинна біти на 200 – 300 °C вище. Експлуатація печі киплячого шару підтвердила високу ефективність її роботи. Не зважаючи на не повну утилізацію тепла від ходячих газів, витрата умовного палива на обпал 1 т вапняку активністю 85 % складає 175 кг/т.

Отримане вапно доброї якості, рівномірно обпалене при середньому вмісті активних окислів $CaO + MgO$ до 90 %.

Висота псевдо зрідженого шару матеріалу в камерах знаходиться в межах 1 – 1,2 м, а аеродинамічний опір кожного шару в межах 4 – 5 кПа. Печі киплячого шару мають більшу одиничну потужність і дають можливість автоматизувати технологічний процес.

Недоліками печей киплячого шару є значний виніс з печі дрібних фракцій матеріалу (до 30 %), великі капітальні витрати, складна технологія процесу обпалу і необхідність використання вузько класифікованого по крупності вапняка.

2.4. Виробництво вапна на машинах ОПР і ПОР

Машини ОПР і ПОР створені для отримання вапна для агломераційного виробництва. Горизонтальна чашова машина ОПР має продуктивність 150 т/доб, ступені обпалу 60 – 70 % при витраті вуглецю для обпалу 8 – 10 %. Отримане свіже обпалене вапно подається безпосередньо на збірний конвеєр шихтового відділення і далі з усією шихтою до змішувального барабану, де відбувається її гасіння.

До основних недоліків машини ОПР відносяться: низький ступінь обпалу через поступове забивання колосникової решітки і необхідність зупинки машини кожні 8 – 10 годин на 1 – 1,5 години для очистки решітки.

Машина ПОР не потребує очистки колосникової решітки, але ступінь обпалу на ній значно нижча ніж на ОПР.

2.5. Застосування модернізованої без провальної цепної решітки (БЦРМ) для обпалу вапна

На заводі «Запоріжсталь» введена у експлуатацію установка для обпалу вапна на БЦРМ. Готовий продукт (свіже обпалений вапняк) видається на збірний конвеєр для агломераційної шихти.

Коксовий дріб'язок (3 – 0 мм) і вапняк (10 – 3 мм) подають конвеєрами (ширина стрічки 800 мм) в металеві зварні бункера об'ємом по 68 м³. Розвантажувальні воронки бункерів обладнані заслінками, що дозволяє видавати вапняк і кокс на стрічкові живильники в заданій пропорції. Ширина стрічки живильника 800 мм, швидкість руху стрічки 0,18 м/с, продуктивність по вапняку складає 32 т/год. З бункерів коксовий дріб'язок і вапняк надходять на стрічковий ковшовий елеватор типу ЛГ-350 (ширина стрічки 400 мм, швидкість руху стрічки 1,25 м/с, продуктивність 42 м³/ч), що підіймає матеріали на висоту 16 м для

загрузки їх в шнековий змішувач. Змішування шихти відбувається одночасно з її зволоженням водою, що підводиться на початку змішувача.

Для рівномірного розподілення шихти по ширині колосникової решітки використовують маятниковий живильник, а для загрузки на колосникову решітку – барабанний живильник (швидкість обертання барабану діаметром 270 мм близько 4 об/хв.). Паливом для обпалу вапняка слугує коксовий дріб'язок (до 15 % золи і вологи) і антрацитовий штиб (до 17 % золи і до 10,5 % вологи). Шихта, що складається з 10 % палива і 90 % вапняка, зволожується до вмісту 3 – 3,5 % вологи. Процес запалювання шихти регулюється кількістю спалюємого природного газу таким чином, щоб температура поверхні шихти була не менше 1000 °С. Контроль за процесом обпалу здійснюється по температурі від ходячих газів і розрідженню у вакуум-камерах під колосниковою решіткою.

Якість обпалу визначається по вмісту CaO в обпаленому вапні, яке при нормальній роботі машини становить у середньому 73 – 78 %. Продуктивність установки 420 – 450 т/доб.

2.6. Конвеєрна машина для обпалу вапна

На теперішньому етапі розвитку агломераційного виробництва розроблена принципово нова цепна машина, малі габарити якої дозволяють встановити її у шихтовому відділенні аглофабрики. Довжина машини (по осях зірочок) 9,8 м, ширина (по осям ланцюгів) 2,38 м, висота (від рівня колосників до низу каркаса розвантажувальної частини) 2,35 м. Повна висота машини з урахуванням укриття, котре при необхідності може бути значно знижене) 4,35 м.

Надійність, довговічність і ремонтпридатність машини значно покращені: вона має лише два тягових ланцюга, між якими закріплені спеціальні пеллети, набрані колосниками, систему газоочищення що включає дві стадії.

Попередня система газоочищення не забезпечувала повного дотримання санітарних норм, тому її замінили новою двоступінчатою газоочисткою.

Першим ступенем є газовий колектор за вакуум-камерами, в пилові мішки якого випадають частинки пилу крупністю 1 мм.

Другий ступінь газоочистки складається з трьох груп по шість циклонів у кожній (типу ЦН-15 діаметром 750 мм), що уловлюють частинки пилу від 10 до 60 мкм. Мілко дисперсні частинки уловлюються на третьому ступіні очищення у барабанному циклоні з елементами діаметром 100 мм. Очищені гази видаляються через димову трубу висотою 29 м, діаметром 2,82 м. Джерелом тяги слугує вентилятор типу ВМ-160/850. При питомому виході газу 5000 м³/т вапна з коефіцієнтом надлишку повітря, рівним 3,4 і початковим пило вмістом газу 2,5 м³/т наведена система газоочищення забезпечує залишковий пило вміст у чистому газі 80 – 100 мг/м³, що відповідає санітарним нормам.

Уловлений пил видаляється гідротранспортом. Температура газу після очищення складає 80 – 100 °С, що виключає осадження вапнякового пилу на роторі вентилятора і свідчить про теплову економічність процесу [5].

Машина працює надійно і стабільно. технологічні показники її роботи наступні:

Таблиця 2.1 – Технологічні показники роботи конвеєрної машини по обпалу вапна

Крупність вапна, мм	3 – 12
Витрата природного газу на запалювання, м ³ /т вапна	6,6
Висота обпалуємого шару, мм	600
Розрідження під решіткою, кПа	4
Ступінь обпалу, %	
по окису кальцію	82 – 90
по окису магнію	0,8 – 3,0
Виробництво вапна, т/доб	600
Витрата електроенергії, кВт/т вапна	20

Висока продуктивність, низькі капітальні витрати (у декілька разів менші ніж для печі киплячого шару), малі габарити, висока стійкість устаткування і добра якість вапна роблять цю машину найбільш придатною до використання у агловиробництві.

2.7. Використання вапна при агломерації

Оскільки ефективність використання вапна при агломерації в значній мірі залежить від взаємодії вапна з іншими компонентами шихти, то питанню подачі вапна в аглошихти приділяється велика увага. З метою підвищення міцності агломерату, покращення екологічної обстановки і підвищення продуктивності процесу обпалу запропоновано подрібнювати вапно у потоці шихти, наприклад спільно з окисленою залізною рудою і сирим флюсом [5]. При цьому вміст класу 0 – 0,1 мм у подрібненій суміші повинен досягати 20 – 55 % при відношенні по масі між вапном, окисленими залізними рудами і сирим флюсом, рівним 1:(3 – 5):(10 – 5). Одночасно в масі початкових компонентів перед подрібненням кількість вільної гігроскопічної води підтримують у 2 – 3,5 рази вищою, ніж теоретично потрібно для гасіння вапна, а кількість рудних частинок розміром менше 100 мкм підтримують таким, що перевищує кількість частинок вапна тієї ж крупності більш ніж у 1,2 рази [6].

В результаті лабораторних і промислових досліджень по спіканню агломераційних шихт з різною масовою часткою вапна, тривалості витримки її у штабелі з концентратом і (або) шламом з різною масовою часткою твердого палива в шихті виявлено, що на кожні 7 – 10 кг/т агломерату вводимого вапна з оптимальною тривалістю «вилежування» 3 – 5 діб витрати твердого палива знижуються на 1 – 3 %. Така технологія спікання забезпечую зменшення витрат твердого палива на 3,5 кг/т агломерату і вміст дріб'язку 5 – 0 мм в агломераті на 0,5 %, а також зменшення вмісту пилу на 11,3 %, окису вуглецю на 3,91 %, окису азоту на 18,7 % у від ходячих газах.

Разом з традиційними способами подачі вапна в аглошихту вдосконалюються способи використання вапна шляхом накатування його на поверхню гранульованої шихти, зволоження шихти вапняковим молоком. Для інтенсифікації процесу спікання і підвищення якості агломерату запропоновано подавати вапно у перезволожену шихту у барабанному окомковувачі. В

лабораторних умовах вивчали вплив на процес агломерації подачі частини вапна (0,8 %) через 40, 65, 130, 170 с після початку окомкування.

В базовому режимі усе вапно подавали в шихту, котру потім окомковували впродовж 180 с. Вологість шихти складала 8,45 %. Спікання проводили у чаші діаметром 0,3 м при висоті слою шихти 0,32 м.

Подача вапна на гранули впродовж 65 с після початку окомковування забезпечує максимальну газопроникність слою аглошихти, підвищує питому продуктивність установки на 8,3 % (відносні) і знижує вміст дріб'язку 5 – 0 мм на 0,6 % (абсолютні).

У дослідницькому інституті промислової науки і технології (Південна Корея) у лабораторних умовах вивчали процес спікання аглошихти, зволоженої вапняковим молоком з різною величиною рН. Збільшення концентрації окису кальцію у розчині від 0 до 10 % підвищує рН розчину до 13, а потім не впливає на цю величину, електропровідність розчину збільшується при цьому на 12 – 13 %, а потім стабілізується. Змочування рудних частинок розчином впливає на їх електростатичні властивості і покращує комкуємість. Експериментальні дослідження по спіканню проводили в аглочаші діаметром 400 мм і висотою 500 мм, обладнаною комп'ютерною системою контролю параметрів процесу і регулювання розрадження. Кращі результати по газопроникності слою аглошихти і тривалості спікання отримані при зволоженні шихти вапняковим молоком, а також при зволоженні шихти гарячою водою з добавками вапна. Подібні технології подачі вапна в шихту забезпечують рівномірне розподілення його в об'ємі шихти, що позитивно впливає на процес феритоутворення. Саме цим пояснюється підвищення металургійних властивостей, у тому числі і гаряча міцність агломерату.

Розроблений і досліджений спосіб роздільної грануляції двох видів аглошихт, що відрізняються вмістом вапна. Розділення в структурі аглошихти частинок з підвищеним і зниженим вмістом вапна сприяє збільшенню газопроникності шихти і ефективно знижує руйнування агломерату при відновленні. Спосіб реалізований на аглофабриці № 2 металургійного заводу в

Камше (Японія) у 1987 р. Для цього на аглофабриці збудована нова лінія окомкування аглошихти, включаючи до складу новий змішувач. При наявності на аглофабриці декількох самостійних технологічних ліній підвищити ефективність використання вапна в аглошихті можна шляхом раціонального пере розподілення вапня між окремими лініями виробництва агломерату. Так на аглофабриці № 2 Карагандинського металургійного, обладнаній трьома агломашинами АКМ-9-312, підвищення якості вапнякування шихти досягнуто в результаті збільшеної (до 40 кг/т агломерату) витрати вапна в шихту однієї агломашини. На відміну від розосередженої (11 – 13 кг/т агломерату на кожную машину) це дозволило підвищити в 2,5 – 3 рази ефективність використання вапнякового пилу газоочистки печі КС-1000 (75 % $\text{CaO}_{\text{заг.}}$, 45 % $\text{CaO}_{\text{акт.}}$).

На цій-же аглофабриці розроблений і випробуваний новий спосіб отримання агломерату з подачею вапна і звороту в різні об'єми шихти. Цей спосіб базується на експериментально встановленому положенні про те, що сумісне використання в аглошихті вапна і звороту знижує інтенсифікуючий ефект впливу кожного з них окремо. Найбільш значний ефект від застосування вапна забезпечується у тому випадку, коли одночасно зі збільшенням її частки зменшується частка звороту у шихті. При масовій частці вапна в шихті більш 3 % додавання звороту призводить до зниження продуктивності агломашини.

2.8. Роль вапна в процесах окомкування і спікання агломераційної шихти

Дослідження взаємозв'язку процесів окомкування і спікання при агломерації тонкоподрібнених концентратів, проведене в ДонНДІчерметі, виявило, суттєвий вплив вологості шихти на властивості сирих гранул і їх поведінку в ході спікання. При цьому встановлено, що добавка в шихту вапна не суттєво впливає на міцність гранул перед спіканням, але призводить до зниження усадки слою в процесі спікання на 30 – 60 %, тобто підвищує стійкість гранул у зоні перезволоження і сушки. внаслідок збільшення волого- і термостійкості гранул питома продуктивність аглоустановки при спіканні шихти основнію 1,3

з середньо гармонічним діаметром частинок 1,2 мм при додаванні 2 % вапна збільшилась з 0,5 до 1,0 т/(м²·г) [7].

При однаковому середньо гармонічному діаметрі гранул (близько 2 мм) питома продуктивність установки складає для шихти з рівномірно розподіленим вапном 1,3 т/(м²·г), а для шихти з накатаним на гранули вапном – 1,7 т/(м²·г).

Підвищена термо- і вологостійкість вапнякових гранул може бути пояснена карбонізацією вапна діоксидом вуглецю від ходячих газів. Процес карбонізації вапна в шарі спікаємої шихти виявили експериментально, з використанням методів радіоактивних ізотопів. Індикатором обрали ізотоп C¹⁴, який задається в шихту в якості твердого палива. Найбільший ступінь карбонізації (≈ 30 %) досягається при подачі 2 % вапна в кінці процесу окомкування. Подальше збільшення долі вапна в шихті при різних способах її введення супроводжується зниженням ступеня карбонізації. Вірогідно, це зумовлено зниженням вологості шихти. Відомо, що вода є каталізатором реакції карбонізації, котра проходить через стадію взаємодії гідроокису кальцію з вуглекислим газом. Очевидно, що карбонізація вапна здійсненна лише за відсутності підігріву шихти до точки роси.

Досліджені показники спікання підігрітої до 60 – 65 °С шихти основнію 1,3, підготованої на основі концентрату Інгулецького ГЗК. В якості флюсу використовували вапняк і подрібнене до крупності менше 0,63 мм вапно печі киплячого слою при зміні його вмісту в шихті від 0 до 6 %. Окомковану шихту підігрівали у герметичній ємності за допомогою зовнішнього обігріву. Спікали шихту в чаші площею 0,77 м² при висоті слою 0,3 м. Початкове розрідження складало 10,2 кПа і забезпечувалось завдяки незмінності еквівалентного діаметру гранул у досліджуваних шихтах.

Як видно з рисунку 2.1 подача 3 % вапна в шихту до змішування компонентів без попереднього підігріву дозволяє досягнути найбільшої продуктивності і перевищити показники спікання шихти без додавання вапна у 2,2 рази. Попередній підігрів шихти локалізує зону перезволоження, тому інтенсифікуючий вплив вапна проявляється в меншій мірі. При подачі вапна у

кінці окомкування на сформовані гранули найбільший ефект отримали при 2 % вапна в шихті. Таким чином, накатування вапна дозволяє не тільки підвищити ефективність його використання, але й забезпечує зниження витрат вапна.

Лабораторні дослідження процесу спікання Лисаковського магнітного концентрату з отриманням офлюсованого агломерату основністю $\text{CaO/SiO}_2 = 1,45$ показали, що часткова (до 75 %) заміна вапняка при вводиті вапна до змішування компонентів (графіки ліворуч) і в кінці окомкування (графіки праворуч) суттєво інтенсифікує агломераційний процес. Хрестики – не підігріта шихта, нулики – попередньо підігріта шихта з еквівалентною по вмісту окису кальція кількістю свіжеобпаленого вапна.

При цьому зміна висоти спікаємого шару в межах 240 – 450 мм (витрата вапна 50 кг/т агломерату) супроводжується (при постійному розрідженні під колосниковою решіткою) збільшенням питомої продуктивності установки з 1,30 до 1,55 т/(м²·ч). Це відбувається як в результаті збільшення вертикальної швидкості спікання (з 22 до 28 мм/хв.), так і завдяки збільшенню виходу гідного продукту (з 66 до 75 %).

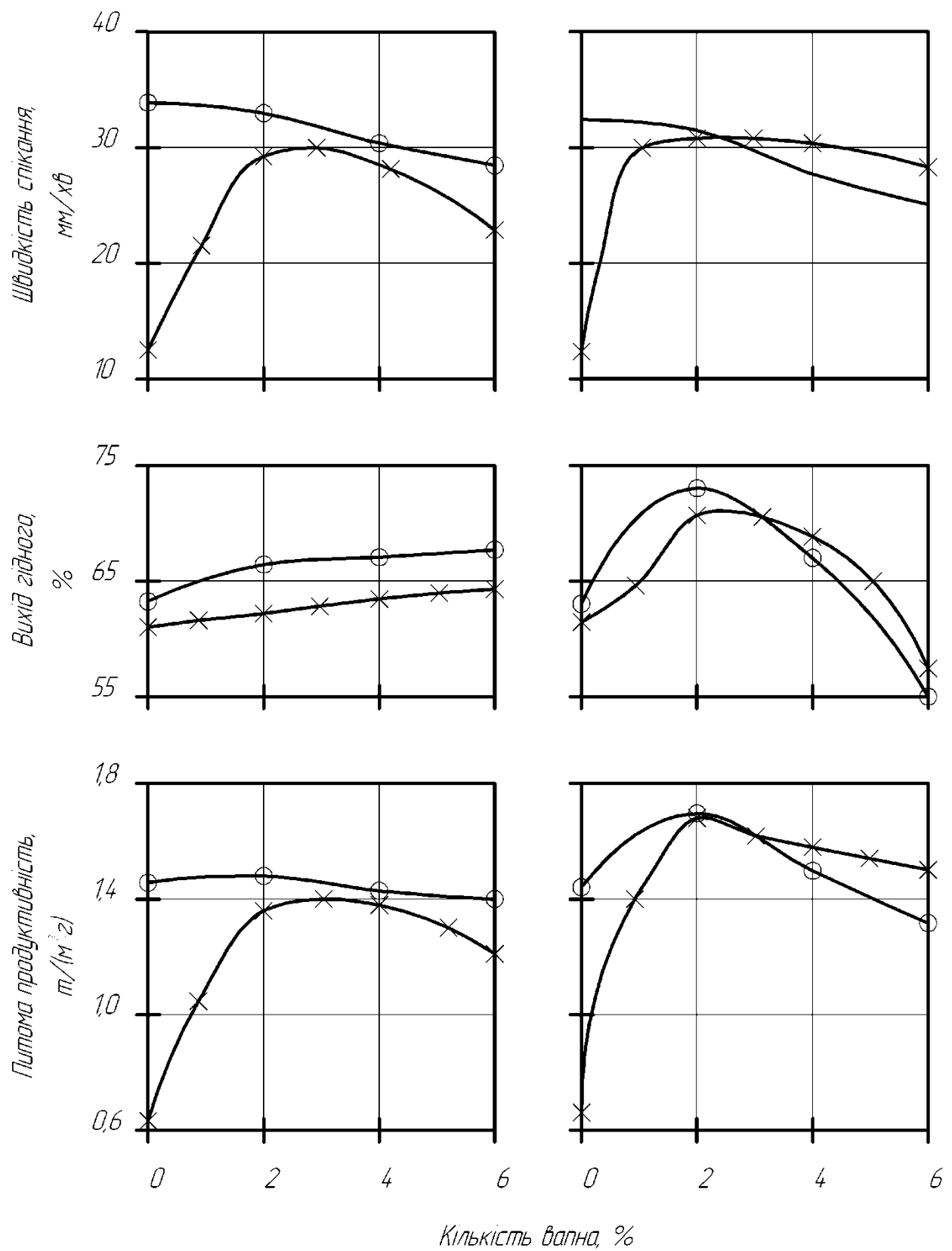


Рисунок 2.1 – Залежність показників спікання від кількості вапна у шихті

2.9. Вплив основності агломерату на його якість і економіку виробництва

Міцність офлюсованого агломерату (основністю $\text{CaO/SiO}_2 = 0,9 - 1,4$) нижче міцності не офлюсованого, що пов'язано зі зміною фазового складу і структури агломерату при збільшенні основності. Включення вільного вапна в агломераті гасяться зі збільшенням у об'ємі більш ніж у 2 рази, що приводить до поступового руйнування агломерату при зберіганні. Знижена міцність агломерату в інтервалі основності $0,8 - 1,8$, а особливо при основності $1,3 - 1,4$, пояснюється багатофазністю його мікроструктури і різною механічною міцністю структурних складників, а також присутністю у зв'язці двокальцієвого силікату ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$), схильного до поліморфного $\beta \rightarrow \gamma$ перетворення при температурі 675°C зі збільшенням об'єму. При основності $0,8 - 1,3$ характерно є мігнетитооливінова структура, в якій роль зв'язки виконують у різному ступіні розкристалізовані залізокальцієві олівіни. Зі збільшенням основності агломерату (більше $1,9 - 2,0$) збільшується його міцність і відновлюваність.

В лабораторних умовах виявлено, що при збільшенні основності з $0,7$ до $1,25$ вміст фракції $5 - 0$ мм після випробувань у барабані збільшувався з $22,6$ до $26,1$ %, а в інтервалі основності $1,9 - 5,0$ знижувався з $21,6$ до 10 %. Єдиної думки стосовно механізму зміцнення високо основних агломератів не існує. Високо основні агломерати по мінералогічному складу і структурі різко відрізняються від агломерату основністю $1,2$. Збільшення основності агломерату пояснюють зміною складу зв'язки: високим вмістом феритів кальцію і двокальцієвого силікату. Однією з причин недостатньої міцності агломерату є поліморфізм двокальцієвого силікату; разом з тим агломерат основністю більше $2,0$ з високим вмістом двокальцієвого силікату (26 % в агломераті основністю $2,63$) по міцності не поступається не офлюсованому. В агломераті основністю 0% , роль зв'язки виконують ферити кальцію. силікати кальцію рівномірно розподілені по усьому об'єму агломерату у вигляді дрібних виділень у цементуючому середовищі (феритах), котре здатне протистояти збільшенню об'єму включень двокальцієвого силікату і тим самим фізично протистояти фазовому перетворенню, що відбувається при наявності умов для збільшення об'єму [8].

Можливий і інший механізм стабілізації двокальцієвого силікату. Відновлюваність руд і концентратів НКГЗКу з підвищенням основності від 0,57 до 1,3 зменшується з 69 до 59 %, а потім збільшується і при основності 2,5 – 2,7 складає близько 80 %. З підвищенням основності від 0,67 до 3,37 ступінь десульфурзації зменшується з 93 до 48 % при використанні у якості флюсу вапняку. Добавка MgO в шихту в виді доломитизованого варнака при виробництві агломерату основністю 1,5 – 3,5 дозволяє збільшити міцність агломерату, покращити видалення сірки і одночасно підвищити продуктивність аглоустановки. Введення від 2,5 до 4,0 % доломіту також призводить до підвищення міцності агломерату. Підвищення міцності офлюсованого агломерату може бути досягнуте при заміні сирого вапняку у агломераційній шихті залізо флюсом (агломератом основністю близько 5,0 і вище). Цей метод був випробуваний у промислових умовах на агломераційній фабриці заводу «Запоріжсталь», а потім на Гороблагодатській агломераційній фабриці.

Введення в агломераційну шихту залізофлюсу сприяє видаленню з офлюсованого агломерату вільного вапна і забезпечує отримання агломерату з міцною мілко пористою структурою, що більш міцна і легко відновлювана.

Високо основний агломерат (залізо флюс) потрібної міцності і кускуватості може бути використаний безпосередньо у доменній плавці сумісно з офлюсованим агломератом зниженої основності (при якій ще не відбувається зниження його міцності), з кусковою рудою і не офлюсованими обкотишами.

У 1961 році було запропоновано використовувати у доменній плавці агломерати двох основностей, співвідношення яких визначалось конкретними умовами. Так, для Нижньо-Тагільського металургійного комбінату (НТМК) рекомендована суміш агломератів, що складається з 87 % агломерату основністю 0,7 і 13 % агломерату основністю 5,0. Припускали, що міцність такої суміші по виходу фракції + 10 мм після випробувань у барабані буде складати 60 % порівняно з 42 % для звичайного агломерату основністю 1,2 при однаковій відновлюваності. Отримання і використання залізо флюсу у агломераційній і доменних шихтах і у дослідних і у промислових масштабах реалізовано у Росії,

Японії, та інших країнах. При використанні на НТМК двох типів агломерату основністю 2,0 і 0,9 середня продуктивність агломераційної фабрики збільшилась на 2,2 %. В умовах Челябінського металургійного заводу для покращення міцносних якостей агломерату рекомендовано виробляти агломерат основністю 0,7 – 0,8 і 2,6 – 2,8 у співвідношенні 2:1 (основність доменної шихти має бути нижчою 1,4).

У цьому випадку, не зважаючи на дещо підвищений вміст сірки у високо основному агломераті, витрати коксик у при отриманні агломератів різних основностей будуть такими ж, як і при виробництві агломерату основністю 1,2 – 1,3. На деяких іноземних заводах планується перехід на промисловий випуск агломерату підвищеної основності (типу залізофлюс) або двох сортів: високої та низької основності.

Виробництво залізофлюсів характеризується відносно гіршими економічними показниками, ніж виробництво агломератів звичайної основності.

Але не дивлячись на це використання у доменній шихті залізофлюсів як агломераційного так і доменного дозволяє отримувати кращі показники виробництва.

Позитивний ефект, пов'язаний з використанням залізофлюса у складі агломераційної шихти замість сирих флюсів не лише компенсує перевитрати на отримання залізофлюсів, але й забезпечує кращі економічні показники при виробництві агломерату, повністю офлюсованого залізофлюсом. Такий агломерат характеризується відносно кращими металургійними властивостями [9].

Не залежно від виду залізрудного матеріалу а також способу подачі вапна інтенсифікуючий вплив вапна у агломераційному процесі реалізується за рахунок двох факторів: 1) збільшення вертикальної швидкості спікання внаслідок формування сприятливої структури шихти і збереження її в ході спікання; 2) підвищення виходу гідного агломерату внаслідок зміцнення спіку. Одночасне покращення гранулометричного складу шихти дозволяє збільшити

висоту спікає мого шару з відповідним підвищенням виходу гідного агломерату і ростом показників процесу.

3. Постановка задачі

Мінімізація витрат на отримання якісного офлюсованого агломерату – це головна задача сучасних агломератників. Ця мета може бути досягнута різними шляхами, але найбільш раціональний і найменш витратний – введення в агломераційну шихту різних домішок, що інтенсифікують процес спікання і поліпшують якість агломерату.

В даній роботі вивчається вплив на аглопроцес часткової заміни вапняку активним вапном, і розкриваються наступні питання:

- 1) інтенсифікуючий вплив активного вапна на аглопроцес;
- 2) оптимальна кількість вапна у аглошихті;
- 3) оптимальне співвідношення між активним вапном і вапняком;
- 4) Вибір способу введення вапна у шихту;
- 5) вплив вапна на якість агломерату.

4 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1. Аналіз стану виробництва агломераційного вапна і ефективності його використання

Використання вапна у агломераційній шихті по своїм результатам направлене переважно на зміцнення гранул і їх збереження у зонах перезволоження, сушки і інтенсивного нагріву. У свою чергу міцність ($\sigma_{\text{сп}}$) сирих гранул [крім зовнішніх уплотнюючих впливів через емпіричні коефіцієнти А, В і С у рівнянні (4.1)] практично повністю визначається відстанню між поверхнями вологих частинок:

$$\sigma_{\text{сп}} = A \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon d} \right) - B \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon d} \right)^2 + C \left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon d} \right)^3, \quad (4.1)$$

тобто є величиною структурного фактору $\left(\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon d} \right)$, що включає у себе пористість гранул (ε) і лінійний розмір частинок (d). Саме з цими двома параметрами пов'язаний позитивний вплив гашеного вапна. По-перше, при диспергуванні вапна утворюються колоїдні частинки (d зменшується), лінійні розміри яких в 50 – 100 разів менше лінійних розмірів частинок залізорудного концентрату. В результаті формується чисельні контакти між частинками основної фази – концентратом. По-друге, після розчинення частинок СаО у воді і перенасичення розчину у поровому просторі гранул утворюється гель, який при висушуванні переходить у каменевидну зв'язку (ε зменшується), що ще більше зміцнює гранули і робить їх стійкими проти перезволоження. Цьому сприяє і збільшення максимальної капілярної вологоємності шихти при додаванні в неї вапна [10].

Негашений вапняк, що використовується у агломераційному виробництві, є мінеральною зв'язуючою речовиною. Його зв'язуючі властивості визначаються реакційної здатністю (тривалістю гасіння) і виходом при гасінні вапнякового тісті. В свою чергу вказані фактори залежать головним чином від температури обпалу вапняку і тривалості витримки вапняку при цій температурі. На рисунку 4.1 представлені експериментальні дані, що показують залежність тривалості гасіння вапна ($\tau_{\text{зас}}$) від тривалості ізотермічної витримки в процесі обпалу (τ_t)

при різних температурах (t). Обробка графічних даних дозволила отримати двопараметричне нелінійне рівняння виду:

$$\tau_{\text{зас}} = a \exp(bt) (c \ln \tau_i + 1), \quad (4.2)$$

де a, b, c – емпіричні коефіцієнти пропорційності [11].

У теперішній час в системі підприємств країн СНД (України, Росії, Казахстану, Грузії) сформувалась підгалузь по виробництву агломераційного вапна. Лише на заводах України у 1985 р. її було вироблено 5310,6 тис. т, при цьому у агломераційному виробництві було використано (з урахуванням привозної) 60,7 % вапна, або 3324,5 тис. т.

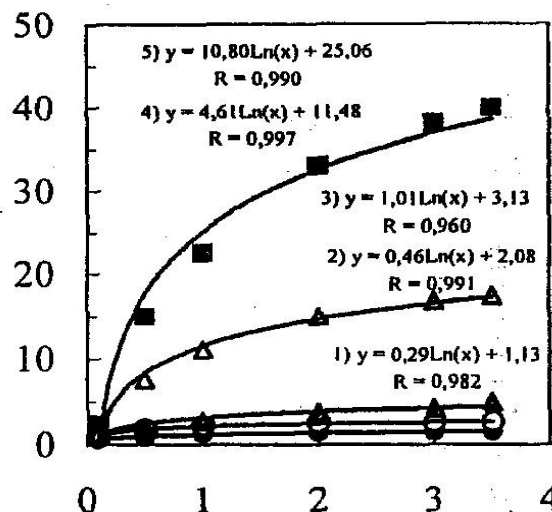


Рисунок 4.1 – Залежність тривалості гасіння вапна при різних температурах обпалу. 1 – 5 температура обпалу відповідно 970, 1050, 1130, 1210 1290 °C

На Україні вапно для потреб агломерації виробляється у 122 обпальних агрегатах, з яких 69 працюють у потоках аглофабрик і виробляють лише агломераційне вапно, інші 53 агрегати виробляють вапно переважно для сталеплавильного виробництва, а у агломераційне виробництво направляються відсівки кускового вапняку і пил.

У зв'язку з вже сформованою структурою виробництва і якісними характеристиками використовуваних вапняків «Уралмеханобром» сумісно з «Донічерметом» більш 25 років тому був розроблений стандарт на

агломераційне вапно (ОСТ 1435-78), згідно з яким запропоновано розділяти вапняк по крупності на дві групи: мілкий (до 3 мм) і крупний (до 12 мм), а по сумарній масовій долі активних моно оксидів кальцію і магнію – на чотири сорти, що характеризуються показниками, наведеними у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Характеристика сортів агломераційного вапна

Показник	Сорт			
	Перший	Другий	Третій	Четвертий
Масова доля, %				
$(\text{CaO}+\text{MgO})_{\text{акт}}$ не менше	85	75	65	55
SiO_2 не більше	3,5	3,5	4,5	4,5
Негашених зерен не більше	3	5	10	15
Втрати при прокалюванні, % не більше	4	8	13	20

Крім того, ГОСТом регламентується загальна масова доля у вапні моно оксиду магнію і фосфору, регламентується строк зберігання вапна на повітрі після вигризки з обпалювального агрегату. Стандартно крупною є лише те вапно, що виробляється у печах киплячого слою, мілке ж вапно взагалі не виробляється [12].

Прагнення металургійних підприємств досягти високих показників по продуктивності агломераційних машин призвели до значного зниження якісних характеристик агломерату: до збільшення масової долі дріб'язку класу 0...5 мм і підвищенню мінливості складу агломерату по масовій частці заліза, моно оксиду заліза і основності, а також по масовій долі дріб'язку. Наслідком цього стало підвищення витрати коксу у середньому по доменним печам України на 40 кг/т чавуну. До того ж на підприємствах, що використовують вапно низької якості, значно погіршується екологічна ситуація. Тому використовуємо вапно повинно бути високої якості, а технологія його використання повинна відрізнятись високим ступенем проробки і технічної культури.

4.2. Вапно при спіканні агломерату

Молекулярна взаємодія при контакті різнорідних тіл або рідин призводить до їх злипання, або адгезії. Адгезія має місце на межі розділу фаз і оцінюється в роботі, яку необхідно виконати для роз'єднання контактуючих поверхонь. Адгезія твердих тіл через нерівності поверхонь, і внаслідок, невеликої площі контактів, як правило не значна.

Адгезій на взаємодія рідкої і твердої фази обмежується шаром рідини усього в декілька молекул. Потім воно поступово зменшується і починає проявлятися когезій на взаємодія фаз, тобто притягнення частинок. Причиною когезії є взаємодія молекул, атомів і іонів у об'ємі рідкої фази.

Адгезія визначає міцність присипання клеючої плівки до обробляємих матеріалів. Для збільшення цієї міцності вводять різні в'язучі добавки. Когезія ж визначає міцність самої плівки. Ефективний вплив в'язучих добавок повинен доповнюватись їх невеликою витратою, низькою собівартістю, відсутністю домішок що негативно впливають на якість агломерату або роботу доменних печей. При контакті з водою подрібненого негашеного вапна відбувається гідратаційне твердіння, яке виражається в гідратації окису кальцію і наступній коагуляції і кристалізації продукту гідратації. При твердінні подрібнене негашене вапно розчиняється у воді з утворенням насиченого розчину, який швидко стає перенасиченим через всмоктування води всередину зерна. При швидкому перенасиченні розчину утворюються колоїдні маси. Колоїдний гідрат окису кальцію швидко коагулює в гідро гель вапна, який склеює зерна. По мірі наступного відсмоктування води внутрішніми шарами зерен, а також при випаровуванні води гідро гель ущільнюється, викликаючи ріст міцності. При твердінні гашеного вапна гідро гель що утворюється містить багато води і його ключа здатність послаблена. Інтенсифікуючий вплив вапна можна пояснити наступним [13].

Вапно, що вводиться в агломераційну шихту в вигляді CaO , при змішуванні і зволоженні у змішувальному барабані утворює гідрат окису кальцію $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

При гідратації вапно збільшується в об'ємі з утворенням тонко дисперсних частинок крупністю <30 мкм. Це забезпечує добру комкуємість шихти, збільшую міцність комків, і внаслідок, початкову газопроникність шихти. Крім того, при гасінні вапна відділяється 17,7 МДж тепла на 1 кг СаО, що сприяє підвищенню температури шихти. Різниця температур тим вище, чим більше кількість поступаю чого вапна [14].

Так, в умовах заводу «Запоріжсталь» ввід 55 кг свіже обпаленого вапна на 1 т агломерату підвищує температуру шихти з 18 – 20 до 40 – 45 °С, що також інтенсифікує процес спікання. Крім того, гідрат окису кальцію сприяє збереженню газопроникності в зоні сушки і особливо в зоні перезволоженні. Інтенсивне поглинення вологи вапном зменшує перезволоження шихти при спіканні, котре є причиною руйнування її структури, ущільнення, зниження газопроникності слою. Це явище набуває особливого значення при збільшенні долі тонкоподрібнених концентратів у агломераційній шихті.

Встановлено, що інтенсифікуючий вплив вапна в значній мірі пояснюється його каталітичною активністю. Остання проявляється в тому, що вапно активізує процес горіння палива у агломераційній шихті. Воно підвищує реакційну здатність палива, збільшує швидкість горіння і значно знижує температуру запалення палива (з 514 до 381 °С) [15].

4.3. Оптимальна витрата вапна при агломерації

Питання про ефективну і раціональну витрату негашеного вапна, що подається в агломераційну шихту, дуже складне і неоднозначне. Кількість негашеного вапна, що додається в агломераційну шихту залежить від: 1) долі тонкоподрібнених концентратів і шламі у залізородній частині шихти; 2) масової долі активного моно оксиду кальцію у вапні.

Для оцінки ефективності використання вапна, виробляє мого у різних металургійних агрегатах і маючого різну якість, вказані два фактори повинні бути функціонально поєднані в єдиний показник – питому витрату вапна

$$q_{\text{вапн}} = \frac{q_{\text{акт.вапн.}}}{q_{\text{конц.}}} \quad (4.3)$$

з розмірністю [кг CaO_{акт}/кг тонкоподрібнених залізорудних матеріалів, переважно концентратів і шламів]. Використання цього показника для аналізу ефективного використання вапна показало, що збільшення питомої витрати активної частини вапна на 0,1 кг/кг відповідає приросту лінійного розміру гранул на 0,7 мм (коефіцієнт кореляції дорівнює 0,698).

Наступний додатковий аналіз впливу факторів на раціональну витрату в шихту негашеного вапна показав, що ще одним досить суттєвим (часто і визначальним) фактором є масова доля засвоєного шихтою вапна [16].

Вплив цього фактора пов'язаний передусім з технологією зволоження шихти (її початкова вологість, витрата води на окомкування шихти і гідратацію вапна, інтенсивність зволоження) і з конструктивними і технологічними параметрами (продуктивністю, довжиною, діаметром, кутом нахилу, частотою обертання, ступенем заповнення та інш.). Лише урахування цих додаткових факторів призводить до об'єктивної оцінки ефективності використовуємого на підприємстві вапна.

Засвоєння шихтою вапна (або глибину розвитку процесу гідратації) можна визначити, використовуючи емпіричне рівняння кінетики диспергування вапна по класу 0...1,6 мм, отримане М.М. Княжанським:

$$\eta_{\text{дисп}} = 0,0028 \cdot \tau \cdot \exp(0,78W), \% \quad (4.4)$$

де $\eta_{\text{дисп}}$ - ступінь диспергування вапна по класу 0...1,6 мм, %; τ - тривалість контакту вапна з вологим тонкоподрібненим концентратом (тривалість обробки шихти в окомковувачі), хв.; W - вологість концентрату-водоносія, %.

Помноживши праву і ліву частини рівняння (4.4) на величину $q_{\text{вапн}}$, а також уточнивши величини τ і W маємо:

$$q_{\text{дисп.}} = 0,028 \left(\frac{q_{\text{акт.вапн.}}}{q_{\text{конц.}}} \right) \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot e^{0,78 \cdot W_{\text{макс}}} \quad (4.5)$$

де $\tau_{\text{пр}}$ - час перебування шихти у барабані окомковувачі, хв.; $W_{\text{макс}}$ - оптимальна вологість шихти з урахуванням кількості зв'язаної води, % (в наближенні

$W_{\text{макс}} = W_{\text{опт}} + 0,56q_{\text{вапн}}$, де $W_{\text{опт}}$ - оптимальна вологість шихти по умовам окомкування, %; $q_{\text{вапн}}$ - питома витрата вапна, (кг вапна)/(кг агломерату)).

На рисунку 4.2 наведені експериментальні дані про ступінь диспергування вапна по класу -1,6 мм в залежності від тривалості контакту вапна (початкова крупність 5 – 10 мм) з залізорудним концентратом різної вологості (від 6 до 12,5 %).

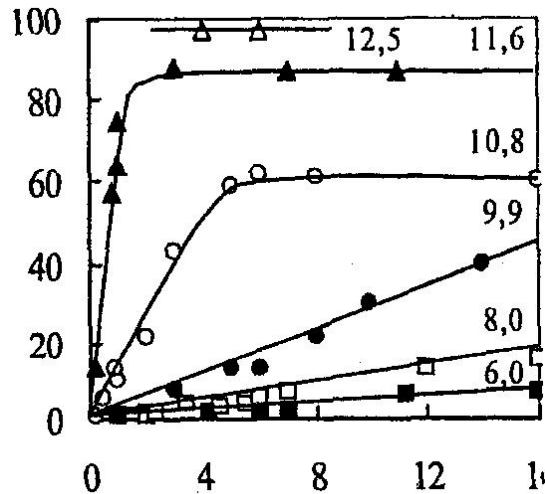


Рисунок 4.2 – Характер зміни диспергування вапна у часі
(Числа біля кривих – вологість концентрату, %)

Рівняння (4.5) може бути перетворено до виду, коли конструктивні і установочні параметри обертаючогося циліндричного барабану виражені у явному вигляді:

$$q_{\text{дисп}} = 0,001 \left(\frac{q_{\text{акт.вапн.}}}{q_{\text{конц.}}} \right) \cdot \left[\frac{L \cdot \xi}{n \cdot D \cdot \text{tg} \alpha \cdot (W_n + W_{\text{макс}})} \right] \cdot e^{0,78 \cdot W_{\text{макс}}} \quad (4.6)$$

де L , D , n , ξ - відповідно довжина, діаметр, частота обертання і ступінь заповнення барабану; α - Вертикальний кут відкосу матеріалу при зсипанні; W_n - початкова вологість шихти (до зволоження) [17].

Аналіз ефективності використання вапна на діючих аглофабриках з використанням результатів розрахунку по рівнянню (4.4.) показав (мал. 4.3), що необхідною і достатньою витратою вапна (по умовам інтенсифікації процесу спікання) є питома витрата її диспергованої частини, рівна 6 – 8 кг/т концентрату

і шламу, що відповідає витраті вапна 60 – 65 кг/т концентрату і шламу або 70 – 75 кг/т.

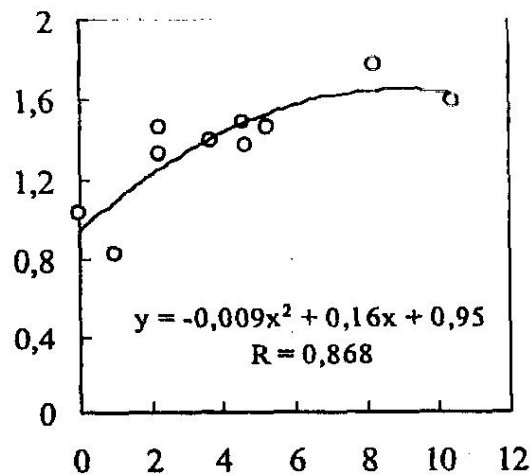


Рисунок 4.3 – Залежність приведеної питомої продуктивності агломації від величини $q_{дисп}$ різних аглофабрик України (Параметри, за якими виконувалось приведення продуктивності: витрата звороту (+1 % → 0,5%), температура підігріву шихти (+10 °С → 5%), висота спікає мого слою (+10 мм → 0,8 %), вакуум (+100 мм → +4 %)).

Економічні розрахунки використання вапна високої якості, виконані П.І. Гуріним, Н.С. Хлаповіним і А.М. Осипенко (1981 р.), показали, що мінімальна собівартість агломерату досягається при витраті вапна 45 – 50 кг/т агломерату, крім того, встановлено, що використання високоякісного вапна забезпечує різке зниження питомих капітальних витрат на агломерацію. Розрахунки також показали, що мінімальні приведені витрати досягаються при витраті вапна 70 – 80 кг/т агломерату.

Таким чином, рекомендуєма витрата агломераційного вапна також складає 70 – 80 кг/т агломерату. Однак потрібно пам'ятати, що потрібна витрата вапна в кількості 70 – 80 кг/т агломерату оптимальна (при 60 % концентрату у залізородній частині шихти) в умовах, коли засвоєння вапна, яке визначається режимом зволоження і роботою встановленого на аглофабриках змішувального обладнання, складаю усього 10 – 15 % (6 – 8 кг/т концентрату).

2.4. Рациональна крупність агломераційного вапна

До сих пір не вирішене питання про раціональну межу подрібнення агломераційного вапна. Дані про вплив початкової крупності вапна на показники аглопроцесу і якісні характеристики агломерату свідчать про прогресивне їх покращення зі зменшенням крупності. Однак не відомі ні які дослідження, в яких би вивчали питання про зміну фазового складу агломерату при додатковому подрібненні використовуваного вапна.

Для дослідження цих питань проводились лабораторні і промислові експерименти. У першому випадку визначали ступінь диспергування вапна високої якості (вапна, отриманого у печі киплячого слою) в залежності від початкової крупності її частинок при гасінні за рахунок води що міститься у концентраті; у другому – вивчали зміну техніко-економічних показників процесу спікання на промислових агрегатах (Макєєвський металургійний завод) і фазового складу агломерату при переході на технологію його виготовлення з використанням доподрібненого негашеного вапна.

Лабораторні дослідження (рис. 4.4) показали можливість прогресивного подрібнення вапна за рахунок води концентрату після досягнення початкової крупності його частинок $\sim 1,5 - 2$ мм. У промислових експериментах доподрібнення вапна виконували за рахунок збільшення часу його обробки у киплячому шарі обпалювальної печі (збільшили витрату повітря і висоту зони обпалу відповідно на 15 – 20 і 35 – 40 % при скороченні добової продуктивності печі від 224 – 275 до 155 – 179 т), що дозволило зменшити середній лінійний розмір вихідних частинок від 5,17 – 5,87 до 0,68 – 0,71 мм. Дозування вапна здійснювалось через бункер-накопичувач, обладнаний шнековим живильником [18].

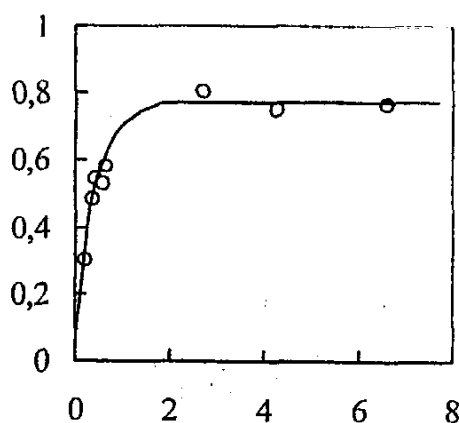


Рисунок 4.4 – Залежність крупності частинок гашеного вапна від крупності частинок негашеного вапна

Дання технологія відрізнялась досить високою ефективністю: при масовій долі концентрату у залізородній частині шихти 78 – 80 % і витраті вапна 47 кг/т агломерату продуктивність агломашины збільшилась на 11 %.

Середній фазовий склад агломерату (досліджено 10 зразків) і його зміна при переході на технологію з використанням подрібненого негашеного вапна наведені у таблиці 4.2.

Петрографічні дослідження зразків агломерату, виконані у відбитому і проходячому світлі при різному збільшенні (100 – 240 разів), показали, що агломерат, отриманий з використанням звичайного вапна (масова доля частинок більше 5 мм складає 49 – 63 %), включає значну кількість незасвоєних розплавом частинок вапна (до 3 %) крупністю 1 – 1,5 мм. При основності агломерату 1,27 од. вапно шихти приймає участь в утворенні значної кількості феритів кальцію і двокальцієвого силікату. Останній представлений крупнозернистою структурою з лінійними розмірами 25 – 30 мкм і зосереджений біля гнізд вапна.

Агломерат, отриманий із шихти, що містить тонкоподрібнене вапно, відрізняється повним його засвоєнням у результаті заміни нестійких феритів кальцію на залізокальцієві олівіни. При цьому двокальцієвий силікат, представлений тонкою фракцією (менше 5 мкм), утворює з залишившимися феритами кальцію евтектику у зв'язку з чим він стабільний і здатний до модифікаційного перетворення.

Таблиця 4.2 – Фазовий склад агломерату основністю CaO/SiO_2 1,27 од.

Фаза	Середня крупність часток вапна, мм	
	5,52	0,69
Магнетит полієдричний	25	31
Магнетит глобулярний	-	15
Усього магнетиту	25	46
Гематит первинний	7	8
Гематит вторинний	12	6
Усього гематиту	19	14
Ферити кальцію	43	18
Олівіни	-	12
Піроксени	4	4
Двокальцієвий силікат	6	-
Склофаза	3	6
Усього зв'язки	56	40

Таким чином, перехід до використання подрібненого вапна дуже ефективний, оскільки суттєво підвищує гарячу міцність агломерату. Як видно з таблиці 2.2, при переході на технологію з використанням тонкоподрібненого вапна відбувається суттєве зміщення фазового складу у сторону рівноважного: об'ємні долі кінетично нестійких феритів кальцію і зв'язки у цілому зменшуються від 43 і 56 до 18 і 40 % (ступінь відхилення фазового складу від рівноважного зменшилась від 98,7 до 13,3 %) [19].

4.5. Вплив основності і активності CaO на показники спікання і якості агломерату

Враховуючи особливості шихти аглофабрики ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» певної стабілізації показників аглопроцесу при переході з основності 1,4 на 1,8 можна досягти за рахунок збільшення витрати в шихту залізорудного концентрату.

Однак, цей захід обмежений необхідністю переробки залізорудних відходів, що накопичуються на фабриці. Більш ефективним заходом є збільшення кількості вапна, що вводиться в аглошихту. Оцінка цих заходів здійснена на основі лабораторних досліджень по спіканню шихт основністю 1,3

– 1,8. витрата вапна в шихту складала відповідно 55, 77, 114 і 139 кг/т агломерату. В цих дослідженнях використовувалось вапноз вмістом СаО рівним 70 %. При основності 1,4 проведені спікання аглошихти при підвищеній, до 800 кг/т агломерату в порівнянні з базовою шихтою, витраті залізорудного концентрату. Додатковий ввід концентрату виконувався за рахунок зниження долі аглоруди. Результати досліджень наведені у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Результати лабораторних досліджень по спіканню шихти основністю 1,3 – 1,8

Показник	Основність агломерату			
	1,3	1,4	1,6	1,8
Насипна вага шихти, т/м ³	1,66	1,66	1,65	1,63
Вертикальна швидкість спікання, кг/хв.	17,4	17,4	1,65	1,63
Вихід гідного агломерату, %	63,8	62,9	62,4	62,3
Питома продуктивність, т/м ² ·г	1,11	1,09	1,04	1,04
Вміст заліза у агломераті, %	52,48	51,78	50,47	50,2
Відносна витрата твердого палива, %	100	101,9	105,6	106
Барабанна проба агломерату, %				
Фракція > 5 мм	64,3	62,1	60,8	59,0
Фракція < 5 мм	10,7	12,0	13,2	14,1

Аналізуючи данні таблиці 4.3 можна зробити висновок, що для базової шихти при підвищеній основності характерне збереження вертикальної швидкості спікання і незначне зменшення її насипного слою. Питома продуктивність установки практично визначається виходом гідного агломерату. Перехід з основності 1,3 до 1,8 супроводжується зменшенням виходу гідного агломерату від 1,11 до 1,04 т/м²·г, тобто на 2,5 %. При цьому знижується вміст заліза в агломераті на 2,01 %, збільшується витрата твердого палива в шихту на 6 % і суттєво погіршується барабанна проба агломерату: вміст фракції 5 мм зменшується на 7,5 %, а фракції менше 0,5 мм зменшується на 3,4 % [20]. Заміна аглоруди залізорудним концентратом позитивно впливає на показники процесу спікання шихти основністю 1,4 при витраті концентрату 800 кг/т агломерату порівняно з базовою шихтою підвищується питома продуктивність аглоустановки на 1 % і вміст залізу в агломераті на 0,68 %, вміст фракції більше

5 мм в барабанній пробі збільшується на 2 %, а фракції менше 0,5 мм – зменшується на 1,1 % при пониженій витраті твердого палива в шихту. Тому, при переході на основність 1,8 доцільно виконувати заміну в шихті аглоруди на залізорудний концентрат.

4.6. Вплив якості активного вапна на показники спікання шихти основністю 1,4

При проведенні даних досліджень в базову шихту основністю 1,4 додавали вапно з вмістом $\text{CaO}_{\text{акт}}$ до 92 %. Для цього з загальної маси вапна, що отримується у трубчатих і обертаючих ся печах, відбирали окремі проби, котрі подрібнювались у щоківній дробарці до крупності менше 10 мм. Ввід вапна у шихту в усіх дослідженнях проводили при його витраті, рівній 50 кг/т агломерату. Результати досліджень приведені у таблиці 4.4 і на рисунку 4.4.

Отримані дані показують, що в умовах аглофабрики ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» покращення якості вапна що вводиться в шихту, є високоефективним заходом і може забезпечити значний приріст продуктивності і підвищення якості агломерату. У середньому на кожні 10 % CaO у вапні приріст продуктивності складає 6,6 %, вміст фракції більше 5 мм у барабанній пробі агломерату збільшується на 5 %, а фракції менше 0,5 мм – зменшується на 2,7 %.

Таблиця 4.4 – Результати експериментів по спіканню шихти основністю 1,4 з використанням вапна різної якості

Показник	Вміст CaO у вапні, %			
	70	78	86	92
Вміст $\text{CaO}_{\text{акт}}$ у шихті, %	1,46	2,20	2,95	3,52
Насипна вага шихти, т/м ²	1,65	1,64	1,62	1,61
Вертикальна швидкість спікання, мм/хв.	17,4	17,8	18,3	18,7
Вихід гідного агломерату, %	60,4	62,8	64,7	65,9
Питома продуктивність, т/м ² ·г	1,04	1,10	1,15	1,19
Барабанна проба агломерату, %				
Фракція > 5 мм	56,8	62,2	65,7	67,8
Фракція < 5 мм	15,2	12,6	10,6	9,2

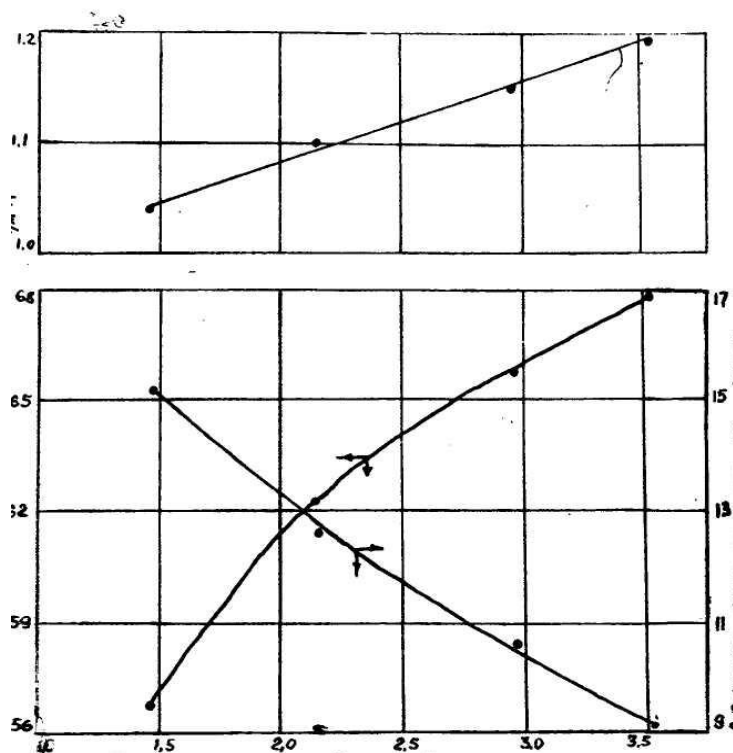


Рисунок 2.4 – Залежність міцності агломерату і питомої продуктивності аглоустановки від вмісту $\text{CaO}_{\text{акт}}$ в шихті

З таблиць 4.3 і 4.4 видно, що при вмісті $\text{CaO}_{\text{акт}}$ у вапні, рівному 80 – 85 %, показники спікання шихти основністю 1,4 відповідають показникам спікання базової шихти основністю 1,3.

В цілому, лабораторними дослідженнями по спіканню шихти різної основності встановлено: підвищення основності шихти від 1,3 до 1,8 призводить до втрати продуктивності установки на 6,3 %, зменшенню вмісту заліза в агломераті на 2,01 %, збільшенню витрати твердого палива в шихту на 5,6 % і погіршенню барабанної проби агломерату: вміст фракції більше 5 мм зменшується на 7,5 %, а фракції менше 0,5 мм – збільшується на 3,4 %, при вмісті CaO у вапні 80 – 85 % показники спікання з основністю 1,4 відповідають показникам спікання з основністю 1,3.

В умовах аглофабрики підприємства ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» для зменшення вмісту дріб'язку в готовому агломераті і зниженні витрати матеріалів на агломерацію, рекомендовано підвищити витрату в шихту високоякісного вапна з вмістом CaO 80 – 85 % (краще 92 – 95 % $\text{CaO}_{\text{акт}}$) [21].

В спеціальній серії досліджень вивчався вплив добавки вапно-пушонка $\text{CaO}_{\text{акт}}$ на показники спікання агломерату і якість офлюсованого агломерату. Спікання основністю 1,4 при співвідношенні магнетитового концентрату до аглоруди 80:20 і кількості вапна, подаваного в шихту, відповідно 0,3; 1,1; 2,2; 5,6; 8,7 і 12,2 % (по відношенню до сухої шихти). Це відповідало заміні в шихті 3; 10,0; 20,0; 50,0; 75 і 100 % вапняку. Спікання проводили при постійній витраті вуглецю в шихті (5,8 % C) і висоті слою 250 мм. В процесі спікання фіксувались: зміна температури від ходячих газів, розрядження під колосниковою решіткою і тривалість спікання. Для кожної шихти визначали насипну масу, а для отриманого агломерату – механічну міцність по барабанній пробі. Результати спікання зведені у таблицю 4.5.

Як видно з таблиці 2.5, заміна вапняку вапном здійснює суттєвий вплив на показники агломераційного процесу і якість офлюсованого агломерату.

Таблиця 4.5 – Результати спікання агломерату при заміні в шихті вапняку еквівалентною кількістю вапна

Доля заміненого вапняку, %	Насипна маса, т/м ³	$\text{CaO}_{\text{акт}}$ в шихті, %	Вертикальна швидкість спікання, мм/хв.	Вихід годного, д.од.	Питома продуктивніс ть, т/м ² ·г
0	1,88	0	20,0	0,618	1,39
3	1,87	0,3	20,2	0,619	1,40
10	1,84	1,1	21,4	0,621	1,47
25	1,80	2,2	22,5	0,624	1,52
50	1,74	5,7	24,2	0,632	1,60
75	1,67	8,7	24,2	0,639	1,55
100	1,56	12,2	23,0	0,662	1,42

Як видно з таблиці 4.5, заміна вапняку вапном суттєво впливає на показники агломераційного процесу і якість офлюсованого агломерату.

При збільшенні кількості вапна в шихті збільшується вертикальна швидкість спікання, збільшується вихід гідного агломерату, в основному завдяки отриманню більш міцного спеку. При збільшенні вмісту $\text{CaO}_{\text{акт}}$ в шихті від 0 до 5,6 % вертикальна швидкість спікання збільшується на 21,0 %, вихід гідного – на 2,4 %. Не дивлячись на зниження насипної ваги шихти на 7,0 % питома продуктивність збільшується на 14,4 %.

Найбільший ефект від заміни відповідає початковій добавці 1,0 % вапна (приріст продуктивності 5,2 %). Подальше збільшення кількості вапна до 2,0 %, а потім до 3,0 % супроводжується приростом продуктивності відповідно на 3,8 і 2,4 %. Характерно, що при цьому збільшується й міцність агломерату. Так вихід класу 5 – 0 мм після випробувань агломерату з присадками 1,1 – 2,2 % $\text{CaO}_{\text{акт}}$ в барабані знижався на 5 – 6 %. Найбільш міцний агломерат відповідає заміні вапном 20 – 50,0 % вапняку. Подальше, понад 5,0 % підвищення вмісту вапна в шихті при малій висоті шару (280 мм) не дає суттєвого покращення результатів. Це обумовлено значним зниженням насипної маси шихти і її надлишковим окомкуванням. Про збільшення ступеня окомкування свідчить зменшення початкового вакууму при вмісті вапна в шихті 5 – 10 %.

І це природно, так як при перевищенні певного значення швидкості фільтрації повітря, і відповідно, і вертикальної швидкості спікання якості агломерату погіршується, так як зона спікання охолоджується надлишковою кількістю всмоктуваного повітря і тим самим руйнується оптимальний температурний режим.

Як видно з таблиці 4.5, найкращі показники отримані при заміні 50 % вапняку еквівалентної по кількості CaO вапна, після чого продуктивність знижується. Останнє обумовлено безперервним зниженням насипної маси шихти. При збільшенні масової долі магнетитового концентрату в шихті максимум зміщується в сторону збільшення витрати вапна, збільшується ефект від її вводу.

Добавка вапна в аглошихту при спіканні тонкоподрібнених концентратів дозволяє підвищити висоту спікає мого слою приблизно на 10 – 15 %, що з

одного боку призводить до росту продуктивності, з іншого – забезпечує покращення якості агломерату, з третього – знижує витрату палива до 10 % відн.

Цікаво, що добавка в аглошихту вапна частково зменшує вплив звороту. Більш того, так як при цьому збільшується висота спікає мого слою, міцність спеку збільшується, тобто вихід звороту зменшується. Потрібно враховувати, що для забезпечення доброї якості агломерату і максимальної продуктивності аглоустановки при досить високому вмісті вапна в шихті доля звороту має бути мінімальною, але забезпечувати повний відсів мілких фракцій.

Встановлено, що інтенсифікуючий вплив вапна в значній мірі пояснюється його каталітичною активністю. Остання проявляється в тому, що вапно активізує процес горіння палива в агломераційній шихті, підвищує його реакційну здатність і значно знижує температуру запалення (з 514 до 381 °C).

4.7. Вплив вапна на показники процесу спікання при різних висоті спікаємого шару

В процесі експериментальних спікань дрібнозернистої шихти максимальна висота слою (500 мм) лімітувалась потужністю екстаустерів. Склад шихти відповідав промисловому (60 % концентрату у залізородній частині шихти). Вплив висоти слою на вертикальну швидкість спікання і міцність агломерату при добавці в шихту обпаленого вапна значно послаблюється [22].

Збільшення спікаємого шару призводить до зміцнення агломерату. Кількість фракції > 25 мм збільшується, а кількість дріб'язку зменшується. Наприклад, при вмісті в шихті 4 – 5 % вапна і збільшенні слою з 300 до 450 мм (у 1,5 рази) середній діаметр кусків збільшується приблизно на 40 % (в 1,4 рази), при цьому вміст фракції < 5 мм зменшується з 15 – 16 до 10 – 12 %, тобто на 40 – 45 % відносних (рис. 4.5).

Таким чином зі збільшенням спікаємого шару міцність агломерату збільшується. Зниження продуктивності (вертикальної швидкості спікання) можна компенсувати вводом в шихту певної кількості вапна (табл. 4.6) [23].

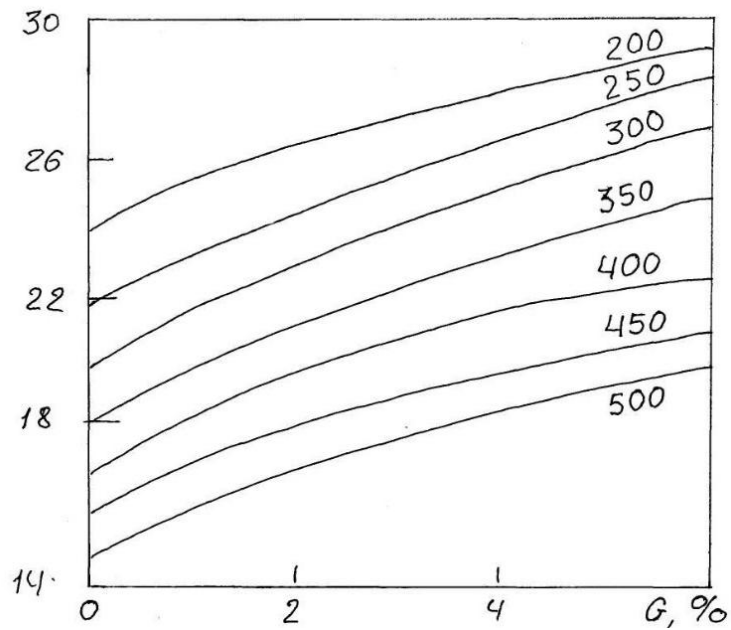


Рисунок 4.5 – Залежність вертикальної швидкості спікання від вмісту вапна в шихті

Таблиця 4.6 – Вплив висоти слою агломерату і витрати вапна на міцність агломерату

Висота слою, мм	Вихід класу 0 – 5 мм (%), при вмісті CaO, %				
	0	3	4	5	5,8
200	20,1	20,0	18,7	18,0	18,0
250	17,1	16,0	16,6	15,8	16,2
300	16,2	15,0	15,6	15,8	16,0
350	15,6	14,6	15,6	15,8	15,4
400	13,0	13,4	12,6	12,4	11,9
450	11,1	12,0	11,5	11,3	10,0
500	9,8	9,8	9,4	9,6	9,2

4.8. Раціональне співвідношення вапна і вапняку в агломераційній шихті

Освоєння технологій виробництва офлюсованого агломерату і виключення сирого вапняку з доменної шихти дозволили значно покращити техніко-економічні показники доменної плавки.

Введення в аглошихту флюсу (вапна, вапняку) суттєво змінює умови формування пирогу агломерату.

Перш за все, при спіканні офлюсованих шихт максимальна температура в зоні горіння палива на 200 – 300 °С нижче, ніж при спіканні не офлюсованого агломерату, що пояснюється зниженням температури розмягчення і плавки офлюсованої шихти. В результаті зміни макроструктури агломерату і зниження температур у шарі, підвищується швидкість спікання і відповідно зменшується час перебування матеріалу при температурах, забезпечуючи існування розплаву [24].

Якщо в якості флюсу додавати дрібний (3 – 0 мм) вапняк, процес спікання тонкоподрібнених шихт теж інтенсифікується, так як збільшується газопроникність шихти, знижується температура спікання (шматочки CaCO_3 – мініатюрні охолоджувачі шихти), рідкі фази утворюються при низьких температурах. Однак найбільший ефект досягається при сумісній присадці у шихту вапна і тонкомеленого вапняку в кількостях, забезпечуючи отримання високо основного агломерату.

Для інтенсифікації процесу спікання дрібно меленої шихти, залізорудна частина якої до 90 % складається з дрібно мелених матеріалів (концентрату, окалини, колошникового пилу) на аглофабриці по діючій технології в шихту вводять до 40 кг вапна на 1 т агломерату. Нажаль, існуюча схема обпалу вапняку припускає отримання вапна крупністю 10 мм зі ступенем обпалу 50 – 80 %, тобто «недопалом». Якість агломерату, офлюсованого таким вапном, залишає бажати кращого.

Для того, щоб встановити раціональну витрату вапна і вапняку на офлюсування промислового агломерату, в лабораторних умовах були проведені сім опитних серій спікання агломерату з витратою вапна 10, 15, 20, 25, 30, 35 і 40 кг/т агломерату, з різною витратою вапна для досягнення однакової основності.

Аналіз отриманих результатів показав, що збільшення вмісту вапна в шихті до 20 кг/т практично не змінило тривалості (19,2 хв.) і вертикальної швидкості спіканні (15,1 мм/хв.), лише подальше збільшення СаО до 25 – 49 кг на 1 т агломерату змінило ці показники процесу відповідно до 18,1 хвилин і 16,0 мм/хв., що пов'язано з ростом газопроникності шару шихти. Крива зміни виходу гідного агломерату при збільшенні витрати вапна в шихти має екстремальний характер з максимумом на витраті 15 – 20 кг/т. Збільшення виходу гідного агломерату пов'язане, перш за все зі зменшенням виходу дріб'язку – 5 мм, максимуму виходу гідного (65,8 – 67,3 %) відповідає барабанна проба (23,3 %). Приблизно цим же витратам вапна відповідає і найкраща продуктивність агломашини.

Такий характер зміни основних показників аглопроцесу при різних витратах вапна в шихті пояснюється наступним. Усі вище приведені судження про вапно як інтенсифікатор агломераційного процесу вірні лише у випадку вводу в шихту дрібнозернистого флюсу, рівномірно розподіленого по усьому об'єму спікаємого матеріалу (рис. 4.6).

У даному конкретному випадку, вапно більш ніж на 50 % складалося зі шматочків > 3 мм і 36 % > 5 мм. Таке вапно отримане дробленням великих 60 – 80 мм шматочків, що містять велику кількість «недопалу».

Такі шматочки засвоюються при агломерації не повністю, утворюючи у готовому аглопирогі «біляки» і «осіпни», котрі суттєво знижуються міцність спеку і особливо збільшують вихід дріб'язку – 5 мм. Тому, не дивлячись на більш високу вертикальну швидкість спікання аглошихт з витратою СаО близько 40 кг/т, за рахунок низького виходу гідного агломерату питому продуктивність аглоустановки знижується. Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що аглошихти зі вмістом вапна до 15 – 20 кг/т, мають найкращі технологічні показники спікання, що дозволяє рекомендувати їх для спікання на промислових агломашинах. Крім того, заміна частини вапна в шихті еквівалентною по кількості СаО кількістю вапняку дозволяє заощаджувати на кожній тоні флюсу (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Технологічні показники спікання офлюсованого агломерату при різних витратах $\text{CaO}_{\text{акт}}$ в шихті

Показник	Витрата вапна, кг/т							
	0	10	15	20	25	30	35	40
$\text{CaO}_{\text{акт}}$ в шихті, кг	56,2	54,94	53,62	53,72	53,83	56,27	65,61	55,97
Насипна вага шихти, т/м ³	1,63	1,62	1,63	1,63	1,63	1,63	1,62	1,63
Ввод $\text{CaO}_{\text{акт}}$ в агломерат +10 мм, кг	34,1	34,18	35,3	36,19	34,67	35,57	34,92	35,00
Висота слою, мм	290	290	290	290	285	300	295	290
Час спікання, хв..	19,2	19,2	19,2	19,2	18,6	18,9	18,5	18,1
Висота шихти, %	8,2	8,13	8,5	8,5	8,4	8,5	8,5	8,3
Газопроникність, л/хв.	22,0	22,1	22,3	22,5	22,4	22,3	22,1	22,4
Первинна температура, °C	550	550	540	550	530	550	540	520
Первинне розрядження, мм. рт. ст.	510	530	530	530	530	560	540	570
Вміст «С»	5,3	5,5	5,2	5,4	5,5	5,4	5,3	5,3
Вихід годного, %	61,2	62,21	65,83	67,37	64,4	62,11	62,79	62,60
Вертикальна швидкість спікання, мм/хв.	15,1	15,1	15,1	15,1	15,3	15,9	15,9	16,0
Продуктивність, т/м ² Г	0,898	0,913	1,017	0,995	0,958	0,966	0,969	0,974

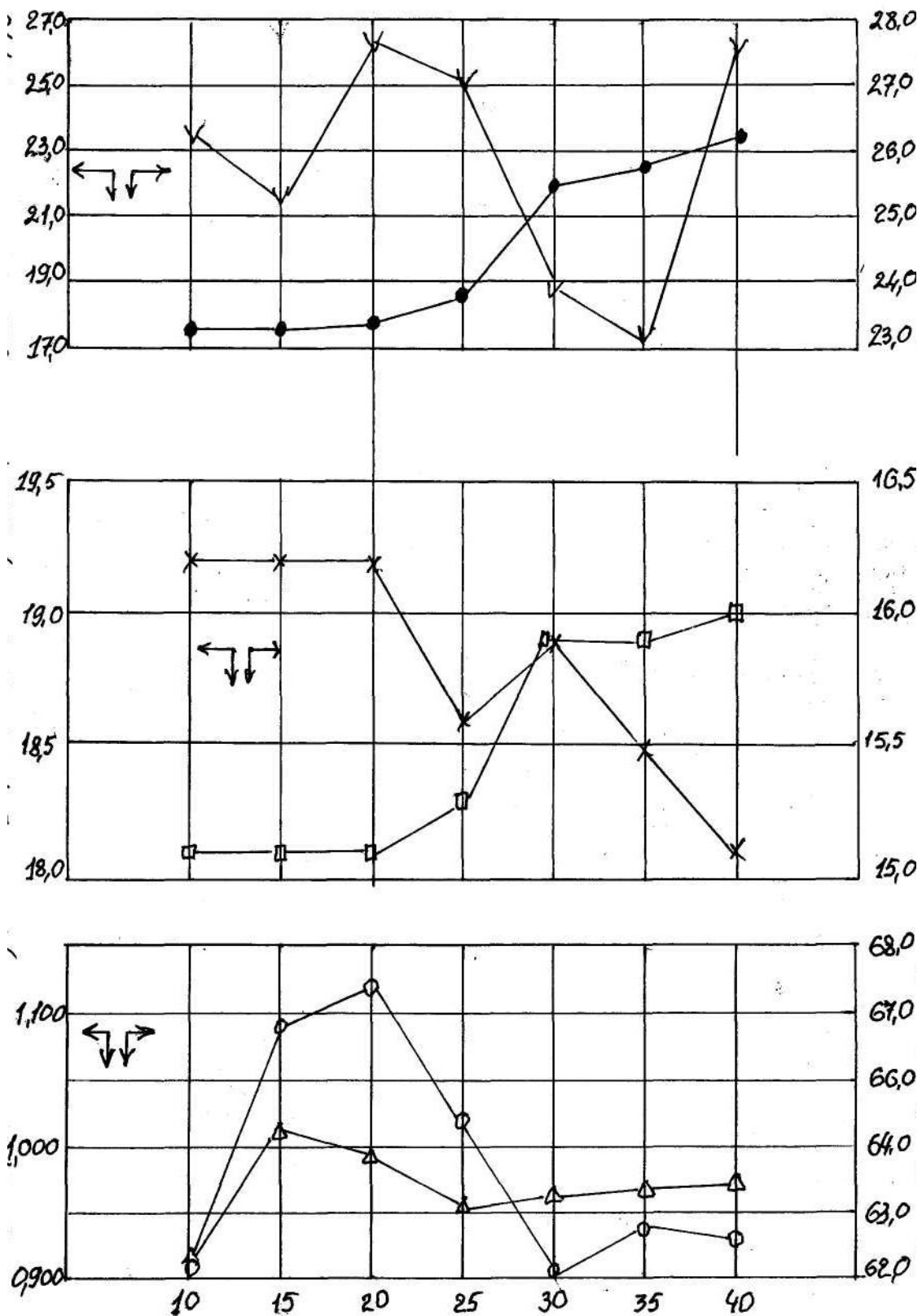


Рисунок 4.6 – Вплив витрати вапна на показники спікання агломерату

4.9. Вплив способу введення в шихту вапна на показники аглопроцесу

У промисловій практиці можливі наступні схеми введення вапна в шихту:

- вапно у складі флюсової суміші вводиться у потік шихтових матеріалів у шихтовому відділенні під час дозування;
- вапно додається в магнетитовий концентрат на рудному дворі;
- вапно дозується у штабель, який складається з рудної суміші – концентрату і аглоруди.

Перевага першого способу – використання тепла, що виділяється при гасінні вапна, на попередній підігрів шихти. Недолік – малий час сумісної з концентратом витримки у результаті чого гасіння не завершується.

Дві інші схеми дозволяються повністю завершити гасіння CaO перед спіканням, що в свою чергу дозволяє рівномірно розподілити продукти гасіння у шихті в процесі змішування, що помітно інтенсифікує процес окомкування шихти.

У роботі зроблена спроба вибору і обґрунтування найбільш раціонального способу вводу вапна в агломераційну шихту. Вивчалися дві схеми вводу вапна:

1. Вапно у кількості 60 кг/т агломерату додавалося в концентрат на збірному конвеєрі у процесі дозування.
2. Вапно в тій-же кількості на рудному дворі за добу до спікання.

Для оцінки впливу різних схем вводу вапна на показники процесу спікання проводились лабораторні спікання шихт, змішаних з вапном приведеними вище способами і шихт без добавок вапна. Результати спікань зведені у таблицю 4.8.

Таблиця 4.8 – Технологічні показники спікання агломерату при різних введення вапна в шихту

Показники	Способи введення вапна в шихту
-----------	--------------------------------

	Без вапна	1 спосіб	2 спосіб
Вага спікаємої шихти, кг	19	19	19
Волога шихти, %	8,1	8	8,05
Висота спікаємого шару, мм	280	280	280
Температура попереднього підігріву, °C	60	62	63
Вертикальна швидкість спікання, мм/хв	33,8	34,8	36,4
Вихід гідного, кг	11,1	11,13	1,13
Кількість від ходячих газів, м ³ /г	240	250	260
Питома продуктивність, т/м ² г	1,73	1,78	1,87
Відносна питома продуктивність, %	100	103	108
Питома продуктивність по класу, т/м ² г	1,2	1,22	1,24
Основність	1,1	1,1	1,1

Аналіз таблиці 4.8 показує, що добавка вапна в шихту підвищує вертикальну швидкість спікання. Це пов'язано з покращенням газопроникності спікаємого шару, особливо у початковий період спікання. Кількість від ходячих газів збільшується з 240 до 260 м³/г. Це пояснюється тим, що гідрат окису кальцію утримує утворені при окомкуванні гранули від руйнування в зонах перезволоження шихти і підігріву.

Стосовно режиму вводу вапна, то, як видно з таблиці, вертикальна швидкість спікання по першому варіанту збільшилась від 33,8 до 34,8 мм/ хв., а по другому – до 36,4 %, тобто друга шихта має більш високу газопроникність і тому її використання більш доцільне. Це пояснюється повною завершеністю процесу гасіння вапна до другій схемі, високим вмістом Са(ОН)₂, який має високу комкуючу здатність [25].

Збільшення вертикальної швидкості спікання призводить до росту питомої продуктивності аглоустановки. Питома продуктивність по виходу гідного збільшилась при першій схемі підготовки шихти з 1,73 до 1,78 т/м²г, а по другій – до 1,87 т/м²г, тобто відповідно на 3,0 и 8,0 %.

Відносна питома продуктивність по стабілізованому агломерату по другій схемі вводу підвищилась більше ніж по першій. Приріст продуктивності по першій схемі становить 1,7 %, а по другій – 3,3 %.

Із співставлення результатів спікання аглошихт, підготованих по різних схемам введення вапна в шихту, найбільш раціональним є ввід її у штабель концентрату в процесі його формування.

При розробці оптимального режиму вводу вапна на процес агломерації суттєвий вплив здійснює її кількість, особливо при високій долі залізорудних концентратів в шихті. З метою дослідження цього впливу проведені лабораторні спікання аглошихт з різним вмістом СаО: 10, 15, 25, 30, 35 і 40 кг/т агломерату при основності 1,3. Результати спікань представлені малюнку 4.7.

Аналіз отриманих результатів показує, що збільшення витрати вапна до 30 – 35 кг/т агломерату суттєво підвищує вертикальну швидкість спікання від 15,2 до 16,2 мм/хв., при одночасному зростанні питомої продуктивності агломашини від 1,05 до 1,20 т/м²г. Подальше ж збільшення витрати вапна до 40 – 50 кг/т агломерату менш ефективно і навіть не змінює продуктивності агломашини через суттєве зменшення насипної маси шихти.

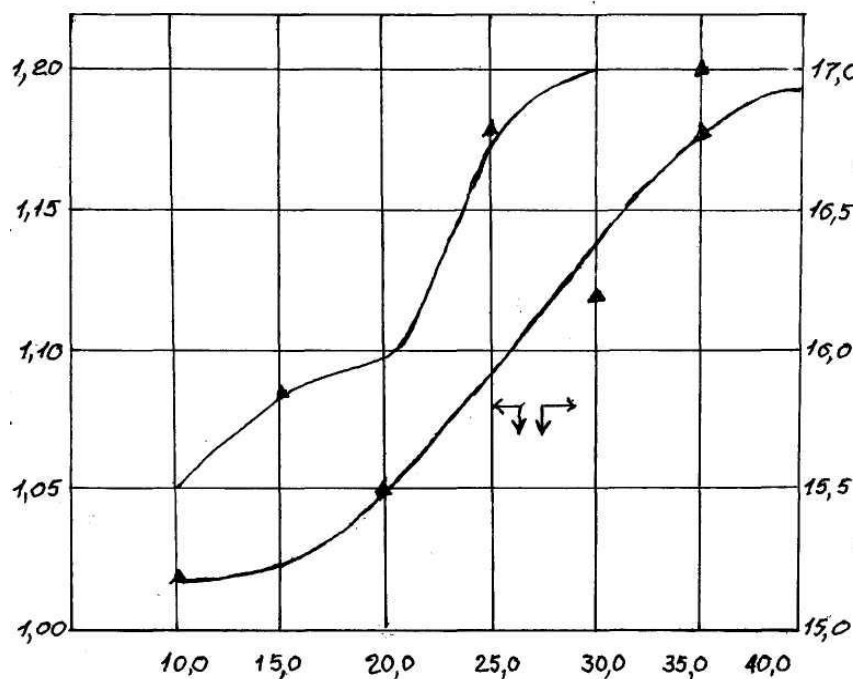


Рисунок 4.7 – Вплив витрати вапна на показники спікання агломерату

Збільшення виходу гідного пов'язано, перш за все, зі зменшенням виходу дріб'язку -5 мм (максимуму виходу гідного 76,6 – 76,5 % відповідає мінімальна барабанна проба 25,1 – 24,3 %). Цій же витраті вапна відповідає і найбільша продуктивність аглоустановки по гідному агломерату (1,20 – 1,22 т/г).

Приріст продуктивності при витраті вапна 30 – 35 кг/т агломерату стабілізується і подальше збільшення витрати вапна (до 40 – 50 кг/т) є малоефективним.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що шихта яка містить 30 – 35 кг вапна на 1 т агломерату, має найкращі технологічні показники, що дозволяє рекомендувати дану витрату як раціональну для умов аглофабрики ГЗКу ВАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [26].

На відміну від звороту і відходів, масова витрата вапна вибирається з міркувань запобігання змерзанню вологих тонкоподрібнених матеріалів, їх зневоднення і транспортабельності, а також можливості спікання шихти у високому слою без втрат продуктивності агломашини. Відмінності цих задач потребують вводу вапна на різних ділянках аглофабрики, що в свою чергу потребує оптимізації і повинно враховуватись як при проектуванні нових фабрик, так і при реконструкції працюючих.

Додаткове суттєве збільшенні ефективності використання високоякісного вапна може бути досягнена, якщо технологічно правильно організувати його введення в агломераційну шихту. У зв'язку з цим потрібно виказати дві думки, визначаючи технологію подачі негашеного вапна у потік переробляємих матеріалів.

1. Модельними розрахунками встановлено, що найбільш раціональний спосіб введення вапна в шихту – комбінований, коли негашене вапно розподіляється між потоками вологого тонкоподрібненого концентрату і шихти в цілому. Такий спосіб подачі визначається, головним чином, використанням вапна двох видів: привозного і власного виробництва. Однак є й більш важливі міркування з приводу формування мінімальної зміни агломерату по хімічному

складу. Крім того, враховується і можливість зміни фізичних властивостей вапнякованого концентрату – запобігання змерзанню матеріалу і покращення його транспортабельності.

За результатами розрахунків (табл. 4.10), для кожної аглофабрики при існуючому стані усереднення матеріалів є оптимальне співвідношення між витратами вапна, подаваного на склад з перезволоженим концентратом, і в потік залізорудної сировини (перед дозувальним відділенням або перед змішуванням шихти). Однак при забезпеченні вагового дозування обох частин вапна найменша змінюваність хімічного складу агломерату буде у випадку, коли все вапно подається в потік ЖРС. Таким чином, визначення оптимального співвідношення витрат вапна між складом і потоком на кожній аглофабриці потребує спеціальних досліджень і розрахунків.

2. При подачі частини (або всього) вапна в потік вологого концентрату, що надходить на усередню вальний склад, суміш повинна пройти попередню обробку в огрудкувачі по відповідній технології.

Таблиця 4.10 – Розподіл вапна між складом і потоком шихти на аглофабриках України в результаті його оптимізації по мінімальній змінюваності хімічного складу агломерату

Підприємство	Витрата вапна			σ_{Fe}^{agl} , %	Зменшення σ_{Fe}^{agl} , при оптимальному розподіленні вапна	
	Загальна, кг/т агломерату	В потік шихти, % від загальної витрати			абс., %	відн., %
		фактична	оптимальна			
Макєєвський МК	54	42	55	0,969	0,003	0,3
Єнакіївський МЗ	69	53	64	0,729	0,048	6,6
МК «Азовсталь»	58	0	55	0,475	0,090	18,9
МК ім. Ілліча	18	100	52	0,399	0,074	18,5
МК «Арселор Мітал»	36	0	36	0,583	0,012	2,1
Комунарський МК	60	73	88	0,801	0,078	9,7
МК ім. Дзержинського	70	44	81	0,762	0,055	7,2
КМ «Запоріжсталь»	85	68	73	0,980	0,036	3,7
Ново-Криворізький ГЗК	38	100	68	0,556	0,057	10,3

У цьому випадку після вилежування досягаються найкращі результати (табл. 4.11): сформовані з концентрату і вапна гранули (що вже пройшли процеси змішування з іншими компонентами шихти і доокомковані, при цьому

реалізується й технологія наготування палива на готові гранули) в ході подальшої обробки в зонах перезволоження і сушки практично не руйнуються і сприяють інтенсивному веденню процесу спікання (при суттєвій економії твердого палива). У 1980 р. по даним Дондідчермету Кривбаспроект сумісно з Механобрчерметом виконано ТЕО реконструкції збагачувальних фабрик № 3 і № 4 Інгuleцького ГЗК продуктивністю по гранульованому вапнякованому (5 % вапна отриманого в двох печах КС-500) концентрату 8990 тис. т/рік (малюнок 4.8). Аналогічна схема введення вапна в залізорудний концентрат реалізована на агловиробництві ММК [27].

Разом з цим ця схема має два серйозних недоліки. По-перше, для офлюсування концентрату може використовуватись лише дрібнодисперсне вапно ($\leq 3 - 5$ мм), в схемі не передбачено до подрібнення крупних кусків вапна перед грануляцією. По-друге, при грануляції офлюсованого агломерату в барабані-окомковувачі спостерігається явище переокомкування шихти і отримання гранул розміром більше 10 мм, особливо при великій кількості вапна в шихті. Для усунення цих недоліків технологічну схему офлюсування концентрату потрібно змінити (рисунок 4.9).

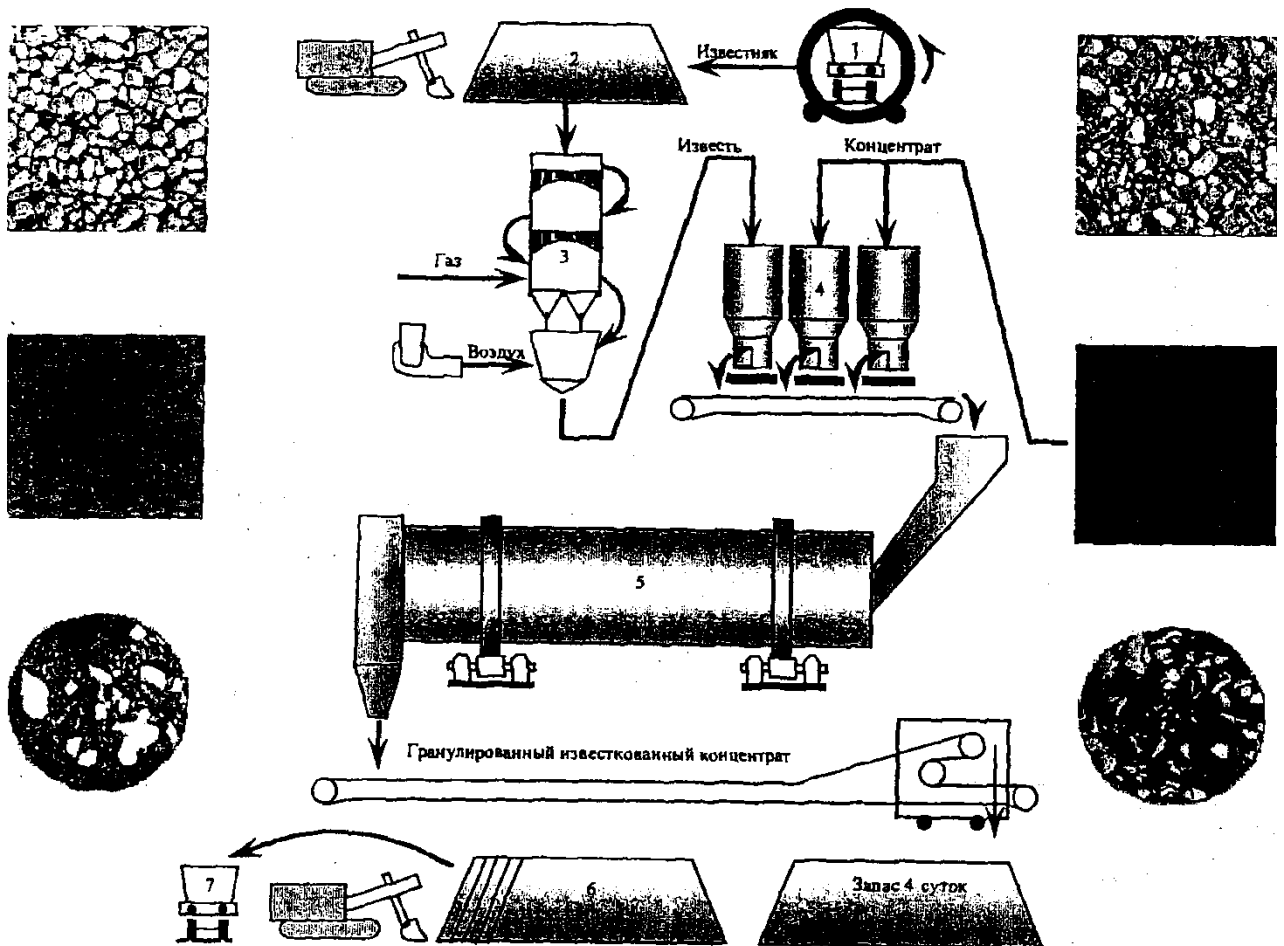


Рисунок 4.8. – Схема комплексу для виробництва офлюсованого гранульованого концентрату Інгuleцького ГОКу.

1 – вагоноопрокидувач; 2 – склад вапняку; 3 – вапняково-обпальний цех; 4 – відділення дозування; 5 – відділення змішування і грануляції; 6 – склад для вилежування; 7 – відвантаження

Технологічний комплекс повинен включати обладнання для приймання привозного вапна (або транспортування вапна власного виробництва). У зв'язку з тим, що крупність обпаленого вапна може змінюватись в межах 0 – 50 мм, основним способом його приймання є розвантаження з вагонів (хопері-мінераловози) у приймальний бункер. Для забезпечення екологічних вимог вузол розвантаження вапна з хопера-мінераловоза потрібно обладнати системою аспірації і установкою газоочищувального пристрою. Далі вапно подається шлюзовим живильником на круглий резиновий конвеєр і транспортується на ділянку виробництва офлюсованого і гранульованого концентрату,

загружається у витратний бункер і шлюзовим живильником дозується на конвеєр. Попередньо на конвеєр дозується залізорудний концентрат (приблизно половина від загальної кількості), а інша частина концентрату дозується і вигружується на поверхню потоку вапна [28].

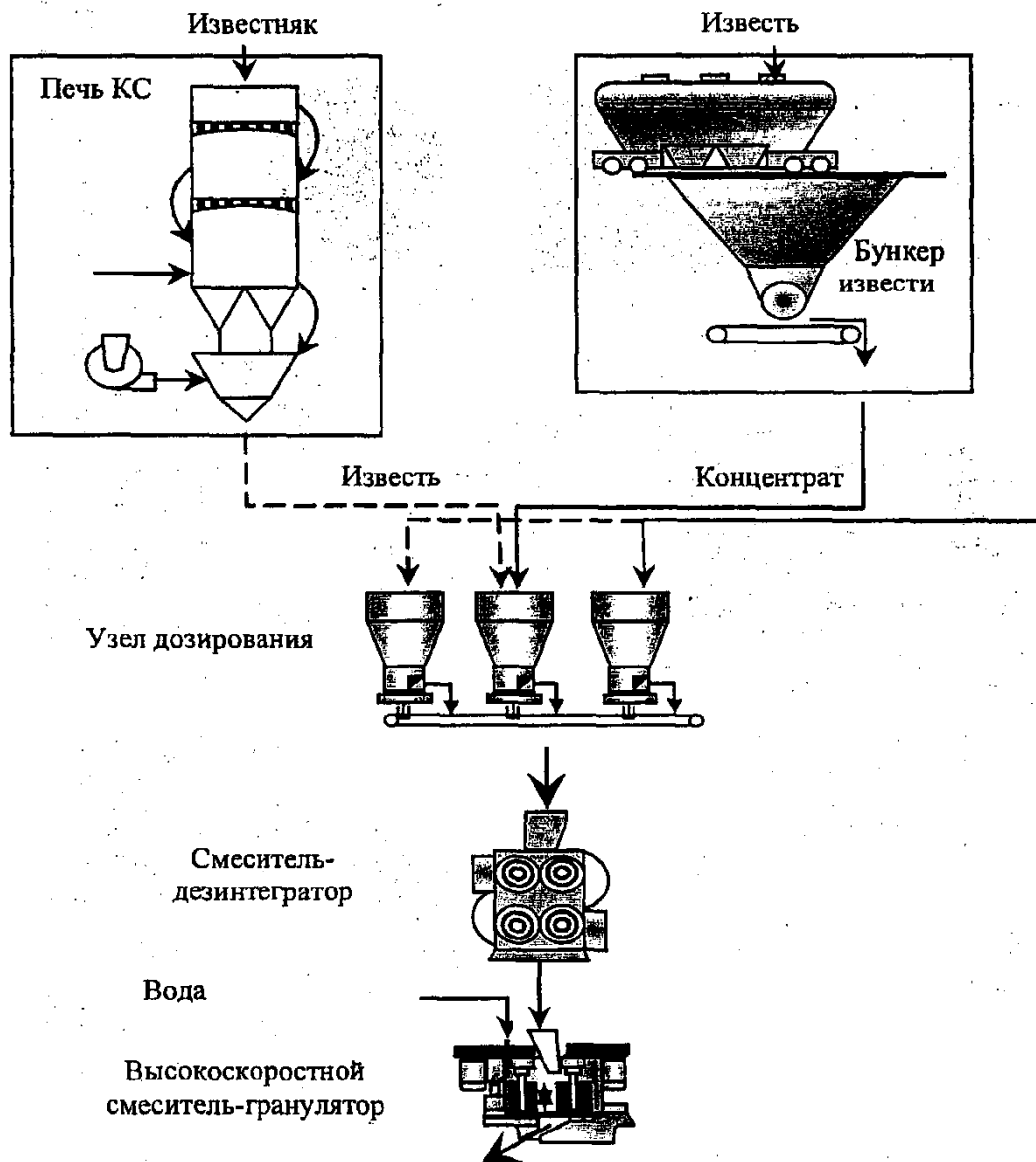


Рисунок 4.9 – Схема комплексу по виробництву офлюсованого гранульованого концентрату

Покриття вапна вологим концентратом сприяє зниженню виділення пилу, у зв'язку з чим спеціальних заходів по аспірації вузла не потрібно. Зі стрічкового конвеєра шихта загружається на валкову дробарку, де змішані з вологим концентратом крупні шматки вапна подрібнюються без пило виділення. З валкової дробарки шихта загружається у високошвидкісний змішувач-

гранулятор, куди також подається вода. У високошвидкісному змішувачі відбувається перемішування частинок вапна з водою і концентратом, і його гасіння. Перемішана шихта частково гратулюється з отриманням вапняково-залізистих гранул стабільних по крупності.

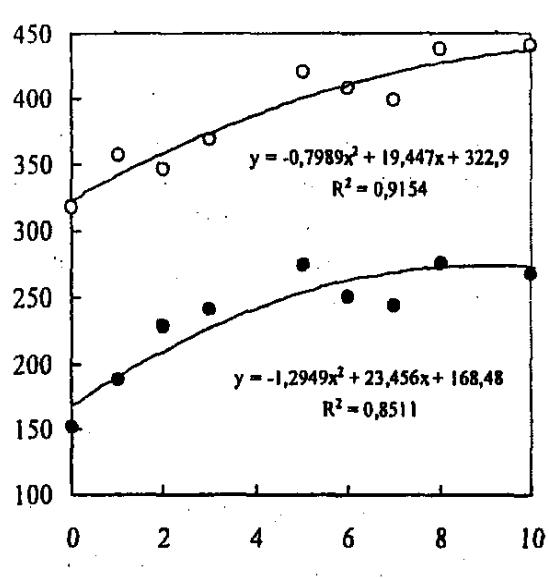


Рисунок 4.10 – Залежність механічної міцності офлюсованих сирих (1) і сухих (2) гранул від тривалості вилежування

Як видно з рисунку 4.10, на якому показана зміна міцності гранул, отриманих із суміші концентрату НКГЗК з вапном (5 %), величина статичної міцності офлюсованих вологих і сухих гранул після вилежування впродовж 5 діб, досягає практично максимального значення, збільшуючись відповідно від 151 до 274 і від 318 до 420 г/гран., тобто відповідно у 1,81 і 1,32 рази. Такому збільшенню лише міцності вологих гранул може відповідати зростання продуктивності аглоустановки на 21 – 25 %. Детальний спосіб підготовки пиловатих руд і концентратів вже більше 45 років застосовується за кордоном на аглофабриках чорної і кольорової металургії (наприклад, на заводах «Трепл» – Канада, «Бункер-Хілл» – США, «Рошер» – Швеція та інш.).

Цікаво зазначити, що зміна динамічної міцності оком кованої суміші суттєво пов'язана з реологічними властивостями матеріалу. Як видно з малюнку 4.11, динамічна міцність спочатку зменшується (з зв'язку з ще триваючим

диспергуванням вапна і зростанням пластичності гранул), а потім незначно збільшується (внаслідок твердіння новоутворень).

По даним розробників інституту Механобр, при освоєнні у напівпромислових умовах на заводі «Сибелектросталь» технології окомкування офлюсованого концентрату приріст питомої продуктивності склав 40 – 60 % при зниженні витрати палива на 15 – 20 % і зменшенні вмісту дріб'язку класу 0 – 5 мм у бункерному агломераті на 10 – 12 %. Таке покращення показників було досягнуто при питомій витраті вапна 25 – 27 кг/т агломерату.

4.10. Методика дослідження технології виробництва офлюсованого агломерату

Дослідні спікання проводили в циліндричній чаші діаметром 300 мм ($F_{\text{спек}} = 0,07 \text{ м}^2$) у шарі висотою 335 мм при початковому розрідженні під колосниковими ґратами 980 мм вод. ст., створюваної вентилятором із плавно, що змінюється характеристикою. Для запалювання шихти застосовувався пальник, що працює на природному газі. Тривалість запалювання - 1 хвилина, розрідження під колосниковими ґратами запалюванням - 600 мм вод. ст.

Залізорудна частина шихти складалася з 80% магнетиту концентрату й 20 % аглоруди, що відповідає умовам виробництва агломерату в аглоцеху НКГЗК. Витрата доломітизованого вапняку й твердого палива відповідно до розрахунку. Як паливо застосовувалася суміш коксового дріб'язку й антрацитового штибу в співвідношенні 1:1. хімічний і гранулометричний склади шихтових матеріалів представлені в таблицях 4.11 та 4.12.

Підготовка шихти до спікання вироблялася в такий спосіб. Зважені матеріали шарами завантажували в змішувальний барабан закритого типу діаметром 700 мм і довжиною 1200 мм і змішували на протязі 20 хвилин при швидкості обертання 24 про/хв.

Потім суміш матеріалів зволожували на металевому аркуші до відносної вологості, ретельно перемішували, після чого окомковували в тім же барабані в плинні 1 хвилини.

Готову озернену шихту зважували й завантажували в аглочашу. У всіх випадках застосовували постіль крупністю 10-20 мм, що виділяли із придатного агломерату, висота шару постелі становила в середньому 15,0 мм.

Під час спікання автоматично реєструвалася температура газів, що відходять, під ґратами, а також щохвилини фіксували розрядження у вакуум-камері. Схеми установки представлені на мал. 4.11.

За закінчення процесу спікання приймали момент досягнення газами, що відходять, максимальної температури, що вимірює за допомогою термопары й потенціометра ЭПП-09. при визначенні тривалості спікання враховувався й час запалювання шихти 1,0 мм.

По закінченню спікання вимірювали висоту, потім пиріг агломерату вивантажувався на металевий профіль, розколювався по осі на 3-4 частині й прохолоджувався на повітрі в природних умовах у плинні 30,0 хвилин, що забезпечувало його охолодження до 100°C. Продуктивність агломераційної установки по спеку (Q_c) і по придатному агломерату (Q_m) розраховували по формулах:

$$Q_c = \frac{P_c}{F \cdot r}, \quad Q_m = \frac{Q_c \beta}{100} \quad \text{т/(м}^2 \cdot \text{ч)}$$

де P_c - вага спека, кг

F - площа спікання

r - тривалість спікання, год.

β - вихід придатного, %

Таблиця № 4.11 – Хімічний склад складників агломераційної шихти

Складники агломераційної шихти	Склад, %									
	Fe _{общ}	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	M	Al ₂ O ₃	P	S	C _T
Магнетитовий концентрат	65,0	27,6	62,2	8,5	0,04	0,92	0,13	0,036	0,02	-
Агломераційна руда	53,0	0,7	75,0	17,0	0,7	0,3	3,8	0,05	0,046	-
Доломітезований вапняк	1,2	-	1,7	1,46	45,5	7,5	0,13	-	-	-
Коксовий дріб'язок (зола A ^c =12,6%)	8,0	-	11,4	43,0	6,1	1,4	22,0	0,17	2,0	-
Антрацитовий штиб	6,0	-	8,6	49,2	3,2	1,2	22,5	0,06	2,0	-

Таблиця № 4.12 – Технічний аналіз палива

Вид палива	Склад, %				
	A ^c	V ^c	S ^c	C _{нел}	W ^p
Коксовий дріб'язок	12,6	4,4	2,0	81,2	2,0
Антрацитовий штиб	17,0	3,5	2,0	77,6	4,6

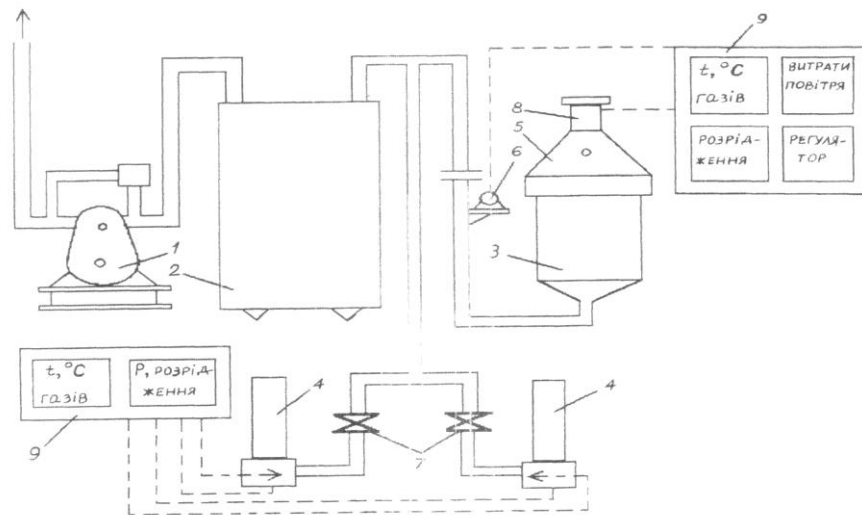


Рисунок 4.11 – Схема лабораторної агломераційної установки:
 1 - газодувка; 2 - скруббер; 3 - аглочаша 0,1 м; 4 - аглочаша $\phi = 100$ мм;
 5 - газовий пальник; 6 - регулятор; 7 - вентиль; 8 - вимірювальна шайба;
 9 - щит КВП.

4.11. Визначення міцності агломерату

Шихта доменних печей не повинна містити фракції - 5 мм. Оптимальна крупність шматків залізорудної сировини (руди, агломерату й окатишів) становить 10 - 40 мм.

Дріб'язок повинен бути ретельно відсіяний, щоб у скіпах доменних печей його зміст не перевищував 3,0 - 5,0 % (по масі). Міцність при перевантаженнях і завантаженнях у піч називають холодною. Однак при нагріванні, відновленні й активній вазі стовпа шихти шматки залізорудної сировини продовжують руйнуватися у доменній печі. При цьому дріб'язок, що утворився, особливо шкідливий, тому що він не може бути відсіяний на грохотах і вилучений із шихти. Властивість шматків руди, агломерату, окатишів протистояти навантаженням у доменній печі називають їхньою гарячою міцністю.

Холодну міцність агломерату оцінюють при стандартному барабанному випробуванні (Держстандарт - 15137 - 77), або в барабані Рубіна.

По стандарту випробування холодної міцності проби руди (10 - 40 мм), агломерат (5 - 40 мм), або обкотиші (5 - 25 мм) масою 15,0 кг вводять в обертовий (25 об/хв) глухий барабан на протязі 8 хв.

Барабан діаметром 1000 мм і шириною 500 мм постачений на внутрішній поверхні циліндра розташованими із двох сторін по одному з діаметрів циліндра сталевими куточками (50 х 50 х 5) мм. Дослід ведуть на протязі 8 хвилин (200 оборотів барабана), після чого визначають вихід фракції $>5,0$ мм, що характеризує міцність агломерату, і вихід більш тонкої фракції $<5,0$ мм, що характеризує його стирання.

В барабані конструкції П. Г Рубіна (діаметр 1000 мм, ширина 600 мм) знаходиться три полки, які розташовані під кутом 120° . Пробу (20 кг фракції 25 - 100 мм) завантажують у глухий барабан й обертають на протязі 4 хвилин зі швидкістю 25 об/хв. Показником міцності є вихід руди фракцією - 5,0 мм.

За Держстандартом 19575 - 74 гаряча міцність руди, агломерату й окатишів визначається в обертовому барабані при безперервній подачі 15 л/хв газової суміші, що складає 32 - 34 % CO, та 62 - 63 % N₂, і 3 - 5,0 % CO₂. Спочатку на протязі 40 хв. температуру в печі підвищують до 600°C зі швидкістю $15^\circ\text{C}/\text{хв}$, а в наступні 2 ч 20 хв. зі швидкістю $1,43^\circ\text{C}/\text{хв}$. Кінцева температура дослідів становить 800°C . Барабан установки (діаметр 145 мм, довжина 500 мм) по внутрішній поверхні обладнаний чотирма полками висотою 20,0 мм.

Вході дослідів барабан обертають із частотою 10 об/хв на протязі 185 хв. Останні 5 хвилин вміст барабану при виключеній електропечі охолоджують газом установлювачем до $400 - 500^\circ\text{C}$.

Показником гарячої міцності, руйнування та стирання сировини вважають відповідно вихід фракції >10 мм, $>0,5 - 5,0$ мм та $<0,5$ мм після випробування (первісна крупність проби масою 500 г становить 10 - 15 мм)

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

В економічній частині даної роботи розраховували техніко-економічні показники процесу спікання і якості агломерату з урахуванням досліджень, описаних у попередніх розділах.

Дослідження проводились на базі ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», аглоцеху № 3 Гірничого департаменту (в минулому Новокриворізький гірничо-збагачувальний комбінат), для шихти основністю 1,4 і висоти спікаємого слою 290 мм.

Було доведено, що поліпшення якості агломерату можна досягти замінивши частину вапняку високоякісним активним вапном (вміст $\text{CaO}_{\text{акт}}$ близько 92%). Найкращих результатів можна досягти замінивши 62,5% вапняку активним вапном зі вмістом $\text{CaO}_{\text{акт}}$ рівним 89-92%.

За даними таблиці 4.5 це призведе до:

- зменшення насипної маси шихти на 4,25% (з 1,88 до 1,80 т/м³);
- збільшення вертикальної швидкості спікання на 12% (з 20,0 до 22,5 мм/хв.);
- зниження витрати твердого палива – коксового дріб'язку – на 12,83% (з 37,4 до 32,6 кг/т агломерату);
- підвищення питомої продуктивності агломашини на 9,32% (з 1,39 до 1,52 т/м²·Г).

За даними таблиці 2.9 це призведе до:

- збільшення виходу класу + 20 мм від 21,9 до 25,1%;
- зменшення виходу класу 20-10 мм від 25,4 до 24,3%;
- зменшення виходу класу 10-5 мм від 26,6 до 26%;
- зменшення виходу дріб'язку – 5 мм від 26,1 до 25,6%.

Заміна вапняку на високоякісне вапно знизить інтенсифікуючий вплив звороту (пункт 2.6 спеціальної частини), що дозволить знизити його використання з 264 до 208 кг/т агломерату (на 26,92%) і збільшити кількість

концентрату з 420 до 476 (на 12,24 %), що призведе до збільшення вмісту заліза в агломераті з 64,0 до 64,8% і дозволить збільшити відпускну ціну.

Внаслідок впровадження нової технології виробництва агломерату:

1) зменшилась питома витрата палива на 4,8 кг/т агломерату, тобто на 19200 т в рік. Внаслідок чого собівартість агломерату знизилась на

$$\Delta C_2 = \frac{19200 \cdot 860}{4 \cdot 10^6} = 4,248 \text{ грн./т};$$

2) збільшилась питома витрата концентрату на 56 кг/т агломерату, тобто на 224000 т в рік. Внаслідок чого собівартість агломерату збільшилась на

$$\Delta C'_2 = \frac{224000 \cdot 935,78}{4 \cdot 10^6} = 52,404 \text{ грн./т};$$

3) зменшилась питома витрата відсіву агломерату на 56 кг/т агломерату, тобто на 224000 т в рік. Внаслідок чого собівартість агломерату зменшилась на

$$\Delta C_2 = \frac{224000 \cdot 482}{4 \cdot 10^6} = 26,992 \text{ грн./т};$$

4) зменшилась питома витрата вапняку на 10 кг/т агломерату, тобто на 40000 т в рік. Внаслідок чого собівартість агломерату зменшилась на

$$\Delta C_2 = \frac{40000 \cdot 441,07}{4 \cdot 10^6} = 0,441 \text{ грн./т};$$

5) збільшилась питома витрата вапна на 25 кг/т агломерату, тобто на 40000 т в рік. Внаслідок чого собівартість агломерату збільшилась на

$$\Delta C'_2 = \frac{40000 \cdot 880,38}{4 \cdot 10^6} = 0,880 \text{ грн./т}.$$

В цілому собівартість шихтових компонентів для виробництва агломерату збільшилась на

$$\Delta C_2 = -4,248 + 52,404 - 26,992 - 0,441 + 0,880 = 21,603 \text{ грн./т агломерату};$$

6) збільшилась питома продуктивність агломашини від 1,39 до 1,52 т/м²·г, внаслідок чого було додатково вироблено 372,8 тис. т агломерату від реалізації якого можна розраховувати на додатковий прибуток;

7) збільшився вміст заліза в агломераті на 0,8%, що дозволило збільшити відпускну ціну агломерату на $80 \times 0,8 = 64$ грн./т (при збільшенні вмісту заліза в агломераті на 1 % відпускна ціна збільшується на 80 грн./т агломерату);

8) збільшився вихід придатного агломерату класу + 5 мм на 1,5%, що дозволило збільшити відпускну ціну на $20 \times 1,5 = 30$ грн./т (при збільшенні виходу придатного на 1 % відпускна ціна збільшується на 20 грн./т агломерату).

Таким чином, в результаті впровадження нової технології виробництва агломерату собівартість 1 т готової продукції збільшиться 21,603 грн./т. Відпускна ціна збільшилась на $64 + 30 = 94$ грн./т.

Застосування наших пропозицій навіть при зменшенні витрат на тверде паливо призведе до підвищення собівартості за рахунок здороження шихтових матеріалів.

Так ми довели покращення якості то можна розраховувати, як ми вже зазначали на збільшення долі прибутку. Також враховували збільшення річного виробництва агломерату. Тож прибуток підприємства становитиме:

$$П_{\text{баз}} = (1980,9 - 1650,75) \times 4000 \times 0,82 = 1082892 \text{ тис. грн.},$$

$$П_{\text{пропоз}} = (2074,9 - 1672,34) \times 4372,8 \times 0,82 = 1443457,8 \text{ тис. грн.}$$

Розглянуті показники зводимо для порівняння в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Зміна техніко-економічних показників процесу спікання агломерату до і після впровадження нової технології виробництва

Показники	Варіант технології		Відхилення	
	базовий	запропонований	абс.	відн., %
Висота спікаємого слою, мм	290	290	-	-
Основність аглошихти, д.од.	1,4	1,4	-	-
Витрата вапняку	40	15	-25	-62,5
Втрата активного вапна	0	25	25	+100
Вертикальна швидкість спікання, мм/хв.	20,0	22,5	+2,5	+12,5
Насипна маса аглошихти, т/м ³	1,88	1,80	-0,08	-4,3
Витрата твердого палива, кг/т	37,4	32,6	-4,8	-12,8
Вміст заліза в агломераті, %	64,0	64,8	+0,8	+1,3
Питома продуктивність агломашины, т/м ² г	1,39	1,52	+0,13	+9,3
Ситовий склад агломерату, %				
+ 20 мм	21,9	24,1	+2,2	+10,1
20-10 мм	25,4	24,3	-1,1	-4,3
10-5 мм	26,6	26	-0,6	-2,3
- 5 мм	26,1	25,6	-0,5	-1,9
Вихід гідного + 5 мм	73,9	75,4	+1,5	+2,0
Вартість шихтових компонентів, грн./т	1316,14	1337,74	+21,6	+1,6
Вартість витрат на металургійний переділ, грн./т	334,60	334,60	-	-
Собівартість 1 т агломерату	1650,75	1672,34	+21,6	+1,3
Відпускна ціна 1 т агломерату	1980,9	2074,9	+94,0	+4,7
Річна продуктивність аглофабрики, тис. т	4000	4372,8	+372,8	+9,3
Річний прибуток аглофабрики, млн. грн.	1082,892	1443,458	+360,566	+33,3

Таким чином, впровадження запропонованого технологічного підходу забезпечить підприємству збільшення продуктивності виробництва агломерату, що за рік становитиме додатково 372,8 тис. т. Загальне зростання собівартості становитиме 1,3%, але за рахунок покращення якісних показників агломерату ціна збільшиться на 4,7%. В результаті такої зміни вказаних параметрів підприємство отримає додатково 360,6 млн. грн.

6. ОХОРОНА ПРАЦІ

У процесі дослідження впливу часткової заміни вапняка на активне вапно був проведений ряд дослідів у приміщеннях хімічної лабораторії, що максимально наближені до реальних умов. Кореляційний аналіз лабораторних даних виконаний на ЕОМ.

З метою забезпечення вимог з охорони праці та безпеки життєдіяльності при лабораторних дослідженнях і подальших розрахунках передбачено заходи при користуванні обладнанням та персональним комп'ютером.

6.1. Заходи електробезпеки

Для аналізу хімічного складу шихтових матеріалів та готового агломерату використовується електричне обладнання. Під час експерименту ураження дослідника електричним струмом може відбутись внаслідок обривів електропроводки, пошкодження ізоляції на проводах. Щоб уникнути цього передбачені подвійна ізоляція проводів, захисне заземлення розетки (робоче заземлення для захисту обладнання від пошкодження), заземлення корпусів обладнання для захисту дослідників під час проведення експерименту, гумові килимки під ногами дослідника, система аварійного розімкнення токоведучого контуру при перевантаженні електричної мережі, захисні запобіжники.

6.2. Захист від шуму та вібрації

При ситовому аналізі шихтових матеріалів і готового агломерату використовується обладнання (грохоти, подрібнювачі, барабани для випробування на міцність) виникають сильні шуми і вібрації, що негативно впливають на дослідника.

Для боротьби з ними використовують засоби особистого захисту, а саме:

- для захисту органів слуху – шумоподавляючі навушники, або спеціальні вкладиші – «бируші»;

- для захисту від вібрації обладнання встановлюють на незалежні фундаменти, або на амортизатори, та використовують віброгасні килимки. В лабораторних умовах використання вібро-гасного взуття не доцільно через малий час впливу вібрації.

6.3. Пожежна безпека

При проведенні дослідів в лабораторії особливу небезпеку представляє неправильне користування горючими речовинами (паливом: коксовим дріб'язком та торфом; засобами запалювання аглошихти; горючими хімічними реактивами).

Основні заходи щодо запобігання вибухів і пожеж полягають в ізолюванні небезпечних речовин від навколишнього середовища, підтриманні концентрації їх парів у повітрі нижче вибухонебезпечних концентрацій, доброму провітрюванні приміщення лабораторії. В приміщенні лабораторії має одночасно знаходитись тільки така кількість вибухо- і пожежо-небезпечних речовин, яка потрібна для дослідів. Обов'язкову у приміщенні лабораторії мають знаходитись вогнегасник і відро з піском.

6.4. Робота за персональним комп'ютером.

Відеотермінал і клавіатура повинні відповідати усім необхідним вимогам.

Клавіатура виконана у вигляді окремого пристрою з можливістю вільного переміщення з наявністю опорного пристрою, який дає змогу змінювати кут нахилу клавіатуру в межах від 5° до 15° і виготовлений з матеріалу з великим коефіцієнтом тертя, що перешкоджає його переміщенню. Окремі групи клавіш виділені кольором та місцем розташування. Всі клавіші мають заглиблення

посередині, однаковий хід з мінімальним опором натисканню 0.25 Н та максимальним не більше 1,5 Н.

Робоче місце з відео терміналом розміщуватися відносно світлових прорізів так, що природне світло падало з лівого боку, на відстані 1 м від стіни зі світловими прорізами. Відстань між бічними поверхнями відеотерміналу складала 1,4 м (має бути не меншою за 1,2 м).

Конструкція робочого місця користувача відео терміналу (при роботі сидячи) забезпечувала підтримання оптимальної робочої пози з такими ергономічними характеристиками: ступні ніг - на підлозі; стегна - в горизонтальній площині; передпліччя - вертикально; лікті - під кутом 70-90° до вертикальної площини; зап'ястя зігнуті під кутом не більше 20° відносно горизонтальної площини, нахил голови - 15-20° відносно вертикальної площини. Робоче крісло користувача відео терміналу та персонального ЕОМ мало всі необхідні елементи: сидіння, спинку та підлокітники, а також можливість регулювання за висотою і кутом нахилу сидіння та спинки, за відстанню спинки до переднього краю сидіння. Регулювання кожного параметра було незалежним, плавним, мало надійну фіксацію.

Приміщення з ЕОМ мало природне і штучне освітлення відповідно до СНиП 11-4-79 "Естественное и искусственное освещение".

Природне світло проникало через бічні світло прорізи, зорієнтовані на північ і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1.5%. Вікна приміщень з відео терміналами мали відкриття і штори.

Штучне освітлення приміщення з робочим відео терміналом ЕОМ було обладнане системою місцевого освітлення.

Як джерело світла при штучному освітленні у світильниках місцевого освітлення застосовувалися лампи розжарювання.

Рівень освітленості на робочому столі в зоні розташування документів бути в межах 300-500 лк.

Світильник місцевого освітлення мали напівпрозорий відбивач світла з захисним кутом близько 45° (необхідно не менше 40°).

6.5. Забезпечення оптимального освітлення

Освітлення в лабораторії забезпечується комбінацією штучного та природного джерел світла. Природне світло надходить через бокові отвори, що відповідає вимогам Сніп II-IV-79 ($\epsilon=0,954\%$). Штучне освітлення забезпечується люмінесцентними лампами.

6.6. Джерела пилу

Для забезпечення нормальних умов праці на робочих місцях повинні бути забезпечені наступні параметри мікроклімату: температура на робочих місцях - 13-28 °С, вологість повітря не більше – 75%, швидкість повітря – 0,2-1,0 м/с.

Для підтримання цих параметрів приміщення обладнано системами опалення і приточно-витяжної вентиляції.

Всі роботи пов'язані з горючими речовинами виконують у витяжній шафі.

6.7. Висновки

Отже, в процесі проведення досліджень з питань впливу часткової заміни вапняку на активне вапно були проведені досліді в хімічній лабораторії та оброблені їх результати за допомогою ЕОМ.

Були визначені заходи захисту на робочих місцях від шуму та вібрації, захист від ураження електричним током, вимоги до освітлення на робочих місцях, мікроклімату робочих місць, пожежної безпеки.

Дотримання визначених правил при роботі у хімічній лабораторії та під час оброблення результатів на ЕОМ забезпечить комфортні і безпечні умови праці, знизить травматизм і ризик виникнення професійних захворювань.

7. Висновки

1. Підвищення вмісту в шихті тонкоподрібнених концентратів знижує вертикальну швидкість спікання і продуктивність агломашини. Основною причиною зниження швидкості спікання є погіршення гранулометричного складу шихти і зниження міцності гранул у зонах перезволоження. Гранули, утворені при оком куванні шихти з високим вмістом концентрату неоднорідні за хімічним складом, що знижує міцність агломерату.

2. Вапно, що вводиться в агломераційну шихту є ефективним інтенсифікатором агломераційного процесу, покращує гранулометричний склад шихти, підвищує міцність гранул і однорідність їх хімічного складу. Додаток вапна підвищує початкову температуру шихти за рахунок тепла, що виділяється при гідратації, зменшує витрату палива за рахунок зниження витрат тепла, необхідного для дисоціації кальцієвих сполук, здійснює каталітичний вплив на процеси горіння.

3. Інтенсифікуючий вплив вапна залежить від його якості – чим вище якість, тим вище інтенсифікуючий ефект. Ступінь диспергування вапна залежить від ступеня обпалу вапна і його крупності. Якість вапна залежить від режиму обпалу початкового матеріалу (вапняку).

4. Інтенсифікуючий вплив вапна має екстремальний характер. Оптимальна кількість вапна залежить від складу шихти і якісних характеристик вапна. Зі збільшенням концентрату в шихті кількість вапна в шихті має збільшуватись, а з підвищенням його якості – знижуватись. Спосіб вводу вапна в шихти вибирається в залежності від умов подачі компонентів шихти на конкретній фабриці, але потрібен якомога триваліший контакт концентрату з вапном.

5. Введення вапна в шихту підвищує її початкову температуру, внаслідок чого зменшується зона перезволоження.

6. Введення вапна в шихту є економічно доцільним, не дивлячись на збільшення собівартості шихти.