

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

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

Тема роботи: Підвищення ефективності агломераційного виробництва шляхом стабілізації складу залізрудного агломерату

Виконав:

студент групи ЗМТ-21-1

Барадаков О.О.

Керівник випускної роботи

Савельєв С.Г.

Нормоконтролер

Савельєв С.Г.

Завідувач кафедри

Савельєв С.Г.

Кривий Ріг

2025 р.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Стабільність складу залізорудного агломерату як важлива складова ефективності агломераційного виробництва.....	9
1.1. Теоретичні аспекти стабілізації складу залізорудного агломерату.....	9
1.1.1. Фізичний сенс стабільності складу сипкого матеріалу.....	
1.1.2. Показники стабільності складу сипкого матеріалу.....	
1.1.3. Математичне моделювання процесу змішування	
1.2. Шляхи і способи підвищення стабільності хімічного складу агломерату.....	
1.2.1. Загальна характеристика шляхів і способів підвищення стабільності хімічного складу агломерату.....	
1.2.2. Підвищення стабільності хімічного складу агломерату вдосконаленням процесу формування шихти і покращення її однорідності.....	
1.2.2.1 Вдосконалення процесів складування компонентів шихти і формування шихтової композиції.....	
1.2.2.2 Вдосконалення процесів дозування компонентів шихти	
1.2.2.3. Вдосконалення процесів змішування шихти	
1.3. Способи підвищення стабільності гранулометричного складу агломерату	
2. Розробка прийомів стабілізації хімічного і гранулометричного складу агломерату, оцінка впливу стабілізації якості сировини на агломераційний і доменний процеси ...	
2.1. Використання технології формування моношихти.....	

2.2. Вдосконалення технології для дозування компонентів
шихти.....

2.3. Вдосконалення технології і обладнання для змішування
шихти

2.4. Вдосконалення технології і обладнання для підвищення
стабільності гранулометричного складу агломерату.....

2.5. Вплив стабільності хімічного і гранулометричного складу
шихті і агломерату на агломераційний процес і металургійний переділ

Висновки

Джерела інформації

ВСТУП

Найбільш поширеним матеріалом сучасності є сталь, щорічне глобальне виробництво якої складає близько 1,85 млрд. т. Оскільки сталь на 45-98 % складається з заліза, це означає, що людство продовжує жити в залізному віці, який розпочався 3 млрд. років тому і буде продовжуватись ще дуже довго. Сьогодні не менше 92 % сталі в світі виробляють двухстадійним способом, тобто спочатку з залізорудної сировини в доменних печах виплавляють чавун, з якого потім отримують сталь. Основним компонентом доменної шихти є офлюсований агломерат, середній вміст якого в залізорудній частині шихти складає 60-80 %.

Таким чином, питання, пов'язані з підвищенням ефективності агломераційного виробництва, яке є основним постачальником вихідної сировини для доменного переділу, слід вважати актуальними, приділяти їм підвищену увагу. Серед значної кількості методів підвищення ефективності виробництва агломерату, які спрямовані на покращення різних показників агломераційного процесу, важливе місце займає стабілізація складу залізорудного агломерату, що означає прагнення до незмінності в об'ємно-часовому просторі його хімічних, мінералогічних та гранулометричних характеристик.

Зниження коливання властивостей сировини, тобто стабілізація її складу, є найважливішою умовою підвищення ефективності виробництва, в першу чергу, якості готової продукції в галузях, де застосовуються технологічні суміші або шихти з різнорідних за своїм складом або фізичними властивостями матеріалів. У зв'язку з цим завдання щодо підвищення однорідності сировини та проміжних технологічних сумішей актуальні не тільки для металургійної промисловості, але також для підприємств багатьох інших галузей, зокрема будівельної, гірничорудної, вугледобувної, збагачувальної, коксохімічної.

Однорідність залізорудної сировини може бути досягнута такими способами [1, с. 5]:

– усередненням залізорудних матеріалів на центральному (у межах басейну, рудника чи шахти) складі. У цьому випадку споживач отримує один сорт руди, який є основним компонентом агломераційної шихти. Як приклад може бути проект Криворізького рудопідготовчого комбінату, який так і не був реалізований;

– усередненням залізорудних матеріалів на складі споживача. Як і в першому випадку, аглофабрика отримує усереднену залізорудну суміш як єдиний залізорудний компонент шихти. Прикладом роботи з цього способу є усереднювальні склади моношихти аглофабрик гірничого збагачувального виробництва ВАТ «Магнітогорський металургійний комбінат», ВАТ «НОСТА» (Орсько-Халілівський металургійний комбінат) та ін.;

– усередненням кожного компонента залізорудної частини аглошихти окремо на складі споживача та самостійним дозуванням його у шихтовому відділенні аглофабрики. Цим способом працюють майже всі вітчизняні аглофабрики.

Характерною особливістю підвищення ефективності агломераційного виробництва шляхом стабілізації складу залізорудного агломерату, як і більшості інших шляхів, полягає в тому, що цей шлях призводить не тільки до покращення споживчих, тобто металургійних властивостей, агломерату, але також супроводжується позитивним впливом на основні показники власне агломераційного процесу – питому продуктивність агломераційної машини та витрату твердого палива в аглошихту. Так, проаналізувавши опубліковані роботи з оптимізації агломераційного процесу, автори статті [2] вказують, що вона полягає в підвищенні продуктивність агломераційної машини та покращенням якості агломерату і визначається головним чином характеристиками шару згрудкованої агломераційної шихти на спікальних візках агломашини, що формуються під впливом сегрегації шихти при її завантаженні на машину.

Формування стабільного складу агломерату є непростю комплексною задачею, вирішення якої повинно здійснюватися на кожній стадії виробничого

процесу його отримання, починаючи з прийому і складуванню компонентів агломераційної шихти і завершуючи обробкою агломераційного спеку. Досягнення однорідної структури пирога агломерату ускладнено нерівномірним температурним режимом спікання шару шихти на палетах агломераційної машини методом просмоктування повітря. Збільшення температури в зоні горіння твердого палива у міру її руху вниз до колосників спікальних візків обумовлено регенерацією тепла вище розташованої зони гарячого спеку. Подібний характер розподілу температур по висоті шару шихти, що спікається, призводить до нерівномірності структури і мінералогічного складу пирога агломерату і вимагає здійснення заходів для стабілізації температури в зоні горіння палива – зони формування структури готового агломерату.

Дана кваліфікаційна бакалаврська робота, що присвячена питанню підвищення ефективності агломераційного виробництва шляхом стабілізації складу залізорудного агломерату, містить огляд і аналіз відомих методів стабілізації основних показників якості агломерату – вмісту заліза і кондиційного класу крупності, а також розробку дієвих пропозицій щодо зменшення коливання цих показників.

.

1 СТАБІЛЬНІСТЬ СКЛАДУ ЗАЛІЗОРУДНОГО АГЛОМЕРАТУ ЯК ВАЖЛИВА СКЛАДОВА ЕФЕКТИВНОСТІ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

1.1 Теоретичні аспекти стабілізації складу залізорудного агломерату

1.1.1. Фізичний сенс стабільності складу сипкого матеріалу

Стабільність складу сипкого матеріалу означає, що матеріал зберігає свої фізичні та хімічні властивості в часі і просторі, не змінюючись у своєму складі. Це означає також, що матеріал не змінює своїх функціональних характеристик, які обумовлені його складом, таких як розмір і форма частинок, щільність, вологість та інші властивості, які визначають його поведінку та можливості використання.

Стабільність штучних сипких матеріалів неоднорідної структури, змінного гранулометричного і хімічного складів, до яких належить залізорудний агломерат, є комплексною характеристикою, що значною мірою впливає на їх споживчу вартість. Таким чином, в узагальненому вигляді, синонімом стабільності є незмінність складу і властивостей матеріалу, які в першу чергу, характеризують фізичний сенс цього терміну.

Для забезпечення порівнянності результатів окремих визначень неоднорідності суміші різних за своїми хімічними та фізичними властивостями матеріалів, способів та закономірностей процесів їх змішування та усереднення, необхідно у всіх випадках керуватися такими принципами [3 с.167-169].

1. Чітко розмежувати поняття однорідності і усередненості суміші.

2. Неоднорідність суміші однозначно визначається дисперсією її складу на рівні елементарних порцій від шматка до шматка і залежить від вихідної неоднорідності змішуваних матеріалів і витрати цих матеріалів при об'єднанні в суміш:

$$\sigma_{cm}^2 = q_j[\sigma_{ij}^2 + (X_j - X_{cm})^2],$$

де $\sigma_{\text{см}}^2$ – дисперсія складу від шматка до шматка суміші і j -тих матеріалів, що до неї входять;

$X_{\text{см}}$ і X_j – середній вміст контролюємого компонента в суцці і в j -ому матеріалі;
 q_j – відносна доля j -ого матеріалу в суміші.

3. У процесі перемішування (усереднення) неоднорідність суміші не змінюється, так само як не змінюється і величина дисперсії її складу від шматка до шматка.

Неоднорідність може змінюватися у разі, якщо по ходу змішування відбувається додаткове дроблення або стирання матеріалів (наприклад, при перевантаженнях), або якщо змінюється співвідношення компонентів суміші (наприклад, варіювання витрати матеріалів при дозованій їх подачі в потік суміші).

4. Усередненість суміші (ретельність, ступінь її перемішаності) вичерпним чином характеризується автокореляційною функцією (АКФ) коливань складу - вона дозволяє не тільки кількісно оцінити ступінь перемішаності (упорядкованості взаємного розташування шматків), але і простежити закономірності зміни коливання складу.

5. Дисперсія складу суміші при усередненні за результатами випробування залежить від вихідної неоднорідності та від усередненості:

$$\sigma_{\theta}^2 = \sigma_t^2 \cdot T,$$

де σ_t^2 – дисперсія від шматка до шматка, яка характеризує неоднорідність і не змінюється в процесі усереднення;

T – узагальнена характеристика усередненості, яка встановлюється видом і величиною АКФ.

У погано усередненому матеріалі параметр T близький до одиниці, і дисперсія суміші σ_{θ}^2 приблизно дорівнює дисперсії σ_t^2 . В ідеально усередненому матеріалі, що складається з N шматків, параметр T прагне до $1/N$, а дисперсія $\sigma_{\theta}^2 = \sigma_t^2/N$. Якщо при цьому число шматків (проб) велике, то для ідеально перемішаної суміші дисперсія її складу закономірно зменшується.

Звернення до АКФ для опису процесу усереднення пов'язано з тим, що іноді для цього наведених нище (п. 1.2.1) статистичних характеристик коливань буває недостатньо, оскільки вони не дозволяють виявити походження коливань, їх внутрішню структуру не призначені для опису просторового розподілу порцій різного складу в обсязі матеріалу [1 с. 10-12].

Для залежних спостережень було запропоноване поняття «пов'язаного ряду»: ймовірність тих чи інших значень випадкової величини залежить від цього, які значення вона вже набула раніше чи отримувати пізніше. Інакше кажучи, існує поле розсіювання пар значень $x(t)$, $x(t+\tau)$ низки, де t – час, а τ – постійний інтервал, що характеризує взаємозалежність наступних реалізацій процесу від попередніх. Тіснота цього взаємозв'язку оцінюється коефіцієнтами автоковаріації.

$$g(\tau) = \frac{1}{n} \sum (x(t) - M)(x(t + \tau) - M)$$

та автокореляції

$$, r(\tau) = \frac{g(\tau)}{D},$$

де M і D – математичне очікування та дисперсія випадкового процесу.

Для розрахунку автоковаріації та автокореляції реальних процесів необхідна інформація про спільний розподіл ймовірностей рівнів ряду $p(x(t_1), x(t_2))$. Однак для стаціонарних процесів, що знаходяться в певній статистичній рівновазі, цей розподіл ймовірностей однаковий для всіх моментів часу, розділених одним і тим же інтервалом. Оскільки дисперсія стаціонарного процесу в будь-який момент часу (як у t , так і в $t + \tau$) дорівнює $D = g(0)$, то автокореляція з інтервалом може бути визначена за виразом

$$r(\tau) = \frac{g(\tau)}{g(0)}$$

звідки витікає, що $r(0) = 1$.

У тих самих умовах стаціонарності коефіцієнт кореляції $r(\tau)$ між двома значеннями низки залежить лише від величини інтервалу τ і залежить від самих моментів спостережень t .

Послідовність коефіцієнтів кореляції r_t , де $t = 1, 2, \dots, n$, як функція інтервалу між спостереженнями називається автокореляційною функцією (АКФ), від якої тісно пов'язаний зі структурою ряду.

Для стаціонарного процесу АКФ швидко зменшується зі зростанням t (рис. 1.1 верхній). За наявності чіткого тренду АКФ набуває характерного вигляду дуже повільно спадаючої кривою (рис. 1.1 нижній).

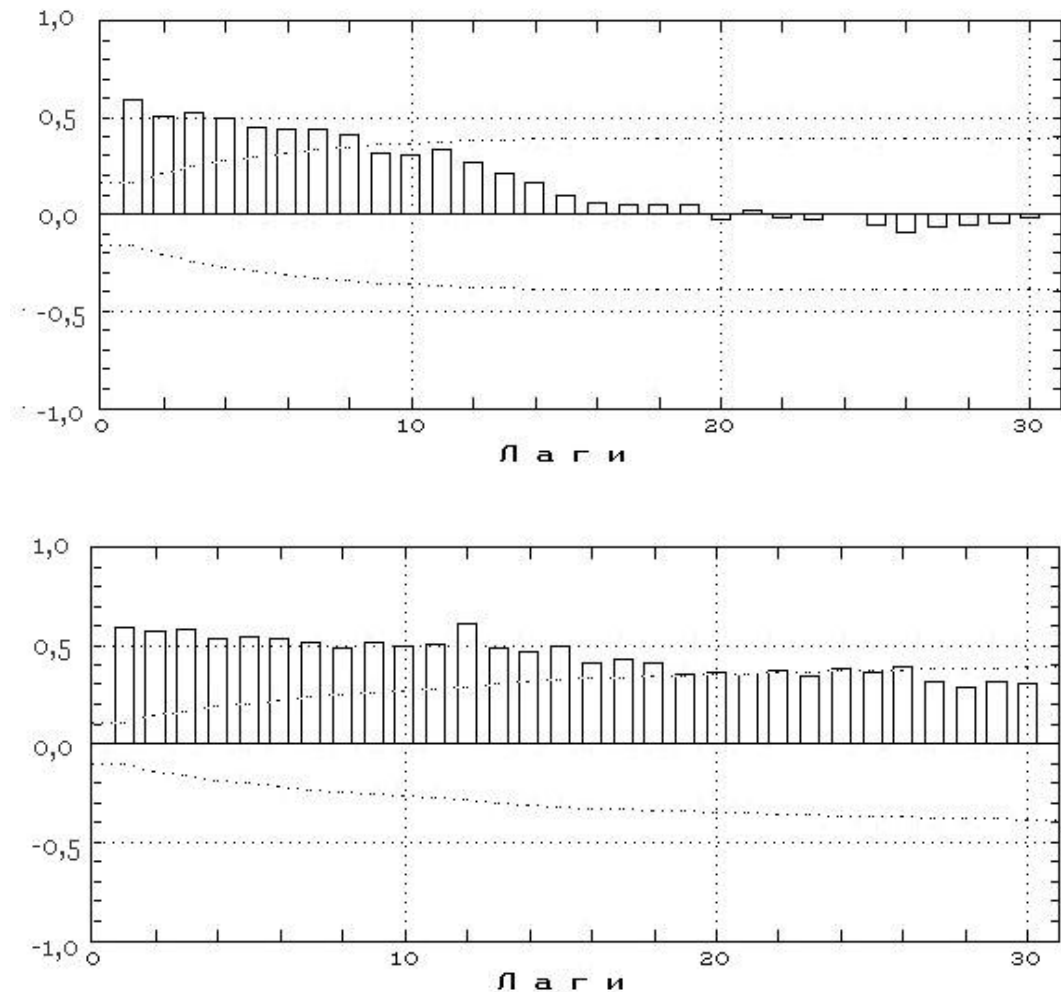


Рис. 1.1. Графіки АКФ стаціонарного процесу:

верхній – зі збільшенням інтервалу кореляції;

нижній – за наявності чіткого тренду

Автокореляційна функція відіграє важливу роль у математичному моделюванні та аналізі часових рядів, показуючи характерні часи для досліджуваних процесів. Зокрема, циклам у динаміці систем відповідають максимуми на відповідній автокореляційній функції.

Отримати абсолютну стабільність продукту, навіть по одному з критеріїв її оцінки, неможливо, оскільки вона суперечить законам діалектики і математичної статистики. Однак, розуміння цієї обставини зовсім не означає можливість і доцільність у багатьох випадках максимального наближення до такого стану, якщо це економічно виправдано, адже звичайно порушення стабільності складу сипкого матеріалу негативно впливає на ефективність його використання.

Підвищення стабільності складу сипкого матеріалу досягається в результаті процесу стабілізації, який здійснюється шляхом змішування. Під змішуванням розуміється такий механічний процес, в результаті якого компоненти суміші, що спочатку знаходились окремо, після рівномірного розподілу кожного з них у змішувальному обсязі утворюють однорідну за складом композицію. Окремим випадком збільшення стабільності складу сипкого матеріалу є процес усереднення, під яким розуміється гомогенізація великих партій одного матеріалу, що знаходяться у гранульованому чи порошкоподібному стані.

1.1.2. Показники стабільності складу сипкого матеріалу

Оцінку стабільності складу сипкого матеріалу найчастіше виконують за допомогою зворотної характеристики – відхиленості показника від його середнього (нормативного) значення, тобто, стабільність показника тим більше, чим менше його відхилення. Основними показниками відхилення є показники, що характеризують варіацію і коливання ознак. При цьому варіація показує зміну ознаки у просторі, а коливання – у часі. Кожен наступний рівень низки динаміки коливань залежить від попереднього, характеризуючи розвиток досліджуваного явища у часі, тоді як варіації ознаки у просторі характеризують незалежні один від одного рівні. Показники варіації розраховуються відхиленням індивідуальних значень ознаки відносно їхнього середнього значення, а коливання – через відхилення рівнів від своїх вирівняних значень (тренда).

Для характеристики коливання застосовуються такі показники: розмах коливання, абсолютне відхилення, середнє квадратичне відхилення, коефіцієнт коливання. Подібні показники використовують для оцінки варіації. Пам'ятаємо, що варіацією ознаки називають різницю у числових значеннях ознак одиниць сукупності та їх коливання навколо середньої величини, що характеризує сукупність. Чим менша варіація, тим одноріднішою є сукупність і більш надійною (типовою) є середня величина.

До основних абсолютних і відносних показників, що характеризують варіацію, відносяться такі: розмах варіації; середнє лінійне відхилення; дисперсія; середнє квадратичне відхилення; коефіцієнт варіації тощо.

Розмах варіації - це різниця між найбільшим та найменшим значеннями ознаки:

$$R = x_{max} - x_{min}$$

Величина показника залежить тільки від крайніх значень ознаки і не враховує всіх значень, що містяться між ними.

Досконалішим є визначення варіації через інші показники, які дають змогу усунути недолік розмаху варіації.

Середнє лінійне відхилення являє собою арифметичну з абсолютних значень усіх відхилень індивідуальних значень ознаки від середньої:

$$\text{а) просте: } l = \sum |x - x_{сер}| / n$$

$$\text{б) зважене: } l = \sum |x - x_{сер}| f / \sum f$$

Наявність абсолютних значень відхилень від середньої пояснюється так: середня арифметична має нульову властивість, згідно якої сума відхилень індивідуальних значень ознаки зі своїми знаками дорівнює нулю; щоб мати суму всіх відхилень, відмінних від нуля, кожне з них слід брати за абсолютною величиною.

Основним недоліком середнього лінійного відхилення є те, що в ньому не враховуються знаки відхилень, тобто їх спрямованість. Тому цей показник варіації використовується рідко (аналіз складу працюючих, ритмічність

виробництва, обертання коштів у зовнішній торгівлі тощо). Прагнення мати показник варіації, який би усунув недоліки середнього лінійного відхилення, є дисперсія та лінійне квадратичне відхилення.

Дисперсією називають середню арифметичну квадратів відхилень індивідуальних значень ознаки. В залежності від вихідних даних дисперсія може обчислюватись за формулами середньої арифметичної простої або зваженої:

$$a) \text{ проста: } \sigma^2 = \sum (x - x_{\text{сеп}}) / n$$

$$б) \text{ зважена: } \sigma^2 = \sum (x - x_{\text{сеп}}) f / \sum f$$

Дисперсія - це один з найбільш розповсюджених в економічній практиці узагальнюючих показників розміру варіації у сукупності. Дисперсію використовують не лише для оцінки варіації, а й для вимірювання зв'язків між досліджувальними факторами; розклад дисперсії на складові дозволяє оцінити вплив різних факторів, які обумовлюють варіацію ознаки.

Середнє квадратичне відхилення, як і дисперсія, виступає в якості широко використовуваного узагальнюючого показника варіації. Його обчислюють, здобувши квадратичний корінь з дисперсії:

$$a) \text{ просте: } \sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sum (x - x_{\text{сеп}}) / n$$

$$б) \text{ зважене: } \sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sum (x - x_{\text{сеп}}) f / \sum f$$

Смислове значення середнього квадратичного відхилення таке саме, як і лінійного відхилення: воно показує, на скільки в середньому відхиляються індивідуальні значення ознаки від їх середнього значення. Перевага цього показника порівняно із середнім лінійним відхиленням полягає у відсутності умовного припущення з сумування відхилень без врахування їх знаків, бо відхилення використовуються у квадратній степені. Крім зазначеного, перевагою даного показника у зрівнянні з дисперсією є те, що середнє квадратичне відхилення виражається в тих же одиницях вимірювання, що і значення досліджуваної ознаки (грн, кг, га тощо). Тому цей показник називають також *стандартним відхиленням*.

В статистичній практиці часто виникає необхідність порівняння варіацій різних ознак. Наприклад, великий інтерес має порівняння віку робочих з їх

кваліфікацією, стажу роботи з розміром заробітної плати, собівартістю та прибутку і т.і. При таких порівняннях розглянуті показники коливання ознак з різними одиницями вимірювання не можуть бути використані (наприклад, неможливо порівнювати коливання стажу роботи в роках з варіацією заробітної плати в гривнях). Для здійснення такого роду порівнянь, а також при зіставленні ознак у декількох сукупностях з різними середніми арифметичними використовують відносний показник варіації – коефіцієнт варіації.

Коефіцієнтом варіації називають процентне відношення середнього квадратичного відхилення до середньої арифметичної величини ознаки:

$$V_{\sigma} = \sigma / x_{\text{сеп}} * 100\%.$$

Чим більший коефіцієнт варіації, тим менш однорідна сукупність і тим менш типова середня для даної сукупності. Встановлено, що сукупність кількісно однорідна, якщо коефіцієнт варіації не перевищує 33%.

1.1.3. Математичне моделювання процесу змішування

Стан питання проблеми змішування тонко дисперсних і порошкоподібних матеріалів досить широко викладається у багатьох роботах. Аналіз літературних даних свідчить, що існують різні підходи до вирішення завдань змішування та усереднення. Це пояснюється, насамперед, різноманітністю специфічних завдань окремих технологій, де використовують де використовують такі матеріали. Перераховані основні підходи до математичного моделювання процесу змішування сипких матеріалів, серед яких у проблемному плані вказується на сукупність методів механіки гетерогенних середовищ, статистичної механіки, нерівноважної термодинаміки, а також порушується питання про розробку методів вирішення систем рівнянь, що описують досліджуваний процес.

В даний час при моделюванні процесів змішування застосовуються кілька основних підходів: 1 - емпіричні методи; 2 - методи, засновані на аналізі структур за допомогою функції розподілу часу перебування (РЧП) частинок

потоків всередині апарату; 3 – ентропійно-інформаційний підхід; 4 – статистичний підхід; 5 - методи механіки суцільних середовищ.

Емпіричним методам дослідження процесів змішування присвячено значну кількість робіт. При цьому підході в результаті обробки дослідних даних, отриманих на лабораторних або дослідних установках, у вигляді регресійних рівнянь встановлені співвідношення, що визначають зв'язок часу змішування, однорідності і т.д. від властивостей матеріалів, що змішуються, режимно-геометричних параметрів роботи змішувального обладнання. Отримані співвідношення не розкривають фізику процесу, описують роботу змішувачів лише у досліджених діапазонах параметрів і вирішують проблеми масштабних переходів.

Значного поширення набув метод непрямої оцінки переміщення матеріалу по апарату за допомогою руху в середині потоку (РВП) частинок, що знаходяться всередині змішувального обладнання. Особливості гідродинамічної структури потоків, внутрішня структура процесів, що відбуваються в апараті, проявляється у характері РВП частинок потоку. Функція РВП частинок, визначена кривою відгуку може бути використана у поєднанні з прийнятою моделлю змішування для прогнозування цього процесу. При розбитті об'єму змішувача на окремі зони практично будь-який складний процес змішування може бути описаний комбінованою моделлю, однак через громіздкість рівнянь, що отримуються при цьому, процес моделювання ускладнюється. Функція РВП частинок також не описує ефекти мікрозмішування та безпосередньо кінетику процесу змішування.

Для оцінки стану сумішей та його якості використовується ентропійно-інформаційний підхід. У процесі перемішування до рівноважного стану суміші змінюється значення ентропії, з яким можуть бути пов'язані параметри, що оцінюють якість суміші, проте при моделюванні роботи змішувачів є певні труднощі в описі кінетики процесу.

Велика кількість робіт, присвячених моделюванню процесу змішування, ґрунтується на стохастичних методах. За такого підходу виходять із

випадкового характеру розподілу компонентів. Розглядається підхід, у якому змішання твердих сипких матеріалів сприймається як випадковий марківський процес, безперервний за часом і дискретний у просторі частинок. Отримані дослідниками кінетичні рівняння описують зміни математичного очікування концентрації відповідного компонента. Але в багатьох випадках опис процесу змішування через середні величини не дає вичерпної інформації і не задовольняє вимогам, на яких базується технологічна практика.

При моделюванні процесів змішування гетерогенних систем робляться численні спроби визначення концентраційних, температурних і траєкторій руху компонентів суміші в об'ємі апарату механіки суцільних середовищ. Вони є одними з можливих та обґрунтованих фізично. Моделювання за допомогою такого підходу дозволяє пізнати механізм процесу, що, безсумнівно, дозволить виявити вплив окремих факторів.

Незважаючи на велику різноманітність різних підходів до опису процесу змішування та спроб узагальнити з теоретичної точки зору численні експериментальні дані, дотепер не існує узагальненого математичного опису процесу змішування.

Насправді при описі перемішування зазвичай вирішуються приватні завдання залежно від методів і апаратів певного типу. Одними з перспективних під час переробки великих партій сипких матеріалів є пневматичні методи. На основі пневматичних методів розроблено апарати порошкової технології, в яких під дією газового потоку здійснюється циркуляційний рух твердої фази. До переваг даних методів слід віднести їхню невисоку енергоємність, можливість створення замкнутої лінії переробки сипучих середовищ, підвищення якості продукції, відсутність механічних домішок, покращення екологічної обстановки на підприємствах.

В даний час при математичному моделюванні процесу змішування у зазначених апаратах використовується осередкова модель. Крім зазначених вище недоліків, при описі даних процесів використовується часто середня швидкість потоку в усьому обсязі. Однак побудова фізичних і математичних

моделей змішування в пневматичних апаратах має базуватися на основі фундаментальних досліджень гідродинаміки рухомого щільного шару гранульованого середовища.

Створення математичної моделі, що адекватно відображає процеси, що відбуваються в апараті, є актуальним завданням. Така модель дозволить побудувати фізичну картину процесу змішування та провести оптимізацію з метою підвищення ефективності роботи апарату, а також розробити нові перспективні конструкції. Математична модель процесу змішування гранульованих матеріалів ґрунтується на теоретичній моделі, що описує гідродинаміку у робочій зоні апарату. Аналіз характеру руху сипучого середовища показує, що у випадку її опису необхідно використовувати повну систему рівнянь переносу імпульсу. Складний нелінійний вигляд цих рівнянь не дозволяє одержати аналітичне рішення. Нелінійність різко ускладнює рішення, і тому потрібно використовувати чисельні способи розв'язання системи диференціальних рівнянь.

В даний час для вирішення цього типу завдань використовуються різні методи наближених обчислень. При цьому розробка економічних та ефективних алгоритмів рішення є одним із важливих завдань обчислювальної механіки. При виборі методу розв'язання системи рівнянь зазвичай керуються вимогами забезпечення максимальної швидкості одержання рішення, надійною збіжністю алгоритму рішення до справжньої та мінімальної пам'яті обчислювальної техніки. При цьому має забезпечуватись задана точність рішення. Пропонується новий підхід до чисельного вирішення рівнянь перенесення з підвищеним порядком точності при апроксимації похідних приватних по простору. Отримувана схема дозволяє забезпечує стійкість обчислювального алгоритму при великих сіткових числах Рейнольдса за відсутності додаткової дифузії. Успішне застосування до ряду різних завдань обчислювальної гідродинаміки дозволяє використовувати цю чисельну методику розрахунку стосовно задач моделювання руху сипучого середовища.

З метою підвищення ефективності роботи пневматичних апаратів та подальшого їх удосконалення, розвинені нові фізичні та математичні моделі руху гранульованого середовища у каналах різної форми та чисельні способи їх реалізації. Також розглядаються результати теоретичного дослідження щодо чисельного моделювання процесу змішування у пневматичному апараті.

1.2 Шляхи і способи підвищення стабільності хімічного складу агломерату

1.2.1 Загальна характеристика шляхів і способів підвищення стабільності хімічного складу агломерату

В загальному випадку можна говорити про існування двох основних етапів підвищення стабільності хімічного складу агломерату:

- 1) збільшення рівномірності хімічного складу сировини, що застосовується в процесі агломерації;
- 2) вдосконалення власне технології виробництва агломерату, зокрема операцій дозування компонентів шихти при її формуванні і змішування шихти перед її спіканням.

Крім того, на стабільність хімічного складу агломерату впливають також терміни і умови його зберігання.

Коротка оцінка факторів, що впливають на коливання складу агломерату:

1. Якість та рівномірність складу сировини:

Чим менше коливання хімічного складу вихідних матеріалів (руди, концентрату, палива, добавок), тим меншим буде коливання складу готового агломерату. З метою досягнення більш однорідного хімічного складу готового продукту сировинні матеріали, починаючи з видобутку, піддають усередненню в межах можливостей, які дозволяє технологічний процес. їх підготовки до металургійного переділу.

2. Потужність і досконалість складського господарства аглофабрики:

Великі складські площі та гарне усереднювальне обладнання дозволяють отримати більш однорідний хімічний склад агломерату.

3. Технологія агломераційного виробництва:

Рациональна схема організації потоків сировини, ефективна робота обладнання приймального складу, ділянки підготовки компонентів шихти, їх дозування, змішування та огрудування шихти, а також правильний режим агломерації відіграють важливу роль у стабільності хімічного складу агломерату.

4. Обробка та зберігання агломерату:

Неправильні умови зберігання агломерату можуть призвести до змін його складу через вологопоглинання або інші фактори, тому необхідно приділяти увагу умовам зберігання.

В цілому, для отримання агломерату з малим коливанням хімічного складу необхідно забезпечувати високий рівень контролю над усіма етапами виробництва, починаючи від підготовки сировини до зберігання готової продукції.

1.2.2 Підвищення стабільності хімічного складу агломерату
вдосконаленням процесу формування шихти і покращення її однорідності

1.2.2.1 Вдосконалення процесів складування компонентів шихти і
формування шихтової композиції

Вирішальне значення у забезпеченні стабільного хімічного складу агломерату має процес усереднення компонентів шихти на приймальному складі аглофабрики. Однак найчастіше існуючі на вітчизняних аглофабриках склади сировини, яка включає тонкоподрібнені концентрати, і методи їх усереднення не вирішують завдання зменшення коливання хімічного складу матеріалів і, більше того, іноді сприяють її зростанню [1 с. 45-56]. Низький ступінь усереднення матеріалів на складах пояснюється, головним чином, явищем сегрегації при формуванні штабелів та нерівномірним їх розбиранням

Підвищення якості сировини для доменної плавки, а також високоефективна робота аглофабрики пов'язані з вирішенням низки питань технології усереднення, спрямованих на зниження коливання вмісту заліза та

кремнезему в агломераті до $\pm 0,2$ %. При цьому агломераційна шихта не повинна мати миттєвих (високочастотних) коливань, які призводять до порушення теплового режиму доменної печі та спричиняють підвищення витрати доменного коксу, зниження її продуктивності та погіршення якості чавуну по сірці та кремнію. Тому внутрішньозаводськими технічними умовами повинні строго нормуватися крупність придатного агломерату та вміст у ньому Fe, FeO, SiO₂, Al₂O₃, CaO та MgO.

За кордоном, особливо в Японії, досягнуто значних успіхів у технології усереднення залізорудної сировини. Так, на одному з металургійних заводів фірми «JFE Steel» коливання вмісту заліза і кремнезему в залізорудній суміші, що надходить на аглофабрику, не перевищує $\pm 0,2$ %, а глинозему – $\pm 0,3$ %. На іншому заводі цієї фірми у м. Фукуяма, при роздільному усередненні шматкової руди (8-10 сортів) та агломераційної руди (20-25 сортів) коливання вмісту заліза в добових обсягах не перевищує $\pm 0,25$ % для шматкової руди та $\pm 0,15$ % – для агломераційної.

У публікаціях Е.Ф. Вегмана, Л. І. Каплуна, В. І. Коротича та інших вчених-металургів, в основному, розглянуто технічні розв'язки задачі стабілізації хімічного складу агломерату, які забезпечують гомогенність сировини за значних матеріальних витрат. Ефективні рішення, що дозволяють сформувати гомогенну за хімічним складом сировину за відносно невеликих витрат, поодинокі.

Особливого значення технології виробництва агломерату заданої якості при його стабільному хімічному складі мають відбір представницьких проб матеріалів, формування штабелів рудної суміші, розрахунок хімічного складу планованого штабеля, визначення витратних коефіцієнтів компонентів шихти, експресний метод визначення витрат при спіканні, статистичний аналіз якості компонентів шихти і агломерату.

В результаті проведених досліджень оптимізації умов шихтопідготовки на аглофабриках було зроблено такі висновки:

– якість агломерату істотно залежить від числа перешихтовок, зупинок та запусків, перемикачів бункерів тощо, тобто від стабільності роботи шихтового відділення аглофабрики (що вища стабільність ходу процесу дозування шихтових матеріалів, тим кращої якості виробляється агломерат);

– для аглофабрик, на яких складання залізорудної суміші відбувається у шихтових відділеннях, вплив нестабільності процесу дозування на однорідність хімічного складу агломерату більш суттєвий у порівнянні з аглофабриками, які одержують готову залізорудну суміш із центрального усереднювального складу;

– коливання вмісту монооксиду заліза в агломераті може бути одним з основних досить чутливих критеріїв оцінки ефективності тих чи інших заходів, спрямованих на покращення якості агломерату за його однорідністю.

Аналіз роботи гірничо-збагачувальних та металургійних комбінатів та заводів України показав, що за типом складання на складах залізорудних сумішей аглофабрики слід розділити на дві групи, що відрізняються спільною або роздільною схемою усереднення.

Усереднювальна здатність аглофабрики є складною функцією багатьох змінних, залежить від кількості компонентів і властивостей шихти, статистичних характеристик поставки, ємностей складу та тракту переробки сировини, типу встановленого устаткування та його продуктивності, способів складання залізорудної суміші та її вапнування тощо.

Як показали численні дослідження процесу усереднення сумішей компонентів та агломераційної шихти в цілому, є функціональний зв'язок між коливанням хімічного складу агломерату σ_a та шихти $\sigma_{ш}$, а також можливостями аглофабрик щодо процесів, що частково компенсують хімічну неоднорідність матеріалів K . Обробка експериментальних даних (рис. 1.2) призводить до двопараметричного співвідношення

$$\sigma_a = \frac{2,133 \cdot \sigma_{ш} - 0,649}{e^{0,628 \cdot K}}.$$

Разом з тим, в основі формування коливань хімічного складу агломерату за досить великої кількості факторів часто лежать події випадкового характеру.

Звітні показники роботи підприємств за своєю природою також є випадковими величинами, зв'язок між якими може бути виявлено лише на основі використання апарату теорії ймовірності та математичної статистики.

Була розроблена двокаскадна регресійна модель коливання хімічного складу агломерату (за масовою часткою заліза), позбавлена зазначених недоліків і враховує фактичні запаси, ритмічність поставок, спосіб подачі вапна на склад або потік, а також деякі фізичні характеристики сировини (великість і вологість матеріалів):

$$\sigma_a = -0,0574 \cdot \bar{K} + 0,0098 \cdot \dot{E}_{\text{не}} + 0,0068 \cdot \dot{E}_i + 0,0218 \cdot M_{+5} - 0,1459 \cdot W - 0,0596 \cdot \frac{\theta}{N} + 0,786$$

$$(R = 0,819; S = 13,8 \%),$$

$$\frac{\theta}{N} = 1,504 \cdot \frac{\theta_c}{N} - 2,31 \cdot R_i^2 - 0,053 \cdot \dot{I}\delta^2 + 0,761 \cdot \dot{I}\delta - 3,05, \text{ т/т } (R=0,920; S=91,1\%),$$

де N - обсяг виробництва агломерату;

θ_c/N – відносне постачання концентрату та аглоруди;

R_i – ритмічність постачання; Пр – простої у роботі аглофабрики;

інші позначення – у табл. 1.1.

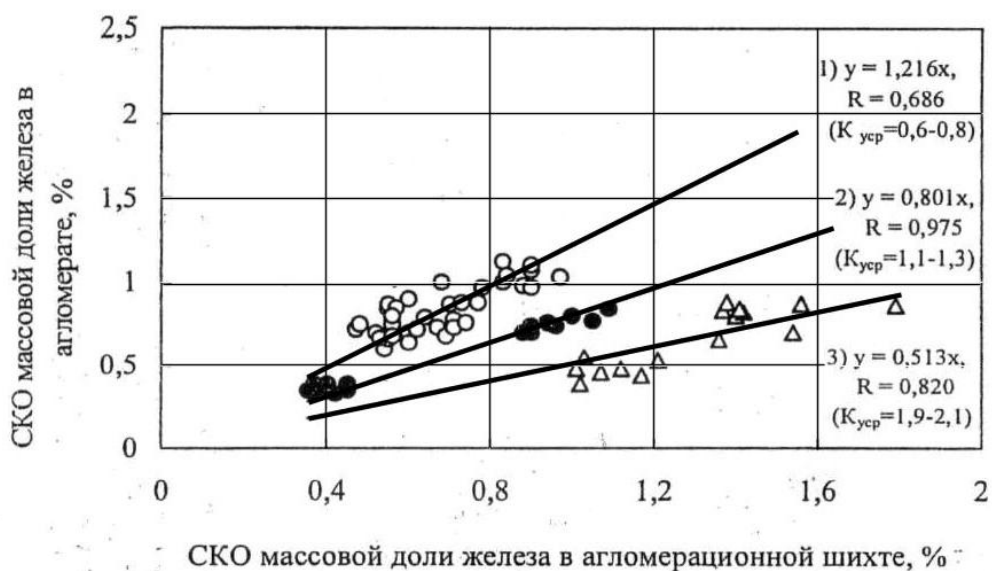


Рис. 1.2. Взаємозв'язок між коливанням хімічного складу агломерату та шихти при різних коефіцієнтах усереднення на аглофабриці

При покроковій оцінці варіантів рівнянь регресії критеріями вибору рівняння (числа змінних) служили множинний коефіцієнт кореляції R, стандартна помилка оцінки S та несуперечність впливу факторів.

Таблиця 1.1- Внесок різних факторів при формуванні коливань масової частки заліза в агломераті на аглофабриках України

Показник	Позначення	Розмірність	Середнє чисельне значення	Пайова участь, %
Коефіцієнт усереднення складу аглофабрики	К	Ед.	1,185	30,7
Витрата вапна, що подається на склад	Вск	Кг/т	30,875	22,6
Витрата вапно, що подається в потік шихти	Вп	Кг/т	25,962	6,7
Масова частка в залізорудній сировині класу + 5 мм	М+5	%	20,654	13,5
Вологість залізорудної сировини	W	%	5,744	8,0
Відносні запаси залізорудної сировини (концентраи, аглоруда, відходи) на складц	θ/N	т/т	1,522	18,5

Як видно з даних табл. 1.1, отриманих за наведеними моделями, крім усереднювальної здатності складу, найбільший вплив на коливання хімічного складу агломерату надають процеси вапнування шихти (29,3 %) та сегрегації найбільшої частини залізорудних матеріалів (13,5 %).

Зменшення коливань масової частки заліза в агломераті до рівня, що відповідає сучасним вимогам, може бути досягнуто при реалізації двох груп заходів, пов'язаних, з одного боку, з постачанням аглофабрики сировиною, з іншого – з рівнем організації технології усереднення.

Перша група заходів включає три напрями:

- поліпшення якісних характеристик залізорудної сировини (концентратів і аглоруд), що поставляється, тобто зменшення на вході аглофабрик величини σ ;
- посилення вимог щодо виконання планів-графіків постачання залізорудної сировини, тобто зменшення величини коефіцієнта варіації витрати компонентів при їх спільному складуванні;
- підбір, розподіл та закріплення залізорудної сировини на металургійних підприємствах, що забезпечують мінімальну відмінність за масовою часткою заліза в компонентах при їх спільному складуванні.

Друга група заходів пов'язана з кожним компонентом, що входить до залізорудної суміші, і спрямована на оптимізацію їх подачі та забору з використанням посередньої техніки. Оскільки головними матеріалами, що становлять залізорудну суміш, є концентрат і аглоруда, то йдеться, перш за все, про відходи, вапна та повернення. Як показує аналіз роботи аглофабрик, у зв'язку з дедалі більшим впровадженням технології спікання шихти у високому шарі та зміцненням спеку при його обробці (без збільшення навантажень), кількість повернення зменшується. Оскільки повернення за хімічним складом найближче до агломерату, його скорочення призведе до зростання коливань масової частки заліза в агломераті. Отже, збільшення вмісту в шихті повернення до оптимального може бути одним із резервів підвищення якості агломерату.

Таким чином, друга група заходів складається з наступних напрямків:

- розробка та реалізація диференційованого методу подачі відходів в основні компоненти залізорудної суміші при забезпеченні вагового дозування колошникового пилу, шламів та окалини;
- організація дозування повернення з доведенням його масової частки до оптимальної;
- дозування вапна та його подання на склад та у потік шихти в оптимальному співвідношенні;
- встановлення на складах залізорудної сировини замість рудно-грейферних перевантажувачів та трансферкарів (самохідний вагон із бункером) сучасної усереднювальної техніки (штабелеукладачів та забірних машин) при забезпеченні подачі залізорудної сировини системою конвеєрів;
- підвищення ефективності усереднення (збільшення коефіцієнта усереднення) внаслідок створення оптимальних запасів залізорудної сировини та покращення її фізико-механічних властивостей (як у постачальника, так і у споживача), організаційних заходів тощо.

Очевидно, що в сучасних умовах обидві групи заходів мають реалізовуватись на основі автоматизованих систем управління розподілу,

транспортування та споживання сировини, що дозволить забезпечити суттєве покращення якості агломерату.

Для визначення технічної ефективності перерахованих заходів за допомогою математичних моделей для аглофабрик України проведено орієнтовні розрахунки, результати яких показують, що технічна ефективність тих чи інших заходів різних аглофабриках неоднакова.

На підставі даних про середній абсолютний та відносний вплив заходів на зменшення коливань масової частки заліза в агломераті, їх технічна ефективність (у міру убудування) розташовується в такій послідовності: встановлення спеціального посередницького обладнання – 27,7 %; використання АСУ – 26,7 %; оптимізація роботи ділянки вапнування шихти – 25,6%; дозування повернення – 8,0%; подача відходів до аглоруди – 6,9 %. Необхідно зауважити, що з цих даних зовсім не випливає, що саме в цій послідовності необхідно здійснювати їхнє впровадження. Відповідь це питання можуть дати лише відповідні економічні розрахунки.

Ефективним засобом підвищення однорідності агломерату є створення і використання моношихти. При будівництві нових і реконструкції старих аглофабрик за кордоном, у цехах підготовки сировини (ЦПС), в обов'язковому порядку будуються комплекси з приготування моношихти для одержання агломерату [4 с. 223].

Моношихта - це шихта, що містить до 80 % флюсу й 90 % палива від розрахункової величини. Недостатня кількість флюсу, палива дозуються нарівні з вапном і вороттям на аглофабриці.

Перевага даної технології перед традиційною полягає в тому, що компоненти шихти, покладені в штабель великої ємності, піддаються усередненню, що знижує коливання по залізу, основності й забезпечує тривалу роботу аглофабрик на однорідній шихті.

При заборі моношихти зі штабеля відбувається грубе змішування компонентів, що дозволяє об'єднати в одному агрегаті великої ємності операції по

тонкому змішуванню й огрудкуванню. Для цієї мети використовуються змішувачі-огрудкувачі довжиною 15 м і більше.

Використання моношихти дозволяє зменшити кількість бункерів у шихтовому відділенні на 40 %.

1.2.2.2 Вдосконалення процесів дозування компонентів шихти

Складання агломераційної шихти у товній відповідності до її попереднього балансового метода розрахунку є достатньою гарантією стійкості процесу спікання шихти, отримання якісного придатного агломерату, економії сировинних та енергетичних ресурсів, зменшення газопилових викидів. Частка впливу точності вагового дозування шихтових матеріалів на витрату твердого агломераційного палива – головного джерела газових викидів – може досягати 25 % і більше. Тому таким важливим питанням є вдосконалення техніки та технології дозування шихтових матеріалів, які мають різну сипкість, насипну вагу, схильність до злежуваності, налипання на деталі накопичувальних, передавальних та дозуючих пристроїв і елементів обладнання.

Підготовлені за крупністю та стабільністю фізико-хімічних властивостей компоненти шихти завантажуються у спеціальні бункери дозувального (шихтового) відділення (рис. 1.3).

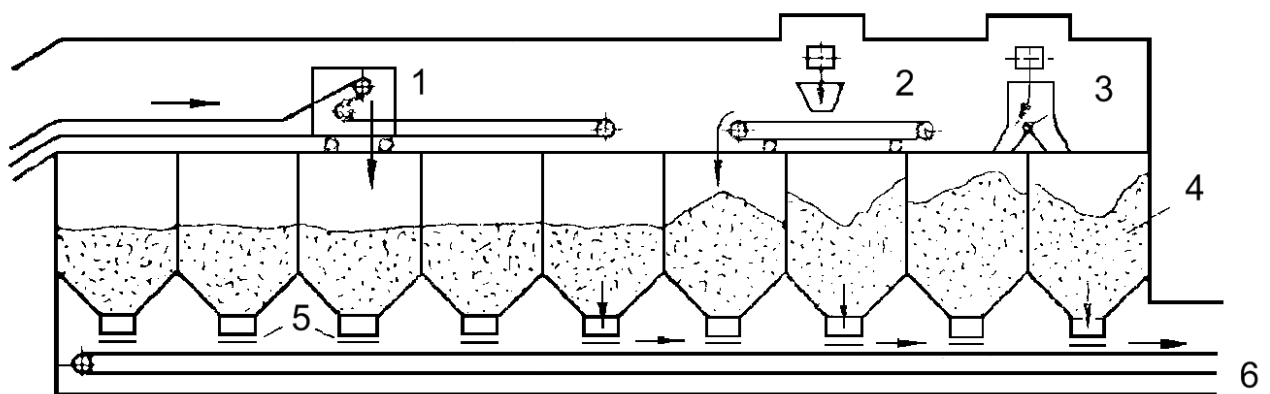


Рис. 1.3. Поздовжній розріз корпусу дозувального відділення: 1 - візок, що саморозвантажується; 2 – реверсивний човниковий конвеєр; 3 – розподільник із регулюючим шибером; 4 – шихтові бункери; 5 – дозувальні пристрої;
6 – збірний конвеєр шихти

На вітчизняних аглофабриках для кожного виду матеріалу призначено певну кількість бункерів ємністю кожного 50-100 м³, що відповідає поточній витраті та необхідності зберігання запасу рудної сировини приблизно на чотири години роботи агломашин. Лінія забезпечення шихтою трьох агломашин частіше складається з вісімнадцяти дозувальних бункерів: шість бункерів – для магнетитового концентрату, вісім бункерів для підготовленої загальної рудної суміші концентратів, аглоруд та відходів, по два бункери – для флюсів та твердого палива.

Для завантаження шихтових бункерів, як правило, використовують або стрічкові конвеєри з рухомим візком, що саморозвантажуються, або реверсивні човникові конвеєри. При подачі матеріалів у два суміжні бункери застосовують роздвоєний жолоб (течку) з регулюючою заслінкою, що направляє потік матеріалу по черзі в кожен з бункерів.

Конструкції і стан шихтових бункерів, живильників, дозаторів, ваговимірювачів, а також використовуваних пристроїв для контролю ступеня заповнення бункерів повинні забезпечувати безперервність виходу і задану точність витрати матеріалів.

Кращою формою бункерів, що попереджає затримки та налипання матеріалів, є конусоподібна. Покриття внутрішніх стінок таких бункерів гідрофобними, звукопоглинаючими матеріалами з малим коефіцієнтом тертя та відсутність у бункерів кутів, що часто залипають, сприяє точному дозуванню. Бункери прямокутної або квадратної форми при близьких габаритах мають більший геометричний об'єм у порівнянні з бункерами круглого перерізу. Однак фактичний обсяг активного руху матеріалу в них виходить меншим: у кутах та прилеглих до них обсягах спостерігається уповільнення руху та злежування матеріалів.

Основні труднощі в роботі дозувальних відділень викликають зависання сипучого матеріалу в бункерах, що порушують його нормальне витікання. Структура завислої маси представлена елементарними сводоутворюючими, зігнутими вгору шарами, при яких сила тяжіння матеріалу передається на

стілки бункера. Основним способом боротьби зі сводоутворенням є правильний вибір розмірів випускного отвору та обладнання бункерів спеціальними пристроями вібраційного та пневматичного руйнування зводів, що утворилися. Електромеханічні або електромагнітні вібратори передають коливання на спеціальні сталеві листи, встановлені всередині бункерів. Стиснене повітря для обвалення завислого матеріалу подається всередину бункера протягом декількох секунд через спеціальні сопла, встановлені на внутрішніх поверхнях бункера і повернені у бік вихідного отвору бункера. Наявність матеріалів у бункерах і на виході з бункерів перед живильниками та дозаторами контролюється різними рівнемірами та позиційними датчиками, що використовують такі властивості матеріалів як електропровідність або поглинання ними γ -променів радіоактивних джерел Cs-137 або C-60, що входять до комплекту радіоізотопних рівнемірів.

Пристрої обвалення матеріалів у бункерах включаються системою автоматичного вагового дозування лише у моменти включення живильників – пристроїв вивантаження сировини з бункерів. Інакше під дією вібраційного та пневматичного ущільнення матеріал перетворюється на погано сипучу масу. Абсолютно неприпустимо тривале зберігання в бункерах (10-20 годин) вологих вапняних матеріалів, здатних втратити сипкість внаслідок гідратаційного твердіння алюмокальцієвих силікатів.

Для видачі з бункерів шихтових матеріалів використовують живильники (дозатори), які базуються на двох принципах дозування – об'ємному або ваговому, перший з яких має меншу точність дозування. Для видачі з бункерів вологих, недостатньо сипких матеріалів (концентратів, шлаків, інших добавок) використовують переважно тарілчасті живильники, які працюють за об'ємним принципом дозування і відрізняються високою надійністю (рис. 1.4). Таріль живильника 1 діаметром 2000-2400 мм встановлюють по осі бункера та його циліндричного розвантажувального пристрою. Всередині циліндра 2 розміщують вставку з підпірною стінкою, що має вікно видачі матеріалу розміром 350×250 мм, робочий переріз якого регулюється шибром.

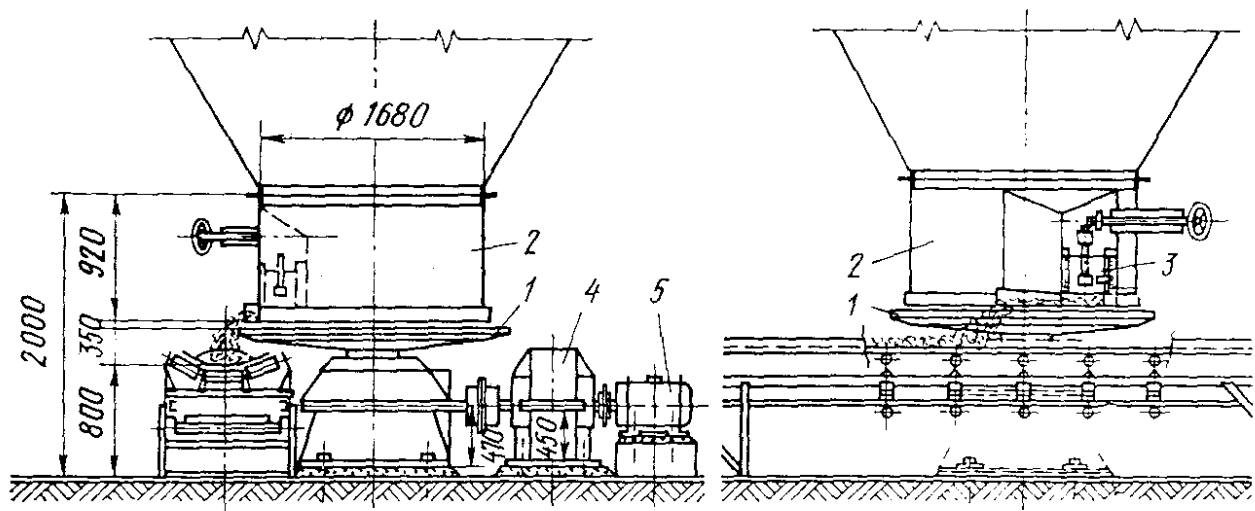


Рис. 1.4. Загальний вид установки тарілчастого живильника в шихтовому відділенні: 1 - таріль, що обертається; 2 – корпус живильника; 3 – шибер; 4 – електродвигун; 5 – редуктор

Витрата матеріалу з одного або декількох бункерів вимірюється конвеєрними вагами, встановленими під стрічкою транспортера, що приймає вантаж, що дозується. Продуктивність живильників регулюється шляхом зміни швидкості обертання тарелей.

Другим типом широко використовуваних живильників є електровібраційні (рис. 1.5), які працюють на ваговому принципі дозування. Найчастіше їх використовують для видачі досить сипких матеріалів (аглоруд, флюсів, палива). Живильником є лоток з електромагнітним вібратором, що передає лотку велику частоту (близько 3000 хв^{-1}) коливань. Такі живильники можна запускати під навантаженням, тому їх використовують як затвори бункерів. Модернізовані електровібробживильники з великим кутом нахилу лотка ($30\text{-}40^\circ$) у багатьох випадках застосовують замість тарілчастих живильників для видачі з бункерів, навіть вологих, недостатньо сипких матеріалів. Така заміна тарілчастих живильників приваблює меншими витратами на ремонт вібробживильників. Електровібробживильники зазвичай поєднують з пристроями, що зважують, і в цьому випадку вони є дозаторами, що видають матеріал строго за вагою (дозою).

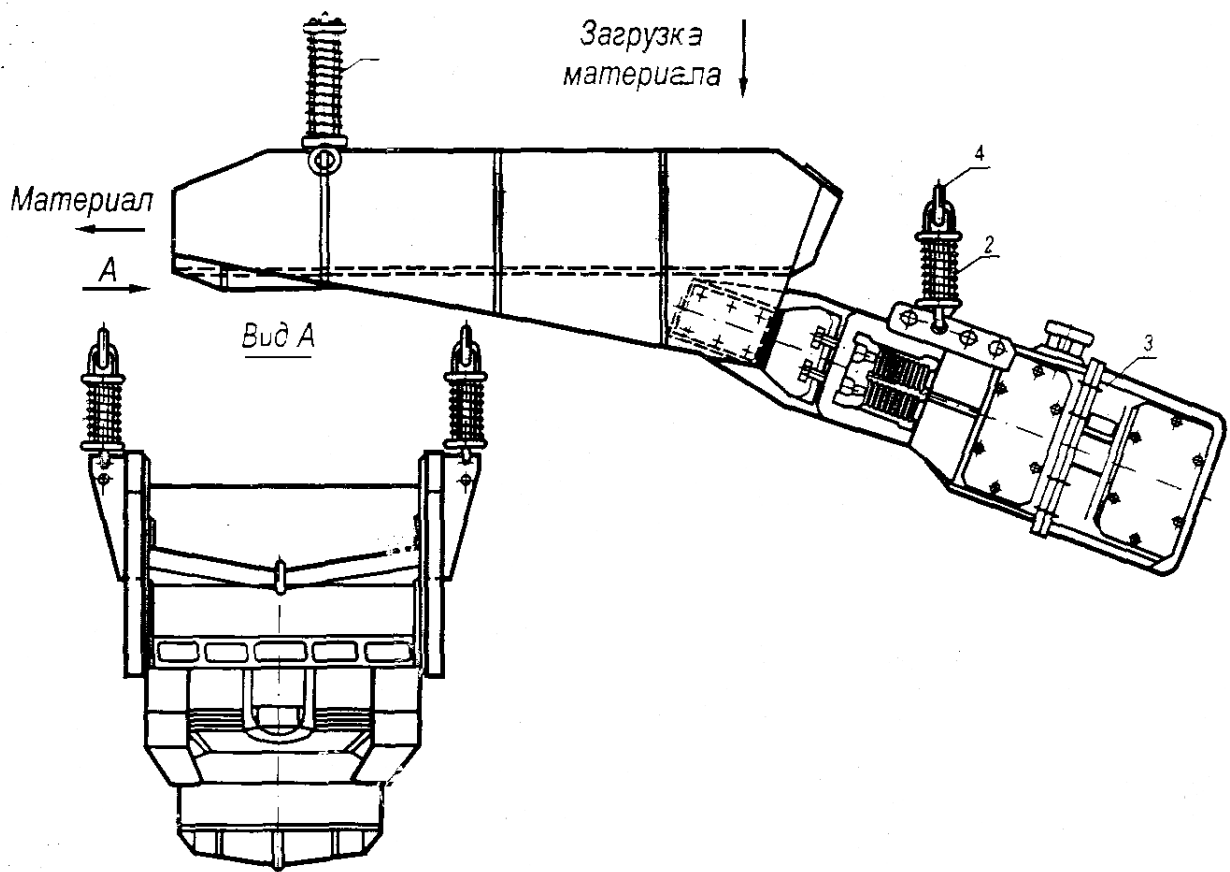


Рис. 1.5. Живильник електровібраційний типу ПЕВ: 1 – лоток; 2 – пружинний амортизатор; 3 – вібропривід електромагнітний; 4 – тяга регульованої довжини

Одеський завод ім. П. Старостіна випускає дозатори ЛДА із шириною стрічки вагового транспортера 500, 800 та 1000 мм, що забезпечує при швидкості стрічки 0,35 м/с продуктивність дозатора 60-130 т/год при похибці зважування $\pm 2\%$ від величини максимальної продуктивності.

Дозатори зарубіжних фірм мають точність зважування 0,2-0,3 % від максимальної величини продуктивності, що вказує на можливості покращення точності дозування у наших умовах у 7-10 разів.

Крім тарілчастих та електровібраційних живильників у практиці агломерації використовують стрічкові живильники.

Стрічкові вагові дозатори є основою автоматичної системи вагового дозування – забезпечення розрахункового співвідношення мас компонентів шихти. Найбільш досконалі системи автоматичного дозування коригують суху масу матеріалів (за змін їх вологості), плавно регулюють продуктивність всього дозувального відділення за продуктивністю спікального корпусу аглофабрики.

Елементарну систему автоматичного вагового дозування представлено на схемі (рис. 1.6).

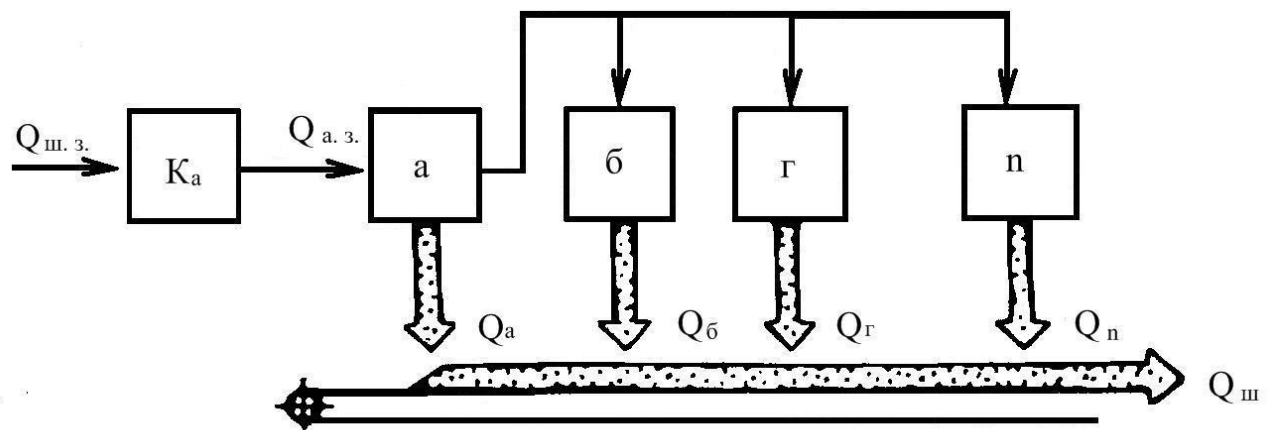


Рис. 1.6. Система автоматичного дозування агломераційної шихти

Задану продуктивність системи $Q_{ш.з.}$ забезпечують ведучі дозатори *a* та ведені дозатори *б, г...n*. Зміна завдання витрати провідного компонента $Q_{a.з.}$ супроводжується пропорційною зміною витрати ведених компонентів. Співвідношення мас матеріалів, що дозуються, задається у вигляді коефіцієнтів K_a . Як правило, провідним компонентом є рудна суміш або концентрат з добавками, інші матеріали дозуються у суворій відповідності з коефіцієнтами співвідношення мас ведучого та ведених матеріалів (флюсів, палива, повернення, можливих добавок). Постійний вміст повернення в шихті витримується тільки в тому випадку, якщо для нього є достатня буферна ємність бункерів. Якщо вихід повернення при гуркотінні агломерату значно змінюється, то система коригує його витрату, змінюючи відповідним чином дозування інших матеріалів з метою збереження оптимального вмісту палива в шихті та її основності.

Похибки дозування окремих компонентів перевіряють шляхом контрольних провісок, що виконуються вручну або за допомогою спеціальних контрольних пристроїв для тарування.

Найбільшою досконалістю відрізняється система автоматичного вагового дозування німецької фірми «Шенк», у складі якої застосовуються високоточні стрічкові дозатори (клас точності 0,2-0,3), тензометричні датчики, конвеєрні

ваги, надійне комп'ютерне та програмне забезпечення з використанням інформації, що надходить з усереднювального комплексу сировини і палива.

1.2.2.3 Вдосконалення процесів змішування шихти

Шихта, що складається з декількох компонентів, попередньо піддається змішуванню та огрудкуванню. Без цього неможливо спекти шихту, отримати високоякісний агломерат, досягти необхідних екологічних та економічних показників процесу агломерації.

Ретельне змішування забезпечує рівномірний розподіл вапняку, вапна, твердого палива, різних добавок у масі компонентів залізорудної частини шихти - аглорууди та концентрату. Процес змішування заснований на взаємному русі частинок у загальному об'ємі шихта. Чим більш хаотично матеріали розподіляються в цьому обсязі, тим рівномірнішим по хімічному складі та фізичних властивостях змішана шихта. Результати змішування - досягнення рівномірності шихта - визначаються не лише властивостями та співвідношенням маси матеріалів, а й режимом роботи апарату змішування. На агломераційних фабриках, як правило, для змішування використовуються обертальні барабани, які відрізняються простотою пристрою та експлуатації, а також високою продуктивністю.

Високоякісне змішування не дозволяє мати надлишок вологості шихти, що перевищує оптимальний рівень (не більше 4-5 %), інакше при більшій вологості великі гранули з діаметром до 20-30 мм утворюються в локальних обсягах шихти. Отримання від змішування в огрудковий барабан таких гранул призводить або до збільшення їх розміру або до руйнування з утворенням фрагментів і подальшим утворенням з них таких же великих, некондиційних гранул-окатишів. Під час спікання шихти великі гранули не розігріваються до бажаних температур плавлення (1350 °C), і в готовому спеку представлені великими включеннями прокаленої шихти, які вивільняється у вигляді пилу під час охолодження та переробки в процесах дроблення та грохочення. Формування великої маси крупних гранул у процесах змішування компонентів

шихти часто спостерігається на аглофабах, де шихта, що спікається, має високий вміст концентратів з підвищеною вологістю.

Для збільшення рівномірності змішаної шихти у багатьох відчизняних аглофабриках барабані змішувачі піддавались збільшенню довжини на 1-2 м, при цьому збільшуючи тривалість процесу змішування, що не перевищує 2,5-3 хвилини, тоді як довжина змішувачів досягає 18-23 м на іноземних аглофабриках, а тривалість змішування - 5-6 хвилин або більше.

Недостатнє змішування шихти призводить до локалізації палива та флюсів в окремих макрообсягах шихти та отримання агломерата схильного до руйнування через поліморфну трансформацію високотемпературної модифікації силікату кальцію зі збільшенням обсягу цього мінералу під час охолодження на 11 % та перетворення більшості його маси в пил.

На іноземних кглофабриках шихта змішується в барабанах великої довжини та продуктивності. Так, на одній з агломашин японської компанії, крім діючого змішувача з діаметром і довжиною відповідно 4 та 23 м, встановили майже такий самий змішувач з розмірами 4,5 та 23 м відповідно. Високі витрати на таку модернізацію принесли значні переваги: споживання твердого палива для агломерації зменшилось на 4,8 %, відновленність агломерата збільшилась зі зменшенням масової частки оксиду заліза з 6,4 до 5,3 %, що створює можливість зменшення споживання коксу в доменному процесі приблизно на 4 кг/тону чавуну. В останніх дослідженнях роботи барабанних змішувачах перспективи використання довгих барабанів суттєво коригуються: можливості вдосконалення змішування в менш довгих барабанах показані шляхом оптимізації їх параметрів та режимів роботи.

Окрім потужних барабанних змішувачів на японських та європейських аглофабриках використовують горизонтальні або частіше - інтенсивні змішувачі з вертикальним барабаном. Один із зразків горизонтальних інтенсивних змішувачів середньої продуктивності (360 т/год) показаний на рис. 1.7).

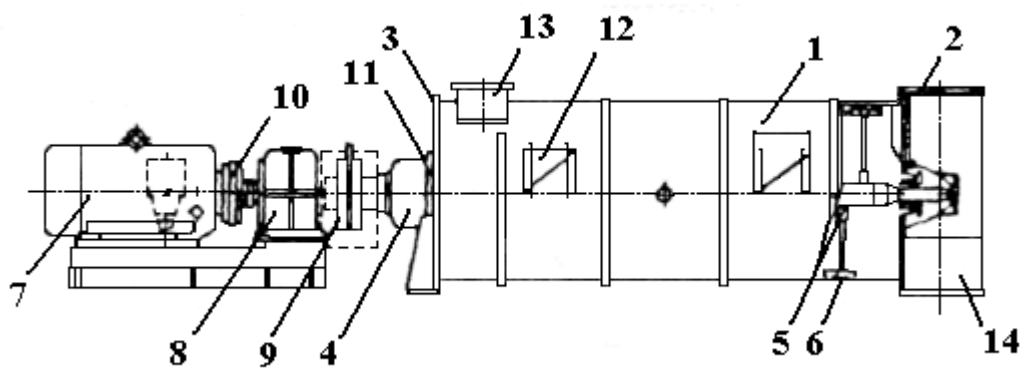


Рис. 1.7. Загальний вигляд горизонтального змішувача вихорового типу:
 1 - тіло барабана; 2 - каркас; 3 - фланець; 4 - підшипник; 5 - вал; 6 - лопатка;
 7 - електричний двигун; 8 - коробка передач; 9 - еластична муфта;
 10 – зубчата муфта; 11 - герметизація; 12 - обкладинка;
 13 - завантажувальна труба; 14 – патрубок розвантаження змішаної шихти

Фіксований барабан 1 діаметром 1,9 і довжиною 5 м має завантажувальні 13 і вивантажувальні 14 труби. Горизонтальний вал із чотирнадцятьма змішувачами шихта з лопатками встановлюються вздовж осі барабана, який обертається приводною системою 7-11 зі швидкістю 73 об/хв. Інтенсивне змішування шихта у вихорі (за характером руху матеріалу) змішувач забезпечує завдяки рівномірності потоку, близьку до одиниці (щонайменше 0,95), і, крім того, активує поверхневі властивості, що сприяють найкращому амбіції заряду. Вихвні змішувачі типу змішувача використовуються в системах комбінованої суміші шихти: 70-77% його маси (повернення, дрібничка, концентрація, аглорода) змішані в змішувачі барабана, а решта (вапняк, залишки агрудів, геліметів, масштабів), змішані в хвилях. Використання такого змішування в поєднанні з високоякісною шихтичною незгодою дозволяє іноземним фахівцям покращити технологію агломерації, наприклад, збільшити висоту спікання на потягу екрана від 450 до 490 мм і, завдяки цьому, зменшити споживання твердого палива для укусу на 8,5 %, і збільшує міцність нанизування малих класів з нього на 2.6 %.

Найкращі апарати для змішування шихта у світі - це вертикальні (для більш раціонального розташування змішувальних валів) інтенсивні змішувачі, вироблені німецькою компанією Айрих, які використовуються на

агломераційних фабриках Японії, Німеччини та інших країн західної Європи. Ці змішувачі не тільки ідеально змішують компоненти аглошиту, рівномірно розподіляють вологу в ньому, але ще активують поверхневі властивості частинок, утворюють мікгранули з концентрату, інших дрібних матеріалів. Активовані частинки служать центрами грануляції шихти, яка є стадією її подальшої обробки перед спіканням.

Контроль якості змішування та огрудкування шихти на сучасних аглофабриках автоматизовано як з точки зору забезпечення належної вибірки показників хімічного аналізу, так і в можливості визначення структури зразків з залученням спектральних методів X-RANE. Якість змішування шихтових матеріалів оцінюється шляхом вибору зразків шихти до та після змішувального барабана, хімічний аналіз здійснюється для визначення вмісту таких важливих елементів та сполук, як Fe, C, SiO₂, CaO, MgO тощо. Стабільність (коливання) хімічного складу змішаної шихти визначається шляхом обчислення значень середнього відхилення параметрів контролю або коефіцієнта рівномірності K₀.

1.3. Способи підвищення стабільності гранулометричного складу агломерату

Розробка способів стабілізації агломерату базується на оцінці процесів його руйнування під дією механічних сил різного характеру [5].

Сучасна технологічна схема виробництва агломерату передбачає його механічну обробку в агрегатах різної конструкції. У зв'язку з цим було проведено аналіз характеристик твердих тіл, які відображають їх здатність чинити опір деформаціям і руйнуванню під дією навантажень [6-9].

Причинами руйнування спеченого агломерату – антропогенного багатокомпонентного матеріалу є показники міцності фаз міжблокової зв'язки, внутрішні напруження, які виникають під час спікання та охолодження, наявність великих пор, неспечених крупних компонентів шихти, тріщин. Міцність агломерату залежить і від його крупності. Виділення зі спеченого агломерату міцної складової, зі стабілізацією

його крупності (5-40 мм), складу та властивостей без утворення значної кількості дріб'язку (0-5 мм) є задачею етапу його механічної обробки.

Визначено основні вимоги для ефективної стабілізації агломерату під час механічної обробки:

- спільна дія сил удару, стирання та розколювання;
- зменшення енергії навантаження по ходу обробки зі 100 до 30- 40 Дж/кг зі зменшенням крупності самих кусків.

Розглянуто особливості механічної обробки агломерату в різних пристроях. В сучасних умовах агломерат перед відправленням у доменний цех піддається механічній обробці переважно в дробарках різного типу та подальшому відсіванню на грохотах різної конструкції. Недоліком використання дробарок є відсутність можливості контролю необхідної величини навантаження, прикладеного на агломерат, та переважна однотипність діючих сил руйнування. Це призводить до подрібнення кусків з утворенням значної кількості дріб'язку, а не ефективного виділення зі спеченця міцної складової. Сучасні грохоти не пристосовані до руйнування агломерату, а виконують лише відсів дріб'язку, що не дозволяє у повній мірі реалізувати внутрішні напруження у кусках і стабілізувати його склад і крупність.

Встановлено, що агрегатом, який забезпечує водночас дію сил удару, стирання та розколювання є барабан-стабілізатор (рис. 1.8) [10], робочий простір якого обладнано певною кількістю полиць. Механічна обробка в ньому здійснюється при взаємодії кусків різної форми та крупності, що рухаються за своїми траєкторіями. Він використовується після зубчатої дробарки для обробки спеченця крупністю 0-100 мм

Встановлено, що істотним недоліком цього пристрою є відсутність достатнього аргументування вибору конструкційних і технологічних параметрів роботи барабана-стабілізатора, що не дозволяє ефективно управляти механізмом стабілізації агломерату.

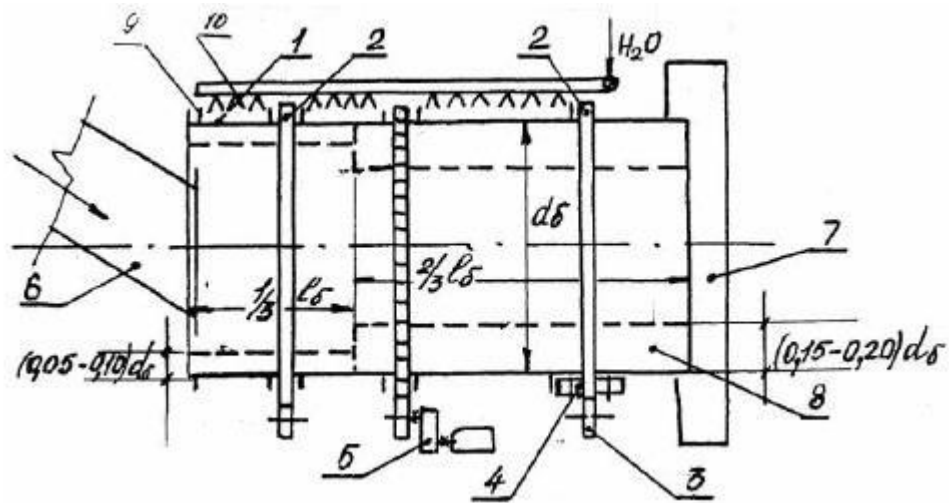


Рис. 1.8. Схема пристрою барабанного типу.

Для дослідження впливу конструкційних і технологічних параметрів роботи пристрою барабанного типу на руйнування агломерату розроблена математична модель, яка включає наступні блоки (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Структура моделі руйнування агломерату в агрегаті барабанного типу

Модель розроблена на основі математичної моделі роботи кульового млина при подрібненні матеріалів металічними шарами однакового розміру з урахуванням, що зсередини барабан - стабілізатор має полиці, а в якості тіл дроблення використовуються куски агломераційного спечення, який характеризується неправильною формою (коефіцієнт форми характеризує ступінь наближення форми куска до кулястої) [11, 12].

Математична модель дозволяє визначити частоту обертання барабана, при якій агломерат починає рухатися у водоспадному режимі, кількість цього агломерату, траєкторію, час і швидкість падіння кусків в просторі барабана, а також величину і види енергетичних навантажень, які діють на матеріал при різних технологічних і конструкційних параметрах роботи пристрою. Її вихідними параметрами є величина загальної енергії навантаження, яка складається з енергій удару, стирання та розколювання.

Визначено, що енергія навантаження, яка діє на агломерат, залежить від наступних факторів: радіуса барабана, частоти обертання, кількості та ширини полиць, ступеню завантаження пристрою агломератом. Довжина барабана та кут його нахилу впливають на час знаходження агломерату в пристрої.

2 РОЗРОБКА ПРИЙОМІВ СТАБІЛІЗАЦІЇ ХІМІЧНОГО І
ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ АГЛОМЕРАТУ, ОЦІНКА ВПЛИВУ
СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ СИРОВИНИ НА АГЛОМЕРАЦІЙНИЙ І
ДОМЕННИЙ ПРОЦЕСИ

2.1 Створення і використання технології моношихти

Комплекс по підготовці моношихти потужністю 2,8 млн. т./рік, що знаходиться на металургійному комбінаті, складається з наступних частин:

- подрібнювального відділення: 6 одновалкових коксодробарок, з яких дві призначені для первинного дроблення (0-12 мм), а 4 для дрібного дроблення (0-3 мм). Продуктивність дробарки по кінцевому продукті - 22 т/год; трьох стержневих млинів (2700 x 3600 мм) із проектною продуктивністю 50 т/год, фактична - 40 т/год;

- дозувального відділення: бункери руди – 4 шт. загальною ємністю 1700 т; бункери флюсу - 2 шт. загальною ємністю 640 т; бункери коксу - 2 шт. загальною ємністю 200 т; бункери додаток - 4 шт. загальною ємністю 400 т.

Дозування матеріалу здійснюється ваговими дозаторами типу «Шенк». Матеріал надходить на збірний конвеєр продуктивністю 1000 т/год. Укладання моношихти в штабель відбувається за допомогою двох консольних штабелеукладачів продуктивністю 1000 т/год. Проектні параметри формованого штабеля: ширина – 28 м, довжина – 210 м, висота - 9,5 м. Ємність 54 000 т, при насипній масі моношихти - 1,9 т/м³.

Забір моношихти зі штабеля відбувається усереднюючою машиною барабанного типу з шириною захвату матеріалу 28 м і продуктивністю 900 т/год.

Формування штабелю моношихти повинне забезпечити коливання по залізу не більше $Fe \pm 0,3-0,5\%$, з основністю $\mu \pm 0,03-0,05$. Це досягається завдяки первинному усередненню залізорудної частини шихти в штабелях накопичувачах.

Ємність штабеля моношихти розраховується за формулою:

$$Q = g \cdot n \quad (2.1)$$

де g – добова витрата моношихти, т/доб;

n – коефіцієнт, що враховує ефективність усереднення.

$$n = \frac{t^2 \sigma_{\partial y}^2}{\sigma_{ny}^2} \quad (2.2)$$

де t – коефіцієнт надійності при ймовірності 90 %;

$\sigma_{\partial y}^2$, σ_{ny}^2 – середньоквадратичне відхилення усереднюючого компоненту дой після усереднення, %;

Розрахунок параметрів складу моношихти.

Середньоквадратичне відхилення по залізу в першому випадку становить 1,2; у другому 0,54, а після усереднення повинне бути 0,31, щоб забезпечити абсолютне відхилення $\pm 0,5$ %. Витрата моношихти становить 7000 т/доб.

У першому випадку, ємність штабеля повинна бути 268000т, у другому 54000т. Отримана в першому усередненні ємність штабеля нереальна. Заданий ступінь усереднення можна забезпечити шляхом збільшення числа штабелів, розділяючи потік матеріалу, що надходить на усереднення на n якісно однотипних потоків.

Так, наприклад, якщо потік моношихти, що надходить на усереднення по збірному конвеєрі, розділити за допомогою елементарного дільника на два потоки й моношихту кожного потоку укласти в окремий штабель, то буде створено два штабелі довжиною L метрів. Якісна характеристика штабелів буде абсолютно тотожна, але така технологія вимагає додаткової кількості полів.

Так, якщо в наведеному прикладі для другого випадку потрібно всього два поля, одне – для формування, інше – для забору, то для першого випадку тільки для формування, як мінімум будуть потрібні два поля.

З наведеного приклада видно, що оптимальною схемою з приготування моношихти є усереднення залізорудного матеріалу в накопичувально-усереднюючому штабелі й тільки після цього передача його для приготування моношихти. От чому комплекси з приготування моношихти будуються при ЦПС.

При певній висоті h й довжині штабеля *моношихти його ємність* визначається по формулі:

$$Q = (H^2 \operatorname{ctg} p L + \frac{\pi H^3 \operatorname{ctg}^2 p}{3}) \cdot \gamma \quad (2.3)$$

де H - висота штабеля, м;

ρ - кут природного укосу, гр;

L - довжина штабеля, м;

γ - насипна вага моношихти, т/м³.

Вираз $\frac{\pi H^3 \operatorname{ctg}^2 p}{3}$ - це об'єм конуса, який складається із двох півконусів, що

утворюються при формуванні на початку й кінці штабеля.

При висоті штабеля 9,5 м і насипній вазі шихти 1,9 т/м³ саме ці 377 т мають найгірші показники по усе редненню моношихти.

Для усунення цих недоліків, технологічною схемою подачі моношихти передбачено цей обсяг матеріалу повертати в усереднюючий процес повторно.

Досвід роботи приготування моношихти показав, що при формуванні штабеля необхідно дотримувати ряд вимог. Так, вага укладаемого в штабель шару, повинна перебувати в межах 80-175 т і бути постійною протягом усього часу формування штабеля.

Вагу, укладаемого шару моношихти можна розрахувати, використовуючи формулу:

$$* \quad g_{cl} = \frac{L g_k}{v_{ш}} \cdot T \quad (2.4)$$

де L - довжина штабеля, м;

g_k - продуктивність конвеєра, що подає, т/год;

$v_{ш}$ - швидкість укладальника, м/год.

Ця формула може використатися для будь-якого виду укладальника моношихти.

У таблиці 2.1 наведені дані ємності шару моношихти залежно від довжини штабеля й продуктивності конвеєра, що подає.

Таблиця 2.1

Залежність ємності шару (т) від довжини штабелю (L) та продуктивності конвеєра, що подає

*

<i>L, м</i>	<i>Продуктивність конвеєра, що подає т/год</i>				
	200	400	600	800	1000
<i>100</i>	<i>33</i>	<i>67</i>	<i>100</i>	<i>133</i>	<i>167</i>
<i>150</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>150</i>	<i>200</i>	<i>250</i>
<i>200</i>	<i>67</i>	<i>133</i>	<i>200</i>	<i>267</i>	<i>333</i>

З наведених даних видно, що ємність шару збільшується при збільшенні довжини штабеля й продуктивності конвеєра, що подає. Це створює можливість підтримувати ємність шару в заданих межах, варіюючи довжиною формованого штабеля й продуктивністю конвеєра, що подає. При зменшенні довжини, ми зіштовхуємося з проблемою неповного використання площі, призначеної для формування штабеля. З метою недопущення зазначеного порушення на одному полі формуються послідовно два штабелі. У цьому випадку, можливе короткочасне погіршення якості при переході на новий штабель.

Якість моношихти перебуває в прямій залежності від кількості шарів, покладених у штабель, чим більша їхня кількість покладена в штабель, тим менше величина середньоквадратичного відхилення усереднюючого компонента.

Так, штабель моношихти, що складався з 200 шарів мав σ рівне 0,35, при збільшенні кількості шарів до 350 - σ відповідно зменшилося до 0,25.

Для розрахунку кількості шарів у штабелі можна користуватися формулою:

$$n_{ст} = \frac{H^3 \cdot \text{ctg} \rho \cdot v_{ш} \cdot \gamma}{g_k} \quad (2.5)$$

У таблиці 2.2. наведена залежність кількості шарів від висоти штабеля (H), продуктивності конвеєра, що подає (g) і кута природнього укосу моношихти (ρ).

Таблиця 2.2

Залежність кількості шарів від висоти штабеля, продуктивності конвеєра, що подає, кута природнього укосу моношихти

Н, м	<i>Кут природнього укосу моношихти, гр.</i>							
	35				40			
	<i>Продуктивність конвеєра, що подає, т/год</i>							
	300	500	800	1000	300	500	800	1000
6	198	119	74	59	163	98	61	49
7	270	162	111	81	221	133	83	66
8	352	211	132	106	289	174	108	87
9	446	268	155	136	366	220	137	110
10	551	331	207	165	452	271	169	136

З даних таблиці видно, що збільшити кількість шарів у формованому штабелі можна, збільшивши висоту штабеля або зменшивши кількість поданої моношихти. Регулювання кількості шарів подачею моношихти залежить від продуктивності аглофабрики.

Звертає увагу й той факт, що зі збільшенням кута природнього укосу, при всіх інших рівних умовах, кількість шарів вкладаємих у штабель знижується. У зв'язку з цим необхідно на стадії проектування, в залежності від кута природнього укосу, передбачати висоту штабеля й техніку для укладання моношихти.

При формуванні штабеля виконавець обмежений жорсткими рамками продуктивності аглофабрики й не завжди може застосовувати технологічні прийоми, що поліпшують якість моношихти.

Тому, використання на формування усереднюючих штабелів штабелеукладачів або інших агрегатів з постійною швидкістю пересування не доцільно.

Таблиця 2.3.

Залежність тривалості формування штабелю моношихти від її витрати

Ємність штабелю, т	Витрата моношихти, т/доб	Тривалість роботи, г	Час формування штабелю, г			
			300	500	800	1000
54 000	8 000	168	180	108	67	54
54 000	10 000	130	180	108	67	54
54 000	15 000	86	180	108	67	54
54 000	20 000	65	180	108	67	54

З наведених даних видно, що зі зростанням продуктивності виникає необхідність збільшувати подачу моношихти для укладання, а це приводить до різкого скорочення кількості шарів, формованих штабелю, що безпосередньо позначається на якості усереднення.

У цей час фірми по виробництву усереднюючої техніки випускають штабелеукладачі з широким діапазоном регулювання швидкості від 10 до

26 м/хв. На таких штабелеукладачах передбачене встановлення тензометричних ваг на конвеєрній стрічці, розташованої на консолі, що укладає моношихту й пов'язаних з автоматичним пристроєм регулювання швидкості.

Зміна навантаження викликає зміну швидкості, що забезпечує укладання необхідної кількості шарів (таблиця 2.4.).

Таблиця 2.4.

Залежність зміни кількості шарів від швидкості штабелеукладача й продуктивності конвеєра, що подає

м/хв	Продуктивність конвеєра, що подає, т/год			
	300	500	800	1000
10	498	299	187	149

12	598	358	224	179
14	697	418	261	209
16	797	478	298	228
18	896	538	336	239
20	996	598	373	253

Якісна підготовка моношихти не гарантує необхідних показників, без правильного її забору.

Сформований штабель являє собою тригранну рівнобедрену призму із шевронним розташуванням шарів з обох сторін від гребеня. Забір матеріалу виконується з торця по всьому перетину штабеля рівномірно. При цьому, всі шари, укладені в штабель, повинні міститись у відвантажуваній моношихті.

Обсяг моношихти, що відвантажуються ротором усереднюючої машини, формується із двох частин штабелю.

Перша - це моношихта, що надійшла до підосви штабелю в результаті зсипання зворотно-поступального руху борони по всьому перетині штабеля.

Друга - це моношихта, що забирається безпосереднього ковшами з основи штабеля.

Продуктивність усереднюючої машини з ротором барабанного типу розраховується по формулі:

$$P = K \cdot Y \cdot ctg \cdot \left[\frac{(H - h)^2 b v_0}{B} + 2v_1 H h \right], \text{ m/год}$$

де **K**- коефіцієнт ефективності зсипання моношихти, для вологої моношихти $\leq 8\%$ - 0,8, сухої - 1,0;

b - глибина занурення борони в моношихту, м;

B-проектна ширина захвату моношихти ротором, м;

h - висота від підшви штабеля до нижньої основи борони, м;

v_0, v_1 - швидкість руху борони й насування машини, м/год.

Технологія забору моношихти наступна.

Забір виробляється з торця штабеля. Кут нахилу борони при установці її на штабель для організації зсипання матеріалу, повинен відповідати куту природнього укосу (відхилення у межах $\pm 1-2^\circ$). Цим забезпечується рівномірний схід моношихти по всьому перетині штабеля. Збільшення кута нахилу, більше припустимого, приводить до неорганізованого обвалення, що порушує рівномірність подання шарів, що складаються в штабель у заваленому матеріалі.

Варто пам'ятати, що сезонні зміни ведуть до зміни кута природнього укосу моношихти. Так, в осінній період кут природнього укосу збільшується на $3-4^\circ$, у результаті збільшення вологості матеріалу. У цьому випадку, кут нахилу борони треба збільшувати.

Гарне усереднення моношихти буде тільки в тому випадку, коли під дією борони моношихта рівномірно буде надходити до підшви штабеля.

Чим більше кут природнього укосу, тим, за інших рівних умов, продуктивність машини буде нижче.

У зв'язку з вищевикладеним, продуктивність машини можна підвищити за рахунок збільшення швидкості насування. При цьому, необхідно збільшити кут нахилу борони, що дасть більш інтенсивне обвалення, поряд з більшою кількістю захвату матеріалу ковшами.

Так, збільшення швидкості насування на 1 м/год дає збільшення продуктивності на 15 %, але ці заходи можуть мати негативні наслідки, тому що може відбутися самообвалення частини штабеля моношихти, що приведе до погіршення якості усереднення.

Таблиця 2.5.

**Продуктивність усереднюючої машини з
ротором барабанного типу**

ρ , гр	$ctg\rho$	H , м	B , м Фактич. ширина штабеля	v_0 , м/год	v_1 , м/год	h , м	Продуктивність, т/год	
							$K=0,8$	$K=1$
35	1,45	6	17	3,75	1800	2,27	283	353
	*	9	26	*	*	*	525	657
	*	9,5	28	*	*	*	587	734
40	1,19	6	14	3,75	1800	2,27	229	287
	*	9	21	*	*	*	430	537
	*	9,5	23	*	*	*	520	650

З наведених даних видно, що продуктивність залежить від висоти штабеля, тому що вона визначає його ширину (B):

$$B = 2Hctg\rho \quad (2.7)$$

Найбільш доцільно, з погляду якості, це – збільшити глибину занурення зубців (зрізаючих ножів) у шар моношихти, тобто збільшити кількість зсипання шихти при тому ж нахилі борони. Це, у свою чергу, дозволить збільшити швидкість насування.

Так, збільшивши глибину занурення зубів на 10-15 мм, ми можемо збільшити продуктивність машини на 20 %.

Нижче наведені якісні показники моношихти, що подається на аглофабрику.

Зниження якісних показників при зменшенні висоти штабеля й, як наслідок, ширини, пояснюється наступними причинами.

Таблиця 2.6.

Якісні показники моношихти

ρ , г/м	H , м	B , м	$v_{над}$	P , т/год	Якісні показники					
					σ_{Fe}	$Fe \pm 0,5$ %	$Fe \pm 0,3$ %	$\sigma_{осн}$	$\mu \pm 0,05$	$\mu \pm 0,03$
35	6	17	3,75	353	0,31	92	-	0,031	90	-
	9,5	28	3,75	734	0,19	-	98	0,019	-	94
40	6	14	4,75	313	0,43	85	-	0,043	86	-
	9,5	21	4,75	708	0,35	-	90	0,035	-	90

Примітка: 1) μ - позначає модуль основності, абс.од; 2) в графах $Fe \pm 0,5$; $Fe \pm 0,3$; $\mu \pm 0,05$; $\mu \pm 0,03$ укладання аналізів у % при вказаних коливаннях.

Барабанный ротор машини обладнаний 33 ковшами, розташованими по всій довжині ротора (28 м). Усередині барабана проходить збірний конвеєр. Коли відбувається забір моношихти, вона розвантажується на збірний конвеєр і при його русі на ньому утворюється від 2 до 4 шарів. При зменшенні ширини штабеля, кількість шарів знижується, що приводить до погіршення якості усереднення.

Тому, при формуванні штабеля моношихти необхідно забезпечити проектну допустиму висоту штабеля. Для цього, технологічний персонал повинен до початку укладання штабеля визначитися з його об'ємом і довжиною, які забезпечують максимальну висоту й ширину.

З вищевикладеного робимо висновок, що при проектуванні комплексу для одержання моношихти на знову споруджуваних або реконструйованих аглофабриках, необхідно дотримуватись наступних вимог:

-вихідна залізородна сировина перед укладанням у штабель моношихти, повинна пройти первинне усереднення;

-висота штабеля повинна бути такою, щоб забезпечити роботу усіх ковшів ротора усереднювальної машини;

-у жодному разі не можна використовувати для забору моношихти зі штабеля агрегати з коефіцієнтом усереднення менше 4 (грейферні крани, роторні екскаватори й т.д.);

-бажано перед надходженням моношихти на укладальник піддати її змішуванню.

2.2. Вдосконалення технології і обладнання для дозування компонентів шихти

У забезпеченні стабільного хімічного складу агломераційної шихти важливе значення має процес дозування компонентів шихти, головною метою якого є забезпечення стійкої рівномірності їх подачі на збірний шихтовий конвеєр у необхідному співвідношенні, яке обумовлено розрахунками шихти.

Дослідження процесу дозування показали, що коливання при дозуванні окремих компонентів шихти можуть бути різними і мати три різновиди: 1) високочастотні – з періодом близько 1 с; 2) середньої частоти – з періодом від декількох секунд до декількох десятків секунд; 3) низькочастотні, що протікають монотонно протягом декількох хвилин.

На основі аналізу характеру коливань при дозуванні матеріалів, був розроблений і випробуваний спосіб дозування погано сипучого матеріалу. Для його реалізації використовується схема, представлена на рис. 2.1. Пристрій для здійснення способу містить стрічковий конвеєр 1, перший бункер 2, на виході якого встановлений живильник 3, другий бункер 4, на виході якого встановлений живильник 5.

Реалізація способу здійснюється наступним чином. По стрічковому конвеєру 1 в перший бункер 2 завантажують матеріал, який надходить через живильник 3, налаштований на необхідну витрату матеріалу в другий бункер 4, і заповнюють його до рівня, що відповідає встановленій кількості матеріалу V_{ϕ} . Після цього включають живильник 5, попередньо налаштований на необхідну витрату матеріалу. У процесі дозування матеріалу його рівень в другому

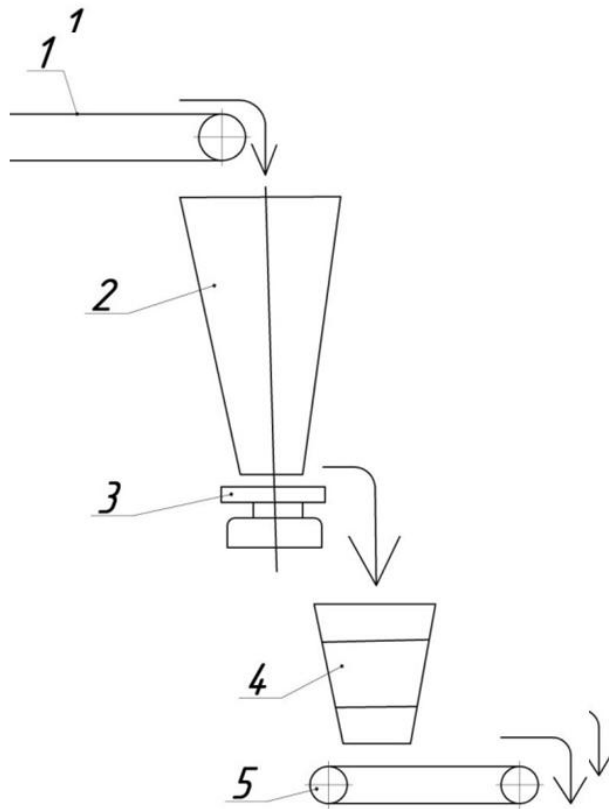


Рис. 2.1. Схема дозуючого пристрою

бункері 4 безупинно коливається, не перевищуючи значення, що відповідає подвійній величині заданого об'єму його заповнення V_2 і не опускаючись до нульового рівня, таким чином в другому бункері 4 постійно перебуває матеріал мінімального об'єму. Ця особливість, з одного боку, скорочує час знаходження матеріалу в бункері й, отже, запобігає утворенню зводів, а, з другого боку, забезпечує безперервність руху потоку матеріалу на живильнику 5.

Визначення фіксованої кількості матеріалу в другому бункері 4 базується на закономірностях, що витікають із коливального характеру зміни витрати матеріалу в ході дозування. Маса матеріалу в другому бункері 4 до моменту початку його розвантаження повинна бути відповідною величині, яку визначають по формулі:

$$P = \frac{A_{\text{макс}} \cdot \tau_{\text{макс}}}{2}$$

де $A_{\text{макс}}$ — найбільша амплітуда коливань витрати матеріалу, кг/с;

$\tau_{\max}$ – максимальний період одного повного коливання витрати матеріалу при виході з живильника 3, с;

2 – коефіцієнт, який встановлений з припущення, що відхилення витрати матеріалу з мінімальною амплітудою не може тривати довше половини періоду.

Після заміни періоду коливань його частотою й поділу обох частин рівняння на насипну густину матеріалу отримуємо формулу для визначення фіксованої кількості матеріалу в другому бункері 4:

$$V_{\phi} = \frac{A_{\max}}{2 \cdot \chi_{\min} \cdot \gamma} \quad (2.18)$$

де $\chi_{\min}$ – мінімальна частота коливань витрати матеріалу, с⁻¹;

γ – насипна густина матеріалу, кг/м³.

Оскільки витрата матеріалу на практиці може відхилятися від установленної величини як у меншу, так і в більшу сторони, об'єм другого бункера 4 слід вибрати не меншим ніж подвійна фіксована кількість матеріалу в ньому, тобто $V_2 \geq 2V_{\phi}$ (рис. 2.2).

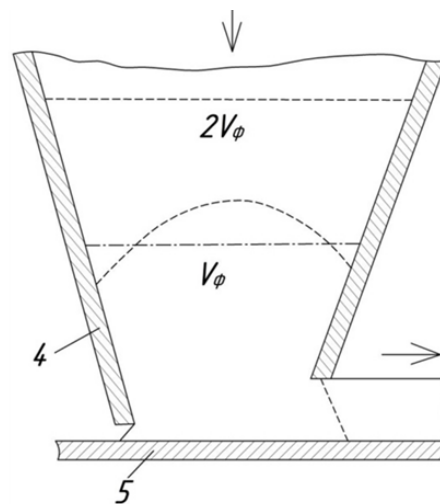


Рис. 2.2. Схема заповнення другого бункера

Параметри $A_{\max}$ і $\chi_{\min}$ визначають експериментально шляхом аналізу діаграми автоматичних приладів безперервного контролю маси матеріалу, що виходить з живильника 3, або за допомогою провішувань проб матеріалу, які безупинно відбираються за короткі проміжки часу роботи дозатора.

Приклад реалізації способу в умовах аглофабрики АрселорМіттал Кривий Ріг. Залізорудний концентрат насипною густиною $\gamma = 2200 \text{ кг/м}^3$ дозується з першого бункера за допомогою дискового живильника з необхідною витратою матеріалу, рівною 40 кг/с . Експериментально визначена діаграма коливань витрати матеріалу із цього бункера представлена на рисунку 2.3, з якої виходить, що максимальний період одного повного коливання $\tau_{\max.} = 80 \text{ с}$, а максимальна амплітуда коливань витрати матеріалу $A_{\max.} = 10 \text{ кг/с}$. Виходячи із цих даних була визначена фіксована кількість матеріалу в другому бункері $V_{\phi} = 10 / (2 \cdot 0,0125 \cdot 2200) = 0,182 \text{ м}^3$ і об'єм другого бункера $V_2 \geq 2V_{\phi} = 0,364 \text{ м}^3$, який обладнаний стрічковим живильником.

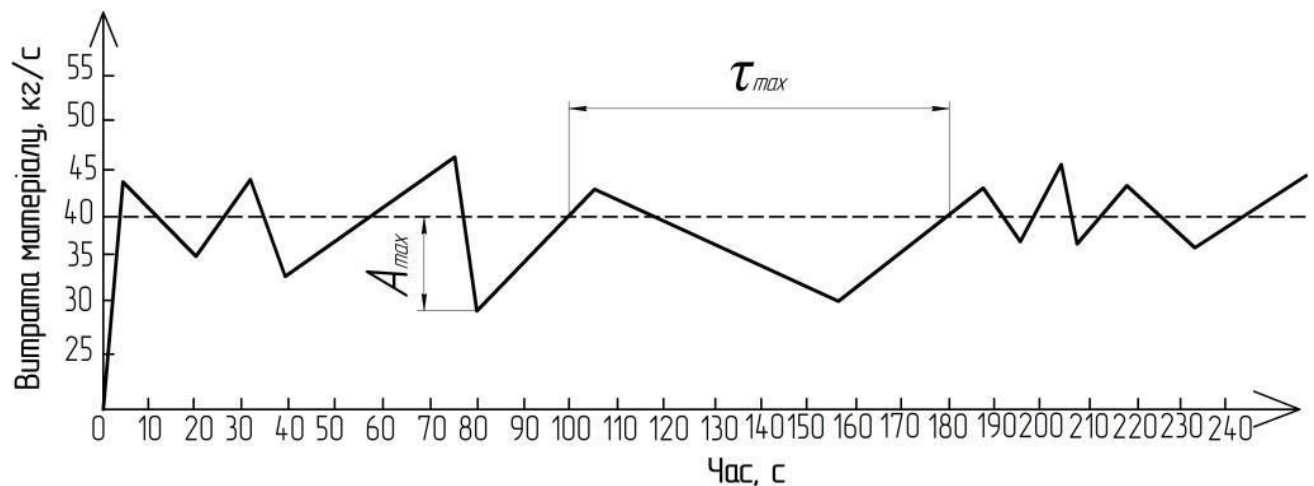


Рис. 2.3. Діаграма коливань витрати матеріалу з бункера

Після включення дискового живильника першого бункера й заповнення другого бункера концентратом до об'єму V_{ϕ} включають живильник другого бункера, установлений на витрату матеріалу, яка дорівнює 40 кг/с .

Порівняння оцінки стабільності дозування рекомендуємого способу зі звичайно задіяним при використанні дискового живильника (при відборі проб 0,5-метровим лотком) показало, що новий спосіб дозування забезпечує збільшення коефіцієнта стабільності дозування погано сипучого матеріалу на 15-20 %.

2.3 Вдосконалення технології і обладнання для змішування шихти

На всіх агломераційних фабриках світу використовується обладнання для здійснення операції змішування шихти, в основному в обертових барабанах, які характеризуються простим устроєм, недорогі в експлуатації та мають достатню високу продуктивність [13, с. 177-179]. Однак, через низький механічний (енергетичний) вплив на шихту, пристрої барабанного типу часто не забезпечують достатньої якості змішування і не гарантують міцних гранул огрудкованої шихти. Процеси утворення гранул у невеликих барабанах залишаються незавершеними, тому готова шихта не відповідає вимогам інтенсивного спікання та виробництва високоякісного агломерату.

Змішувачі барабанного типу у більшості випадків вітчизняної практики мають недостатню частоту обертання – $4-9 \text{ хв}^{-1}$ (через небезпеку спричинити великі коливання конструкції будівлі), в результаті чого, так званий, спосіб водоспаду руху шихти не досягається, що рекомендується згідно теорії змішування як оптимальний для цього процесу. Однак існують способи зменшення вібрацій при великій швидкості обертання барабану. Один з таких способів полягає в покритті опорних роликів гумовою оболонкою, яка буде сприймати вібрацію барабана і таким чином захищати елементи будівлі від вібрації. Цей спосіб потрібно доповнювати підбором оптимального ступеня заповнення барабана шихтою, адже вага завантаженого барабана є однією з складових параметрів, які визначають умови виникнення і параметри вібрації. Позитивний приклад такої модернізації барабанного змішувача має місце на одній з закордонних аглофабрик.

Враховуючи той факт, що змішування компонентів аглошихти відбувається краще при вмісті вологості 3-4 %, рекомендується додаткове зволоження шихти в центральній частині барабану розпиленням струменем води до оптимальної вологості.

Ступінь однорідності змішаної шихти оцінюється за допомогою коефіцієнта K_0 по значенню коливань компонентів хімічного складу шихти. Рекомендується оцінювати однорідність по коливанням найбільш важливого компонента шихти. Ним може бути залізо, вуглець, оксидів кремнію, кальцію

тощо. Збільшення показника однорідності до 80-95 % для барабанних змішувачів слід вважати високим результатом.

Крім барабанних, для змішування згрудковуємої шихти використовуються роторні і шнекові змішувачі [14, с. 163-165]. Але недоліком перших є невелика ефективність змішування (30-40 %), а других – велика енергоємність (понад 1 квт/т змішуємої шихти) обмежують мас штаби їх застосування.

Найкращі пристрої для змішування шихти - це так звані інтенсивні змішувачі, вироблені Айріхом (Німеччина), які використовуються на агломераційних фабриках західноєвропейських країн та Японії. В цих кра не тільки ідеально змішують компоненти аглошихти, рівномірно розподіляти вологу в ній, але й активують поверхневі властивості частинок, утворюють мікгранули з концентрату, інших невеликі матеріали, які служать центрами грануляції шихти під час її подальшої обробки в барабанах. У змішувальній камері, захищеній від абразивного зносу з керамічними плитами, до шести приводних валів з лопатями. Кільцева стіна та дно камери можуть обертатись у напрямку, протилежному напрямку обертання валів. Використання таких високоефективних змішувачів у внутрішній практиці може мати спокусливу перспективу, якщо при роботі не потрібно було дотримуватися ряду обов'язкових умов:

- у потоці матеріалів шихти не повинно бути масивних металевих предметів, в'язання дроту, дощок, ганчірки, цегли, шлакових блоків, на жаль, характерних для нашої практики, та здатних знищити керамічну оболонку, блокуючи обертальні вали, твір розвантажувального механізму інтенсивного змішувача;

- точність дозування компонентів повинна бути достатньо високою, щоб забезпечити синхронну роботу пристрою для розвантаження шихти;

- надійне обслуговування декількох накопичувачів (до 6 шт.) повинно гарантувати синхронну роботу всіх змішувальних валів.

У змішувальній камері, захищеній від абразивного зносу з керамічними плитами, до шести приводних валів з лопатями обертаються. Кільцева стіна та дно камери можуть обертатись у напрямку, протилежному напрямку обертання валів.

На сьогоднішній день найкращою технологією змішування вважається технологія Айріх. Вона використовується у багатьох галузях промисловості, де виникає потреба у змішуванні або огрудкуванні тонко дисперсних матеріалів. Зокрема змішувачі Айріх знаходять широке застосування у ливарному виробництві для приготування формувальних сумішей, забезпечуючи високу якість суміші та зниження виробничих витрат. Вони використовуються для змішування різних компонентів, таких як пісок, бентоніт, вода та інші добавки, з метою отримання однорідної суміші, що має необхідні властивості для формування.

Теорія змішування Айріх (Eirich) описує принципи роботи змішувачів компанії, які використовуються в різних галузях, включаючи ливарне виробництво, для приготування сумішей високої якості. Вона акцентує увагу на досягненні високого ступеня гомогенізації, рівномірному розподілі компонентів та оптимізації процесу змішування для досягнення оптимальної якості готового продукту.

В зв'язку з цим технологія Айріх пропонується для використання в агломераційному виробництві для змішування аглошихтиз метою забезпечення стабільності її хімічного складу перед спіканням.

Пояснення принципу змішування сипких матеріалів Айріх представлено на рис. 2.4 . Система змішування Айріх складається з трьох елементів, кожним з яких можна варіювати з великою гнучкістю при проектуванні процесу змішування:

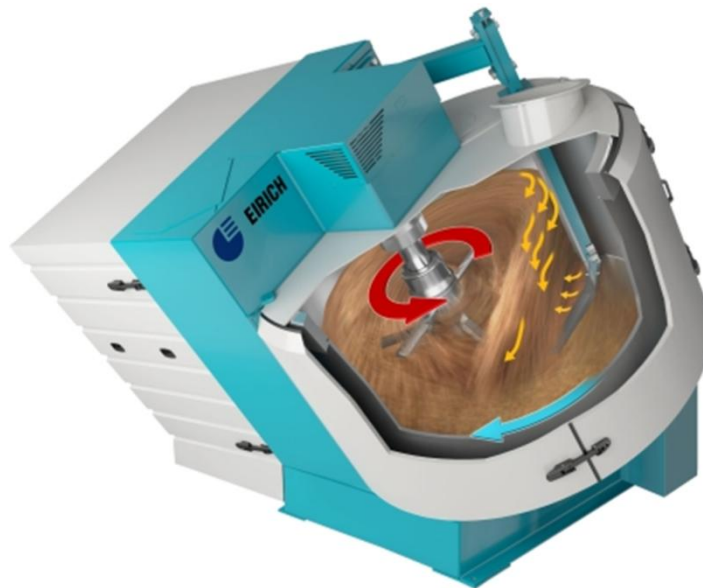


Рис. 2.4. Зовнішній вид і внутрішні елементи однієї з моделей змішувача Айріх

1) змішувальний піддон, що обертається, який подає суміш в зону змішування (синя стрілка на рис. 2.4);

2) один або кілька інструментів для змішування, розташованих ексцентрично щодо осі обертання піддону. Їх напрям обертання та швидкість можна регулювати для різних застосувань (червона стрілка на рис. 2.4);

3) скребок для дна/стіни забезпечує додаткове перемішування. Він запобігає накопиченню матеріалу на стінці та дні робочої камери та полегшує спорожнення після завершення циклу змішування (жовті стрілки на рис. 2.4).

Поділяючи елементи процесу транспортування матеріалу (піддон, що обертається) і змішування (інструмент, що обертається), можна змінювати потужність, що вводиться в суміш. Інструмент(и) змішування можуть працювати на різних швидкостях від швидкої до повільної, що дозволяє адаптувати потужність, що вводиться в суміш (кВт-г/т), для конкретного продукту. Це також дозволяє проводити «гібридні» процеси змішування, такі як повільно – швидко – повільно, які можливо використовувати наприклад, для грануляції шихти.

Основні переваги технології змішування Айріх.

Висока гомогенізація матеріалу, що піддається змішуванню. Змішувачі Айріх забезпечують ретельне та рівномірне змішування всіх компонентів, включаючи відпрацьований агломерат, паливо, флюси, добавки та воду.

Система змішування забезпечує швидке та повне розподілення доданої води, що критично важливо для правильного зволоження та активації сполучних речовин, таких як вапно. Змішувачі Айріх забезпечують достатню тривалість фази мокрого змішування, що необхідно для повного розчинення вапна та рівномірного обволікання рудних та паливних частинок шихти..

Контрольований процес. У змішувачах Айріх можна точно встановлювати час обробки та контролювати інші параметри процесу змішування, що забезпечує якість суміші, що відтворюється.

Висока якість агломераційної шихти. Змішувач Айріх забезпечує оптимальну якість агломераційної шихти, що безпосередньо впливає на якість агломерату.

Екологічність. Процес змішування відбувається з мінімальним утворенням пилу та шуму, що сприяє покращенню умов праці та навколишнього середовища.

2.4. Вдосконалення технології і обладнання для підвищення стабільності гранулометричного складу агломерату

Найбільш дієвим прийомом стабілізації гранулометричного складу агломерату є його обробка в барабані-стабілізаторі, під час якої агломерат піддається впливу механічної енергії, яка виникає в результаті обертання барабану. Величина цієї енергії залежить від низки факторів, серед яких головними є розміри барабану, швидкість його обертання, ступінь заповнення барабана агломератом, оснащеність внутрішньої поверхні барабану

Проведена оцінка впливу основних факторів на величину та вид енергії навантаження в перерахунку на 1 кг агломерату [5].

Суттєвий вплив на величину та вид енергії навантаження має частота обертання барабана (рис. 2.5a). При цьому зміна частоти до 7 об/хв не

викликає значних змін величини та характеру енергії навантаження. Але при збільшенні частоти обертання з 7 до 13 об/хв відбувається значне зростання величини загальної енергії навантаження за рахунок збільшення ударних сил, не зважаючи на екстремальний характер впливу енергії навантаження на величину сил стирання та розколювання.

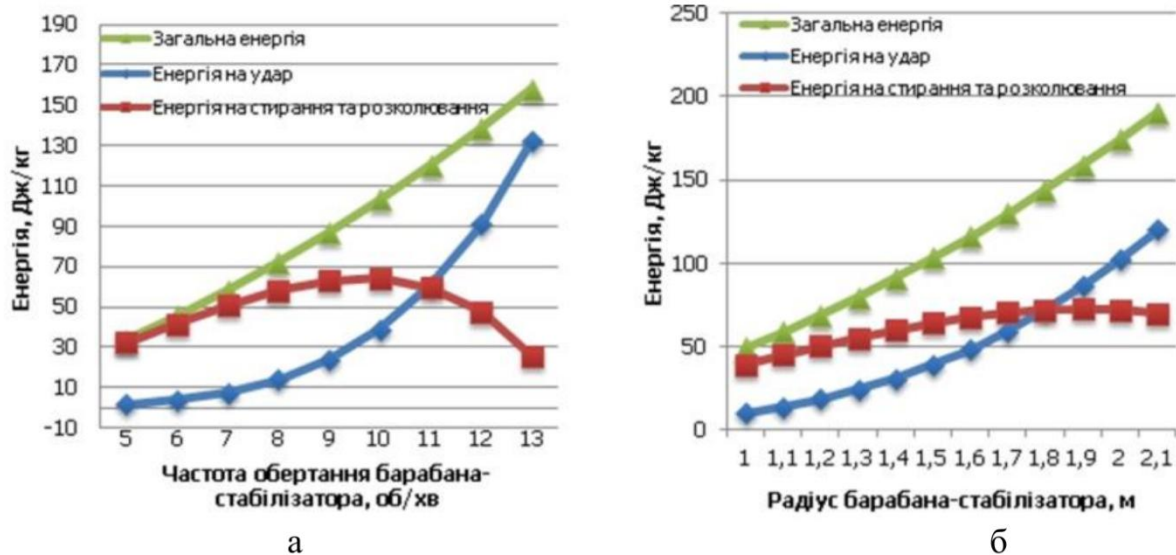


Рис. 2.5. Вплив частоти обертання барабана-стабілізатора (а) і його радіусу (б) на величину енергії навантаження

Можно припустити, що подальше збільшення частоти обертання призведе до значного зростання загальної енергії навантаження за рахунок стрімкого росту ударних сил і зменшення сил стирання та розколювання. Наслідком цього буде значне перенавантаження та подрібнення агломерату.

З рис. 2.5б видно, що збільшення радіуса барабана до 1,5 м призводить до плавного зростання енергетичних навантажень на куски агломераційного спеченця. Зі збільшенням радіусу більше 1,5 м починається активніше зростання ударного навантаження по відношенню до сил стирання та розколювання.

Збільшення кількості та ширини полиць в барабані призводить до пропорційного росту усіх видів енергії (рис. 2.6в,г), що пояснюється аналогічним характером впливу обох факторів на динаміку руху шматків в барабані, а саме шляхом збільшення частки агломерату, який рухається

водоспадним режимом, а, отже, підвищуючи інтенсивність енергетичних навантажень.

Зростання ступеня завантаження матеріалом барабана-стабілізатора в незначній мірі призводить до підвищення частки енергії стирання та розколювання (рис. 2.7). Це відбувається через збільшення кількості агломерату, що рухається водоспадним режимом.

Рекомендується заповнювати робочий простір барабана в межах 15-30 %, оскільки з урахуванням ваги самого пристрою збільшується механічне навантаження на привід барабана.

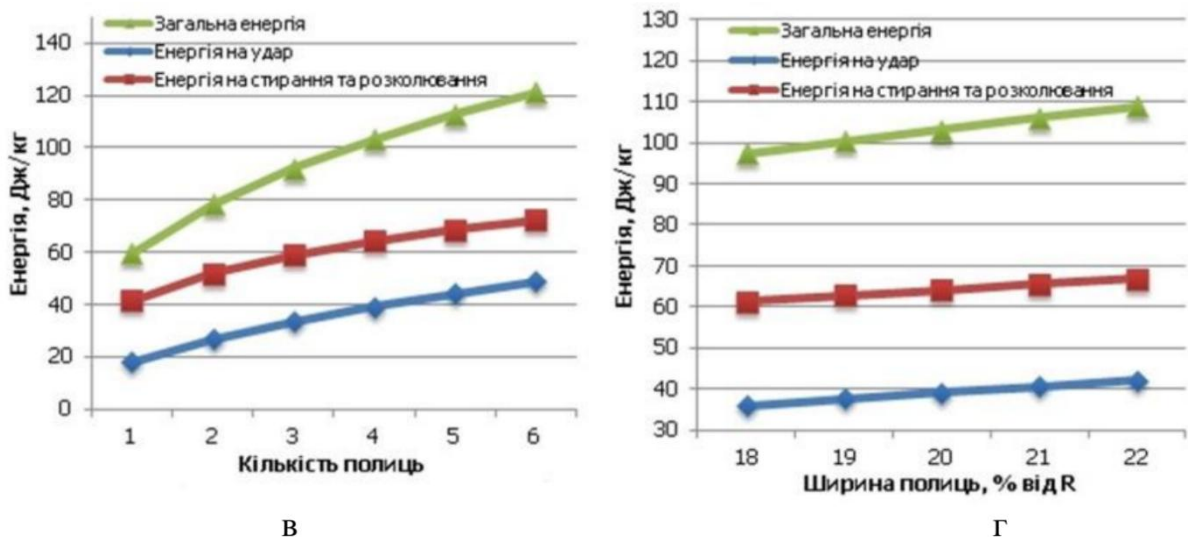


Рис. 2.6. Вплив кількості полиць в барабані-стабілізаторі (в) і їх ширини (г) на величину енергії навантаження

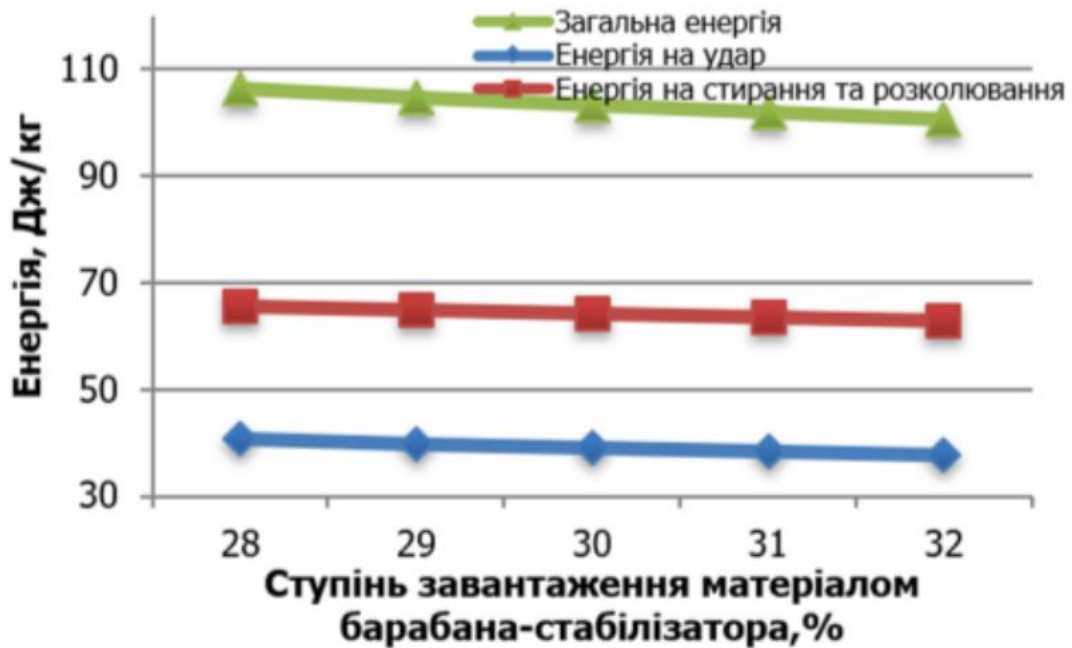


Рис. 2.7. Вплив ступіню завантаження барабана-стабілізатора на величину енергії навантаження

На основі результатів дослідження отримано рівняння множинної регресії залежності величини загальної (E_k) та ударної ($E_{уд}$) енергій від конструкційних і технологічних факторів, які впливають на процес руйнування кусків в барабані:

$$E_k = 0,02927 * n_{об}^{1,61} * R_6^{3,82} * n_{п}^{0,39} * h_{п}^{0,55} * \varphi^{0,57}, R_2 = 99.6 \%,$$

де $n_{об}$ – кількість обертів барабана-стабілізатора за хвилину;

R_6 – радіус барабана-стабілізатора;

$n_{п}$ – кількість полиць;

$h_{п}$ – ширина полиці;

φ – ступінь завантаження.

$$E_{уд} = 4,103 * 10^{-6} * n_{об}^{4,63} * R_6^{5,34} * n_{п}^{0,55} * h_{п}^{0,77} * \varphi^{0,41}, R_2 = 98.6 \, \%.$$

Енергія, що витрачається на руйнування стиранням та розколюванням, визначається різницею загальної та ударної енергій.

Використання наведених рівнянь надає можливість обґрунтованого вибору раціональних параметрів конструкції пристрою барабанного типу. Крім того, вони дозволяють за заданими величинами наведених факторів визначати

технологічні параметри механічної обробки кусків спеченця, що забезпечать отримання агломерату заданої крупності та форми.

Для забезпечення оптимальної дії механічних навантажень у барабані (зменшення енергії та виду навантаження по ходу обробки), запропоновано виділити у пристрої три характерні зони з різним механізмом руйнування агломерату: дроблення - з максимальною необхідною величиною загальних та ударних навантажень (70-100 Дж/кг); стабілізації характеристик за крупністю при мінімальному утворенні дріб'язку за рахунок зменшення загальних та ударних навантажень (50-60 Дж/кг); стирання, яке має забезпечити мінімізацію ударних навантажень, з основною дією сил, які дозволять видалити гострі виступи для надання агломерату кулястої форми (30-40 Дж/кг).

Створення робочих зон в барабані з метою зниження величини енергії руйнування можливе завдяки зміні кількості та ширини полиць в робочих зонах пристрою.

Експериментальне дослідження зміни гранулометричного складу спеченця проведено в дослідному барабані [15] радіусом 0,5 м, частотою обертання – 25 об/хв, ступенем завантаження агломератом 30 %, кількістю полиць – 6, їх шириною – 21 % від радіуса барабана. У першому випадку (*) кількість та ширину полиць залишали незмінною.

У другому випадку (**) для створення трьох робочих зон у дослідному барабані після хвилини обробки була проведена зміна кількості полиць до 3, а їх ширини – до 19 % від радіуса барабана, а після подальших півторихвилин обробки агломерату – кількість полиць зменшили з 3 до 1, а ширину – до 17 % від радіуса барабана.

Результати дослідження зміни крупності агломерату під час обробки у барабані з незмінною кількістю та шириною полиць(*), та у барабані з робочими зонами (**) представлені у табл. 2.7.

Таблиця 2.7. Вплив механічної обробки агломерату в пристрої барабанного типу на його гранулометричний склад.

Час об- роб- ки, хв	Вміст фракції, %									
	0-5 мм		5-10 мм		10-25 мм		25-40 мм		40+ мм	
	*	**	*	**	*	**	*	**	*	**
0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0
1	10,2	10,4	13,62	13,3	45,74	43,9	21,05	22,24	9,36	10,16
2	14,2	13,4	17,4	16,9	45,8	46,2	16,78	16,42	5,82	7,13
3	16,4	15,0	22,1	21,8	48,47	48,7	8,5	9,3	4,58	5,2
4	21,0	18,1	22,3	22,1	46,17	47,8	6,3	7,45	4,23	4,6

Як видно з табл. 2.7, в барабанах обох конструкцій основне руйнування крупних фракцій відбувається на початковому етапі механічної обробки. При цьому продуктами руйнування крупних кусків здебільшого є фракції крупністю більше 5 мм (5-10; 10–25; 25–40 мм).

Фракція 0-5 мм утворюється в межах 10 %, а фракція 10–25 мм – майже 50 %. Наведений характер руйнування свідчить про те, щосаме на цьому етапі з крупних кусків починають виділятися більш міцні складові, якими є вищеназвані блоки. Основними причинами руйнування є високий рівень реалізації внутрішніх напружень і руйнування кусків по найбільшим порам та на контактах фаз.

При подальшій обробці агломерату, характер руйнування кусків в барабанах дещо змінюється – крім фракції більше 40 мм починає руйнуватися фракція 25–40 мм. При цьому продуктами руйнування даної фракції є в основному куски крупністю 0-5 і 5-10 мм. Подальша механічна обробка призводить до стабілізації найбільш міцних фракцій 5-10 і 10-25 мм. Після 3 хвилин обробки відбувається небажане значне подрібнення спеченця з утворенням дріб'язку 0-5 мм, при відсутності суттєвого покращення його гранулометричного складу.

Зниження навантаження на куски спеченця починаючи з другої хвилини обробки в барабані з робочими зонами (**) призводить до зменшення кількості дріб'язку у порівнянні з барабаном без зменшення кількості та ширини полиць на 6-9 % щохвилино. Вміст агломерату фракцією 5-10 мм лишається на тому

самому рівні, а вміст фракцій 10-5 мм, 25-40 мм, та в незначній мірі фракції більше 40 мм – збільшується.

Порівняння гранулометричного складу показало позитивний вплив використання барабана з різними робочими зонами на механічну обробку агломерату.

Завдяки результатам моделювання та експериментальних досліджень встановлено, що для забезпечення оптимальної механічної обробки та отримання агломерату, стабілізованого за міцністю та крупністю (5-40 мм), пристрій барабанного типу повинен мати наступні характеристики: радіус барабана – 1,25–1,75 м; частота обертання – 8-10 об/хв; кількість полиць – від 6 (1 зона), – 3-5 (2 зона) та – 0-2 (3 зона); ширина полиць - 20-22 % від радіуса барабана (1 зона), – 18-20 % (2 зона) та – 16-18 % (3 зона); ступінь завантаження барабана – 15-30 %; кут нахилу 4-6 град.; довжина барабана 7,5-10 м (рис. 2.8).

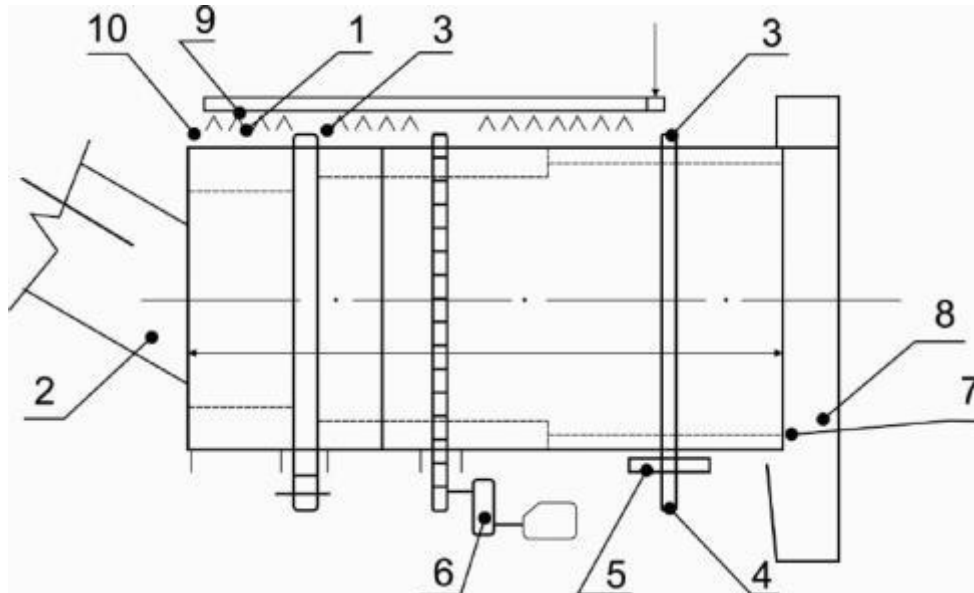


Рис. 2.8. Схема барабана-стабілізатора: 1 - барабан; 2 - завантажувальна лійка; 3-бандажі; 4 - опорні ролики; 5 - упорні ролики; 6 - привід; 7 - полиці; 8 -розвантажувальна камера; 9 - форсунки для зрошення пристрою водою; 10 - кільцеві ребра.

Дана конструкція дозволяє забезпечувати необхідний рівень початкових навантажень на агломерат в межах 70-100 Дж/кг з подальшим зменшенням енергетичних сил до 30 Дж/кг.

Це підтверджується розрахунком енергетичних навантажень на агломерат у барабані радіусом 1,25 м, частотою обертання – 9 об/хв, ступенем завантаження агломератом 30 %, зміною в робочих зонах кількості полиць з 6 до 3 і 1, та їх ширини – з 21 % до 19 % і 17 % від радіуса барабана (рис. 2.9).

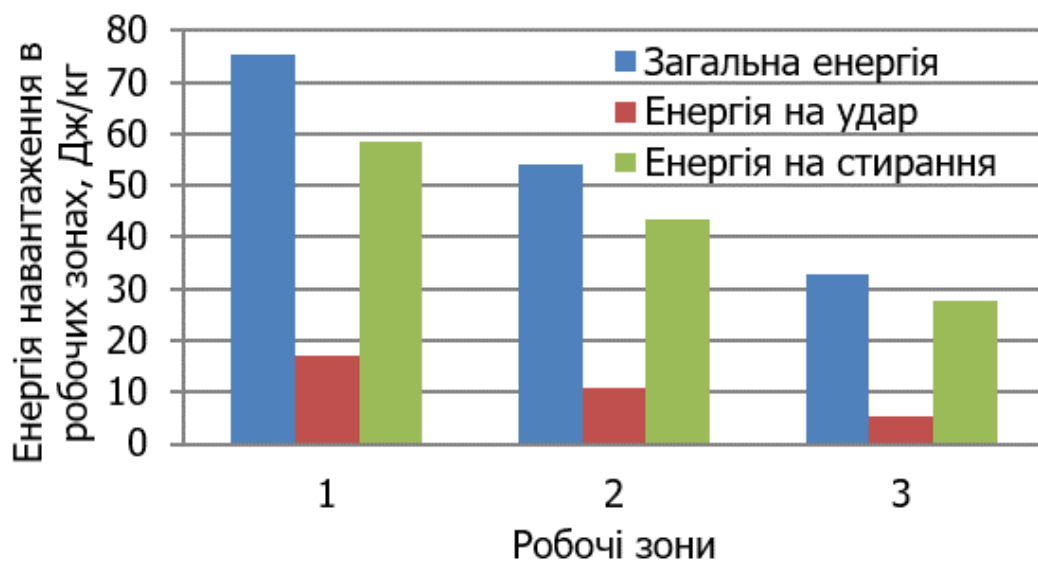


Рис. 2.9. Залежність енергії руйнування від кількості та ширини полиць в робочих зонах барабана-стабілізатора.

Окрім покращення якості агломерату, перевагою запропонованої схеми є те, що використання барабана-стабілізатора як пристрою для ефективної стабілізації та охолодження спеченця дає можливість зменшити кількість етапів та агрегатів механічної обробки, що позитивно вплине на зниження витрат на будівництво й експлуатацію агрегатів і витрати електроенергії.

Оцінка ефективності розробленої технології визначалася шляхом порівняння характеристик агломерату, виготовлених за базовою та запропонованою схемою. Дослідження проводили наступним чином. Першу пробу спікали після типової схеми підготовки шихти, після чого спеченець

проходив механічну обробку шляхом скидання з копра (який забезпечує ударні навантаження) та подальшим грохоченням. Другу пробу готували до спікання за запропонованою технологією підготовки шихти. Її механічна обробка полягала у тому, що після скидання з копра, куски потрапляли в дослідний барабан з різними зонами, і лише після цього проводилося грохочення.

Порівняння характеристик агломератів, отриманих за типовою та запропонованою технологією представлене у табл. 2.8, 2.9 та на рис. 2.10.

Табл. 2.8. Гранулометричний склад агломерату перед та після стабілізації.

Вид агломерату	Гранулометричний склад, %				
	40+ мм	25-40 мм	10-25 мм	5-10 мм	0-5 мм
Вихідний	16,3	18,2	28,5	19,2	17,8
Стабілізований	4,15	13,35	30,5	27,1	24,9

Табл. 2.9. Коефіцієнт форми кусків перед та після стабілізації.

Вид агломерату	Коефіцієнт форми					
	60+ мм	40-60 мм	25-40 мм	10-25 мм	5-10 мм	0-5 мм
Вихідний	0,75	0,8	0,82	0,84	0,86	0,91
Стабілізований	-	0,83	0,86	0,91	0,94	0,96





Рис. 2.10. Вид агломерату перед (зверху) та після (знизу) механічної обробки в обертовому стабілізуючому барабані

Як видно з результатів проведеного дослідження, агломерат, виготовлений за запропонованою технологією, характеризується збільшеною рівномірністю гранулометричного складу та збільшеним коефіцієнтом форми кусків. Крім того, стабілізований агломерат має підвищений вміст закису заліза та загального заліза, у ньому відбулась реалізація внутрішніх напружень, що дозволить запобігти руйнуванню агломерату під час його транспортування, зберігання та завантаження в доменну піч. Аналогічний результат було отримано в попередніх дослідженнях [16].

Збільшення вмісту дріб'язку в стабілізованому агломераті на 7,1 % компенсується збільшенням міцності його крупних шматків після стабілізуючої обробки в барабані.

Після грохочення стабілізованого агломерату, вміст дріб'язку в ньому складає близько 3-4 %, у той же час як у базового – 10-12 %. Отримані навантаження в запропонованому барабані-стабілізаторі дозволяють виділити міцну складову спеченого продукту, що дозволяє уникнути руйнування агломерату до потрапляння в доменну піч, на відміну від звичайного агломерату.

Рівномірність гранулометричного складу агломерату та зменшення його руйнування в шахті доменної печі позитивно впливає на порозність і газопроникність шару шихти, що покращує умови роботи доменної печі.

Використання запропонованої схеми отримання стабілізованого за крупністю та міцністю агломерату дозволить зменшити вміст дріб'язку в ньому з 12 до 3-4 % без збільшення кількості вороття, що призведе до зниження питомої витрати коксу на 4 %, та збільшення продуктивності печі на 8 %.

2.4. Вплив стабільності хімічного і гранулометричного складу шихти і агломерату на агломераційний і доменний процеси

Стабільність хімічного складу аглошихти позитивно впливає не тільки на однорідність агломерату, але також на агломераційний процес. Так, дослідженнями на аглофабриці Маріупольського МК ім. Ілліча встановлено [17], що завдяки зниженню середньоквадратичного відхилення коливань складу агломерату в 1,4 раза шляхом удосконалення технології дозування аглошихти, досягнуто більшу стабільність теплового режиму роботи агломашин, що призвело до збільшення продуктивності аглофабрики на 1,2 %.

Вдосконалення систем завантаження бункерів шихтового відділення та подачі вороття в шихту, а також заходи щодо раціоналізації усереднення на складах Карагандинського металургійного комбінату дозволили знизити середньоквадратичне відхилення коливань складу агломерату за основністю на 0,02 % та за вмістом заліза – на 0,2 % [17]. Це забезпечило стабілізацію теплового режиму спікання та призвело до збільшення продуктивності аглофабрики на 1 %.

Збільшення однорідності рудних матеріалів по вмісту заліза (%) покращує показники роботи доменної печі таким чином [18, с. 222]:

зменшення інтервалу коливання, %	змінна продуктивності, %	зміна витрати коксу, %
від $\pm 1,5$ до $\pm 1,0$	+2,5	-1,5

від $\pm 1,0$ до $\pm 0,5$	+2,5	-1,0
від $\pm 0,5$ до $\pm 0,2$	+1,0	-0,5

Покращення стабільності хімічного і гранулометричного складу агломерату призводить до більш рівномірного ходу доменної плавки і супроводжується підвищенням основних техніко-економічних показників доменної плавки. Так, зменшення вмісту фракції 5-0 мм в залізорудній шихті на кожен 1 % призводить до зниження витрат коксу на 0,5 % і підвищенню продуктивності доменної печі на 1,0 % [19].

Зниження дрібязку в агломераті покращує роботу доменної печі, оскільки це дозволяє:

- поліпшити прохідність дуття через шар:матеріалів в печі. Менше дрібних частинок зменшує опір потоку газів, що дозволяє газам краще просуватися в шихті та забезпечує ефективніше відновлення заліза;
- поліпшити тепловий обмін. Велика поверхня дрібних частинок викликає інтенсивнішу взаємодію з гарячими газами, що призводить до нерівномірного нагрівання і може знизити продуктивність печі;
- зменшити вірогідність утворення заклинювання. Менше дрібних частинок знижує можливість заклинювання матеріалу в шахті печі, що дозволяє підтримувати безперервність процесу сходу шихти і рівномірність випуску продуктів плавки;
- збільшити продуктивність печі і зменшити витрату коксу, що пов'язано з покращеним газообміном та теплообміном, призводить до збільшення швидкості протікання фізико-хімічних процесів.

Таким чином, зниження дрібязку в агломераті сприяє більш рівномірному процесу відновлення заліза, ефективнішому теплообміну, зменшенню заклинювання і, зрештою, збільшенню продуктивності доменної печі і зменшує витрату коксу..

ВИСНОВКИ

Проведені аналітичні дослідження і розрахунки щодо питання підвищення ефективності агломераційного виробництва шляхом стабілізації складу залізорудного агломерату дають підставу для наступних основних висновків.

1. Стабілізація складу залізорудного агломерату є важливим резервом підвищення ефективності агломераційного виробництва завдяки покращенню якості агломерату, а також підвищенню продуктивності агломераційної машини внаслідок стабілізації теплового режиму спікання шихти.

2. Підвищення стабільності складу агломерату має два способи реалізації – стабілізація хімічного складу і стабілізація гранулометричного складу, перший з яких пов'язаний з підвищенням усередненості (ступенем перемішаності) аглошихти, а другий – з формуванням блокової структури агломерату і його механічною стабілізацією.

3. Усередненість шихти характеризується автокореляційною функцією (АКФ) коливань складу, яка дозволяє не тільки кількісно оцінити ступінь перемішаності (упорядкованості взаємного розташування шматків), але і простежити закономірності зміни коливання складу в часі.. Стабілізація гранулометричного складу характеризується збільшенням міцності шматків агломерату, тобто здатністю витримувати механічні навантаження різного характеру без порушення цілісності.

4. Для підвищення ефективності агломераційного виробництва шляхом стабілізації хімічного складу залізорудного агломерату пропонуються наступні технічні заходи:

отримання моношихти – суміші залізорудного матеріалу і переважної кількості флюсу і палива, формування якої на усереднювальному складі забезпечить в залежності від кута природного ухилу моношихти (35 або 40°) відхилення по вмісту заліза $Fe \pm 0,5 \%$ у межах 85-92 %, по основності $B \pm 0,05$ у межах 86-90 %;

вдосконалення технології і обладнання для дозування погано сипучого матеріалу за допомогою пристрою, що складається з двох бункерів і двох живильників, належна експлуатація якого забезпечить збільшення коефіцієнта стабільності дозування погано сипучого матеріалу на 15-20 %;

- використання інтенсивного змішувача шихти технології Айріх, спеціальна конструкція якого забезпечує інтенсивний потік матеріалів, що сприяє більш швидкому та рівномірному змішуванню при 100 % участі компонентів шихти.

5. Для підвищення ефективності агломераційного виробництва за рахунок стабілізації гранулометричного складу агломерату запропоновано використання спеціально розробленої конструкції барабана-стабілізатора і його технологічних параметрів, які забезпечують отримання стабілізованого за крупністю та міцністю агломерату, вміст дріб'язку в якому зменшується з 12 до 3-4 % без збільшення кількості вороття, що призведе до зниження питомої витрати коксу на 4 %, та збільшення продуктивності доменної печі на 8 %.

