МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (магістерського) рівня освіти

на тему Удосконалення автоматизованої системи управління технологічним процесом спікального відділення агломераційного цеху

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1744
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно -інтегровані технології
та робототехніка
освітньої програми Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
Я. Г. Ренгевич
(ініціали та прізвище)

Керівник проф., д.т.н. Пазюк М. Ю.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент директор ТОВ «Електротехмаш»
І.А. Курілець
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2025

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(другий (магістерський) рівень)
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп`ютерно- інтегровані технології та робототехніка
(код та назва)
Освітня програма Автоматизація та комп`ютерно-інтегровані технології
(назва)
Спеціалізація
(код та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
"____" _____2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)
Ренгевичу Ярославу Геннадійовичу
(прізвище, ім`я, по батькові)

1. Тема роботи Удосконалення автоматизованої системи управління технологічним процесом спікального відділення агломераційного цеху
Керівник роботи Пазюк М. Ю., докт. техн. таук, професор,
(прізвище, ім`я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» вересня 2025 року № 1483-с
2. Строк подання студентом роботи 17 лютого 2025 р
3. Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) техніко-економічне обгрунтування створення системи автоматизованного управління технологічного процесу; технологічні особливості управління агломераційним виробництвом; розробка системи автоматизації; розробка технічної документації для САР; заходи щодо техніки безпеки й пожежогасінню

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов`язкових креслень)
Креслення, презентаційний матеріал 8 слайдах (на 8 сторінках)

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пазюк М. Ю.		
2	Пазюк М. Ю.		
3	Пазюк М. Ю.		
4	Пазюк М. Ю.		
5	Пазюк М. Ю.		

7. Дата видачі завдання 27.05.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення технологічних особливостей управління агломераційним виробництвом	01.07.2025	
2	Складання технічного завдання для створення АСУ ТП агломераційного виробництва	01.08.2025	
3	Аналіз існуючих систем автоматизації	01.09.2025	
4	Вибір та обґрунтування структури системи управління	01.10.2025	
5	Розробка функціональної схеми автоматизації спікального горна	01.11.2025	
6	Розробка технічної документації для САР	01.12.2025	
7	Розрахунки та моделювання САР	05.01.2025	
8	Розробка макету мнемосхеми	01.02.2025	
9	Організаційні питання підготовки до захисті	17.02.2025	

Студент _____ Ярослав РЕНГЕВИЧ
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____ Михайло ПАЗЮК
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Баштій С.В.
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ренгевич Я. Г. Удосконалення автоматизованої системи управління технологічним процесом спікального відділення агломераційного цеху

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник М. Ю. Пазюк, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2025.

У роботі запропонована методика ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти дозволяє з високою точністю прогнозувати фракційний склад сипкого матеріалу за результатами вимірювання середнього діаметра частинок, що становлять його масу. Розроблено прикладну програму розрахунку фракційного складу агломераційної шихти, що завантажується на аглоленту, з урахуванням встановлених особливостей її переробки на основі інформації про середній діаметр часток. На основі встановлених закономірностей формування структури шару полідисперсного матеріалу обґрунтовано метод ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти в кожному з горизонтів з урахуванням сегрегації при завантаженні. Розроблено алгоритм визначення кута нахилу завантажувального лотка, що дозволяє сформувати шар агломераційної шихти на аглострічці із заданими показниками якості.

Ключові слова: агломерація, оптимізація, автоматизація, система управління, алгоритм, агломераційна шихта, сегрегація

ABSTRACT

Ya. Rengevych. Improvement of the Automated Process Control System of the Sintering Department of the Sinter Workshop

The final master's qualifying work for completion of the higher education in the specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics", supervisor: M. Yu. Paziuk, Zaporizhzhia National University, Engineering Education and Research Institute, Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems. Zaporizhzhia, 2025.

The paper proposes a method for identifying the granulometric characteristics of the sintering charge, which allows for high-accuracy prediction of the fractional composition of the bulk material based on the results of measuring the average diameter of the particles that make up its mass. An application program has been developed for calculating the fractional composition of the sintering charge loaded onto the sintering belt, taking into account the established features of its processing based on information about the average particle diameter. Based on the established regularities of the formation of the structure of the layer of polydisperse material, a method for identifying the granulometric characteristics of the sintering charge in each of the horizons, taking into account segregation during loading, has been substantiated. An algorithm has been developed for determining the angle of inclination of the loading tray, which allows for the formation of a layer of the sintering charge on the sintering belt with specified quality indicators.

Keywords: agglomeration, optimization, automation, control system, algorithm, agglomeration charge, segregation

ЗМІСТ

Вступ……. 8
1 Техніко-економічне обґрунтування проекту……. 12
1.1 Спікальне відділення з позиції управління……. 12
1.2 Конструкція технологічного агрегату та алгоритм його роботи…….. 14
1.3 Аналіз стану автоматизації існуючого виробництва…….. 20
1.4 Основні технологічні величини…… 23
1.5 Взаємозв'язок спікального відділення з суміжними відділеннями….. 25
1.6 Аналіз існуючих систем керування процесом спікання…… 26
1.7 Постановка задачі дослідження…… 39
2 Ідентифікація гранулометричного складу агломераційної шихти…….. 41
2.1 Визначення гранулометричних характеристик агломераційної шихти……. 41
2.2 Розрахунок гранулометричного складу агломераційної шихти, підготовленої до спікання……... 51
2.3 Перетворення результатів розсіву агломераційної шихти до заданих гранулометричних характеристик…….. 74
2.4 Висновки до розділу 2……... 83
3 Дослідження закономірності розподілу класів крупності часток агломераційної шихти за висотою шару на аглострічці…….. 84
3.1 Моделювання розподілу часток агломераційної шихти за висотою шару на аглострічці…….. 84
3.2 Адаптація алгоритму розрахунку теоретичного розподілу частинок агломераційної шихти за висотою шару на аглоленті до реальних умов його формування…….. 97
3.3 Висновки до розділу 3……... 108
4 Управління розподілом класів крупності агломераційної шихти за висотою шару на аглострічці при різних умовах завантаження……. 110
4.1 Визначення гранулометричних характеристик агломераційної

шихти в різних горизонтах шару на аглострічці з урахуванням її сегрегації при завантаженні…… 110
4.2 Оцінка впливу параметрів завантажувального пристрою на розподіл фракцій агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці……... 115
4.3 Технологічні рекомендації щодо вдосконалення конструкції завантажувальних вузлів агломашин……. 120
4.4 Висновки до розділу 4……... 125
Висновки……... 126
Список використаних джерел інформації……. 128
Додаток А……. 131

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне агломераційне виробництво являє собою складну систему різних апаратів, що діють в різних режимах і виконують різні функції.

Безперервне зростання виробництва агломерату, підвищення вимог до його якості, а також потоковість технологічних процесів створили умови для широкого впровадження засобів автоматичного контролю і управління.

Комплексної автоматизації агломераційного виробництва приділяється велика увага. Значне місце в технологічній схемі агломераційного виробництва займають процеси, пов'язані зі спіканням шихти, однією з основних операцій, що визначають якість агломерату.

Основне завдання автоматизації агломераційного виробництва полягає в забезпеченні максимальної продуктивності агломераційних машин і заданої якості агломерату. Одночасно автоматизація дозволяє вирішувати завдання підвищення рівня організації виробництва, оперативності управління технологічними процесами і в цілому підвищення економічної ефективності виробництва. Одним з найважливіших напрямків вдосконалення управління є створення автоматизованих систем із застосуванням обчислювальної техніки.

Автоматизована система управління спікального відділення є якісно новим етапом комплексної автоматизації і покликана забезпечити істотне збільшення продуктивності праці, поліпшення якості своєї продукції та інших техніко-економічних показників агломераційного виробництва.

Автоматичне управління в спікальному відділенні полягає в автоматичній підтримці висоти шару аглошихти, що завантажується на машину, контролі і автоматичному регулюванні процесом запалювання шихти, контролі температури запалювання горна, регулювання закінченості процесу спікання наприкінці активної ділянки аглошихти.

Особливістю побудови АСУ [1] є системний підхід до всієї сукупності металургійних, енергетичних і управлінських питань. Спеціаліст з АСУ ТП повинен володіти теорією автоматичного управління, розбиратися в

конструкції металургійних агрегатів і основи технології, досить вільно орієнтуватися в роботі цифрових обчислювальних машин, їх математичному і алгоритмічній забезпеченні, вміти правильно застосовувати технічні засоби інформаційної і керуючої техніки.

В АСУ ТП втілені досягнення локальної автоматики, систем централізованого контролю, електронної та обчислювальної техніки. Крім того, АСУ ТП виробляють загальну централізовану обробку первинної інформації в темпі протікання технологічного процесу, після чого інформація використовується не тільки для управління цим процесом, а й перетворюється на форму, придатну для використання на вище стоять рівнях управління для вирішення оперативних і організаційно-економічних завдань.

Мета дослідження. Обґрунтування та розробка рекомендацій щодо удосконалення процесу укладання огрудкованої агломераційної шихти на аглострічку з метою досягнення заданого розподілу класів крупності за висотою шару.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі сформульовано і вирішено такі завдання:

1. Виконати теоретичні дослідження впливу технологічних процесів підготовки агломераційної шихти до спікання на гранулометричні характеристики обкомкованої агломераційної шихти, що укладається на аглоленту.

2. Провести теоретичні дослідження сегрегаційних процесів, що протікають в обкомкованій агломераційній шихті при укладанні на аглострічку.

3. Розробити математичну модель процесу укладання огрудкованої агломераційної шихти на аглострічку, яка дозволяє розрахувати гранулометричний склад кожного з горизонтів шару шихти для різних умов його формування.

4. Розробити технологічні рекомендації щодо удосконалення процесу укладання обкомкованої агломераційної шихти на аглоленту, які дозволяють

сформувати шар шихти на аглоленті із заданим розподілом класів крупності за його висотою.

Об'єкт дослідження. Процес укладання огрудкованої агломераційної шихти на аглострічку.

Предмет дослідження. Сегрегація агломераційної шихти при укладанні на аглострічку.

Методи дослідження. При створенні математичних моделей використано балансовий метод; методи математичної статистики, теорії ймовірності та моделювання; чисельні методи вирішення систем звичайних та диференціальних рівнянь під час моделювання технологічних об'єктів.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Удосконалено підхід до вирішення завдань ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти з урахуванням технологічних особливостей її переробки, заснований на системі рівнянь балансу фракцій у матеріалі. Рішення цієї системи здійснюється способом послідовного зниження її порядку, шляхом заміни групи аргументів їх середніми значеннями.

2. На основі встановлених закономірностей формування структури шару полідисперсного матеріалу теоретично обґрунтовано методику ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти в кожному з горизонтів шару на аглоленті з урахуванням сегрегації при завантаженні.

Практичне значення одержаних результатів. Удосконалено схему моделювання розподілу частинок агломераційної шихти по висоті шару на аглоленте на основі припущень про характер взаємодії фракцій матеріалу при формуванні шару і відомому значенні середнього діаметра частинок матеріалу. Розроблено методику прогнозування розподілу фракцій агломераційної шихти по висоті шару на аглоленті на основі відомого середнього діаметра частинок, коефіцієнтів, що відображають особливості переробки агломераційної шихти на даному виробництві, та припущень про характер взаємодії частинок матеріалу при формуванні шару. Розроблено алгоритм визначення кута нахилу

завантажувального лотка, що дозволяє сформувати шар агломераційної шихти на аглоленті із заданими показниками якості..

Особистий внесок дослідника полягає у формуванні мети, наукової задачі, обґрунтуванні наукових положень дослідження; проведення теоретичних та експериментальних досліджень; розроблення математичних моделей сегрегаційних процесів у полідис-персних сипучих матеріалах з використанням балансового методу дослідження; розроблення технологічних рішень щодо вдосконалення роботи завантажувальних вузлів агломашин.

Апробація результатів досліджень. Основні положення і результати магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених Молода наука - 2025» (14-18 квітня 2025р., м. Запоріжжя).

Структура та обсяг магістерської роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел інформації з 31 найменування, викладена на 131 сторінках машинописного тексту, включаючи 40 рисунків, 20 таблиць та 1 додаток.

1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

1.1 Спікальне відділення з позиції управління

Агломерація є заключною операцією в комплексі заходів щодо підготовки залізних руд до доменної плавки. Головна мета цієї операції полягає в тому, щоб перетворити дрібний рудний концентрат у більші шматки - агломерат, використання якого в доменній плавці забезпечує формування шару шихти гарної газопроникності, що є неодмінною умовою високопродуктивної роботи доменної печі [2].

Агломерація (від лат. agglomerare - приєднувати, додавати) [1] у широкому змісті - об'єднання в єдине ціле однорідних частин. У більш вузькому значенні стосовно до металургії - це процес формування агломерату - пористої маси, що закристалізувалася, з рудних часток у результаті їхнього часткового плавлення й наступного швидкого охолодження. Агломерація дозволяє втягнути в металургійну переробку відходи інших виробництв, що містять підвищену кількість заліза: окалину прокатних і ковальських цехів, колошниковий пил доменного цеху, червоні шлами глиноземних заводів, піритні недогарки сірчанокислотних заводів та ін.

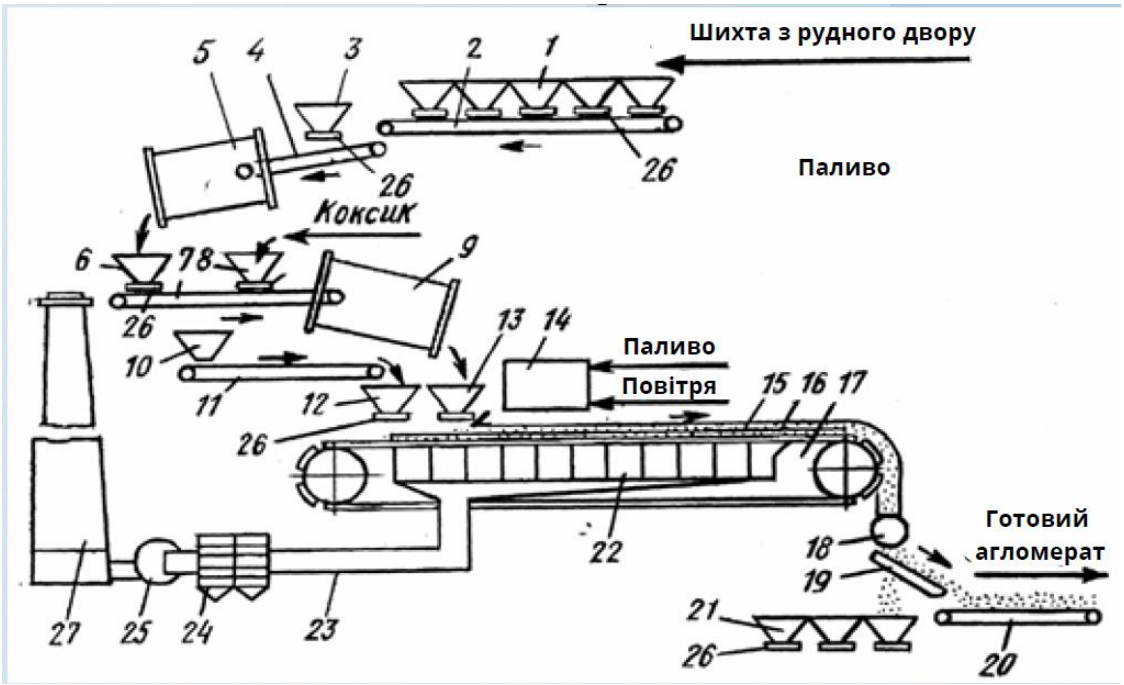


Рисунок 1.1 -Технологічна схема аглофабрики

Шихта з рудного двору надходить у прийомні бункери 1, звідки в певнім співвідношенні по транспортних конвеєрах 2 й 4 вона подається в первинні барабани-змішувачі 5, де відбувається її змішування, зволоження й окомкування. З бункера 3 у змішувач надходить повернення. Дрібні зволожені частки шихти при перемішуванні укрупнюються, утворюючи шматочки; шихта стає зернистою й пухкою, що підвищує її газопроникність. Усереднена шихта зі змішувача завантажується в бункер 6 і транспортером 7 у певнім співвідношенні з коксиком, що надходить із бункера 8, подається у вторинний барабан-окомкувач 9 (швидкість обертання 6-7 об/хв). Підготовлену шихту 15 із проміжного бункера 13 рівномірно й безупинно подають системою завантаження на агломашину 17 й укладають на ланцюг, що нескінченно рухається, колосникових візків (палет), попередньо помістивши на них постіль 16, що надходить із прийомного 10 і проміжного 12 бункерів по транспортері 11.

Процес спікання агломерату починається із запалювання верхнього шару шихти, що виробляється чьотирьохгорілковим камерним горном 14 з торцевим розташуванням пальників, що працює на природному газі. Швидкість руху агломашин регулюється залежно від вертикальної швидкості спікання з таким розрахунком, щоб процес спікання закінчився на останній вакуум-камері зони спікання, тобто на 17-й з наступним охолодженням агломерату на 13-ти вакуум камерах. У міру руху візків до хвостової частини машини горіння коксика з верхнього шару поширюється в нижні шари; цьому сприяє розміщення під візками вакуум-камер 22, у яких за допомогою ексгаустера 25 створюється розрідження до 10 кПа.

Готовий агломерат скидають наприкінці машини з візків, дроблять за допомогою дробарок 18, піддають відсіванню на грохотах 19, прохолоджують і відправляють по транспортері 20 у доменний цех. Неспечений дріб'язок (повернення) поміщають у прийомні бункери 21 і повертають для повторного спікання (у бункер 10) як добавка до шихти. Продукти горіння й повітря з

вакуум-камер по колектору 23 надходять на очистку в циклони 24 і видаляються ексгаустером 25 через трубу 27.

Загальга технологічна схема виробництва агломерату наведена на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 - Технологічна схема виробництва агломерату

1.2 Конструкція технологічного агрегату та алгоритм його роботи

Висока якість агломерату є основною умовою високопродуктивної роботи доменних печей. Відповідно до вимог доменної плавки високоякісний агломерат повинен мати:

- високий вміст заліза і низький вміст шкідливих домішок;
- крупність 100-150 мм;
- низький ступінь руйнування при перевантаженнях і відновлені;

- постійність всіх фізико-хімічних властивостей (хімічний, гранулометричний та мінералогічний склади, пористість і температура розм'якшення).

Показники якості агломерату регламентуються технічними умовами підприємства.

Процес виробництва офлюсованого агломерату складається з наступних етапів: приготування шихти, змішування, зволоження і огрудкування готової шихти, завантаження шихти на агломераційну стрічку, запалювання шихти, спікання шихти, відсів повернення і транспортування його в шихтове відділення, завантаження агломерату в хопери і контроль його якості.

Змішування, зволоження і огрудкування шихти

Призначення змішування, зволоження і огрудкування шихти - отримання однорідної суміші всіх шихтових компонентів з високою газопроникністю в процесі спікання. Змішування, зволоження і огрудкування шихти здійснюється за одностадійною схемою в змішувальних барабанах, розташованих над агломераційними машинами.

Довжина барабанів - 7,5 м, діаметр - 2,5 м, швидкість обертання - 8 об / хв. Для забезпечення нормального змішування і огрудкування ступінь заповнення барабана шихтою повинна становити 10-15%.

Нормально зволожена шихта (вміст вологи 7,5-8,5%) дрібно огрудкована, рихла, пориста, має найменшу насипну вагу і велику вертикальну швидкість спікання. Сталість вологості досягається добрим усередненням сирих матеріалів, подачею в шихту оборотних продуктів (повернення, колошникового пилу) постійної якості та кількості і ретельним контролем за надходженням води в змішувальні барабани.

При надмірному зволоженні і великому огрудкуванню шихти агломерат має занадто великі пори і стає крихким. Відбувається процес брудоутворення і руйнування огрудкованої структури, особливо в нижньому шарі шихти, що спікається. Газопроникність при цьому різко погіршується і знижується

вертикальна швидкість спікання. При недостатньому зволоженні шихти її огрудкування відбувається погано, газопроникність різко погіршується, що також призводить до зниження швидкості спікання.

Ступінь зволоження шихти контролюється автоматичною системою, в основу якої покладено фотометричний спосіб контролю ступеня огрудкування шихти при її зволоженні. При різкій зміні початкової вологості шихти (зупинці - пуску машин обпалювання вапна та ін.) агломератчик зобов'язаний ретельно стежити за вологістю шихти і своєчасно змінити за допомогою вентиля витрату води, що надходить в змішувальний барабан.

При зупинці машини ОПР через 15 хвилин необхідно знизити швидкість аглострічки на 0,1 м/хв і витрату води знизити на 0,2 $м^3$/ч. При зупинці КМ-14 через 15 хвилин знизити швидкість руху аглострічки на 0,3 м/хв і витрату води зменшити на 0,6 $м^3$/ч. При зменшенні крупності шихти вміст вологи необхідно збільшити, а при збільшенні крупності - зменшити.

Визначення вологості шихти за зовнішніми ознаками проводиться таким чином:

- стисла в руці шихта з нормальною вологістю повинна зберігати надану їй форму;
- при нестачі вологи шихта розсипається;
- при надлишку вологи шихта прилипає до руки.

Завантаження шихти на стрічку агломераційної машини

Важливою умовою отримання якісного агломерату є правильне завантаження шихти на спікальні візки агломашини. Після виходу з змішувального барабана аглошихта подається в проміжний бункер, в якому підтримується постійний рівень. З проміжного бункера шихта рівномірно видається на всю ширину живильника, з якого по завантажувальному лотку рівномірним шаром скочується на аглострічку. Поверхня шихти, яка завантажена на стрічку, повинна постійно загладжується за допомогою спеціальної гладилки, розташованої за завантажувальним пристроєм.

Висота шару аглошихти на кожній агломашині встановлюється начальником цеху або його заступником з записом в книгу розпоряджень і підтримується постійною – 400 мм (± 20 мм). Зміна заданої висоти шару допускається тільки за розпорядженням начальника цеху або його заступника. Зниження висоти шару супроводжується погіршенням міцності агломерату, підвищенням відносного виходу повернення. Збільшення висоти шару сприяє поліпшенню якості агломерату, тобто його зміцнення, зменшенню питомої витрати палива на спікання, зниженню відносного виходу повернення і вертикальної швидкості спікання.

Рівномірний розподіл шихти по всій ширині аглострічку є однією з необхідних умов для нормального перебігу процесу спікання. У випадку нерівномірного по висоті розподілу шихти на аглострічці і при виявленні гнізд шихти, що не спіклася, по ширині палет в розвантажувальної частини агломашини агломератчик повинен вжити заходів до усунення вказаних порушень. Провали шихти на аглострічці не допускаються. Агломератчик зобов'язаний підтримувати колосникові грати в справному стані, для чого потребується своєчасно:

- замінювати випали або обгорілі колосники;
- ліквідувати утворені перекоси колосників;
- очищати зазори між колосниками;
- закріплювати кулачками колосники спікальних візків.

Шар шихти перед завантажувальним лотком повинен бути на рівні або вище кромки лотка на 30-50 мм.

Запалювання шихти

Процес спікання агломерату починається з запалювання верхнього шару шихти при просуванні його під запальним горном. Запалювання шихти має мету не тільки запалити паливо, але і рівномірно добре оплавити поверхню пирога агломерату. Запалювання шихти повинно бути рівномірним і досить

інтенсивним. Рівномірне і інтенсивне запалювання сприяє швидкому розвитку процесу в шарі і досягненню високої продуктивності агломашин.

Оптимальна температура факела досягається при коефіцієнті надлишку повітря α = 1,8-2,0. При цьому полум'я має яскравий світло-жовтий відтінок. При нестачі повітря полум'я синіє, а при великому надлишку повітря полум'я стає червонуватим і тьмяним. Для забезпечення нормального запалювання шихти необхідно постійне підтримування температури горна приблизно 1250-1300°С.

Нормальне запалювання забезпечується підтримкою:

- правильного співвідношення повітря і газу в горючій суміші (близько 16-20 $м^3$ повітря на 1 $м^3$ газу), при використанні горнів з метою запалювання і додаткового нагрівання шихти коефіцієнт надлишку повітря встановлюється відповідно до технологічного розрахунку;
- заданого розподілу газу та повітря по пальникам і температури запалювання по всьому перетину горна;
- постійного вмісту вологи в шихті;
- постійного вмісту вуглецю в шихті згідно СТП;
- підтримки газозапалювальних пристроїв у справному стані.

При температурі горна нижче 1250 ^{0}С запалювання відбувається мляво і нерівномірно, верхній шар шихті спікається, що легко виявити по рудуватим відтінком поверхні шару шихти після горна, отриманий агломерат не буде задовольняти вимогам СТП через підвищеного вмісту дрібниці.

При відхиленні температури горна від 1250 – 1300 ^{0}С необхідно:

- перевірити співвідношення повітря й газу в горючій суміші;
- перевірити вміст вологи і вуглецю в шихті;
- перевірити розподіл газу та повітря по пальникам;
- перевірити оптичним приладом температуру під горном.

При тиску газу біля горна нижче 150 кгс/$м^2$ подача газу до пальників запального горна автоматично припиняється. Агломератчик зобов'язаний негайно зупинити аглострічку і вжити заходів до відновлення нормального

тиску газу (повідомивши про те, що трапилося диспетчеру цеху). При ушкодженні газової мережі горн також негайно відключається автоматично. Запальний горн має водяне охолодження передньої і задньої стінки.

Спікання шихти

Спікання шихти є основним етапом у технології отримання високоякісного агломерату. У результаті процесу спікання повинен вийти однорідний за хімічним складом, міцний, огрудкований, пористий агломерат. Сталість хімічного, гранулометричного і мінералогічного складу шихти має вирішальне значення для отримання агломерату з хорошою металургійною характеристикою. Спікання ведеться на колосникових решітках палет агломераційної машини методом просмоктування повітря за рахунок розвитку високих температур у шарі шихти, при горінні палива, що знаходиться в шихті. Відповідальним за якість спікання є агломератчик, який забезпечує видачу якісного агломерату шляхом суворого дотримання технології процесу спікання, включаючи змішування і зволоження шихти, а також завантаження її на палети і запалювання.

Швидкість руху аглострічки регулюється відповідно до вертикальною швидкості спікання так, щоб процес спікання закінчувався над останньою вакуум-камерою.

Видалення повернення

Агломерат, сходить із палет дробиться одновалковою дробаркою до фракції 0-200 мм. Подрібнений агломерат потрапляє на стаціонарний гуркіт з шириною щілини між колосниками 10-20 мм для ефективного відсіву дрібниці в бункери повернення, після чого по похилому жолобу агломерат надходить в хопери. З бункера повернення надходить в барабан охолодження повернення, в якому охолоджується водою до температури приблизно 80-900 °С. З барабана охолодження повернення надходить по транспортерах № 43, 44, 22, 23 у бункери шихтового відділення, з яких дозується в шихту. Не допускається

наповнення бункера поверненням, оскільки це перешкоджає нормальному відсіванню дрібниці з агломерату і призводить до викривлення металоконструкцій, порушень режиму зволоження і дозування повернення.

При будь-якій зупинці одного або всіх барабанів-охолоджувачів, одна або всі машини повинні бути зупинені. З цією метою барабани-охолоджувачі зблоковані з приводом аглострічки. Робота агломашин допускається при зупинках обладнання вузла повернення тільки з дозволу начальника цеху з встановленим режимом.

Для збереження якості агломерату при непрацюючому вузлі повернення необхідно змінити режим у наступному порядку:

- підвищити температуру відхідних газів на 15-200 ^{0}С вище заданої;
- знизити швидкість руху аглострічки на 0,3-0,5 м на хв і працювати на максимальному шарі шихти на палетах;

Ефективний відсів дрібниці з агломерату і видача в хопери якісного по крупності агломерату забезпечується систематичним спостереженням за станом стаціонарних грохотів, їх своєчасної очищенням від залиплими агломерату та своєчасною заміною зношених колосників. Ступінь зносу (сідловина) допускається не більше 30 мм від товщини колосника і систематично контролюється. При заміні колосників механік ділянки робить запис в агрегатному журналі про величину їх зносу. Відповідальність за стан колосникових решіток покладається на майстра спікального відділення.

1.3 Аналіз стану автоматизації існуючого виробництва

Контроль та регулювання процесу підготовки шихти

Барабан-окомковувач має засоби автоматизації, що дозволяють контролювати витрату води, що подається. Передбачена сигналізація і контроль рівня шихти в приймальнях, і проміжних бункерах агломашин за допомогою датчиків верхнього, середнього і нижнього рівня.

Здійснюється сигналізація тиску води, що подається в барабан-окомковувач; при цьому передбачена подача управляючого сигналу в схему зупинки агломашини і в схему відсічення природного газу. Контроль і регулювання всіх перерахованих параметрів здійснюється на базі промислових регуляторів і вторинних приладів тобто функціонують системи локального управління і контролю.

Контроль та регулювання процесу спікання

Контроль та регулюванням процесу спікання відбувається за:

- показаннями контрольно-вимірювальних приладів, встановлених на щитах у агломашин та у диспетчерській;
- візуальними спостереженнями за зовнішнім виглядом шихти, якістю запалення і ін.

Швидкість руху аглострічки встановлюється в залежності від температури газів, що відходять перед мокрою газоочисткою. Температура газів, що відходять є одним з найбільш важливих показників ведення процесу спікання і повинна бути не нижче 140 ^{0}С.

Існуюча контрольно-вимірювальна апаратура дозволяє обслуговуючому технічному персоналу (майстер, старший агломератчик та ін.) спостерігати за тиском і витратою природного газу, тиском і витратою повітря, температурою горна, швидкістю руху аглострічки, розрядженням і температурою продуктів горіння перед ексгаустерами, витратою води на зволоження шихти.

Розрідження у вакуум-камерах повинне бути в межах 700-900 кгс/м^2.

Температура газів, що відходять у вакуум-камерах повинна бути:

- у вакуум-камерах № 1-10 - не нижче 50 °С;
- у вакуум-камері № 11 - не нижче 110 °С;
- у вакуум-камері № 13 - не нижче 200 °С.

Зниження температури в останніх вакуум-камерах може викликати як заниженням, так і завищенням швидкості руху аглострічки проти нормальної, зниженням або надлишком, проти оптимальної кількості палива в шихті. У разі

заниження швидкості руху аглострічки, агломерат охолоджується на стрічці і в розвантажувальної частини сходить з палет чорним. У випадку завищення швидкості руху аглострічки процес спікання не доходить до колосникових решіток, є зона неспеченої шихти, яка і знижує температуру продуктів горіння. Більш висока, ніж зазвичай, температура в останніх камерах вказує на те, що спікання йде зі значним надлишком вуглецю в шихті.

Розрідження перед ексгаустером повинно бути в межах 1200-1250 кгс/м^2. Низьке розрідження при відкритій засувці ексгаустера може вказувати на наявність шкідливих просмоктувань, на хорошу газопроникність, низький шар шихти і інші причини.

Значне підвищення розрідження викликається:

- надмірним ущільненням шихти;
- переплавленням поверхні шихти;
- зменшенням кількості та крупності повернення;
- збільшенням кількості дрібних фракцій шихти;
- зниженням вмісту вологи в шихті;
- залипанням колошникових решіток;
- надмірним вмістом палива або крупністю його помелу.

Температура продуктів горіння перед ексгаустером повинна бути не менше 80 ºС. Низька температура (нижче 80 ºС) неприпустима, оскільки це може призвести до залипання роторів ексгаустерів.

Оптимальний вміст пального в шихті при правильно заданої швидкості руху аглострічки характеризується наступними зовнішніми ознаками:

- агломерат у зламі пирога у хвостовій частині аглострічки рівномірно спікся по всій ширині і висоті з відсутністю гнізд неоплавленої неспеченої шихти, пористість і оплавлення нормальне. У зламі пирога шар агломерату розжарений не більше ніж на одну третину по висоті знизу;

- поверхня агломерату після горна зберігає світіння до 4-5 вакуум-камери.

Підвищений вміст пального в шихті сприяє (одночасно з підвищенням міцності агломерату) отриманню підвищеного вмісту закису заліза і зниженню відновленості агломерату і характеризується наступними ознаками:

- поверхня агломерату розпечена до червоного до останніх вакуум-камер, а пиріг агломерату (у зламі) розжарений знизу більш, ніж на одну третину висоти;
- агломерат з великими порами часто приварюється до решіток;
- у зоні зламу пирога (при падінні агломерату з стрічки) видно сині язички полум'я палаючого палива.

Знижений вміст вуглецю в шихті сприяє отриманню маломіцного агломерату з низьким вмістом закису заліза і характеризується наступними ознаками:

- поверхня агломерату чорна вже після перших трьох вакуум-камер;
- агломерат в зонах зламу чорний по всій висоті, дрібнопористий малооплавлений, легко розсипається і містить велику кількість шихти, що не спіклася.

1.4 Основні технологічні величини

Робота спікального відділення залежить від багатьох факторів. Тому що процес спікання безперервний, те особливу роль грає забезпечення тісного взаємозв'язку між керуючими впливами, керованими величинами й факторами, що обурюють.

У роботі представлені наступні фактори, що управляють і керовані величини в роботі спікального відділення.

Керуючі впливи:

- витрата газу;
- швидкість аглострічки;
- температура газів у вакуум-камерах;
- розрядження в загальному колекторі;

- температура газів, що відходять;
- витрата води;
- витрата шихти із проміжного бункера;
- витрата коксу
- витрата повітря;
- співвідношення компонентів шихти;
- спосіб укладання шихти на аглострічку;
- час нагрівання/спікання шихти.

Керовані величини:

- температура запалювання шихти;
- закінченість спікання;
- вологість шихти;
- висота шару шихти на аглострічці;
- вміст вуглецю в агломераті;
- співвідношення витрат газ/повітря;
- міцність агломерату;
- температура повернення;
- продуктивність агломашини.

Фактори, що збурюють:

- зміна фізико-хімічних властивостей компонентів шихти та палива;
- зміна умов змішування та дозування;
- зміна умов роботи агломашини (різні режими роботи, аварійні зупинки і т.д.);
- перебої в постачанні шихти та енергоносіїв.

Значення основних параметрів процесу агломерації наведені у табл. 1.1

Таблиця 1.1 - Основні вимірювані величини

Вимірювана величина	Діапазон значень
Витрата газу	400-600 $м^3$/год
Витрата повітря	450-14000 $м^3$/год
Витрата води	15 $м^3$/год
Вологість шихти	5-20 %
Температура горна	1280-1380 °С
Рівень шихти на аглострічці	400 - 450 мм
Рівень шихти в бункерах	0,8-10 м
Маса шихти в бункерах	300 т
Температура газів у вакуум-камерах	250-400 °С
Розрядження в загальному колекторі	10 кПа
Розрядження у вакуум-камерах	10-15 кПа
Вміст O_2 у газах, що відходять	10-20 %
Вміст вуглецю у шихті	2-10 %
Швидкість руху аглострічки	10-15 об/хв

1.5 Взаємозв’язок спікального відділення з суміжними відділеннями

Спікальне відділення знаходиться у тісному взаємозв’язку з суміжними відділеннями такими, як шихтове відділення агломераційного цеху та доменний цех. Цей взаємозв’язок є послідовним, тобто шихтове відділення є підготовчою ланкою для спікального відділення, а саме спікальне відділення є підготовчою ланкою для доменного цеху. Можливі перебої в роботі будь-якого з цих відділень порушить роботу усієї лінії виробництва сталі. Схема взаємозв’язку спікального відділення з іншими представлена у додатку А.

1.6 Аналіз існуючих систем керування процесом спікання

Безперервне зростання виробництва агломерату, підвищення вимог до його якості, а також потоковість технологічних процесів створили умови для широкого впровадження ефективних засобів автоматичного контролю і керування та поставили завдання подальшого підвищення рівня автоматизації. Автоматичне керування впроваджують практично на всіх ділянках аглофабрики. Автоматизують процеси транспортування, дозування і завантаження шихтових матеріалів, одержують розвиток нові, більше зроблені способи контролю та керування процесами запалювання і спікання агломераційної шихти.

Застосування АСУ ТП підвищує оперативність керування агломераційним процесом, забезпечує раціональне його ведення та полегшує працю агломератчикив. Завдяки підвищенню міцності агломерату зменшується виділення пилу та поліпшується екологічна обстановка у виробництві.

На сучасному етапі автоматизації агломераційного процесу застосовуються стабілізуючі системи керування процесами агломерації, що виконують наступні функції:

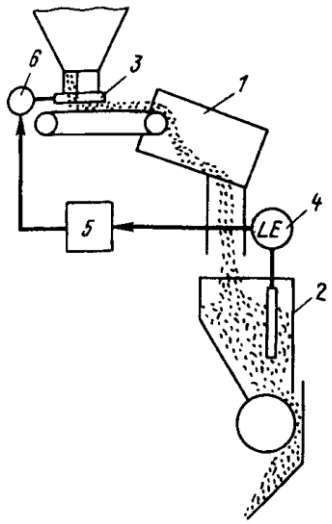
- забезпечення безперервного потоку шихти;
- стабілізацію режиму повернення;
- регулювання вологості шихти;
- стабілізацію моменту закінчення процесу спікання;
- оптимізацію процесу спікання;
- стабілізацію хімічного складу та фізичних властивостей агломерату.

Автоматичне регулювання рівня шихти у бункерах та на аглострічці

Для забезпечення якісного завантаження шихти на спікальні візкі агломашини обладнають проміжним (завантажувальним) бункером, що, як проміжна ємність, згладжує коливання різниці між приходом шихти з барабана-окомковувача та витратою її на аглострічку. Щоб не порушувалася

газопроникність огрудкованої шихти, рівень її в проміжному бункері необхідно підтримувати як можна точніше.

На малих агломашинах запізнювання на тракті подачі шихти з бункера над барабаном-змішувачем до проміжного бункера становить $\tau_з$ = 1-1.5 мін, у той час як постійна часу промбункера (час заповнення при зупинці барабанного живильника на виході із промбункера) $T = 1{,}5 \div 2{,}5$ *хв*, тобто $\frac{\tau_з}{T} = 0{,}75 \div 1{,}5$. У таких умовах на базі електромагнітного датчика може бути побудована локальна одноконтурна система регулювання рівня шихти в проміжному бункері (рис. 1.3). Така система, хоч і має невисоку якість регулювання, але для малих агломашин прийнятна.

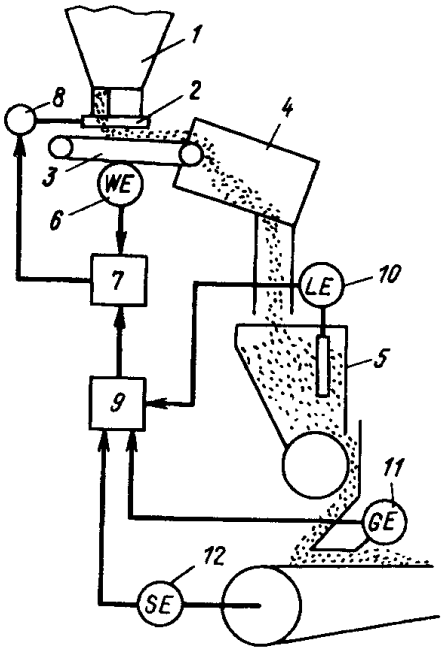


1 – барабан-окомкувач; 2 - проміжний бункер; 3 - тарілчастий живильник; 4 - датчик рівня шихти; 5 - регулятор; 6 - виконавчий механізм

Рисунок 1.3 - Система автоматичного регулювання подачі шихти в проміжний бункер

На великих агломашинах $\frac{\tau_з}{T}$ досягає п'яти, при цьому необхідно застосовувати більше складні системи, що дозволяють зм'якшити вплив великого запізнювання. На рис. 1.4 показана схема двоконтурної каскадної системи регулювання рівня. Передбачено стабілізацію продуктивності тарілчастого живильника регулятором 7. Завдання цьому регулятору

виробляється коригувальним пристроєм 9 по сигналу від датчика рівня шихти в проміжному бункері з урахуванням фактичної продуктивності агломашини. Ця продуктивність пропорційна добутку сигналів від датчиків висоти шаруючи шихти 11 і швидкості агломашини 12. У такій схемі зміна завдання регулятору 7 при зміні продуктивності агломашини формується практично миттєво, істотно випереджаючи зміну рівня шихти в бункері 5.



1 - верхній бункер; 2 - тарілчастий живильник; 3 - транспортер-масовимірювач; 4 - барабан-окомкувач; 5 - бункер; 6 - датчик витрати шихти; 7 - регулятор продуктивності живильника; 8 - ВМ виброживильника; 9 - коригувальний прилад; 10 - датчик рівня шихти; 11 - датчик висоти шару шихти на аглострічці; 12 - датчик швидкості аглострічки

Рисунок 1.4 - Структурна схема двоконтурної автоматичної системи регулювання рівня в проміжному бункері агломашини

НДІАчермет розробив та впровадив на аглофабриках Жданівського комбіната, Дніпровського металургійного заводу, Ново-Криворізького і Південного гірничо-збагачувального комбінатів систему автоматичного управління завантаженням шихти на агломашину. Система виконана з двох певною мірою самостійних контурів регулювання. Один з них призначений для

стабілізації рівня шихти в бункері барабанного живильника, а інший - для стабілізації висоти шару (укосу) шихти на аглострічці.

Перший контур - САР рівня шихти в бункері барабанного живильника - складається з трьох контурів регулювання: стабілізації витрати шихти з тарілчастого живильника, корекції витрати шихти в залежності від рівня її в бункері барабанного живильника і підрегулювання швидкості агломераційної стрічки по відхиленню рівня шихти. Перший контур (стабілізація витрати шихти з тарілчастого живильника) включає конвеєрні ваги, встановлені за тарілчастим живильником. Сигнал з магнітоанізотропного датчика маси надходить на записуючий потенціометр ЕПП. З вихідного ферродатчіка потенціометра сигнал неузгодженості між заданою і фактичною масою шихти надходить на регулятор РФФ, а з нього - на повторювач ПФФ, який через блок керування БУ змінює напрямок на генераторі, що живить двигун тарілчастого живильника. Другий контур (регулювання рівня в бункері) включає рівнемір, реєструючий прилад і регулятор. Датчик рівнеміра встановлений в бункері барабанного живильника. При відхиленні рівня від середнього значення сигнал СС реєструючого приладу надходить на регулятор і вносить корекцію на кількість шихти, котра видається тарілчастим живильником. Регулювання здійснюється по першому контуру, при цьому сигнал рівня є коригуючим для регулятора витрати шихти.

Третій контур (підрегулювання швидкості аглострічки) здійснює корекцію швидкості аглострічки пропорційно відхиленням рівня від середнього значення. При цьому з вихідного реостатного датчика реєстратора рівня ПЕД сигнал, пропорційний рівню шихти, надходить на обмотку збудження генератора приводу аглострічки. Величина відхилення швидкості аглострічки не перевищує ± 0,15 м/хв. Така корекція швидкості аглострічки практично не впливає на процес спікання, але в той же час запобігає спорожненню або переповнюванню промбункера при різких змінах витрати шихти.

Другий контур - система автоматичного регулювання висоти укосу шихти - виконаний на феродинамічних приладах. Вихідним елементом системи

служить тиристорний блок управління, навантаженням якого є обмотка збудження двигуна барабанного живильника. Двигун барабанного живильника включений паралельно з двигуном аглострічки за схемою «генератор - двигун» із загальним генератором. При зміні напруги генератора швидкості аглострічки і барабанного живильника міняються одночасно, що в середньому повинно забезпечувати рівність їх продуктивностей. Проте в результаті змін фізичних властивостей шихти через відсутність суворої пропорциональності швидкостей рівність продуктивностей часто порушується. Це призводить до значних відхилень висоти укосу шихти від необхідного значення. Стабілізація висоти укосу забезпечується системою автоматичного регулювання продуктивності барабанного живильника, регулючий вплив в якій направлено на зміну струму збудження його приводного двигуна.

Сигнал, пропорційний фактичній висоті укосу шихти, поступає з вихідного датчика реєструючого приладу і порівнюється із заданим значенням, що встановлюються за допомогою задатчика. Відхилення висоти укосу від заданого значення є вхідним сигналом регулятора. Вихідний сигнал регулятора через феродинамічний перетворювач ПФФ надходить на вхід блоку управління, навантаженням якого є обмотка збудження двигуна барабанного живильника. При зміні струму збудження двигуна швидкість (а отже і продуктивність) барабанного живильника змінюється так, що висота укосу шихти залишається в середньому незмінною і рівною заданій. Як відомо, основним завданням систем автоматизації процесів завантаження є безперебійне постачання агломашини шихтою і якісне укладання шихти на аглострічку, рівномірно по ширині аглострічки заданим шаром і без переущільнення. Якість роботи вище перерахованих систем знижується від дискретного контролю стабілізуємих величин, при відсутності суворої пропорційності між витратами шихти на окремих ділянках при залипанні стінок бункера і т.д. Важливою умовою підвищення якості регулювання є застосування дозування шихти по масі з прийомних бункерів. Це дозволяє виключити найбільш небезпечні і

некомпенсовані збурення в системі завантаження. Крім того, у зазначених системах не враховано рівномірне завантаження шихти по ширині аглострічки.

Укладання шихти на агломашину є останнім етапом її транспортування й завантаження. У системі керування цим етапом (рис. 1.5) використовують датчики висоти шаруючи шихти 1 і регулятор-стабілізатор 2, що впливає на привод 3 барабанного живильника 4.

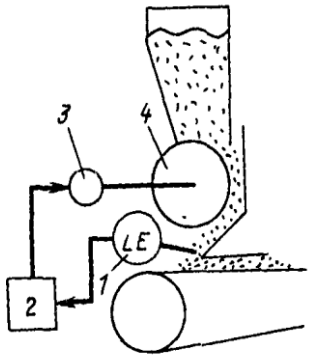


Рисунок 1.5 - Система автоматичного регулювання укладання шихти на аглострічку

Висота шару шихти на аглострічці контролюється або датчиком, механічно пов'язаним із плитою-гладилкою, що лежить на шарі шихти перед горном, або датчиком висоти відкосу шихти. На рис. 1.6 показана установка контактного датчика висоти відкосу шихти на завантажувальному лотку агломераційної машини. Датчик виконаний на базі виконавчого механізму ВМ, керованого електронним перетворювачем. Датчик включає важіль із ізолюючого матеріалу, на якому укріплений щуп, виконаний у вигляді контактної металевої пластини. Важіль зчленований з валом ВМ. Електронний перетворювач містить мостову вимірювальну схему й електронний підсилювач ЕП. При зміні висоти відкосу шихти $h_{отк}$ міняється ступінь занурення в шихту вимірювального електрода-щупа й, отже, величина опору переходу електрод-шихта. Цей опір включений в одне із плечей вимірювального моста, опори якого обрані такими, що при зануренні електрода в шихту на 3-5 мм вихідний сигнал моста дорівнює нулю. При зміні висоти укосу шихти на виході моста

з'являється сигнал, величина й фаза якого залежать від величини й напрямку зміни висоти укосу. Цей сигнал неузгодженості підсилюється в електронному підсилювачі, що управляє роботою ВМ, що повертає важіль у такому напрямку, щоб привести до балансу вимірювальну схему. У результаті щуп датчика постійно перебуває на поверхні укосу шихти. Сигнал, пропорційний висоті відкосу шихти, знімається з вихідного датчика ВМ і надходить на прилад, що реєструє, шкала якого отградуйована в міліметрах висоти укосу.

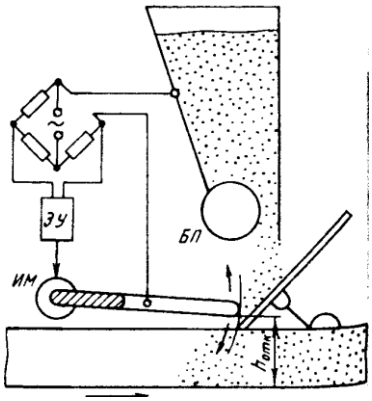


Рисунок 1.6 - Датчик висоти відкосу шихти

Автоматизація процесу запалювання агломераційної шихти

При побудові автоматичної системи управління температурно-тепловим режимом слід враховувати вплив таких факторів, як зміст в шихті вуглецю, вологи, швидкість руху палет, температура горіння. Вплив цих факторів на температурно-тепловий режим може бути в значній мірі зменшено в разі встановлення подовжених горнів або додаткових нагрівальних пристроїв. На підставі проведених досліджень В.А. Шурхалом запропонована система автоматичного регулювання температурно-теплового режиму процесу запалювання аглошихти, яка підтримує питомі витрати палива в горн при зміні швидкості руху аглострічки. Недолік такої системи полягає в тому, що по суті система управління подачею палива в горн при зміні швидкості руху аглострічки є автоматичною системою регулювання за збуренням, тобто розімкнутої, і не враховує вплив коливань технологічних параметрів, які впливають на температурно-тепловий режим процесу запалювання.

Найпростіші системи автоматичного регулювання процесу запалювання шихти складаються зі схеми регулювання температури в горні шляхом зміни подачі палива, схеми автоматичного регулювання співвідношення паливо-повітря і схеми автоматичного відсічення газу при падінні тиску газу або повітря.

Схеми співвідношення часто не використаються для того, щоб кількість продуктів, що просмоктують через шар, було по можливості постійним. Такі системи не забезпечують одержання шихтою необхідного для запалювання кількості тепла в одиницю часу, що залежить від зміни технологічних параметрів процесу спікання, насамперед швидкості аглострічки.

Процес підтримання температури поверхні на заданому оптимальному рівні здійснюється шляхом впливу системи на витрати газу в пальниках запального горна, що змінює кількість тепла, що надходить від горна на поверхню запаленої аглошихти. Схема (рис. 1.7) працює таким чином. Температура поверхні запаленої аглошихти 1 змінюється датчиком ДТА 2, сигнал якого подається на автоматичний потенціометр 3 із вбудованим ферродінамічним перетворювачем, включеним з дистанційним задавачем 4 по схемі вимірювального мосту. Сигнал неузгодженості з виходу цієї схеми подається на вхід регулятора 5. Вихід регулятора включений у схему управління безконтактним виконавчим механізмом 6. Вал виконавчого механізму кінематично зчленований з поворотною регулюючою заслінкою 7, яка регулює витрати газу , що надходить в пальники запального горна 8, здійснюючи таким чином регулювання теплового навантаження на поверхню шихти під горном. У схемі передбачено перехід системи на дистанційний або автоматичний режим роботи, а також автоматичне включення механізму подачі газу в горн при запуску агломераційної машини і автоматичне відсічення газу при її зупинці.

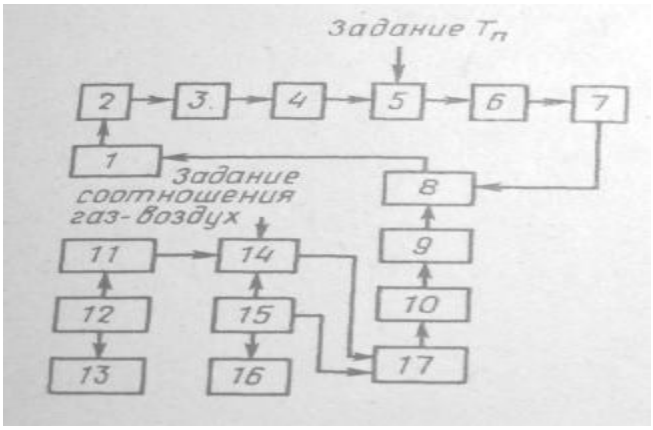


Рисунок 1.7 - Блок схема системи автоматичного регулювання режиму запалення на коротких горнах

Для правильного ведення процесу запалювання необхідно автоматично підтримувати величину заданого оптимального співвідношення газ - повітря. Відповідна схема реалізована із застосуванням стандартних приладів та засобів автоматики. Витрати газу і повітря вимірюються за допомогою приладів 12 і 15 відповідно і реєструються вторинними приладами 13 і 16. Сигнал з вихідного перетворювача 12 надходить на вхід електричного перетворювача 11, пов'язаного з дистанційним задавачем співвідношення газ - повітря 14.

При зміні витрат газу задане співвідношення газ - повітря підтримується за допомогою електронного регулюючого пристрою 17, впливає на регулюючу заслінку повітря 9 за допомогою виконавчого механізму 10.

Впровадження даної системи дозволило зменшити коливання регульованого параметра - температури поверхні шихти, що вийшла з-під горна, при автоматичному управлінні в порівнянні з ручним на 77,3%.

Аналогічна система, була запатентована в Японії. Відповідно до патенту кількість просмоктується через шихту повітря в зоні запального горна регулюється за допомогою автоматичних клапанів. Завдяки цьому забезпечується нормальне запалювання шихти, що запобігає перевитрати палива. Автоматичними клапанами оснащені камери розрідження, розташовані під запальним горном. Управління автоматичними клапанами здійснюється за сигналом датчика, який контролює тиск всередині запального горна. У

залежності від зміни тиску всередині горна змінюється ступінь відкриття автоматичних клапанів, що викликає зменшення або збільшення кількості повітря, що просмоктується через шихту. Температура в запальному горні регулюється шляхом регулювання кількості поданих в горн палива і повітря. Контроль температури в горні здійснюється за допомогою термопари. Проте вимір температури за допомогою термопари може бути прийнятно тільки при малих коливаннях складу шихти.

Більш оптимізована багатоконтурна система регулювання, що включає кілька взаємозалежних простих контурів, зображена на рис. 1.8.

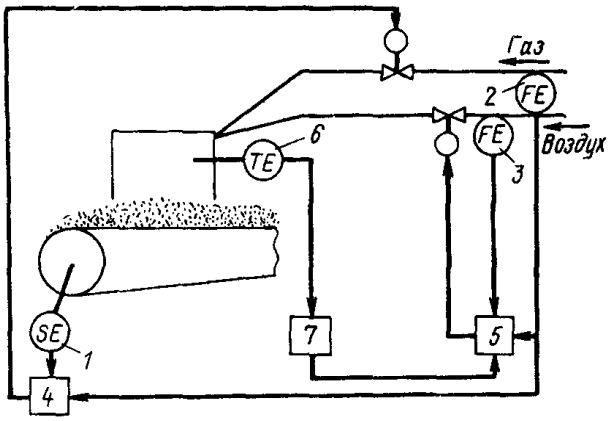


Рисунок 1.8 - Система автоматичного регулювання процесу запалювання шихти

Основний контур регулювання включає датчик швидкості аглострічки 1, датчик витрати газу 2 і регулятор співвідношення 4, що підтримує витрата палива в горно в певнім співвідношенні зі швидкістю аглострічки. Другий контур автоматичного регулювання співвідношення газ/повітря включає датчики витрати газу 2, повітря 3, регулятор співвідношення 5. Цей контур підтримує заданий коефіцієнт надлишку повітря, впливаючи на витрату повітря. Завдання регулятору співвідношення 5 виробляє коригувальний регулятор 7, підтримуючи задане значення температури в запальному горні, вимірюваної датчиком 6 (пірометр або термопара).

Автоматичне регулювання процесу спікання

Для регулювання активної довжини агломашини (ступеню закінченості процесу спікання) можна автоматично змінювати швидкість аглострічки або розрідження у вакуум-камерах. У схемах локальної автоматики частіше користуються першим способом. Вхідним сигналом можуть служити різні параметри, що характеризують хід процесу спікання: температура та склад газів, що відходять, освітленість у вакуум-камерах, розрідження під шаром, що спікається, магнітна проникність пирога агломерату та ін. Як регулюючий вплив служить зміна швидкості руху аглострічки w_l. Слід зазначити, що системи автоматичного регулювання швидкості руху аглострічки залежно від положення зони спікання можуть знайти застосування лише після стабілізації вхідних параметрів технологічного процесу - якості шихти, її складу, висоти шару на стрічці, його газопроникності тощо. Усунути на аглострічці недоліки в підготовці шихти практично неможливо.

На Дніпровському металургійному заводі був уведений в експлуатацію прилад для автоматичної реєстрації освітленості у вакуум-камерах, над якими закінчується процес спікання. Принцип дії розробленого приладу заснований на поглинанні приймачами енергії інфрачервоного випромінювання розпечених часток агломерату.

Існуючі системи автоматичного регулювання за закінченвстю процесу спікання нестійкі, тому що вони не забезпечують регулювання швидкості процесу. Пропонована інститутом автоматики система подвійного регулювання агломераційної машини усуває недоліки, властивим системам регулювання по параметрах, що характеризує закінченість процесу спікання. Зазначена система передбачає регулювання вертикальної швидкості спікання та регулювання швидкості аглострічки.

Система регулювання вертикальної швидкості спікання складається з кінцевого числа регуляторів P_1, кожний з яких обслуговує три-чотири вакуум-камери, і двох регуляторів P_2, пов'язаних з виконавчими механізмами і регулювальними органами двох останніх вакуум-камер, над якими повинен

закінчуватися процес. Величина поточного значення газопроникності шару сирої шихти з датчика $Д_1$ подається на запам'ятовувальний пристрій З$У_1$, куди одночасно подається пневматичний імпульс відліку палет. Таким чином, запам'ятовувальний пристрій завжди містить у собі інформацію про газопроникність шаруючи, розташованого над вакуум-камерами.

Лічильно-обчислювальний пристрій видає на кожен регулятор $Р_1$ сигнал, пропорційний величині сигналу про неузгодженість газопроникності ділянки шаруючи, що перебуває над відповідною групою вакуум-камер. Сигнал неузгодженості, перетворений у значення кута положення дроселя, подається й спрацьовується га виконавчих механізмах. Газопроникність вихідного шару сирої шихти змінюється безпосередньо перед запальним горном. Для цього встановлюється додатковий газохід, у якому підтримується постійне розрідження 30-40 кПа, а над шаром розташовуються датчики газопроникності.

Система підтримки постійного вакууму в додатковому газоході нескладна. Вона складається з регулятора, виконавчого механізму і дросельної заслінки. Відмінною рисою роботи пристрою є те, що датчики газопроникності працюють в імпульсному режимі (три сигнали на одну палету). Розміри вихідної щілини газоходу такі, що ребра на стику палет її повністю перекривають і у додатковому газоході виходить стрибок вакууму, що передається на З$У_1$ і СР$П_2$ як імпульс відліку.

Положення зони горіння в кінцевому перетині агломашини коректується в такий спосіб. На вхід запам'ятовувального пристрою З$У_2$ від датчика $Д_2$ подається сигнал, що відповідає поточному значенню висоти положення зони спікання, а СР$П_2$ через регулятори $Р_2$ приводить коливання положення зони спікання до деякої середньої величини.

Датчик $Д_2$ для виміру положення зона спікання являє собою магнітну систему з розімкнутим П-подібним магнітопроводом з феромагнітного матеріалу. Кінці магнітопроводу встановлені на нерухомі ролики, які забезпечують надійний контакт магнітопроводу з агломераційним пирогом. У

наслідку різної магнітної проникності спеченного та неспеченного шарів агломераційного пирога опір магнитопровода, а отже, і повний опір котушки електромагніту міняється. У міру наближення процесу до завершення зменшується частка аглошихти і збільшується частка спеченого агломерату, магнітна проникність якого значно вище, ніж проникність шихти.

Швидкість руху аглострічки регулюється по зміні сигналу про зміну газопроникності шаруючи шихти, покладеної на палети. Середнє значення сигналу про зміну газопроникності всього шару, що перебуває над вакуум-камерами, подається на регулятор P_2, де рівняється з величиною швидкості агломераційної стрічки. Сигнал неузгодженості регулятор відпрацьовує й подає на виконавчий механізм.

Однак регулювання швидкості руху аглострічки тільки по газопроникності сирої шихти не може забезпечити стабілізацію зони спікання. Тому в системі регулювання швидкості аглострічки застосоване екстремальне регулювання, що полягає в тім, що за допомогою вимірювального зворотного зв'язку по заданому ступені коректуються функціональна залежність газопроникності і швидкості аглострічці відповідно до закінченості процесу. Параметром регулювання в системі є різниця висвітлень, вимірювана спеціальними датчиками, установленими у вакуум-камерах агломашини, над якими закінчується процес спікання.

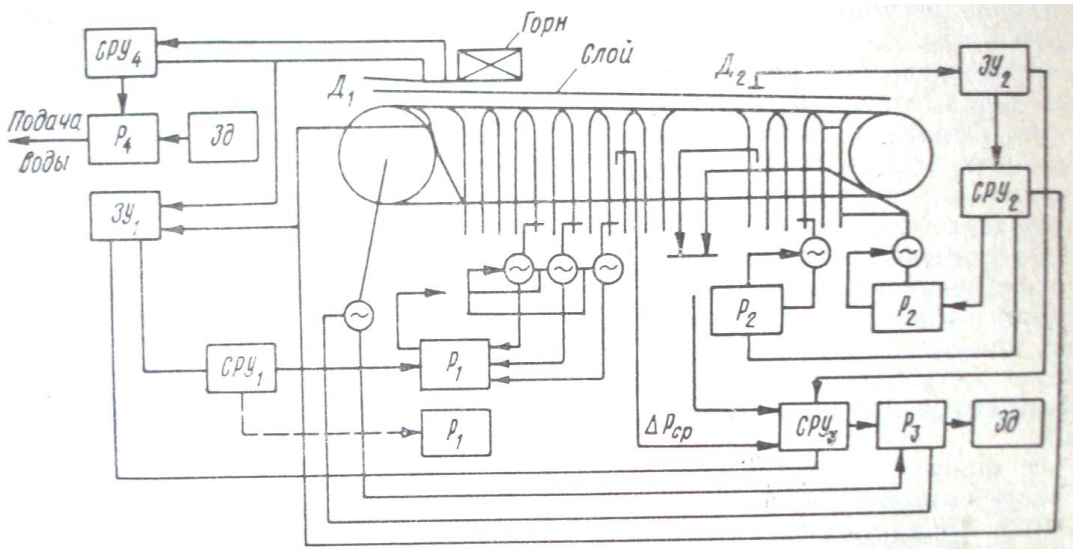


Рисунок 1.9 - Структурна схема автоматичного регулювання процесу спікання

Аналіз роботи систем автоматичного регулювання технологічними процесами на аглофабриках при розгляді їх у технологічній послідовності показав, що локальна автоматизація агломераційним процесом як проблема в основному вирішена. Широке застосування й поширення в цей час одержало використання мікропроцесорних обчислювальних комплексів для АСУ ТП нижнього й середнього рівня. Активно розвиваються й створюються датчики нового покоління для більше ефективного й надійного способу контролю за процесом. Також активно розвиваються, і приділяється увага моделюванню процесів спікання, що дозволяє спрогнозувати результати майбутньої автоматизації й найбільше ефективно оптимізувати процес спікання шихти.

1.7 Постановка задачі дослідження

Аналіз стану питань контролю гранулометричного складу сипких матеріалів і моделювання процесів сегрегації в агломераційній шихті при її завантаженні на аглоленту дозволяє зробити висновок про необхідність проведення додаткових досліджень у цих галузях, що обумовлено вимогою вдосконалення існуючих методів та розширення сфери їх застосування.

Так як для формування шару агломераційної шихти на аглострічці із заданими показниками сегрегації необхідні пристрої контролю крупності частинок, які в даний час відсутні, завдання може бути вирішене методом математичного моделювання, пов'язаного з рішенням системи балансових рівнянь. Спроби використання цього методу для розрахунку розподілу маси продукту та його компонентів за технологічними агрегатами мали місце, але не отримали подальшого розвитку внаслідок труднощів обчислювального характеру.

У той же час, за допомогою даного методу можна виконувати моделювання не тільки процесів у масштабі підприємства, але і для окремого агрегату, що робить розробку методів вирішення балансових рівнянь і розробку

на їх основі математичних моделей технологічних процесів важливою науковою та виробничою проблемою.

Виходячи з цього, у кваліфікаційній роботі поставлено такі завдання:

1. Дослідити вплив технологічних процесів підготовки агломераційної шихти до спікання на гранулометричні характеристики огрудкованої агломераційної шихти, що укладається на аглоленту.

2. Теоретично досліджувати сегрегаційні процеси, що протікають в обкомкованої агломераційної шихті при її укладанні на аглоленту.

3. Розробити математичну модель процесу укладання окомкованої агломераційної шихти на аглоленту, яка дозволяє розрахувати гранулометричний склад кожного з горизонтів шару шихти для різних умов його формування.

5. Розробити рекомендації щодо удосконалення процесу укладання обкомкованої агломераційної шихти на аглострічку, які дозволять сформувати шар шихти на аглострічці із заданим розподілом класів крупності за його висотою.

2 ІДЕНТИФІКАЦІЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ

2.1 Визначення гранулометричних характеристик агломераційної шихти

Для підвищення ефективності управління промисловими підприємствами з масової переробки сипких матеріалів у гірничо-збагачувальній, гірничо-хімічній, металургійній та інших галузях промисловості, необхідно мати можливість оперативно контролювати якісні показники сировини, одним з яких є гранулометричний склад сипких матеріалів.

Гранулометричний склад промислової сировини характеризується розподілом частинок матеріалу за класами крупності, тобто за розміром, який оцінюють за так званим еквівалентним діаметром. Визначення гранулометричного складу матеріалу здійснюється за допомогою ситового аналізу, який полягає у просіванні проби матеріалу через ряд сит з виділенням надситового продукту на кожному ситі. Для збільшення достовірності ситового аналізу необхідно виконати кілька розсіву проб матеріалу, відібраних з різних точок досліджуваної маси. Такі проби називають частковими. Загальна, або усереднена проба, характеризує гранулометричний склад всієї маси матеріалу, розраховується шляхом усереднення даних часткових проб.

Таким чином, процес визначення фракційного складу полідисперсних матеріалів потребує великих витрат часу, що унеможливлює оперативне використання отриманих даних у системі автоматизованого управління виробництвом. Тому, актуальною є розробка математичних моделей, що дозволяють розраховувати фракційний склад матеріалу на основі деякої наявної інформації.

При автоматичному аналізі фракційного складу сипучих матеріалів у виробничих умовах зазвичай контролюють середній діаметр частинок матеріалу [4]. Його зв'язок із вмістом окремих фракцій сипкої маси характеризується наступним рівнянням:

$$d_{ср} = \sum_{i=1}^{n} d_i \Phi_i ,$$

де d_i - середній діаметр часток і-ої фракції сипкого матеріалу, мм;

Φ_i - вміст і-ої фракції в массі сипкого матеріалу, %;

n - кількість фракцій.

Одне і те значення середнього діаметра частинок матеріалу може бути отримано при різних функціях розподілу частинок полідисперсного матеріалу. Як показують результати низки робіт [4], немає загальних закономірностей розподілу сипкого матеріалу за розмірами складових його частинок. У кожному даному випадку ця закономірність визначається властивостями сипких матеріалів, умовами їх дроблення, усереднення та класифікації.

Для опису закономірностей розподілу сипких матеріалів за фракціями використовують різні емпіричні рівняння, які не відображають природу поділу матеріалу на фракції, а дозволяють лише отримати формулу, яка приблизно оцінює гранулометричний склад сипучої маси. Тому цікавить теоретичне дослідження механізму поділу полідисперсної маси в процесі її ситового аналізу.

На основі матеріального балансу складових сипучу масу фракцій можемо записати:

$$\sum_{i=1}^{n} d_i \Phi_i = d_{ср} \Phi_{\Sigma} ,$$

де Φ_{Σ} - об’єм проби досліджуваного матеріалу, %,

$$\Phi_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} \Phi_i .$$

Позначимо загальну кількість матеріалу як $\Phi_{ср0}$, середній діаметр частинок матеріалу як $d_{ср0}$. Процес розсіву проби полідисперсного матеріалу,

схематично представлений на рис. 2.1, характеризується наступною системою рівнянь:

$$d_1\Phi_1 + d_{ср1}\Phi_{ср1} = d_{ср0}\Phi_{ср0},$$
$$d_2\Phi_2 + d_{ср2}\Phi_{ср2} = d_{ср1}\Phi_{ср1},$$
$$\ldots$$
$$d_i\Phi_i + d_{срi}\Phi_{срi} = d_{ср(i-1)}\Phi_{ср(i-1)},$$
$$d_{n-1}\Phi_{n-1} + d_{ср(n-1)}\Phi_{ср(n-1)} = d_{ср(n-2)}\Phi_{ср(n-2)},$$

де $d_{срi}$ - середній діаметр часток сипкого матеріалу, що залишився після розсівання на і-му ситі, мм;

$\Phi_{срi}$ - маса сипкого матеріалу, що пройшла через і-те сито, %.

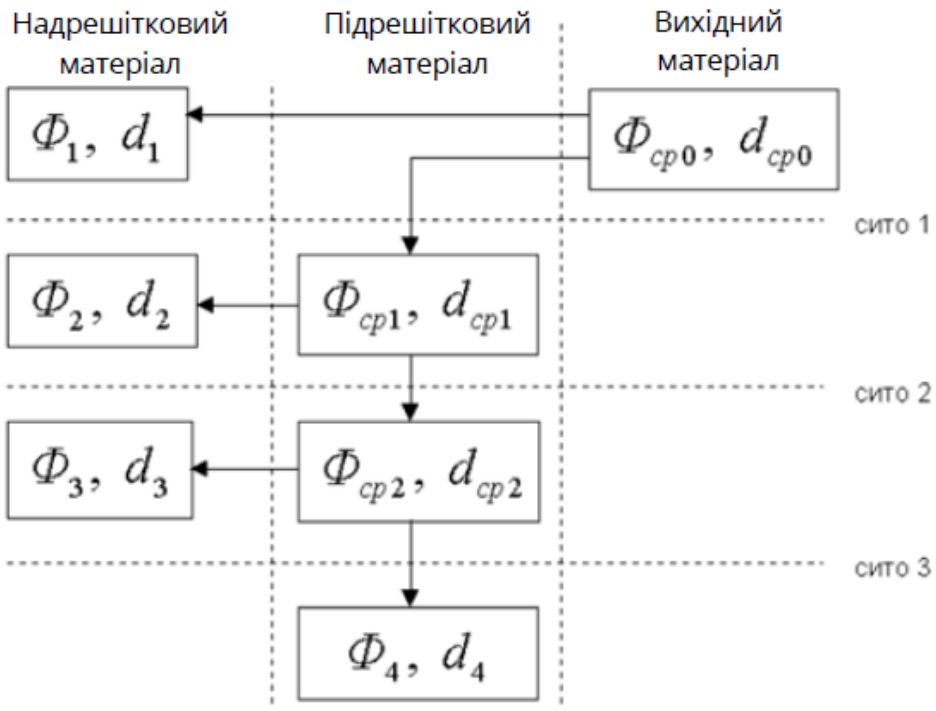


Рисунок 2.1 - Схема ситового розсіву проби полідисперсного сипкого матеріалу на 4 фракції

Значення $d_{срi}$ для конкретного досліджуваного матеріалу визначаються його властивостями, умовами дроблення та класифікації, тобто можуть бути стабільними для даного виробництва. Отже, стабільними будуть і

співвідношення цих величин. Позначимо через k_i коефіцієнт зміни середнього діаметра частинок сипкого матеріалу в процесі його розсіву:

$$k_i = \frac{d_{cpi}}{d_{cp(i-1)}},$$
$$i \in [1, n-1].$$

Для визначення значень k_i можна використовувати експериментальні дані. При відомих k_i, знаючи середній діаметр частинок всієї сипучої маси, можна розрахувати значення d_{cpi} за формулою:

$$d_{cpi} = k_i d_{cp(i-1)}.$$

Середній діаметр підрешітного продукту для і-ї фракції визначається за формулою:

$$d_{cpi} = \frac{d_{cp(i-1)}\Phi_{cp(i-1)} - d_i\Phi_i}{\Phi_{cpi}}.$$

При проходженні через кожне з сит проба сипкого матеріалу поділяється на дві частини: фракцію Φ_i із середнім діаметром частинок d_i і полідисперсну масу Φ_{cpi} об'ємом із середнім діаметром частинок d_{cpi}. Стан балансу фракцій матеріалу після цієї операції можна описати такою системою рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} d_i\Phi_i + d_{cpi}\Phi_{cpi} &= d_{cp(i-1)}\Phi_{cp(i-1)} \\ \Phi_i + \Phi_{cpi} &= \Phi_{cp(i-1)} \end{aligned}\right\}$$

У тому випадку, якщо відомі загальна кількість матеріалу ($\Phi_{ср0}$), середній діаметр всіх частинок сипучої маси ($d_{ср0}$) і значення $d_{срi}$, одержуємо ряд систем рівнянь, кожна з яких складається з двох рівнянь, послідовне вирішення яких дозволяє визначити фракційний склад матеріалу:

$$\left.\begin{aligned} d_1\Phi_1 + d_{ср1}\Phi_{ср1} &= d_{ср0}\Phi_{ср0} \\ \Phi_1 + \Phi_{ср1} &= \Phi_{ср0} \end{aligned}\right\},$$

$$\left.\begin{aligned} d_2\Phi_2 + d_{ср2}\Phi_{ср2} &= d_{ср1}\Phi_{ср1} \\ \Phi_2 + \Phi_{ср2} &= \Phi_{ср1} \end{aligned}\right\},$$

...

$$\left.\begin{aligned} d_{n-1}\Phi_{n-1} + d_{ср(n-1)}\Phi_{ср(n-1)} &= d_{ср(n-2)}\Phi_{ср(n-2)} \\ \Phi_{n-1} + \Phi_{ср(n-1)} &= \Phi_{ср(n-2)} \end{aligned}\right\},$$

$$\Phi_n = \Phi_{ср0} - \sum_{i-1}^{n-1}\Phi_i.$$

Розрахунок Φ_i та $\Phi_{срi}$ виконується за формулами:

$$\Phi_i = \Phi_{ср(i-1)}\frac{d_{ср(i-1)} - d_{срi}}{d_i - d_{срi}},$$

$$\Phi_{срi} = \Phi_{ср(i-1)} - \Phi_{срi}.$$

Таким чином, при відомих значеннях k_i, для розрахунку фракційного складу шихти необхідні лише значення $\Phi_{ср0}$, $d_{ср0}$ и d_i. Алгоритм розрахунку k_i наведено на рис. 2.2, алгоритм розрахунку Φ_i - на рис. 2.3.

Послідовність розрахунку коефіцієнта зміни середнього діаметру часток сипкого матеріалу у процесі його розсіювання - k_i:

1. Введення $\Phi_i, \Phi_{ср0}, d_i, d_{сро}$.

2. Розрахунок $\Phi_{срi}$.

3. Розрахунок d_{cpi}.

4. Розрахунок k_i.

Последовательность расчета фракционного состава сыпучего материала - Φ_i:

1. Введення k_i, d_i, d_{cpo}.

2. Розрахунок d_{cpi}.

3. Розрахунок Φ_i и Φ_{cpi}.

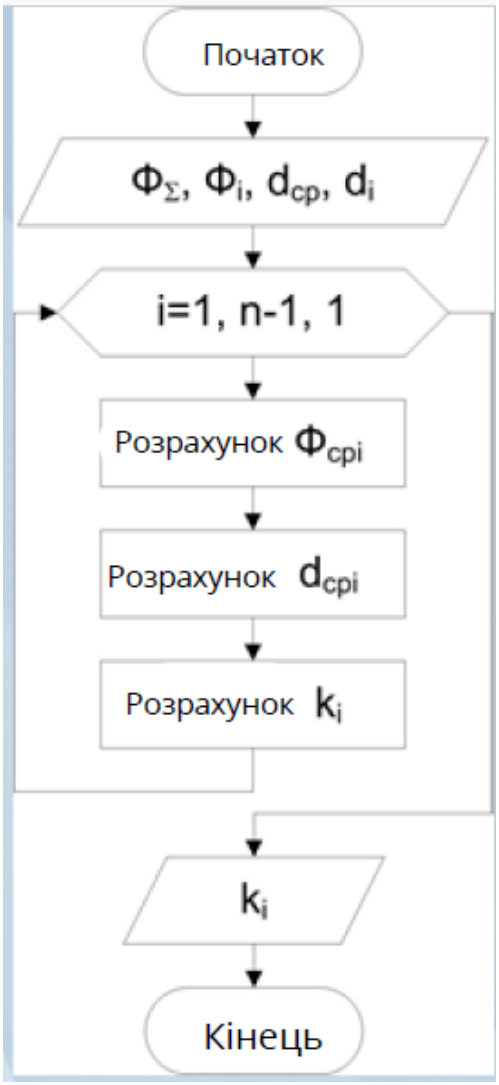


Рисунок 2.2 - Алгоритм розрахунку коефіцієнта зміни середнього діаметра частинок сипкого матеріалу в процесі його розсіву - k_i

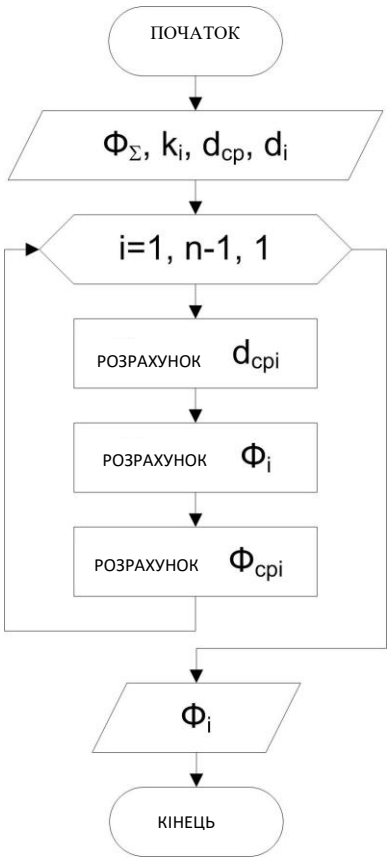


Рисунок 2.3 - Алгоритм розрахунку фракційного складу сипкого матеріалу - Φ_i

Розраховані за наведеною вище методикою значення k_i для деяких виробництв наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Значення коефіцієнта зміни середнього діаметра частинок сипкого матеріалу в процесі його розсіву k_i для шихт різних аглофабрик

Шихта на виході з приймального бункера агломашини				
	$к_1$	$к_2$	$к_3$	$к_4$
ЗМК Запоріжсталь, а/м №2	2.04341	1,2384	1.24831	1.1176
ЗМК Запоріжсталь, а/м №4	2.00464	1.22832	1.14238	1.06038
ЗМК Запоріжсталь, а/м №5	2.08505	1.25037	1.26591	1.14899
Шихта на виході з барабанного огрудковувача				
	$к_1$	$к_2$	$к_3$	$к_4$

ЗМК Запоріжсталь, а/м №2	1.32726	1.08704	0.85436	0.58962
ЗМК Запоріжсталь, а/м №4	1.38465	1.10513	0.90196	0.67496
ЗМК Запоріжсталь, а/м №5	1.27648	0.99423	0.79049	0.56116

Залежність коефіцієнта зміни середнього діаметра частинок шихти від номера розсіву для різних виробничих умов наведено на рис. 2.4, 2.5.

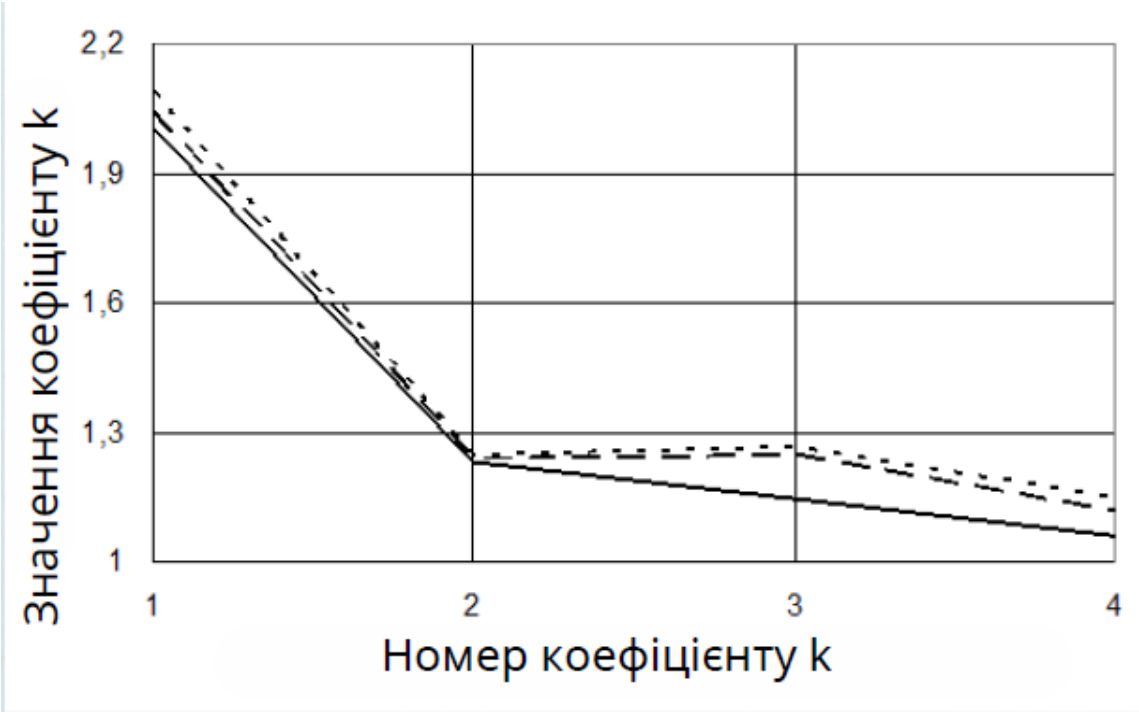


Рисунок 2.4 - Залежність коефіцієнта зміни середнього діаметра частинок сипкого матеріалу у його розсіву k_i від номера розсіву для шихти на виході з приймального бункера агломашини: суцільна лінія - ЗМК Запоріжсталь, а/м №4, точки - ЗМК Запоріжсталь, а/м №5, пунктир - ЗМК Запоріжсталь, а/м №2

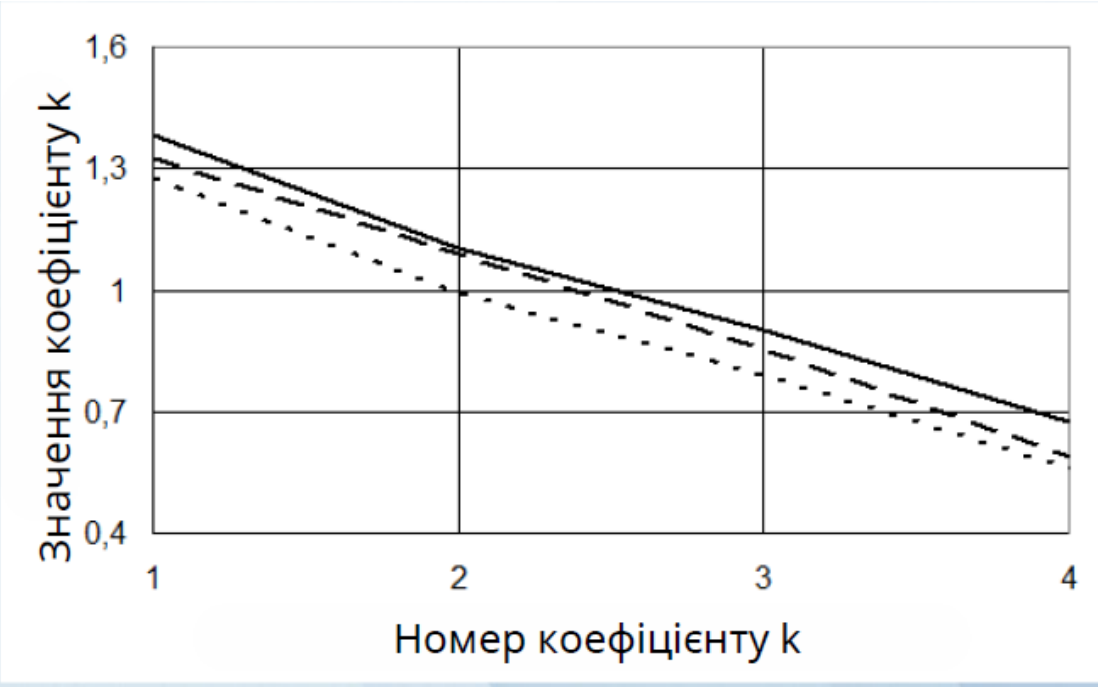


Рисунок 2.5 - Залежність коефіцієнта зміни середнього діаметра частинок сипкого матеріалу у його розсіву k_i від номера розсіву для шихти на виході з барабанного огрудковувача: точки - ЗМК Запоріжсталь, а/м №5, суцільна лінія - ЗМК Запоріжсталь, а/м №4, пунктир - ЗМК Запоріжсталь, а/м №2

Як видно з рисунків 2.4, 2.5, коефіцієнти зміни середнього діаметра частинок для того самого підприємства близькі як за значенням, так і за закономірністю зміни.

Результати моделювання фракційного складу агломераційної шихти в процесі розсіювання (шихта на виході з приймального бункера агломашини) наведено в таблиці 2.2. Результати моделювання фракційного поділу агломераційної шихти в процесі розсіву (шихта на виході з барабанного огрудковувача) наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 - Результати моделювання фракційного поділу агломераційної шихти в процесі розсівання (шихта на виході з приймального бункера агломашини)

ЗМК «Запоріжсталь», агломашина №2					
Фракція, мм	-3	3-5	5-8	8-10	+10
Середній діаметр часток фракції, мм	1,5	4	6,5	9	12
Вміст, експеримент, %	63,7	12,2	10,8	4,5	8,7
Вміст, розрахунок, %	63,7	12,2	10,79	4,5	8,79
ЗМК «Запоріжсталь», агломашина №4					
Фракція, мм	-3	3-5	5-8	8-10	+10
Середній діаметр часток фракції, мм	1,5	4	6,5	9	12
Вміст, експеримент, %	62,82	12,32	11,09	4,25	9,51
Вміст, розрахунок, %	62,81	12,31	11,09	4,25	9,52
ЗМК «Запоріжсталь», агломашина №5					
Фракція, мм	-3	3-5	5-8	8-10	+10
Середній діаметр часток фракції, мм	1,5	4	6,5	9	12
Вміст, експеримент, %	64,6	12,11	10,46	4,64	8,25
Вміст, розрахунок, %	64,59	12,11	10,45	4,64	8,19

Таблиця 2.3 - Результати моделювання фракційного складу агломераційної шихти в процесі розсіювання (шихта на виході з барабанного огрудковувача)

ЗМК «Запоріжсталь», агломашина №2					
Фракція, мм	-3	3-5	5-8	8-10	+10
Середній діаметр часток фракції, мм	1,5	4	6,5	9	12
Вміст, експеримент, %	35,5	20,6	17,6	7,8	18,4
Вміст, розрахунок, %	35,5	20,59	17,6	7,8	18,5
ЗМК «Запоріжсталь», агломашина №4					
Фракція, мм	-3	3-5	5-8	8-10	+10
Середній діаметр часток фракції, мм	1,5	4	6,5	9	12
Вміст, експеримент, %	39,28	19,68	16,35	7,38	17,32

Вміст, розрахунок, %	39,28	19,67	16,35	7,37	17,31
ЗМК «Запоріжсталь», агломашина №5					
Фракція, мм	-3	3-5	5-8	8-10	+10
Середній діаметр часток фракції, мм	1,5	4	6,5	9	12
Вміст, експеримент, %	31,74	21,2	18,93	8,32	19,83
Вміст, розрахунок, %	31,74	21,19	18,93	8,32	19,8

Таким чином, порівняльний аналіз результатів проведених розрахунків показує, що закономірності розподілу сипкого матеріалу за фракційним складом для різних підприємств різні, що не дозволяє для їх характеристики використовувати один і той же математичний опис. У той же час, для конкретного виробництва характерна стабільність співвідношень між різними фракціями сипкого матеріалу. Виявлення цих закономірностей згідно з наведеною методикою, дозволяє з досить високою точністю прогнозувати фракційний склад матеріалу за результатами вимірювання середнього діаметра частинок, складових його масу.

2.2 Розрахунок гранулометричного складу агломераційної шихти, підготовленої до спікання

Залежно від гранулометричного складу, сипкі матеріали можна розділити на монодисперсні та полідисперсні.

Монодисперсний матеріал складається з частинок, що незначно відрізняються за розміром один від одного, і характеризується однорідною структурою і сталістю фізико-хімічних характеристик по всьому об'єму сипучої маси. Тому зміна режимів роботи технологічного обладнання може викликати лише зміну його кількісних характеристик.

Частинки полідисперсного матеріалу значно відрізняються один від одного за розміром, що впливає на властивості матеріалу та перебіг протікання технологічного процесу. Залежно від розподілу фракцій усередині сипучої маси, вона може набувати однорідної та неоднорідної структури.

У першому випадку всі фракції матеріалу рівномірно розподілені в його обсязі. Це нестійкий стан, оскільки в результаті сегрегаційних процесів, що спостерігаються при роботі різних технологічних агрегатів, однорідність сипучої маси порушуватиметься, що призведе до виникнення локальних обсягів з різним питомим вмістом окремих фракцій, і, отже, з різною структурою. Неоднорідним називатимемо матеріал, у якому відбулася сегрегація за гранулометричним складом.

Виділимо три основні види об'ємних неоднорідностей, що впливають на перебіг технологічного процесу і якість кінцевого продукту:

- структурна неоднорідність, що полягає у різному змісті фракцій у порівнянних обсягах матеріалу;

- хімічна неоднорідність, викликана різним хімічним складом гранул різного розміру;

- неоднорідність матеріалу за щільністю, обумовлена закономірностями формування структури сипкого матеріалу.

Серед перерахованих видів неоднорідностей первинною є структурна, поява якої викликає виникнення хімічної неоднорідності всередині сипучої маси, а також відповідні локальні зміни її густини (рис. 2.6). У зв'язку з цим, особливий інтерес представляє розгляд механізму і закономірностей виникнення локальних структурних утворень у масі полідисперсного сипкого матеріалу.



Рисунок 2.6 - Види локальних неоднорідностей у полідисперсних сипучих матеріалах

Види локальних структурних неоднорідностей сипкої маси характеризуються схемою, наведеною на рис 2.7.



Рисунок 2.7 - Види локальних структурних неоднорідностей у полідисперсних сипучих матеріалах

Джерелом структурних змін у сипких матеріалах є практично всі технологічні операції з їх транспортування та переробки. Як приклад розглянемо механізм структурних перетворень полідисперсних сипучих середовищ, що спостерігаються в агломераційному виробництві. Використовувані для переробки залізорудної сировини технологічні агрегати реалізують практично повний спектр механічних впливів на полідисперсний матеріал на етапі його підготовки до огрудкування.

Для моделювання можливих впливів на полідисперсний матеріал необхідно досліджувати гранулометричні характеристики різних за своїм класом сипких середовищ і розробити узагальнену методику розрахунку їх параметрів стосовно умов протікання сучасних технологічних процесів.

$$\left.\begin{aligned} &\Phi_1 + \Phi_2 + \ldots + \Phi_n = \Phi_\Sigma \\ &d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 + \ldots + d_n\Phi_n = d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}, \qquad (2.1)$$

де Φ_i - вміст і-ої фракції у матеріалі, %;

Φ_Σ - загальна кількість матеріалу, %;

n - кількість фракцій;

d_i - середній діаметр часток і-ої фракції, мм;

d_{cp} - середній діаметр часток матеріалу, мм,

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i\Phi_i}{\sum_{i=1}^{n} \Phi_i}. \qquad (2.2)$$

Розглянемо процес розрахунку для двофракційної суміші. При автоматичному аналізі фракційного складу сипких матеріалів у виробничих умовах зазвичай контролюють середній діаметр частинок матеріалу [5]. Тому, при розрахунку значення Φ_Σ, d_i, d_{cp}, є відомими. Отримуємо систему з двох рівнянь з двома невідомими, яка має вигляд:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_1 + \Phi_2 &= \Phi_\Sigma \\ d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 &= d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}.$$

Розв’язанням цієї системи рівнянь отримаємо:

$$\Phi_1 = \Phi_\Sigma \frac{d_{cp} - d_2}{d_1 - d_2},$$

$$\Phi_2 = \Phi_\Sigma - \Phi_1.$$

Таким чином, у двокомпонентних сумішах значення Φ_1, Φ_2 та Φ_Σ пов'язані між собою функціональною залежністю, що дозволяє при дослідженні гранулометричних характеристик сипучої суміші обмежуватися тільки контролем d_{cp} при заданих значеннях d_i.

Розглянемо процес розрахунку параметрів трикомпонентної суміші. Система рівнянь, що описує таку суміш, має вигляд:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 &= \Phi_\Sigma \\ d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 + d_3\Phi_3 &= d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}. \qquad (2.3)$$

Виконуємо заміну:

$$\Phi_2 + \Phi_3 = \Phi'_{23},$$

де Φ'_{ij} - сумарний вміст фракцій $\Phi_i, \Phi_{i+1}, ..., \Phi_j$, %.

Середній діаметр часток фракції Φ''_{23} складатиме:

$$d_{23} = \frac{d_2\Phi_2 + d_3\Phi_3}{\Phi_2 + \Phi_3}.$$

В загальному випадку, d_{ij} - середній діаметр часток групи фракцій, що включає фракції $\Phi_i, \Phi_{i+1}, ..., \Phi_j$, мм. Діапазон можливих значень d_{ij}:

$$d_i \le d_{ij} \le d_j .$$

Після перетворення:

$$d_2\Phi_2 + d_3\Phi_3 = d_{23}\Phi'_{23} .$$

Після підстановки система рівнянь набуде вигляду:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_1 + \Phi'_{23} &= \Phi_\Sigma \\ d_1\Phi_1 + d_{23}\Phi'_{23} &= d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}$$

У випадку, якщо відоме значення d_{23}, вміст фракції Φ_1 можна розрахувати за формулою:

$$\Phi_1 = \Phi_\Sigma \frac{d_{cp} - d_{23}}{d_1 - d_{23}} .$$

Підставимо отримане значення у систему рівнянь (2.3), можна розрахувати вміст фракцій Φ_2 и Φ_3 за формулами:

$$\Phi_2 = \frac{\Phi_\Sigma (d_{cp} - d_3) + \Phi_1 (d_3 - d_1)}{d_2 - d_1} ,$$

$$\Phi_3 = \Phi_\Sigma - \sum_{i=1}^{2} \Phi_i .$$

Роздивимося процес розрахунку параметрів чотирьохкомпонентної суміші. Система рівнянь, що описує таку суміш, має вигляд:

$$\left.\begin{array}{l} \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 = \Phi_\Sigma \\ d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 + d_3\Phi_3 + d_4\Phi_4 = d_{cp}\Phi_\Sigma \end{array}\right\}. \qquad (2.4)$$

У цьому випадку для переходу до системи рівнянь з двома невідомими, згрупуємо фракції таким чином

:

$$\Phi'_{24} = \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4$$

Середній діаметр часток фракції Φ'_{24} буде дорівнювати:

$$d_{24} = \frac{d_2\Phi_2 + d_3\Phi_3 + d_4\Phi_4}{\Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4}$$

Після виконання заміни, вихідна система рівнянь набуде вигляду:

$$\left.\begin{array}{l} \Phi_1 + \Phi_{24} = \Phi_\Sigma \\ d_1\Phi_1 + d_{24}\Phi_{24} = d_{cp}\Phi_\Sigma \end{array}\right\}$$

Розв’язання відносно Φ_1 має вигляд:

$$\Phi_1 = \Phi_\Sigma \frac{d_{cp} - d_{24}}{d_1 - d_{24}}$$

Після розрахунку вмісту фракції Φ_1 в матеріалі знайдемо вміст фракції Φ_2. Для цього виконаємо заміну:

$$\Phi'_{34} = \Phi_3 + \Phi_4$$

Середній діаметр часток фракції Φ'_{34} рівен:

$$d_{34} = \frac{d_3\Phi_3 + d_4\Phi_4}{\Phi_3 + \Phi_4}$$

Після виконання заміни, система рівнянь (2.4) набуде вигляду:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_{34} &= \Phi_\Sigma \\ d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 + d_{34}\Phi_{34} &= d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}$$

Розв’язання відносно Φ_2 має вигляд:

$$\Phi_2 = \frac{\Phi_\Sigma(d_{cp} - d_{34}) - \Phi_1(d_1 - d_{34})}{d_2 - d_{34}}$$

Після знаходження вмісту фракцій Φ_1 і Φ_2 можна можна визначити вміст фракції Φ_3:

$$\Phi_3 = \frac{\Phi_\Sigma(d_{cp} - d_{44}) - \Phi_1(d_1 - d_4) - \Phi_2(d_2 - d_4)}{d_3 - d_4}$$

Вміст фракції Φ_4 знаходимо за формулою:

$$\Phi_4 = \Phi_\Sigma - \sum_{i=1}^{3}\Phi_i$$

В загальному випадку, при кількості фракцій n, вмісти фракцій із індексом $i \in [1, n-1]$ можна розрахувати за формулою:

$$\Phi_i = \frac{\Phi_\Sigma(d_{cp} - d_{(i+1)n}) - \sum_{z=1}^{i-1}\Phi_z(d_z - d_{(i+1)n})}{d_i - d_{(i+1)n}}. \qquad (2.5)$$

У випадку, коли індекси і та j для d_{ij} співпадають, замість d_{ij} необхідно брати d_i. Вміст фракції Φ_n можна розрахувати за формулою:

$$\Phi_n = \Phi_\Sigma - \sum_{i=1}^{n-1} \Phi_i \ . \qquad (2.6)$$

Таким чином, для розрахунку фракційного складу полідисперсного матеріалу з числом фракцій більше двох, необхідно знати загальну кількість матеріалу, середні діаметри частинок фракцій, середній діаметр всіх частинок матеріалу та середні діаметри груп фракцій.

Для розрахунку середніх діаметрів груп фракцій, необхідно знати закономірність розподілу сипкого матеріалу за розмірами складових його частинок. Як свідчать результати низки робіт [5, 6, 7, 8], немає загальних закономірностей такого розподілу. У кожному конкретному випадку ця закономірність визначається властивостями сипучих матеріалів, умовами їх дроблення, усереднення та класифікації.

Значення d_{ij} можна характеризувати коефіцієнтом $K \in [0,1]$, який визначатиме значення середніх діаметрів для фракцій, отриманих угрупуванням вихідних фракцій:

$$K = \frac{d_{ij\text{cur}} - d_{ij\,\min}}{d_{ij\,\max} - d_{ij\,\min}} \ ,$$

де $d_{ij\text{cur}}$ - середній діаметр часток фракції Φ'_{ij}, мм;

$d_{ij\,\max}$ - максимальне допустиме значення d_{ij}, мм;

$d_{ij\,\min}$ - мінімальні допустиме значення d_{ij}, мм.

Так як діапазон можливих значень d_{ij} складає $d_i \le d_{ij} \le d_j$, то при заданному K, значення d_{ij} можна розрахувати за формулою:

$$d_{ij} = d_i + K(d_j - d_i)$$

Схема розрахунку фракційного складу чотирьохфракційного полідисперсного матеріалу наведена на рис. 2.8. Розрахунок проводиться у три етапи. На кожному етапі отримуємо систему з двох рівнянь із двома невідомими. На першому етапі розраховуємо вміст фракції Φ_1, на другому - Φ_2, на третьому - Φ_3 і Φ_4.

Розрахувавши значення Φ_i для деякого K, можна знайти помилку моделювання за формулою:

$$e = \sum_{i=1}^{n} \left| \Phi_{ip} - \Phi_{iэ} \right|, \qquad (2.7)$$

де Φ_{ip} - розрахункові значення Φ_i, %;

$\Phi_{iэ}$ - експериментальні значення Φ_i, %.

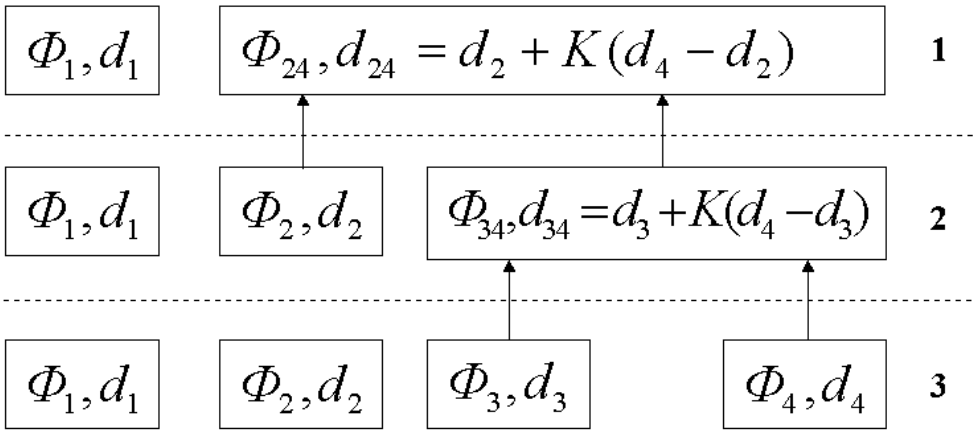


Рисунок 2.8 - Схема розрахунку фракційного складу чотирьохфракційного матеріалу

Для моделювання процесів фракційного поділу сипких матеріалів необхідно знати діапазон можливих значень середнього діаметра частинок суміші. Вважатимемо, що фракції з найменшим середнім діаметром частинок присвоюється номер 1, фракції з найбільшим діаметром – номер n. Найменший

можливий діаметр частинок суміші буде отриманий при наступному вмісті фракцій:

$$\Phi_1 = 100\%,\ \Phi_i = 0,\ \mathrm{i} \in [2, \mathrm{n}]$$

В цьому випадку, середній діаметр дорівнюватиме:

$$d_{cp} = d_1$$

Найбільш можливий діаметр часток суміші буде отримано при наступному вмісті фракцій:

$$\Phi_n = 100\%,\ \Phi_i = 0,\ \mathrm{i} \in [1, \mathrm{n}\text{-}1]$$

В цьому випадку, середній діаметр дорівнюватиме:

$$d_{cp} = d_n$$

Таким чином, діапазон допустимих значень d_{cp} складає:

$$d_{cp} \in \left[d_1, d_n\right]$$

Діапазон можливих значень K у загальному випадку становитиме $K \in [0,1]$. У тих випадках, коли відомий середній діаметр частинок суміші, діапазон можливих значень звужується. Для суміші з числом фракцій n після виконання угруповання отримаємо дві складові суміші: Φ_1 і Φ_{2n} з діаметрами d_1 і d_{2n} відповідно. У цьому випадку, значення K буде складати:

$$K = \frac{d_n - d_2}{d_{2n} - d_2},$$

звідки:

$$d_{2n} = \frac{d_n + d_2(K-1)}{K}$$

Підставивши отриману залежність у формулу обчислення середнього діаметру часток, отримаємо:

$$d_{cp} = \frac{d_1\Phi_1 + d_{2n}\Phi_{2n}}{\Phi_\Sigma} = \frac{d_1\Phi_1 + \frac{d_n + d_2(K-1)}{K}(\Phi_\Sigma - \Phi_1)}{\Phi_\Sigma}$$

Розв'язання відносно K дає:

$$K = \frac{\Phi_\Sigma(d_n - d_2) + \Phi_1(d_2 - d_n)}{\Phi_\Sigma(d_{cp} - d_2) + \Phi_1(d_2 - d_1)}$$

Φ_1 може прийняти значення від 0 до 100%. При Φ_1=0 отримаємо:

$$K = \frac{d_n - d_2}{d_{cp} - d_2},$$

при Φ_1=100%, тобто $\Phi_1 = \Phi_\Sigma$, отримаємо:

$$K = 0$$

Таким чином, діапазон допустимих значень K складає:

$$K \in \left[0, \frac{d_n - d_2}{d_{cp} - d_2}\right]$$

Для визначення закономірностей розподілу сипкого матеріалу за фракціями, розглянемо залежність помилки моделювання від положення середнього діаметра часток групи фракцій на інтервалі можливих значень. При рівномірному розподілі фракцій, середній діаметр будь-якої групи фракцій повинен знаходиться посередині інтервалу можливих значень. Відхилення від цього значення будуть обумовлені особливостями протікання технологічного процесу для даного виробництва.

Налаштування моделі полягає в знаходженні такого значення, для якого помилка моделювання буде мінімальною. Для пошуку необхідно перебрати всі його значення від нуля до одиниці і зберегти те з них, для якого помилка буде мінімальною.

Залежність помилки моделювання від коефіцієнта наведена на рис. 2.9. У цьому прикладі пошук коефіцієнта K виконувався для експериментальних даних, отриманих на комбінаті «Запоріжсталь», агломашина №2 (пунктир) і агломашина №4 (суцільна лінія). Для агломашини №2 помилка, обчислена за формулою (2.7), мінімальна при К=0,17 і становить 0,62%. Для агломашини №4 помилка, обчислена за формулою (2.7), мінімальна при К=0,39 і становить 2,1%.

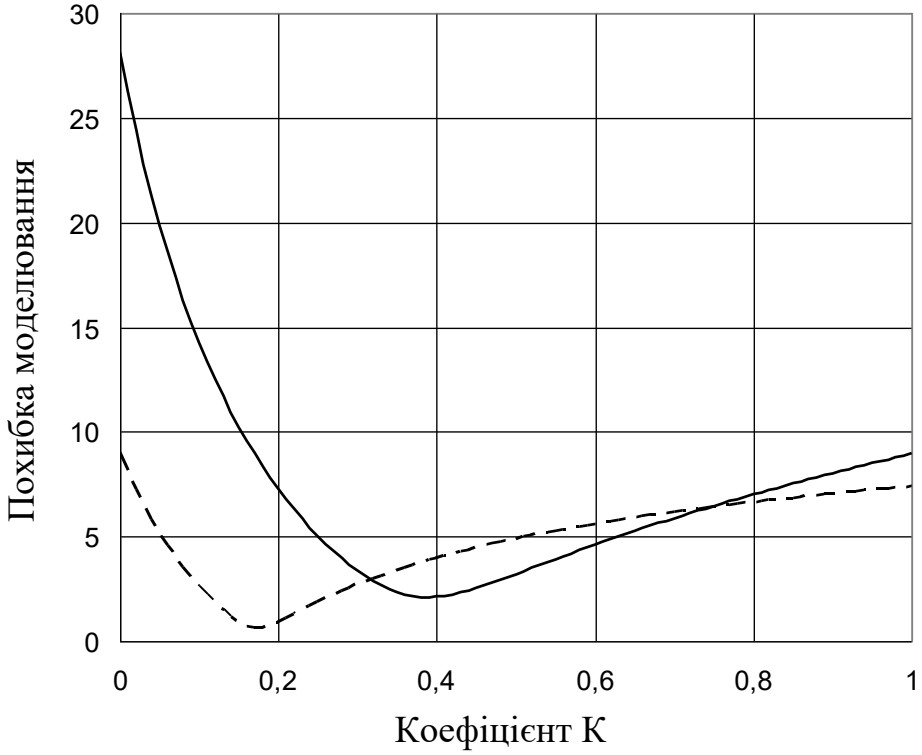


Рисунок 2.9 - Залежність помилки моделювання від коефіцієнта розподілу сипкого матеріалу за розмірами складових його часток – К

Алгоритм розрахунку заданого наведено рис. 2.10. Алгоритм розрахунку K наведено на рис. 2.11.

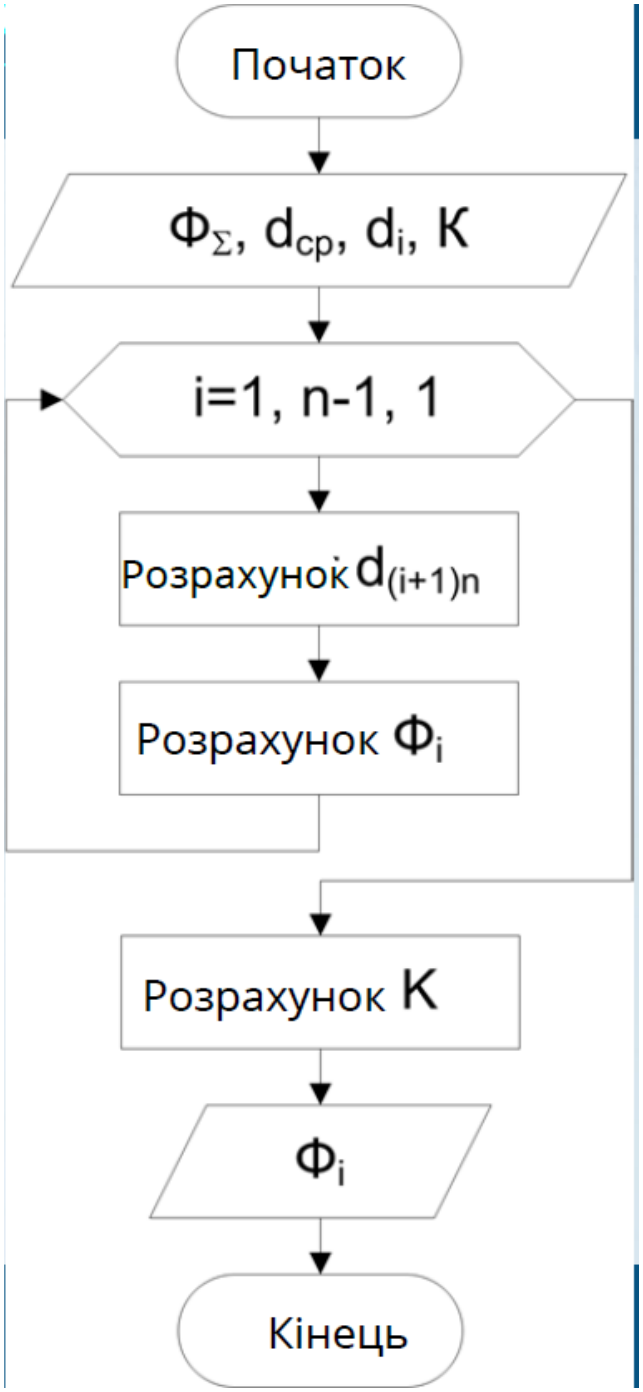


Рисунок 2.10 - Алгоритм розрахунку Φ_i для заданого коефіцієнту розподілу сипкого матеріалу за розмірами складових компонентів - K

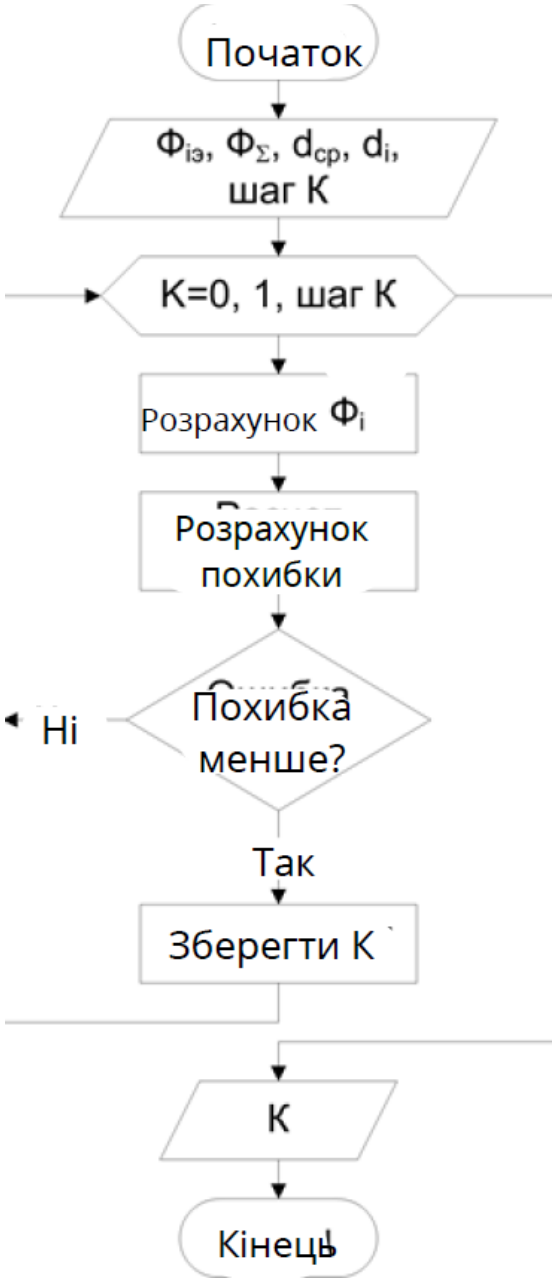


Рисунок 2.11 - Алгоритм розрахунку коефіцієнта розподілу сипкого матеріалу за розмірами його частинок – К

Розглянемо процес розрахунку фракційного складу полідисперсного матеріалу деяких металургійних підприємств.

Налаштування моделі виконується на основі експериментальних даних. Перед використанням експериментальні дані необхідно обробити, відсіявши ті з них, які не відповідають критерію однорідності результатів експерименту. Для обробки експериментальних даних скористаємося критерієм Кохрена.

Виключимо з результатів ситового розсіву ті значення вмісту фракцій, для яких не виконується умова:

$$G_i > G_m, \qquad (2.8)$$

де G_i - розрахункове значення коефіцієнту Кохрена для і-ої проби материалу;

G_m - табличне значення коефіцієнту Кохрена для 4 виборок, в кожній виборці виконано по одному експерименту [6]:

$$G_m = 0.6841$$

Значення G_i розраховується за формулою:

$$G_i = \frac{S_i}{\sum_{j=1}^{c} S_j},$$

де S_i - дисперсія для і-ої групи;

C - кількість.

Значення S_i розраховується за формулою:

$$S_i = \frac{\sum_{j=1}^{s} (x_j - \bar{x})^2}{s - c},$$

де S - кількість експериментів;

x_j - значення признаку в j-ому експерименті;

$\bar{x}$ - середне значення признаку:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{s} x_i}{s}$$

Розрахункові значення коефіцієнта Кохрена наведено у таблицях 2.4 - 2.6. У таблицях 2.4 - 2.6 ті значення коефіцієнта Кохрена, які відповідають умові (2.8), виділені жирним шрифтом. Ті рядки, в яких присутні такі значення, надалі використовуватися не будуть.

Таблиця 2.4 - Експериментальні змісти фракцій та розрахункові значення коефіцієнта Кохрена для агломашини №2, ЗМК Запоріжсталь, ліва сторона аглострічки

Проба	Фракція				
	-3 мм	3-5 мм	5-8 мм	8-10 мм	+10 мм
	Вміст фракцій, %				
1	61,63	23,61	10,27	1,79	2,69
2	48,09	24,38	16,99	3,48	7,05
3	45,41	24,63	19,09	4,67	6,19
4	36,44	22,04	20,64	7,84	13,04
	Розрахункове значення коефіцієнту Кохрена				
1	0,578749	0,00074	0,66966	0,360437	0,373555
2	0,00012	0,125113	0,000939	0,047616	0,000668
3	0,0189	0,227901	0,087579	0,002589	0,019966
4	0,402231	0,646246	0,241823	0,589358	0,60581

Таблиця 2.5 - Експериментальні змісти фракцій та розрахункові значення коефіцієнта Кохрена для агломашини №2, ЗМК Запоріжсталь, середина аглострічки

Проба	Фракція				
	-3 мм	3-5 мм	5-8 мм	8-10 мм	+10 мм
	Вміст фракцій, %				
1	54,33	30,54	10,28	1,32	3,52
2	39	33,99	16,99	4,09	5,96
3	38,29	29,46	19,34	4,73	8,18
4	31,42	23,12	23,52	9,92	12,02
	Розрахункове значення коефіцієнту Кохрена				
1	0,426178	0,267213	0,079965	0,012513	0,047783
2	0,219604	0,330996	0,218423	0,12013	0,136988
3	0,211681	0,248648	0,283025	0,160667	0,258045
4	0,142536	0,153143	0,418588	**0,70669**	0,557184

Таблиця 2.6 - Експериментальні змісти фракцій та розрахункові значення коефіцієнта Кохрена для агломашини №2, ЗМК Запоріжсталь, права сторона аглострічки

Проба	Фракція				
	-3 мм	3-5 мм	5-8 мм	8-10 мм	+10 мм
	Вміст фракцій, %				
1	68,63	17,57	8,14	1,89	3,77
2	52,96	20,43	15,81	6,04	4,26
3	53,59	21,61	15,84	3,88	5,08
4	39,45	16,46	17,28	7,25	19,56
	Розрахункове значення коефіцієнту Кохрена				
1	0,517472	0,120748	**0,729429**	0,49055	0,111184
2	0,000244	0,11498	0,046224	0,096478	0,087787
3	8,7E-05	0,38733	0,048039	0,046483	0,054808
4	0,482197	0,376942	0,176307	0,366489	**0,746222**

На основі наведених вище результатів експериментів розрахуємо значення коефіцієнта K. Для кожного експерименту отримаємо своє значення, потім розрахуємо середнє значення коефіцієнта K кожної з точок відбору матеріалу. Надалі, при моделюванні розподілу шихти за фракціями, будемо використовувати середнє значення K. Значення для різних агрегатів наведені в таблиці 2.7.

Таблица 2.7 - Значения коэффициента К на агломашині №2

Місце відбору проби	Номер проби	Значення К	Середнє значення К
Ліва сторона аглострічки	1	0,17300	0,27375
	2	0,26900	
	3	0,27700	
	4	0,37600	
середина аглострічки	1	0,14900	0,20833
	2	0,21100	
	3	0,26500	
Права сторона аглострічки	1	0,28000	0,27350
	2	0,26700	

Для оцінки адекватності моделювання скористаємося критерієм Фішера [9]. При оцінці адекватності з використанням критерію Фішера використовується нерівність:

$$F_{факт} < F_{теор}, \qquad (2.9)$$

де $F_{факт}$ - фактичне значення коефіцієнту Фішера;

$F_{теор}$ - табличне значення коефіцієнту Фішера для відповідних ступеней свободи та заданого рівня значущості.

$$F_{факт} = \frac{S_A^2}{S_n^2},$$

де S_A^2 - міжгруппова дисперсія;

S_n^2 - внутрішньогрцпова дисперсія.

$$S_A^2 = \frac{s}{c-1}\sum_{i=1}^{c}(\bar{x}_i - \bar{x})^2,$$

де $\bar{x}_i$ - середнє значення признаку для і-ої групи.

$$S_n^2 = \frac{s}{c(s-1)}\sum_{j=1}^{c}\sum_{i=1}^{s}(x_{ij} - \bar{x})^2$$

де x_{ij} - і-те значення признаку в j-ій групі.

Розрахункові значення вмісту фракцій для різних технологічних умов і значення коефіцієнта Фішера наведені в таблицях 2.8 - 2.10.

Таблиця 2.8 - Розрахункові значення вмісту фракцій та значення коефіцієнта Фішера для технологічних умов агломашини №2, ліва сторона аглострічки

Номер проби	Фракція					Середній діаметр
	-3 мм	3-5 мм	5-8 мм	8-10 мм	+10 мм	
	Вміст фракцій, експеримент, %					
1	61,63	23,61	10,27	1,79	2,69	3,020602
2	48,09	24,38	16,99	3,48	7,05	3,960496
3	45,41	24,63	19,09	4,67	6,19	4,070707
4	36,44	22,04	20,64	7,84	13,04	5,0402
	Вміст фракцій, розрахунок, %					
1	67,60440	14,67	9,68	5,83	2,2	3,020001
2	47,57030	23,75	15,67	9,44	3,57	3,96
3	45,22590	24,81	16,37	9,86	3,72	4,07
4	24,55240	34,17	22,559	13,59	5,13	5,039999
	Коефіцієнт Фішера, розрахункове значення					$F_{теор}$
	131,1006	118,0171	90,24428	1,933176	1,327524	237

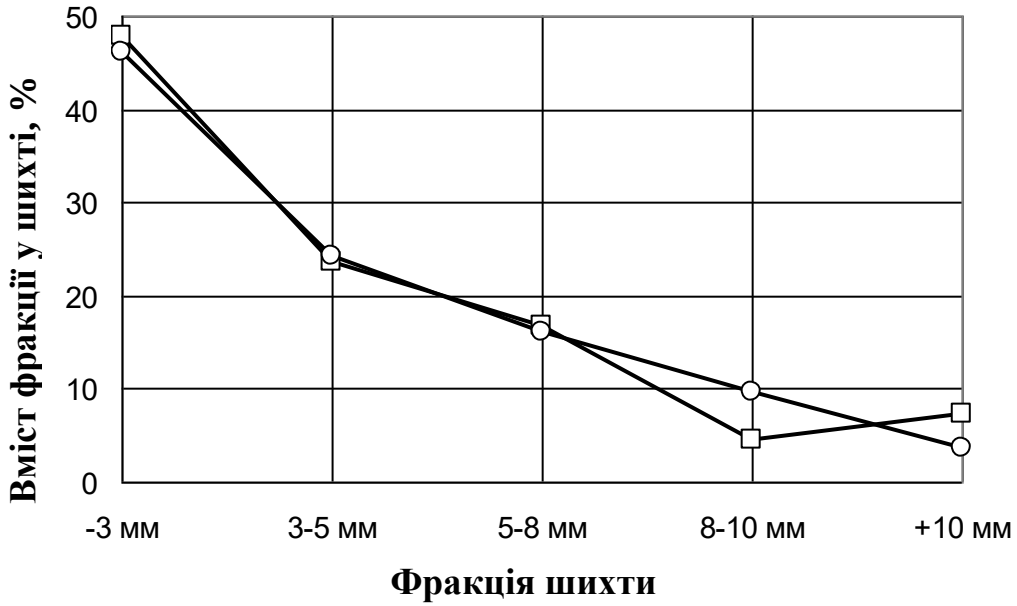
Таблиця 2.9 - Розрахункові значення вмісту фракцій та значення коефіцієнта Фішера для технологічних агломашини №2, середина аглострічки

Номер проби	Фракція					Середній діаметр
	-3 мм	3-5 мм	5-8 мм	8-10 мм	+10 мм	
	Вміст фракцій, експеримент, %					
1	54,33	30,54	10,28	1,32	3,52	3,246275
2	39	33,99	16,99	4,09	5,96	4,131011
3	38,29	35,26	19,34	4,73	8,18	4,41715
	Вміст фракцій, розрахунок, %					
1	57,97	22,84	12,16	5,56	1,46	3,249999
2	36,84	34,32	18,27	8,36	2,2	4,129999
3	29,88	38,1	20,29	9,28	2,44	4,420001
	Коефіцієнт Фішера, розрахункове значення					$F_{теор}$
	44,38431	24,24503	16,91038	3,374082	3,262081	230

Таблиця 2.10 - Розрахункові значення вмісту фракцій та значення коефіцієнта Фішера для технологічних умов агломашини №2, права сторона аглострічки

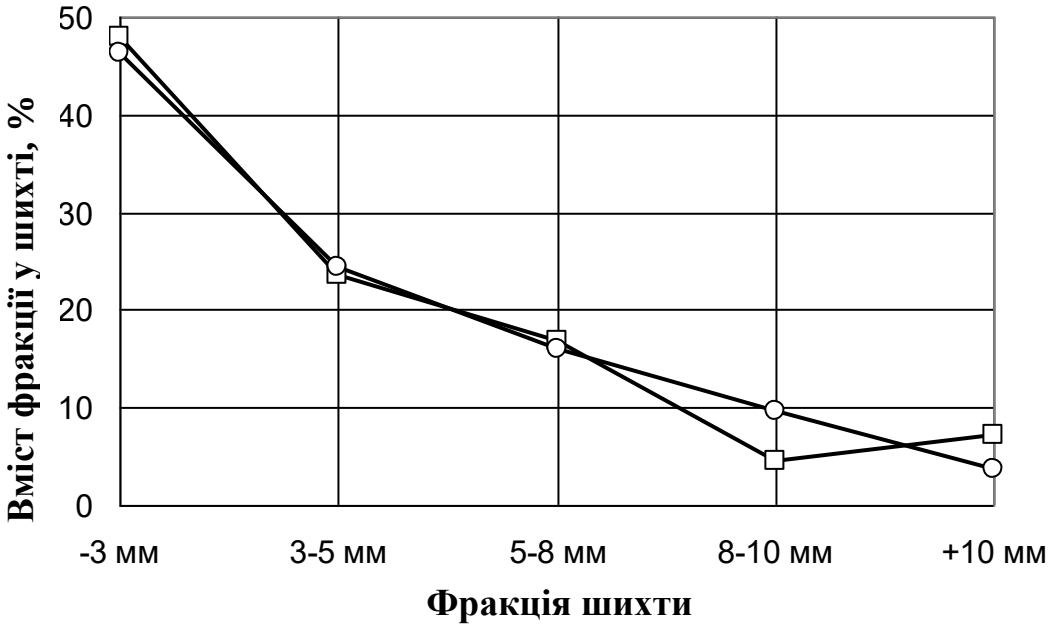
Номер проби	Фракція					Середній діаметр
	-3 мм	3-5 мм	5-8 мм	8-10 мм	+10 мм	
	Вміст фракцій, експеримент, %					
1	53,96	20,43	15,81	6,04	4,26	3,70155
2	53,59	21,61	15,84	3,88	5,08	3,65665
	Вміст фракцій, розрахунок, %					
1	53,07	21,28	14	8,43	3,18	3,7
2	53,92	20,89	13,77	8,28	3,12	3,660001
	Коефіцієнт Фішера, розрахункове значення					$F_{теор}$
	7,519622	98,34089	168,892	7,407601	10,28094	216

На рисунках 2.12 – 2.14 наведено експериментальні та розрахункові дані. Квадратами позначено результати експериментів, колами – розрахункові дані.



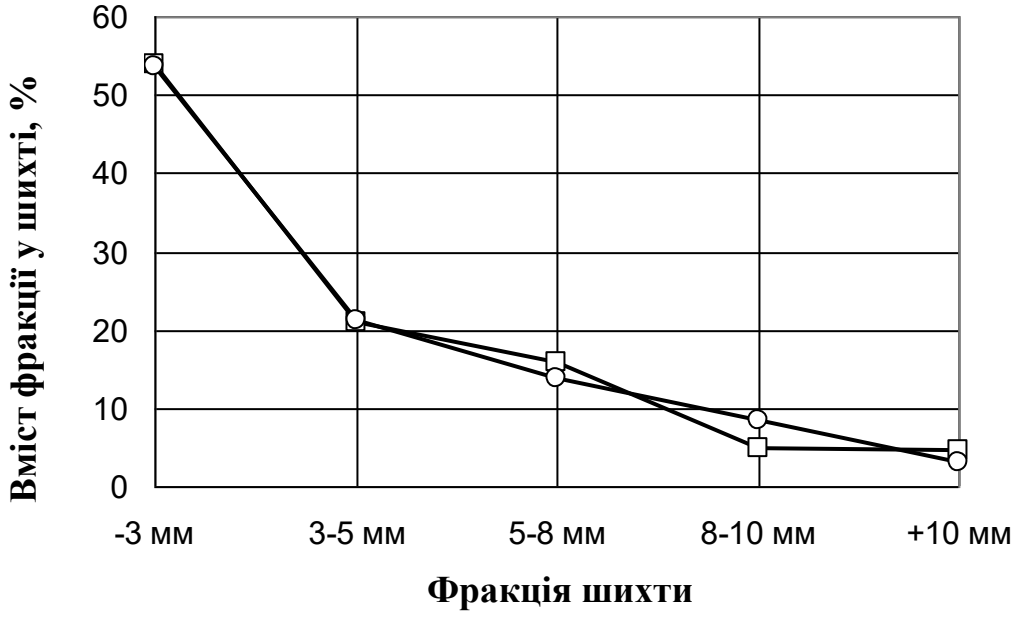
□ – експериментальні дані; о – розрахункові дані

Рисунок 2.12 – Експериментальні та розрахункові значеннявмісту фракцій. Агломашина №2. Ліва сторона аглострічки



□ – експериментальні дані; о – розрахункові дані

Рисунок 2.13 – Експериментальні та розрахункові значеннявмісту фракцій. Агломашина №2. Середина аглострічки



□ – експериментальні дані; о – розрахункові дані

Рисунок 2.14 – Експериментальні та розрахункові значеннявмісту фракцій. Агломашина №2. Права сторона аглострічки

Результати розрахунків показують, що модель є адекватною і може бути використана для розрахунку фракційного складу полідисперсних сипких матеріалів.

Таким чином, поставлене завдання може бути вирішене у разі прийняття таких припущень:

- при русі сипкого матеріалу через технологічний агрегат масоперенос між фракціями зневажливо малий.

- при проходженні через технологічний агрегат загальна маса матеріалу не змінюється.

- розміри зон з переважним питомим змістом певних фракцій однакові.

Крім цього, повинні бути наперед відомі такі величини:

- середні діаметри частинок матеріалу у кожній зоні.

- середній діаметр частинок матеріалу.

- загальна кількість матеріалу.

- коефіцієнт К, отриманий при налаштуванні моделі.

2.3 Перетворення результатів розсіву агломераційної шихти до заданих гранулометричних характеристик

При виконанні балансового перетворення необхідною умовою збереження адекватності отриманих результатів вихідним даним є виконання наступних умов:

$$\left.\begin{aligned} &\Phi_1 + \Phi_2 + \ldots + \Phi_n = \Phi_\Sigma \\ &\Phi'_1 + \Phi'_2 + \ldots + \Phi'_n = \Phi_\Sigma \\ &d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 + \ldots + d_n\Phi_n = d_{cp}\Phi_\Sigma \\ &d'_1\Phi'_1 + d'_2\Phi'_2 + \ldots + d'_n\Phi'_n = d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}, \qquad (2.10)$$

де Φ_i - вміст вихідної і-ої фракції утсипкому матеріалі, %;

Φ'_i - вміст нової і-ої фракції утсипкому матеріалі, %;

d_i, d'_i - середні діаметри фракцій сипкого матеріалу, мм.

Також необхідно прийняти такі допущення: вміст окремих фракцій всередині кожного інтервалу розсіювання рівномірне, тобто:

$$d_{cp.j} = \frac{d_{1j} + d_{2j} + ... + d_{nj}}{n},$$

або

$$d_{cp.i} = \frac{d_i + d_{i+1}}{2},$$

де d_{ij} - діаметр часток, що входять у j-ий інтервал розсіювання, мм;

d_i - диаметр отверстия в сите, мм.

Однозначне рішення системи рівнянь (2.10) має тільки для 2-х фракційної суміші:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_1 + \Phi_2 &= \Phi_\Sigma \\ d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 &= d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}$$

На основі вихідних даних, отриманних в результаті розсіювання проби матеріалу, розглядаємо величину d_{cp}:

$$d_{cp} = \frac{d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2}{\Phi_\Sigma}$$

Після зміни інтервалів розсіювання отримаємо:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_1' + \Phi_2' &= \Phi_\Sigma \\ d_1'\Phi_1' + d_2'\Phi_2' &= d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\},$$

де d_i' - середній діаметр часток фракції Φ_i' зміни інтервалів розсіювання, мм.

Значеннями d_1' і d_2' задаємося, що дозволить розрахувати величини Φ_1' та Φ_2':

$$\Phi_1' = \Phi_\Sigma - \Phi_2';$$

$$d_1'\left(\Phi_\Sigma - \Phi_2'\right) + d_2'\Phi' = d_{cp}\Phi_\Sigma,$$

де

$$d_j' = \frac{d_{ij} + d_{(i+1)j}}{2},$$

d_{ij}, $d_{(i+1)j}$ - начальний та кінцевий діаметри інтервалу розсіювання, мм.

Звідси:

$$d_1'\Phi_\Sigma - d_1'\Phi_2' - d_2'\Phi_2' - d_{cp}\Phi_\Sigma = 0,$$

або

$$\Phi_\Sigma\left(d_1' - d_{cp}\right) + \Phi_2'\left(d_2' - d_1'\right) = 0$$

Тоді:

$$\Phi_2' = \frac{\Phi_\Sigma\left(d_{cp} - d_1'\right)}{d_2' - d_1'}$$

Для розсіювань із числом фракцій більше за дві розв'язати поставлену задачу можна методом послідовного групування:

$$\left.\begin{aligned} d_1'\Phi_1' + d_2'\Phi_2' + \ldots + d_n'\Phi_n' &= d_{cp}\Phi_\Sigma \\ \Phi_1' + \Phi_2' + \ldots + \Phi_n' &= \Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}$$

Перетворюємо рівняння:

$$\left.\begin{aligned} \Phi_1' + \Phi_{\Sigma 1}' &= \Phi_\Sigma \\ d_1'\Phi_1' + d_{\Sigma 1}'\Phi_{\Sigma 1}' &= d_{cp}\Phi_\Sigma \end{aligned}\right\}, \qquad (2.11)$$

де

$$\Phi_{\Sigma 1}' = \Phi_2' + \ldots + \Phi_n', \%$$

З рівняння (2.11) знаходимо величину $d_{\Sigma 1}'$:

$$d'_{\Sigma 1} = \frac{d_{ср}\Phi_{\Sigma} - d'_1\Phi'_1}{\Phi_{\Sigma} - \Phi'_1},$$

$$d_{ср1}\Phi_1 + d_{ср2}\Phi_2 = d_{ср}\left(\Phi_1 + \Phi_2\right),$$

$$d_{ср} = \frac{d_{ср1}\Phi_1 + d_{ср2}\Phi_2}{\Phi_1 + \Phi_2},$$

таким чином, $d_{ср} = d_{ср2}$ якщо $\Phi_1 = 0$; $d_{ср} = d_{ср1}$ якщо $\Phi_2 = 0$, рис. 2.15,

$$d_{ср1} = \frac{d_1 + d_2}{2},$$

$$d_{ср2} = \frac{d_2 + d_3}{2}$$

Для 4-х фракційного інтервалу розсіювання (рис. 2.16), можемо записати:

$$d_{ср1}\Phi_1 + d_{ср2}\Phi_2 + d_{ср3}\Phi_3 = d_{ср}\left(\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3\right).$$

Отже, $d_{ср} = d_{ср3}$, $d_3 = d_1$ якщо $\Phi_1, \Phi_2 = 0$; $d_{ср} = d_{ср1}$, $d_2 = d_4$ якщо $\Phi_2, \Phi_3 = 0$.

Таким чином, незалежно від кількості фракцій, діапазон існування середнього діаметра частинок полідисперсного матеріалу знаходиться в інтервалі між $d_{срн}$ та $d_{сркон}$.

Рішення знаходимо методом перебору, підставляючи в отримане рівняння значення Φ_1 в діапазоні від 0 до Φ_{Σ}.

Враховуючи, що додаткових даних, що дозволяють визначити конкретне значення d_{Σ} немає, розрахувати фракційний склад матеріалу на основі фракційного розсіву, при числі вихідних фракцій більше 2-х, неможливо.

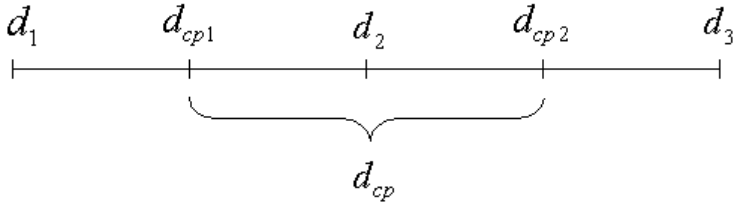


Рисунок 2.15 - Діапазони існування середнього діаметра часток полідисперскного матеріалу d_{cp} для 3-х фракційного інтервалу розсіювання

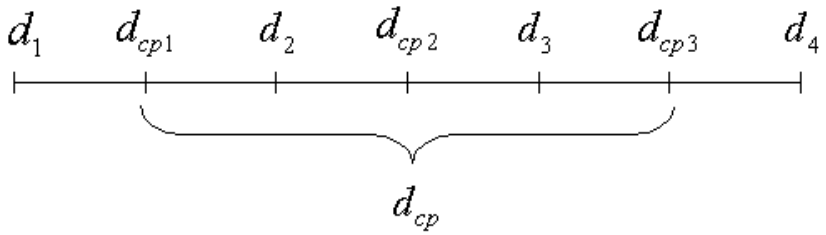


Рисунок 2.16 - Діапазони існування середнього діаметра часток полідисперскного матеріалу d_{cp} для 4-х фракційного інтервалу розсіювання

У зв'язку з цим, поставлене завдання перерахунку фракційного складу полідисперсного матеріалу необхідно вирішувати поетапно, розділяючи контрольовані фракції на окремі групи, в яких їх кількість не повинна перевищувати дві.

Результати розсіювання сипкого матеріалу представлені фракціями $\Phi_1, \Phi_2 ... \Phi_n$ із середніми діаметрами $d_1, d_2 ... d_n$. Групуємо всі фракції Φ_i у дві групи - Φ_1' и Φ_2':

$$\Phi_1' = \Phi_1 + \Phi_2 + ... + \Phi_k,$$

$$\Phi_2' = \Phi_{k+1} + \Phi_{k+2} + ... + \Phi_n,$$

де $k < n$.

Визначаємо для утворених груп фракцій Φ_1' и Φ_2' значення середнього діаметра d_{cp1}' и d_{cp2}':

$$d'_{cp1} = \frac{d_1\Phi_1 + ... + d_k\Phi_k}{\sum_{i=1}^{k}\Phi_i},$$

$$d'_{cp2} = \frac{d_{k+1}\Phi_{k+1} + ... + d_n\Phi_n}{\sum_{i=k+1}^{n}\Phi_i}$$

Кожну із фракцій Φ'_1 и Φ'_2 розділемо на дві підгрупи $\Phi'_3, \Phi'_4, \Phi''_3, \Phi''$ із заданими $d'_{cp3}, d'_{cp4}, d''_{cp3}, d''_{cp4}$. Для цих підгруп можемо записати умови:

$$\left.\begin{aligned} d'_{cp1}\sum_{i=1}^{k}\Phi_i &= d'_{cp3}\Phi'_3 + d'_{cp4}\Phi'_4 \\ \sum_{i=1}^{k}\Phi_i &= \Phi'_3 + \Phi'_4 \end{aligned}\right\},$$

$$\left.\begin{aligned} d'_{cp2}\sum_{i=k+1}^{n}\Phi_i &= d''_{cp3}\Phi''_3 + d''_{cp4}\Phi''_4 \\ \sum_{i=k+1}^{n}\Phi_i &= d''_{cp3}\Phi''_3 + d''_{cp4}\Phi''_4 \end{aligned}\right\}.$$

Вирішуючи отримані системи рівнянь щодо Φ'_i і Φ''_i, отримуємо необхідні значення розсіювання проб сипучих матеріалів із заданими середніми діаметрами частинок.

При необхідності кожен із певних діапазонів у свою чергу можна розділити на групи фракцій із заданими діаметрами часток і визначити їх кількість, рис. 2.17.

З урахуванням відомих параметрів вихідної сипучої суміші (d_1, d_2, Φ_1, Φ_2), визначаємо фракційний склад матеріалу з постійними та зміненими інтервалами розсіву, рис. 2.17 (а, б).

$$\left.\begin{aligned} \Phi_3 &= \Phi_1 + \Delta\Phi_2 \\ \Phi_4 &= \Phi_2 - \Delta\Phi_2 \\ \Phi_1 + \Phi_2 &= \Phi_3 + \Phi_4 \\ d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 &= d_3\Phi_3 + d_4\Phi_4 \end{aligned}\right\},$$

де d_i, Φ_i - середній діаметр і вміст часток і-ої групи фракцій сипкого матеріалу при розсіюванні, мм, %.

Для збереження адекватності розрахункових результатів експериментальним даним, необхідно виконання наступних умов: збереження зовнішніх меж діапазону розсіювання; забезпечення сумісності внутрішніх інтервалів:

$$\Phi_4 = \Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3;$$
$$d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 = d_3\Phi_3 + d_4(\Phi_1 + \Phi_2 - \Phi_3);$$
$$\Phi_1(d_1 - d_4) + \Phi_2(d_2 - d_4) = \Phi_3(d_3 - d_4);$$
$$\Phi_3 = \frac{\Phi_1(d_1 - d_4) + \Phi_2(d_2 - d_4)}{d_3 - d_4}.$$

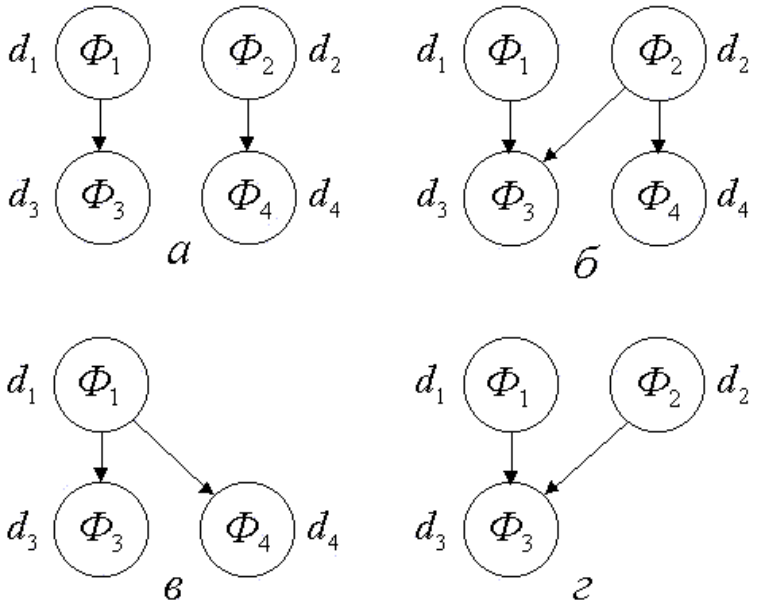


Рисунок 2.17 – Схеми структурних перетворювань груп фракцій полідисперсного матеріалу

Умови розділення однієї групи фракцій із параметрами $\Phi_н, d_{ср}$ на дві характеризуються графіком, представленным на рис. 2.17 (в).

Умови розділення характеризуються рівняннями:

$$d_3\Phi_3 + d_4\Phi_4 = d_1\Phi_1;$$
$$\Phi_3 + \Phi_4 = \Phi_1.$$

Звідки:

$$\Phi_3 = \Phi_1 - \Phi_4.$$

Тоді

$$d_1\Phi_1 - d_1\Phi_4 + d_3\Phi_3 = d_1\Phi_1;$$
$$\Phi_4(d_4 - d_3) = \Phi_1(d_1 - d_3).$$

Звідки

$$\Phi_4 = \frac{\Phi_1(d_1 - d_3)}{d_4 - d_3}.$$

Умови об’єднання двох груп фракцій із параметрами Φ_1, Φ_2, d_1, d_2 в одну (Φ_3, d_3) характеризується графіком, наведеним на рис. 2.17 (г):

$$d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 = d_3\Phi_3;$$
$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_3.$$

Звідки

$$d_3 = \frac{d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2}{\Phi_3}.$$

Використовуючи розглянуті вище принципи перетворення вихідних груп полідисперсних фракцій сипкого матеріалу в задані, можливо з високою точністю виконати перерахунок результатів ситового аналізу.

Схеми перетворень даних ситового аналізу за допомогою балансового методу та отримані результати для вихідної та огрудкованої агломераційної шихти показані на рис. 2.18, 2.19.

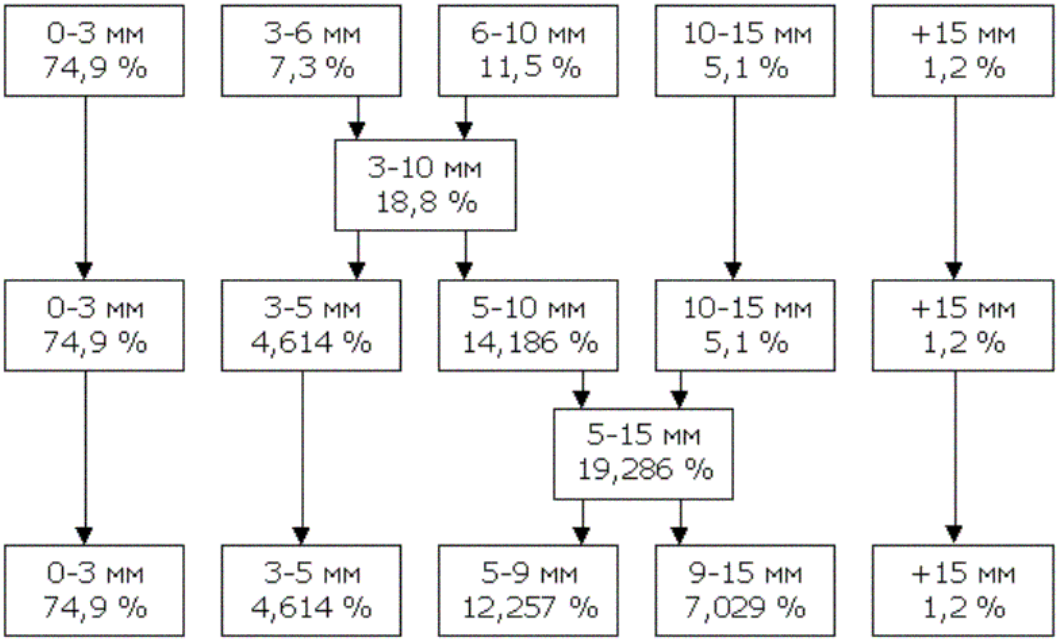


Рисунок 2.18 - Схема перетворення результатів розсіювання при зміні меж груп фракцій для вихідної шихти

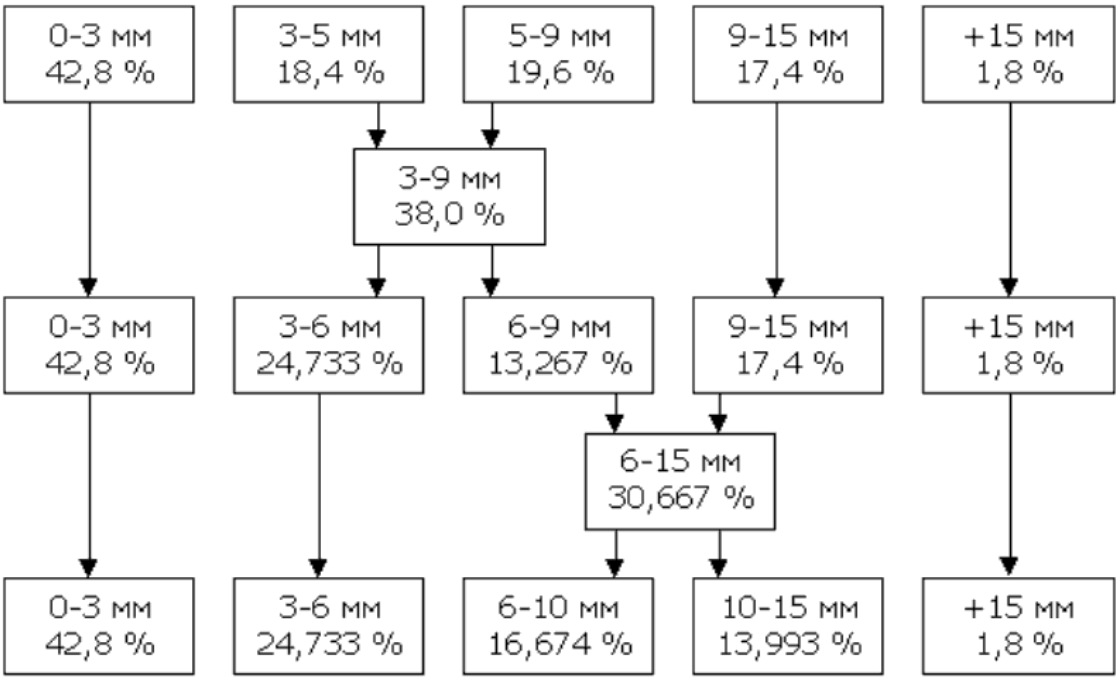


Рисунок 2.19 - Схема перетворення результатів розсіювання при зміні меж груп фракцій для огрудкованої шихти

2.4 Висновки до розділу 2

1. Розроблено новий підхід до вирішення задачі ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти, що дозволяє на відміну від відомих методів аналізу враховувати технологічні особливості переробки залізорудних матеріалів.

2. Запропонована методика ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти дозволяє з високою точністю прогнозувати фракційний склад сипкого матеріалу за результатами вимірювання середнього діаметра частинок, що становлять його масу.

3. Розроблено прикладну програму розрахунку фракційного складу агломераційної шихти, що завантажується на аглострічку, з урахуванням встановлених особливостей її переробки на основі інформації про середній діаметр часток.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗПОДІЛУ КЛАСІВ КРУПНОСТІ ЧАСТОК АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ ЗА ВИСОТОЮ ШАРУ НА АГЛОСТРІЧЦІ

3.1 Моделювання розподілу часток агломераційної шихти за висотою шару на аглострічці

У процесі руху трактом завантаження на аглострічку огрудкована шихта істотно змінює свій гранулометричний склад. Це пояснюється існуванням значних ударних та стиральних навантажень, що діють на окремі гранули огрудкованого матеріалу при проходженні ним проміжного бункера агломашини, завантажувального вузла та у процесі формування шару на аглострічці, рис. 3.1, 3.2.

Аналіз роботи тракту завантаження на основі фракційних розсівань не забезпечує повного вирішення цього завдання, так як на них істотно впливають процеси, що протікають усередині сипучої маси при її русі, що вносить спотворення в кінцеві результати.

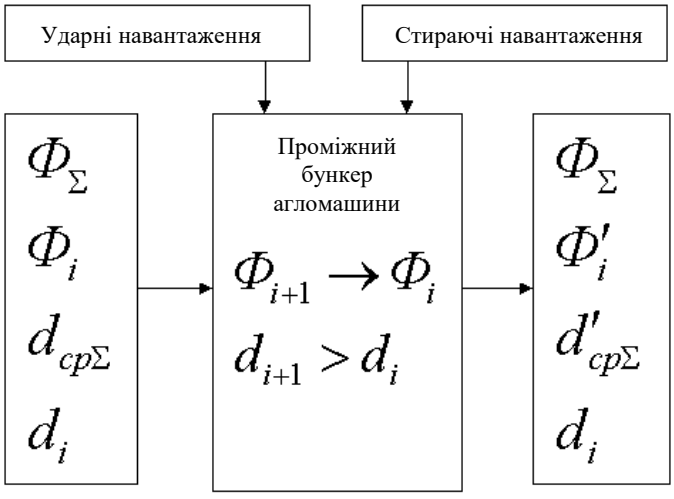


Рисунок 3.1 - Структурні зміни у масі сипкого матеріалу при русі через проміжний бункер агломашини



Рисунок 3.2 - Структурні зміни у масі сипкого матеріалу при формуванні шару на аглострічці

Уточнити та розширити розуміння механізму процесів, що протікають під час руху огрудкованої шихти трактом завантаження на аглострічку, рис. 3.3, дозволяє використання їх аналізу балансового методу [10]. Це створює теоретичні передумови для вибору раціональних режимів роботи спікального відділення аглофабрики, що забезпечить підвищення стабільності потоку матеріалу, що транспортується, і поліпшення його фізико-механічних властивостей.



Рисунок 3.3 - Механізм сегрегаційних явищ у процесі формування стаціонарного шару полідисперсного матеріалу

Незважаючи на конструктивні відмінності пристроїв дозування сипких матеріалів, протікають у них основні процеси, з достатньою достовірністю, характеризуються параметрами руху сипкого матеріалу площиною обмеженого розміру.

У процесі формування шару полідисперсного матеріалу під дією гравітаційних сил спостерігається нерівномірне розміщення складових його масу фракцій за висотою. Кожна фракція розподіляється залежно від її фізико-механічних характеристик та умов руху. Результати цього процесу у загальному вигляді характеризуються залежністю:

$$\Phi_{11} + \Phi_{21} + ... + \Phi_{k1} = \Phi_{1\Sigma},$$
$$\Phi_{12} + \Phi_{22} + ... + \Phi_{k2} = \Phi_{2\Sigma},$$
$$.....$$
$$\Phi_{1n} + \Phi_{2n} + ... + \Phi_{kn} = \Phi_{n\Sigma},$$

де Φ_{ij} - кількість матеріалу, що належить до і-ої фракції, який знаходиться у j-ій зоні шару, у відсотках від його загальної маси;

$\Phi_{j\Sigma}$ - загальна кількість матеріалу, який знаходиться у j-ій зоні шару, у відсотках від його загальної маси;

n - кількість зон у шарі шихты;

k - кількість фракцій.

Процес розподілу фракцій полідисперсного матеріалу по довжині укосу шару, що формується, з достатньою точністю описується рівнянням руху частинки сферичної форми по похилій поверхні [11].

Маса матеріалу, що утворює шар на конвеєрних машинах, і являє собою сукупність частинок, близьких до сферичної форми, у виробничих умовах рухається по поверхні завантажувального лотка і укосу шару, що формується під дією гравітаційних сил, рис. 3.4.

У зв'язку з тим, що ступінь розпушення сипкого матеріалу, що рухається по похилій площині, значна, цей потік слід розглядати як сукупність окремих часток, що вільно скочуються і зісковзують по поверхні завантажувального лотка.

Для визначення механізму взаємозв'язку доцільно використовувати закономірність руху сферичної частки з умовним діаметром похилої поверхні зі змінним кутом нахилу та тертям.

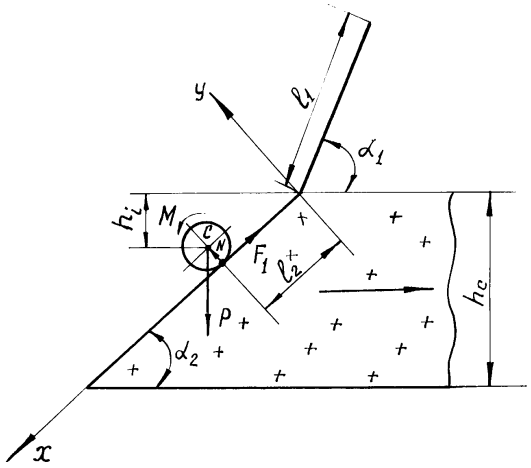


Рисунок 3.4 - Схема руху частинки по поверхні завантажувального лотка і укосу шару, що формується

Розглядаючи з достатнім наближенням окрему частку шихти як кулю, що вільно рухається по похилій площині, запишемо для неї диференціальне рівняння плоского руху [36]:

$$\left.\begin{aligned} \frac{P}{g}\frac{d^2X_c}{dt^2} &= P\sin\alpha - F_1 \\ \frac{P}{g}\frac{d^2Y_c}{dt^2} &= P\cos\alpha - N \\ J_z\frac{d^2\varphi}{dt^2} &= F_1R - M \end{aligned}\right\}, \qquad (3.1)$$

де X_c, Y_c - координати центру тяжіння частки, м;

R - радіус частки шихти, м;

P - сила тяжіння частки, Н;

N - нормальна реакція похилої площини, Н;

F_1 - сила тертя, Н;

φ - кут повороту частки, град;

α - кут нахилу площини руху частки, град;

J_z - момент інерції рухомого тіла відносно центральної вісі, перпендикулярної площині X0Y:

$$J_z = \rho^2 \frac{P}{g},$$

ρ - радіус інерції частки шихти, м;

M - момент тертя качіння, Нм:

$$M = P\cos\alpha Rf',$$

f' - коефіцієнт тертя качіння частки шихти по похилій площині.

Зовнішніми силами, прикладеними до частки, що рухається, є її сила тяжіння P, нормальна реакція N і сила тертя F_1.

У разі чистого кочення без ковзання точка дотику частинки з похилою площиною є миттєвим центром швидкостей. Позначаючи кутову швидкість частки через w, отримаємо:

$$V_c = Rw,$$

де V_c - швидкість руху центру тяжіння частки, м/с.

Звідси:

$$\frac{dX_c}{dt} = R\frac{d\varphi}{dt},$$

або

$$\frac{d^2X_c}{dt^2} = R\frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Враховуючи, що рух частки плоский ($\frac{d^2Y_c}{dt^2} = 0$), із системи рівнянь (3.1) находимо F_1:

$$F_1 = P(\mu \sin\alpha + f'\upsilon \cos\alpha), \qquad (3.2)$$

де μ - коэффициент формы частицы:

$$\mu = \frac{\rho^2}{\rho^2 + R},$$

для кулі μ=2/7, υ=5/7.

Підставляючи (3.2) у перше рівняння системи (3.1), отримаємо:

$$\frac{d^2 X_c}{dt^2} = g\upsilon(\sin\alpha - f'\cos\alpha). \qquad (3.3)$$

Інтегруючи праву та ліву частини рівняння (3.3), визначимо миттєву швидкість руху частинки по похилій площині

$$\frac{dX_c}{dt} = g\upsilon(\sin\alpha - f'\cos\alpha)t + V_0, \qquad (3.4)$$

де V_0 - початкова швидкість руху частки, м/с.

Визначимо довжину шляху руху окремої частки шихти

$$X_c = \frac{1}{2} g\upsilon(\sin\alpha - f'\cos\alpha)t^2 + V_0 t. \qquad (3.5)$$

При відомій довжині шляху руху частки по похилій площині, $X_c = l$, розв’язання щодо t має вигляд:

$$g\upsilon(\sin\alpha - f'\cos\alpha)t^2 + V_0 t - 2l = 0, \qquad (3.6)$$

Звідки час качіння частки по похилій площині:

$$t_1 = \frac{-2V_0 + \sqrt{4V_0^2 + 8g\upsilon(\sin\alpha - f'\cos\alpha)l}}{2g\upsilon(\sin\alpha - f'\cos\alpha)}. \qquad (3.7)$$

Підставляючи значення t_1 в (3.4), знаходимо кінцеву швидкість кочення частинки по похилій площині завдовжки l:

$$V = \sqrt{2gl\upsilon(\sin\alpha - f'\cos\alpha) + V_0^2}. \qquad (3.8)$$

Розглянутий випадок чистого кочення частинки по похилій поверхні може мати місце лише при виконанні умови:

$$P(\mu\sin\alpha + f'\upsilon\cos\alpha) \le Pf\cos\alpha, \qquad (3.9)$$

де f - коефіцієнт тертя ковзання частинки по похилій поверхні.

Перетворюючи рівняння (3.9), отримаємо:

$$tg\alpha < \frac{f - f'\upsilon}{\mu}. \qquad (3.10)$$

У режимі рівноприскореного руху $\frac{d^2X_c}{dt^2} > 0$, тоді із (3.3) виходить, що:

$$f' < tg\alpha. \qquad (3.11)$$

З урахуванням умов (3.10) та (3.11) режим чистого кочення кулі по похилій площині може відбуватися за умови дотримання умови:

$$f' < tg\alpha < \frac{f - f'\upsilon}{1-\upsilon}. \qquad (3.12)$$

Якщо $tg\alpha > \frac{f - f'\upsilon}{1-\upsilon}$, то кочення тіла по похилій площині супроводжується ковзанням і величина сили тертя його поверхнею руху визначається законом Кулона:

$$F_1 = Nf = Pf\cos\alpha . \qquad (3.13)$$

У цьому випадку система рівнянь (3.1) набуває вигляду

$$\frac{d^2X_c}{dt^2} = g(\sin\alpha - f\cos\alpha),$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{gR}{\rho^2}\cos\alpha(1 - f')$$

За відомої довжини площини руху частинок l, її кінцева швидкість визначається аналогічно (3.8)

$$V = \sqrt{2gl(\sin\alpha - f\cos\alpha) + V_0^2}$$

При переміщенні сферичної частки складною поверхнею, що складається з двох похилих площин з різними кутами нахилу, можливі кілька режимів її руху, таблиця 3.1.

Для випадку чистого кочення частки шихти поверхнею завантажувального лотка і укосу матеріалу кінцева швидкість руху частинки складе:

$$V = \sqrt{2gl_2\upsilon(\sin\alpha_2 - f_2'\cos\alpha_2) + 2gl_1\upsilon(\sin\alpha_1 - f_1'\cos\alpha_1) + V_0^2}\ , \qquad (3.14)$$

де f_1', f_2' - коефіцієнт тертя кочення по поверхні завантажувального лотка та укосу матеріалу;

l_1, l_2 - шлях, пройдений часткою по поверхні завантажувального лотка та поверхні укосу матеріалу, м.

Таблиця 3.1 - Режими руху частинки по складній поверхні

Поверхня завантажувального лотка	Режим руху	Чисте кочення	Кочення зі ковзанням	Чисте кочення	Кочення зі ковзанням
Поверхня укосу шару	Режим руху	Чисте кочення	Чисте кочення	Качення зі ковзанням	Качення зі ковзанням

Зважаючи на те, що висота падіння часток шихти з робочого органу живильника на завантажувальний лоток незначна, можна вважати початкову швидкість руху частки рівною нулю. Для визначення положення різних фракцій шихти в шарі необхідно розрахувати довжину шляху, що проходить і-ю частинкою матеріалу по поверхні укосу шару, що формується. Ця умова відповідає моменту зупинки окремої частинки на поверхні укосу. Тоді:

$$2gl_{2i}\upsilon(\sin\alpha_2 - f_2'\cos\alpha_2) + 2gl_1\upsilon(\sin\alpha_1 - f_1'\cos\alpha_1) = 0. \qquad (3.15)$$

Розв'язання (3.15) щодо l_{2i} має вигляд:

$$l_{2i} = \frac{l_1(\sin\alpha_1 - f_{1i}'\cos\alpha_1)}{f_{2i}'\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2}. \qquad (3.16)$$

При русі окремої частинки по похилій поверхні завантажувального лотка в режимі чистого кочення її швидкість визначається розміром гранули:

$$V_{ki} = \sqrt{2gl_1\upsilon(\sin\alpha_1 - f_{1i}'\cos\alpha_1) + V_0^2}. \qquad (3.17)$$

Різниця кінцевих швидкостей руху різних частинок визначається виразом:

$$V_{k1} - V_{k2} = \sqrt{2gl_1\upsilon(\sin\alpha_1 - f'_{11}\cos\alpha_1) + V_0^{\,2}} - \sqrt{2gl_1\upsilon(\sin\alpha_1 - f'_{12}\cos\alpha_1) + V_0^{\,2}}, \quad (3.18)$$

де f'_{11}, f'_{12} - коефіцієнти тертя кочення великої та дрібної фракцій матеріалу по поверхні завантажувального лотка.

Кінцева швидкість руху окремої частинки завантажувального лотка прямо пропорційна куту його нахилу (3.17) і дорівнює нулю при значенні кута $\alpha_1 = arctgf'_{11}$. При досягненні кутом нахилу завантажувального лотка значення $\alpha_1 = 90^o$, різниця швидкостей руху фракцій полідисперсного матеріалу стає рівною нулю. Аналогічна картина спостерігається і при зменшенні кута α_1 до значення, що дорівнює $arctgf'_{11}$. Максимальне значення різниці швидкостей руху фракцій спостерігається при $\alpha_1 = arctgf'_{12}$.

Таким чином, з аналізу (3.18) випливає, що швидкість руху частинок похилої поверхні в режимі чистого кочення залежить від їх розміру і кута нахилу площини руху. Ступінь поділу часток різного розміру за швидкістю їх сходу із завантажувального лотка має екстремум при $\alpha_1 = arctgf'_{12}$. У процесі руху великі фракції матеріалу захоплюють дрібні, і переміщення останніх відбуватиметься так само і при $\alpha_1 < arctgf'_{12}$. Тому, з урахуванням різної висоти шару, що формується, і фізико-механічних властивостей завантажуваної маси матеріалу, оптимальний кут нахилу завантажувального лотка, в умовах чистого кочення по його поверхні, знаходиться в межах:

$$arctgf'_{11} < \alpha_{опт} < arctgf'_{12}.$$

При куті нахилу завантажувального лотка, що відповідає умові $tg\alpha_1 > \frac{f - f'\upsilon}{1-\upsilon}$, частка рухається по його поверхні в режимі кочення зі ковзанням. У цьому випадку рівняння, що характеризує кінцеву швидкість руху частки, має вигляд:

$$V_i = \sqrt{2gl_{2i}\upsilon(\sin\alpha_2 - f'_{2i}\cos\alpha_2) + 2gl_1(\sin\alpha_1 - f_1\cos\alpha_1) + V_0^2}, \qquad (3.19)$$

де f_1 - коефіцієнт тертя ковзання частинки на поверхні завантажувального лотка.

Вирішуючи (3.19) щодо шляху частки по укосу l_{2i}, за умови рівності нулю початкової швидкості, отримаємо:

$$l_{2i} = \frac{l_1(\sin\alpha_1 - f_{1i}\cos\alpha_1)}{\upsilon(f'_{2i}\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2)}. \qquad (3.20)$$

При русі частинок похилою поверхні в режимі кочення зі ковзанням поділ їх за швидкістю в кінці руху не відбувається. Це пояснюється тим, що основний вплив на рух надає коефіцієнт тертя ковзання, величина якого від розміру частинок, що рухаються, не залежить, а визначається вмістом вологи в сипучому матеріалі. У процесі руху частинок по поверхні укосу шару, що формується, відбуватиметься його сегрегація, обумовлена поділом рухомої маси на окремі фракції. Однак, враховуючи, що швидкість фракції при її сході з завантажувального лотка однакова, процес поділу полідисперсного матеріалу буде менш інтенсивним, ніж в умовах чистого кочення частинок завантажувального лотка.

Для випадку, коли кут нахилу завантажувального лотка відповідає умові (3.12), а нахил поверхні укосу матеріалу забезпечує рух окремої частинки по його поверхні, що відповідає коченню зі ковзанням, кінцева швидкість руху сферичної частки складе:

$$V_i = \sqrt{2gl_{2i}\upsilon(\sin\alpha_2 - f_{2i}\cos\alpha_2) + 2gl_1(\sin\alpha_1 - f'_{1i}\cos\alpha_1) + V_0^2}, \qquad (3.21)$$

де f_{2i} - коефіцієнт тертя ковзання частинки по поверхні укосу матеріалу.

Довжина шляху, пройденого часткою по поверхні укосу шару, що формується, описується залежністю:

$$l_{2i} = \frac{l_1 \upsilon(\sin\alpha_1 - f'_{1i}\cos\alpha_1)}{f_{2i}\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2}. \qquad (3.22)$$

При сході з завантажувального лотка, швидкість кочення часток визначається їх розмірами, тому, при подальшому русі по поверхні укосу шару, що формується, коли $f_{2i} = const$, маса полідисперсного матеріалу буде розподілятися по довжині укосу в залежності від кінетичної енергії, придбаної окремими частинками в процесі їх руху по поверхні завантажувального лотка.

При значеннях кутів α_1 і α_2, які перевищують величини, що визначаються умовою (3.9), сферична частка рухається по поверхнях завантажувального лотка і укосу сипкого матеріалу в режимі кочення зі ковзанням. Кінцева швидкість її руху характеризується залежністю:

$$V_i = \sqrt{2gl_{2i}\upsilon(\sin\alpha_2 - f_{2i}\cos\alpha_2) + 2gl_1(\sin\alpha_1 - f_{1i}\cos\alpha_1) + V_0^2}. \qquad (3.23)$$

Шлях, пройдений окремою частинкою по поверхні укосу шару, що формується, описується рівнянням:

$$l_{2i} = \frac{l_1(\sin\alpha_1 - f_{1i}\cos\alpha_1)}{f_{2i}\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2}. \qquad (3.24)$$

Оскільки величини f_1 і f_2 від розмірів частинок не залежать, то при даному режимі руху матеріалу, сегрегація за фракціями у процесі формування шару буде незначною. Істотно зростає вплив коливань вологості матеріалу та її розподіл за фракціями на процес формування шару, так як згідно [12], основний вплив на величину коефіцієнта тертя ковзання надає вологість.

У виробничих умовах кут нахилу поверхні укосу шару шихти, що формується, не перевищує 45^0 [12]. Тому режиму руху частинок укосу відповідає умова чистого кочення без ковзання. Завантажувальний лоток зазвичай знаходиться під кутом, що перевищує 45^0 і частка може рухатися поверхнею як в режимі чистого кочення, так і кочення зі ковзанням. З урахуванням зазначених вище особливостей процесу завантаження шихти на спікальні візки агломашин, отримані два рівняння, що характеризують розподіл частинок по висоті шару, що формується:

$$h_i = \frac{l_1(\sin\alpha_1 - f'_{1i}\cos\alpha_1)\sin\alpha_2}{f'_{2i}\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2}, \qquad (3.25)$$

$$h_i = \frac{l_1(\sin\alpha_1 - f_{1i}\cos\alpha_1)\sin\alpha_2}{\upsilon(f'_{2i}\cos\alpha_2 - \sin\alpha_2)}, \qquad (3.26)$$

де h_i - положення і-й частки у шарі щодо його поверхні, м;

α_1, α_2 - кути нахилу завантажувального лотка та поверхні укосу шару, град;

f'_{1i} - коефіцієнт тертя кочення частинки по поверхні завантажувального лотка;

f_{1i} - коефіцієнт тертя ковзання частинки по поверхні завантажувального лотка;

f'_{2i} - коефіцієнт тертя кочення частинки по поверхні укосу шару.

Рівняння (3.25) відповідає режиму кочення частки шихти поверхнею завантажувального лотка і укосу матеріалу на аглострічці. Залежність (3.26) характеризує розподіл частинок шихти в шарі при їх коченні зі ковзанням по завантажувальному лотку і чистому коченню по поверхні укосу шару, що формується.

3.2 Адаптація алгоритму розрахунку теоретичного розподілу частинок агломераційної шихти за висотою шару на аглострічці до реальних умов його формування

В умовах монотонної зміни середнього діаметра частинок полідисперсного матеріалу по висоті шару, характерного для агломераційного виробництва, значення може бути прирівняно до середнього діаметра частинок шихти, розташованих на j-му горизонті шару.

При русі полідисперсного матеріалу за складною похилою площиною в технологічній системі «завантажувальний лоток - укіс стаціонарного шару матеріалу» окремі частинки в потоці взаємодіють між собою, що викликає відхилення закономірності їхнього розподілу в шарі від отриманої розрахунковим шляхом [13].

При значеннях кута нахилу завантажувального лотка, що перевищують кут природного укосу сипкого матеріалу, великі фракції шихти будуть накопичуватися в нижній половині. Цей процес викликає порушення розрахованого згідно (3.26) розподілу фракцій сипкого матеріалу за висотою шару. Середній діаметр частинок шихти, що знаходяться в нижній частині шару, перевищуватиме його розрахункове значення. Коли кут нахилу завантажувального лотка досягне кута тертя дрібної фракції полідисперсного матеріалу, плинність сипучої маси, що рухається, зросте, що призведе до зниження її сегрегації за фракційним складом. В результаті полідисперсний матеріал буде розподілятися по висоті шару, що формується без істотної сегрегації, що сприяє збереженню його вихідної структури.

При невеликих кутах нахилу завантажувального лотка, що приблизно збігаються з кутом природного укосу маси сипкого матеріалу, частина дрібних фракцій, які раніше захоплювалися в нижню половину шару великими частинками, затримується в його верхніх горизонтах, що також призводить до порушення розрахункової залежності (3.26).

При зменшенні кута нахилу завантажувального лотка до значення, що відповідає куту укосу великої фракції, умови руху сипучої маси зміняться. Рухливість сипкого матеріалу, що рухається, знизиться, що призведе до зміни механізму його руху і зниження сегрегації складових фракцій.

Таким чином, в процесі монотонного збільшення кута нахилу завантажувального лотка сегрегаційні явища в полідисперсному матеріалі буде збільшуватися, а після досягнення певного значення почнуть знижуватися. В результаті цього взаємозв'язок між кутом нахилу площини завантажувального лотка і рівнем сегрегації набуде екстремального характеру.

Врахувати зазначені особливості процесу формування шару полідисперсного матеріалу в умовах непостійності фізико-механічних властивостей фракцій, що його складають, можна двома способами.

У першому випадку необхідно визначити реальні значення коефіцієнтів тертя різних фракцій матеріалу, що завантажується стосовно конкретних умов роботи технологічного обладнання. У загальному випадку зв'язок реального коефіцієнта тертя сипкого матеріалу з коефіцієнтом тертя окремої частки характеризується залежністю:

$$f_{pi} = f_{чi} + \mathrm{C_i}, \qquad (3.27)$$

де f_{pi} - реальний коефіцієнт тертя фракції, що рухається в потоці;

$f_{чi}$ - коефіцієнт тертя окремої частки матеріалу;

$\mathrm{C_i}$ - коефіцієнт зчеплення між частинками матеріалу, що рухаються в потоці.

Для частинок огрудкованої агломераційної шихти залежність $f_1' = f(d_i)$ описується рівнянням виду [13]:

$$f_1' = \frac{a_1}{d_i} + b_1, \qquad (3.28)$$

де a_1, b_1 - експериментальні коефіцієнти;

d_i - діаметр часток шихты, мм.

Значення коефіцієнтів рівняння (3.28) визначено методом найменших квадратів на основі експериментальних даних і склали $a_1 = 1{,}1$, $b_1 = 0{,}22$. Середньоквадратична похибка між експериментальними та розрахунковими значеннями f_1' не перевищує 0,03.

Для визначення коефіцієнта тертя кочення гранул по поверхні маси агломераційної шихти використана особливість поведінки незв'язного сипкого матеріалу: якщо його помістити в ємність, а потім повільно, без різких поштовхів, прибрати бічні стінки, то матеріал почне рухатися, яке буде продовжуватися доти, доки кут нахилу бокової шихти [9, 13]:

$$\alpha_{TP} = arctg \frac{2H}{D-d},$$

де α_{TP} - кут нахилу бічної поверхні усіченого конуса, град;

H - висота конуса сипкого матеріалу, що утворився, м;

D - діаметр нижньої основи конуса, м;

d - діаметр верхньої основи конуса, м.

Отримана з використанням цієї методики залежність коефіцієнта тертя кочення f_2' від діаметра частинок шихти характеризується рівнянням [13]:

$$f_2' = \frac{1{,}1}{d_i} + 0{,}48 .$$

У процесі руху маси полідисперсного матеріалу в системі «живильник – завантажувальний лоток – укіс шару» окремі частинки в потоці взаємодіють між собою, що викликає відхилення їхньої поведінки від отриманих розрахунковим шляхом закономірностей. Великі частинки, втрачаючи частину кінетичної енергії при зіткненні з дрібними, затримуватимуться на більш високих горизонтах по відношенню до розрахункового положення. Дрібні фракції матеріалу, у свою чергу, під впливом руху великих частинок будуть переміщатися на великі відстані, ніж розраховано відповідно до моделі. У

зв'язку з тим, що процес взаємодії окремих частинок у потоці, що рухається, схильний до значного впливу випадкових неконтрольованих впливів, реальні значення коефіцієнтів тертя можуть бути визначені лише експериментально, для конкретних умов формування структури сипкого матеріалу. Отримані значення коефіцієнтів зовнішнього та внутрішнього тертя, у зв'язку із зазначеними вище особливостями руху потоку матеріалу, завжди перевищуватимуть аналогічні значення коефіцієнтів тертя, отриманих експериментально окремих частинок.

Для визначення залежності $f_2' = f(d_i)$ в реальних умовах процесу завантаження матеріалу на аглострічку рівняння руху окремої сферичної частинки по похилій площині [5] вирішені щодо f_2'.

Для випадку чистого кочення частинки по поверхні завантажувального лотка і укосу шару, що формується, залежність $f_2' = f(d_i)\, f_2' = f(l_1, d_i, \alpha_i)$ має вигляд:

$$f_2' = tg\alpha_2 \left(\frac{l_1 (\sin\alpha_1 - f_1' \cos\alpha_1)}{h_i} + 1 \right), \qquad (3.29)$$

де h_i - положення і-ї частинки у шарі матеріалу, м;

l_1 - довжина завантажувального лотка, м;

α_1 - кут нахилу завантажувального лотка, град;

α_2 - кут нахилу поверхні укосу шару, град.

Величина коефіцієнта тертя кочення частинок сферичної форми по поверхні полідисперсного матеріалу, при їх кочуванні зі ковзанням по завантажувальному лотку і чистому коченню по укосу шару, що формується, описується рівнянням:

$$f_2' = tg\alpha_2 \left(\frac{l_1 (\sin\alpha_1 - f_1' \cos\alpha_1)}{\nu h_i} + 1 \right), \qquad (3.30)$$

де ν - коефіцієнт форми частки.

Залежності (3.29) та (3.30) використані для розрахунку на основі експериментально отриманих даних коефіцієнтів тертя кочення f'_{2p} та сил зчеплення для частинок агломераційної шихти, що завантажуються на аглострічку за допомогою барабанного та вібраційного живильників, табл. 3.2. Як показує їх аналіз, використання завантаження шихти на аглострічку вібраційних живильників послаблює взаємні зв'язки між окремими частинками сипучої маси. Це призводить до зменшення значення C_i в діапазоні зміни діаметрів частинок 0 – 4 мм порівняно з умовами завантаження матеріалу барабанним живильником. Для частинок агломераційної шихти розміром більше 4 мм коефіцієнт сили зчеплення C_i практично не залежить від типу живильника, що завантажує його на аглострічку. Визначений експериментально для умов завантаження шихти барабанним живильником коефіцієнт зчеплення C_i може бути розрахований за формулою:

$$\begin{aligned} C_i = & -0.0002424354\,762 d_i^{\,9} + 0.0127504693\,6 d_i^{\,8} - 0.2890827502\, d_i^{\,7} + \\ & + 3.694387426\, d_i^{\,6} - 29.20044172\, d_i^{\,5} + 147.3733299\, d_i^{\,4} - \\ & - 473.6898133\, d_i^{\,3} + 940.286962\, d_i^{\,2} - 1080.098832\, d_i + 602.470982. \end{aligned} \qquad (3.31)$$

При завантаженні вібраційним живильником:

$$\begin{aligned} C_i = & -0.0000562\,8307291 d_i^{\,9} + 0.002967410\,917 d_i^{\,8} - 0.067499012\,14 d_i^{\,7} + \\ & + 0.866475743\,2\, d_i^{\,6} - 6.89155729\,2 d_i^{\,5} + 35.0970991\,4 d_i^{\,4} - \\ & - 114.347873\,2 d_i^{\,3} + 231.804966\,7 d_i^{\,2} - 275.426525\,7 d_i + 163.616002\,4. \end{aligned} \qquad (3.32)$$

Чутливість залежності $C_i = f(d_i)$ при значеннях $d_i < 4$ мм до типу завантажувального пристрою пояснюється тим, що одночасно з тертям кочення спостерігається значне за величиною тертя ковзання, що зростає зі зменшенням розміру частинок, що рухаються. При збільшенні діаметра гранул понад

значення 4 мм форма окремих часток стає досить близькою до сферичної, що призводить до практично повного зникнення ковзання при русі окремих гранул.

Другий спосіб передбачає використання в процесі моделювання структури шару полідисперсного матеріалу додаткової умови, зокрема балансу гранулометричного складу сипкого матеріалу, що завантажується на аглострічку, і після його укладання на спікальні візки [13].

Як показали результати аналізу експериментально отриманих даних, у процесі формування шару полідисперсного сипкого матеріалу на аглострічці величини ударних та стираючих навантажень на окремі частинки незначні, тому при завантаженні агломераційної шихти на аглострічку зміни її фракційного складу не спостерігаються.

Згідно з балансом сипкого матеріалу, що надходить, і шихти, що знаходиться на аглострічці, умовні середні діаметри частинок, що складають їх маси, повинні бути рівні.

Таблиця 3.2 - Фізико-механічні характеристики шихти аглофабрики

d_i, мм	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Барабанний живильник									
f_2'	1,58	1,03	0,847	0,755	0,7	0,663	0,637	0,618	0,602	0,59
f_{2p}'	112,14	41,07	17,38	5,535	2,934	2,445	2,096	1,834	1,63	1,467
C	110,56	40,04	16,533	4,78	2,234	1,782	1,459	1,216	1,028	0,877
	Вібраційний живильник									
f_2'	1,58	1,03	0,847	0,755	0,7	0,633	0,637	0,618	0,602	0,59
f_{2p}'	36,324	14,799	7,654	4,0815	2,934	2,445	2,096	1,834	1,63	1,467
C	34,654	13,769	6,807	3,327	2,234	1,782	1,459	1,216	1,028	0,877

Вихідний матеріал, що надходить у завантажувальний вузол, характеризується наступним рівнянням:

$$\Phi_1 + \Phi_2 + ... + \Phi_n = \Phi_\Sigma,$$
$$d_1\Phi_1 + d_2\Phi_2 + ... + d_n\Phi_n = d_{cp}\Phi_\Sigma,$$

де Φ_i - вміст і-й фракції у сипкому матеріалі;

d_i - середній діаметр і-й фракції сипкого матеріалу, мм;

d_{cp} - середній діаметр матеріалу, мм.

Після моделювання структурних змін отримуємо:

$$\Phi'_1 + \Phi'_2 + ... + \Phi'_n = \Phi_\Sigma,$$
$$d_1\Phi'_1 + d_2\Phi'_2 + ... + d_n\Phi'_n = d_{cp}\Phi_\Sigma,$$

де Φ'_i - вміст і-й фракції у сипучому матеріалі після структурних змін, %.

Невраховані фактори формування структури шару спричинять появу похибки моделювання:

$$\Delta\Phi_1 = \Phi_1 - \Phi'_1,$$
$$\Delta\Phi_2 = \Phi_2 - \Phi'_2,$$
$$...$$
$$\Delta\Phi_n = \Phi_n - \Phi'_n.$$

В цілому:

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta\Phi_i = 0.$$

Знак і величина $\Delta\Phi_i$ характеризують зміну закономірності розподілу і-ї фракції по висоті шару матеріалу, що формується. Приймаючи, що зміна кількості і-ї фракції висотою шару матеріалу має монотонний характер, можемо розрахувати реальні значення Φ_i.

Аналітично поставлена задача може бути вирішена тільки для двокомпонентної сипучої суміші. Вихідні дані для розрахунку параметрів 2-х зонного шару мають такий вигляд:

$$
\begin{aligned}
&\Phi_{11} + \Phi_{21} = \Phi_{1\Sigma},\\
&\Phi_{12} + \Phi_{22} = \Phi_{2\Sigma},\\
&d_1\Phi_{11} + d_2\Phi_{21} = d_{cp1}\Phi_{1\Sigma},\\
&d_1\Phi_{12} + d_2\Phi_{22} = d_{cp2}\Phi_{2\Sigma},\\
&\Phi_{11} + \Phi_{12} = \Phi_1,\\
&\Phi_{21} + \Phi_{22} = \Phi_2.
\end{aligned}
$$

Відповідно до вихідних умов формування шару полідисперсного матеріалу під дією гравітаційних сил $d_{cp1} < d_{cp2}$. Одночасно можемо записати умову рівності суми середніх діаметрів частинок шихти на заданих горизонтах шару та всієї сипучої маси $d_{cp\Sigma}$.

$$d_{cp1}\Phi_{1\Sigma} + d_{cp2}\Phi_{2\Sigma} = d_{cp\Sigma}\Phi_{\Sigma}.$$

Приймаючи, що $\Phi_{1\Sigma} = \Phi_{2\Sigma} = \Phi_{\Sigma}/2$, отримаємо:

$$d_{cp1} + d_{cp2} = 2d_{cp\Sigma}.$$

Аналізуючи отримані співвідношення, отримуємо такі ситуації, характерні для реальних умов формування шару полідисперсного матеріалу:

1. $d_{cp1} = d_{cp2} = d_{cp\Sigma}$ - сегрегація відсутня;
2. $d_{cp1} + d_{cp2} > 2d_{cp\Sigma}$ - підвищенна сегрегація;
3. $d_{cp1} + d_{cp2} < 2d_{cp\Sigma}$ - знижена сегрегація.

Необхідні для пошуку реальних умов сегрегації значення d''_{cpi} вибираються на основі порівняння результатів розрахунку $d'_{cp\Sigma}$ та вихідних даних $d_{cp\Sigma}$.

Якщо $d_{cp\Sigma} > d'_{cp\Sigma}$, це означає, що необхідно зменшити величину d'_{cp2} і збільшити d'_{cp1} в порівнянні з розрахунковими значеннями.

Для випадку, коли $d_{cp\Sigma} < d'_{cp\Sigma}$, необхідно збільшити d'_{cp2} і зменшити d'_{cp1} в порівнянні з розрахунковими значеннями.

Нові значення d''_{cpi} вибираються з урахуванням умов:

$$\begin{aligned} &d'_{cp1} + d'_{cp2} = 2d_{cp\Sigma}, \\ &d_1 < d'_{cp1} < d_{cp\Sigma}, \\ &d_2 > d'_{cp2} > d_{cp\Sigma}. \end{aligned}$$

Обравши нові значення d''_{cp1} и d''_{cp2}, проводимо для кожного підшару перевірку їх відповідності вихідним даним на основі залежностей:

$$\begin{aligned} &\Phi'_{11} + \Phi'_{21} = \Phi_{1\Sigma}, \\ &d_1\Phi'_{11} + d_2\Phi'_{21} = d''_{cp1}\Phi_{1\Sigma}. \end{aligned} \qquad (3.35)$$

Із (3.35) визначаємо значення Φ'_{11} и Φ'_{21}:

$$\Phi'_{11} = \Phi_{1\Sigma} - \Phi'_{21}.$$

Тоді:

$$d_1\left(\Phi_{1\Sigma} - \Phi'_{21}\right) + d_2\Phi'_{21} = d''_{cp1}\Phi_{1\Sigma}.$$

Звідси:

$$\Phi'_{21} = \frac{\Phi_{1\Sigma}\left(d''_{cp1} - d_1\right)}{d_2 - d_1}$$

Таким же чином визначається значення Φ_{ij} для другого підшару:

$$\begin{aligned} &\Phi'_{12} = \Phi_{2\Sigma} - \Phi'_{22}, \\ &\Phi'_{22} = \frac{\Phi_{2\Sigma}\left(d''_{cp2} - d_1\right)}{d_2 - d_1}. \end{aligned}$$

Визначивши значення Φ_{ij}, проводимо перевірку правильності вибраних значень d''_{cp1} та d''_{cp2}. За їх адекватності вихідним даним сума окремих фракцій у шарі буде відповідати їх змісту у вихідному матеріалі:

$$\Phi'_{11} + \Phi'_{12} = \Phi_1,$$
$$\Phi'_{21} + \Phi'_{22} = \Phi_2,$$
$$\Phi_1 + \Phi_2 = \Phi_\Sigma.$$

Якщо ця умова не виконується, необхідно змінити значення d''_{cp1} і d''_{cp2} в заданому напрямку та повторно виконати розрахунок та перевірку їхньої адекватності.

Таким чином, у покроковому режимі розрахунку визначаються значення $\Phi'_{11}, \Phi'_{12}, \Phi'_{21}, \Phi'_{22}$, що відповідають вихідним характеристикам сипкого матеріалу. Надалі, за аналогічною методикою розраховуються середні діаметри фракцій шихти окремих горизонтів сипучої маси всередині кожної із зон шару. В результаті розрахунковим шляхом визначається закономірність розподілу d_{cpi} за висотою шару, що відповідає реальним умовам його формування. Введення корекції, що враховує вплив фізико-механічних властивостей сипкого матеріалу, дозволяє значно підвищити точність моделювання процесу сегрегації полідисперсних матеріалів.

Програма розрахунку розподілу частинок висотою шару наведено у додатку 4. На рис. 3.5 та 3.6 наведено приклади розрахунку розподілу частинок за висотою шару для умов підприємства «Запоріжсталь». Пунктиром позначено розрахункову залежність до корекції, суцільною лінією – залежність після корекції, точками позначені експериментальні дані. У середньому середньоквадратичне відхилення склало: для барабанного живильника 0,271 (без корекції), 0,095 (з корекцією), для вібраційного живильника 0,454 (без корекції), 0,021 (з корекцією).

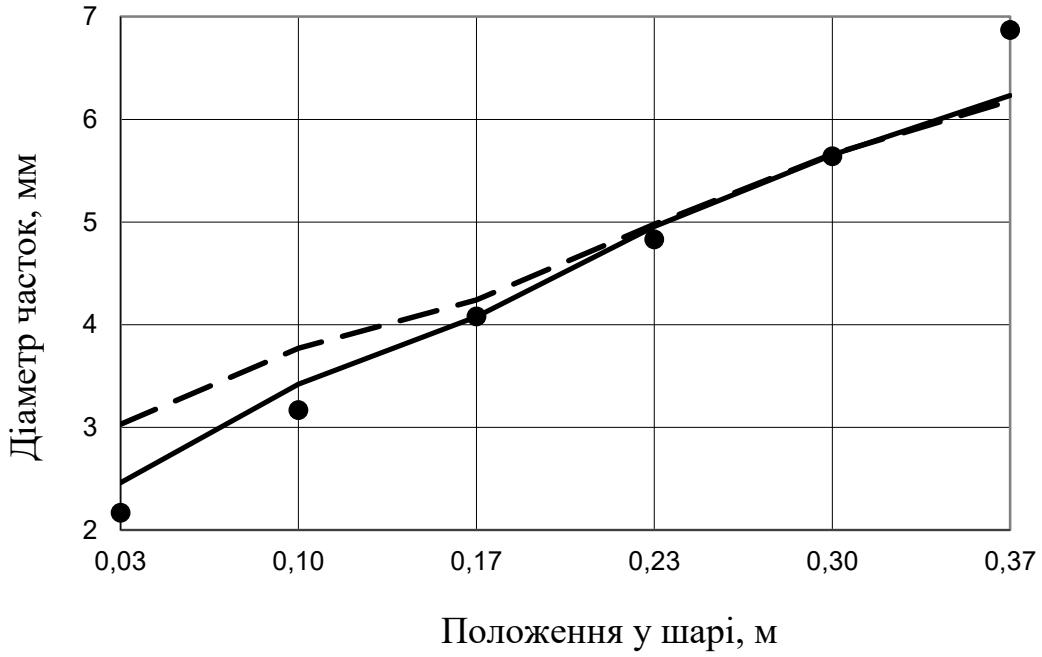


Рисунок 3.5 – Розподіл середнього діаметра частинок за висотою шару при завантаженні барабанним живильником

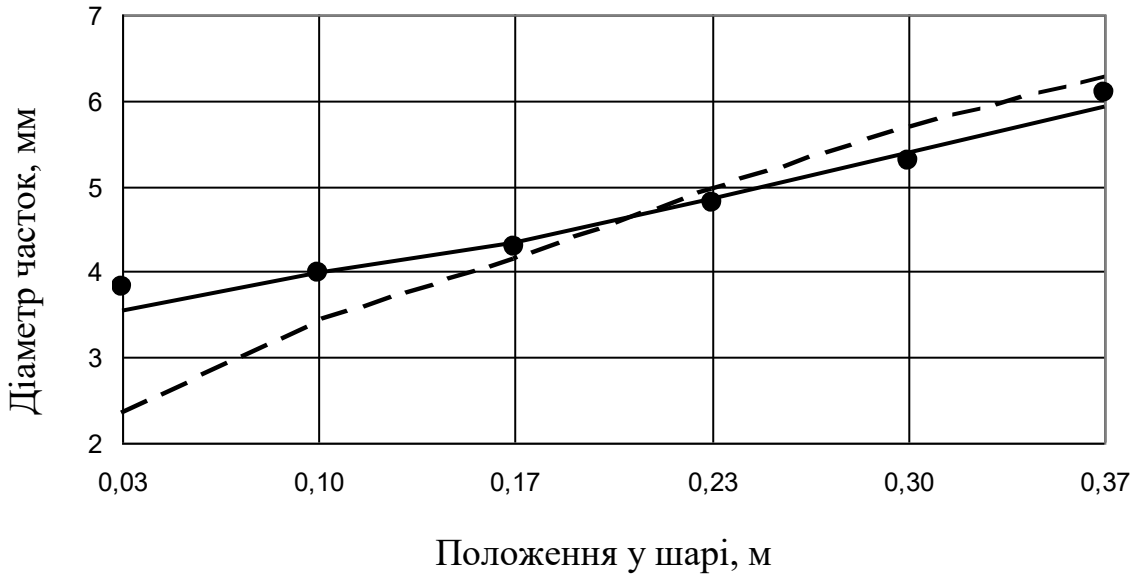


Рисунок 3.6 – Розподіл середнього діаметра частинок за висотою шару при завантаженні вібраційним живильником

3.3 Висновки до розділу 3

1. Використання балансового методу для аналізу процесів, що протікають під час руху огрудкованої шихти трактом завантаження на аглострічку, дозволяє уточнити їх механізм та створює теоретичні передумови для вибору раціональних режимів роботи технологічного обладнання аглофабрик.

2. Для визначення механізму розподілу фракцій агломераційної шихти по висоті шару, що формується, використані закономірності руху сферичної частинки по похилій поверхні зі змінним кутом нахилу і тертям.

3. Для характеристики взаємодії між окремими частинками при русі шихти по складній похилій поверхні в технологічній системі «завантажувальний лоток – укіс стаціонарного шару матеріалу» у роботі запропоновано використовувати коефіцієнт зчеплення в потоці Сі, що дозволяє врахувати вплив типу завантажувального пристрою на умови формування шару.

4. Використання для завантаження шихти на аглострічку вібраційних живильників послаблює зв'язок між окремими частинками в потоці. Це призводить до зменшення коефіцієнта зчеплення Сі у діапазоні зміни діаметрів частинок 0-4 мм порівняно з умовами завантаження матеріалу барабанним живильником. Для частинок шихти розміром понад 4 мм величина Сі практично не залежить від типу живильника.

5. Порівняння результатів моделювання з експериментальними даними дозволили зробити висновок про те, що основний вплив на закономірності формування фізико-механічних властивостей шару полідисперсного матеріалу надають його фракційний склад, особливості завантажувального пристрою і найбільшою мірою тип дозатора, кут нахилу і довжина завантажувального лотка.

6. У процесі формування шару полідисперсного матеріалу на аглострічці вплив ударних та стиральних навантажень на окремі частинки незначно, що дозволяє при моделюванні цього процесу їх не враховувати.

7. На основі встановлених закономірностей формування структури шару полідисперсного матеріалу теоретично обґрунтовано метод ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти в кожному з горизонтів з урахуванням сегрегації при завантаженні.

4 УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛОМ КЛАСІВ КРУПНОСТІ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ ЗА ВИСОТОЮ ШАРУ НА АГЛОСТРІЧЦІ ПРИ РІЗНИХ УМОВАХ ЗАВАНТАЖЕННЯ

4.1 Визначення гранулометричних характеристик агломераційної шихти в різних горизонтах шару на аглострічці з урахуванням її сегрегації при завантаженні

При завантаженні агломераційної шихти на аглострічку спостерігається сегрегація частинок матеріалу по висоті шару, яка впливає на такі його найважливіші параметри, як газопроникність та розподіл палива в ньому.

Механізм сегрегації та алгоритм моделювання розподілу частинок по висоті шару на аглострічці описані в розділі 3. Однак запропонована методика дає можливість визначити тільки середній діаметр частинок матеріалу в кожному з горизонтів шару, але не дозволяє знайти зміст кожного з класів крупності в заданому горизонті.

Завдання знаходження розподілу класів крупності агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці можна звести до завдання розрахунку фракційного складу сипкого матеріалу без сегрегації. Для цього, необхідно розглядати шар шихти на аглострічці як сукупність горизонтів, фракційний склад яких можна визначити незалежно від інших згідно з методикою, описаною в розділі 2.

Таким чином, спільне використання моделей, описаних у розділах 2 і 3 (рис. 4.1), дає можливість визначити розподіл класів крупності по висоті шару агломераційної шихти по аглострічці.

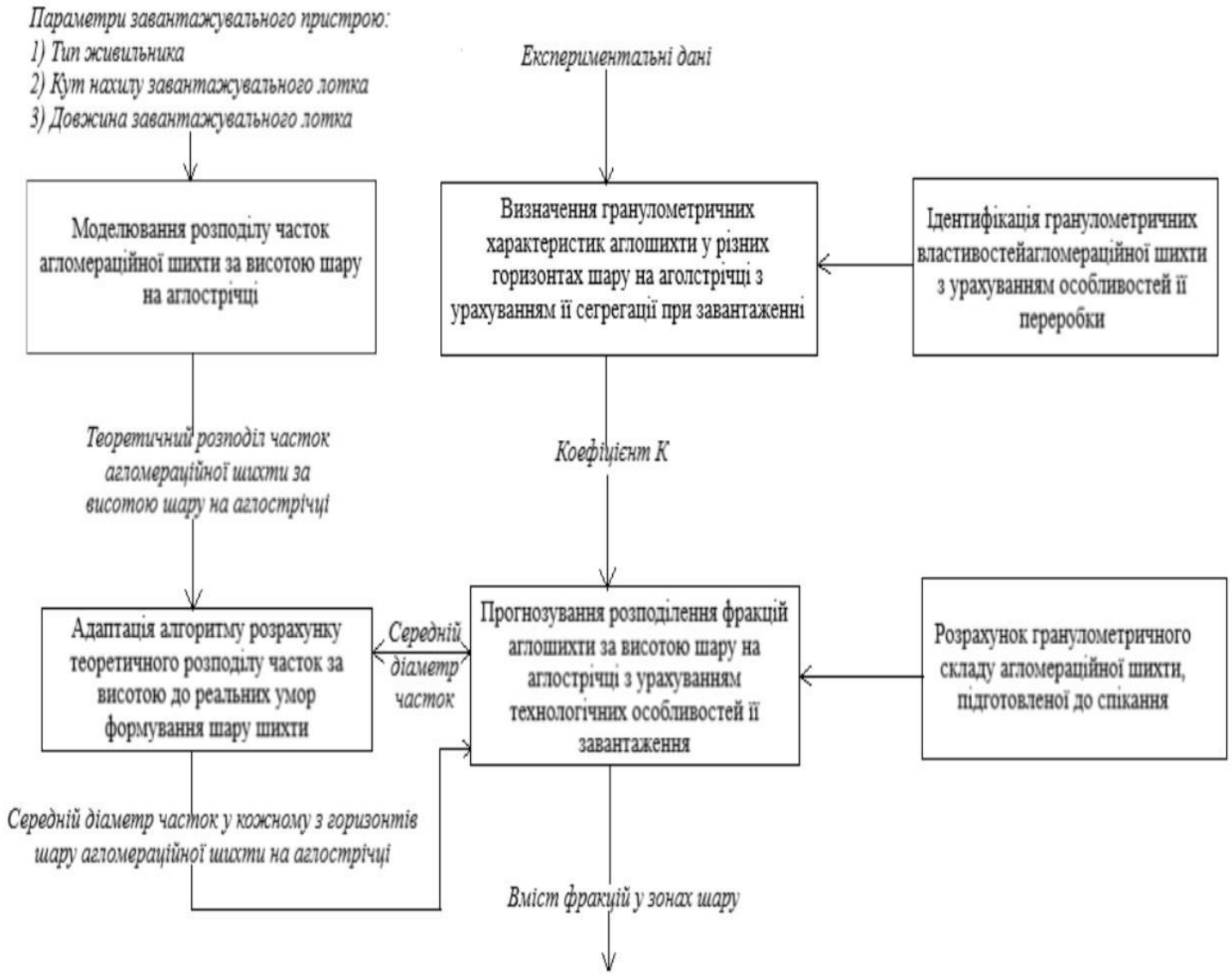


Рисунок 4.1 – Алгоритм розрахунку розподілення фракцій шихти за висотою шару на аглострічці

Налаштування даної моделі виконується на основі експериментальних даних та відомостей про параметри завантажувального пристрою: тип живильника, вугілля нахилу та довжину завантажувального лотка. Налаштування полягає в знаходженні такого значення К, для якого помилка моделювання буде мінімальною.

Алгоритм налаштування моделі збігається з алгоритмом налаштування моделі, що використовується в розділі 2 для ідентифікації гранулометричних

характеристик агломераційної шихти з урахуванням особливостей її переробки. Відмінність полягає в тому, що коефіцієнт До знаходимо для кожного горизонту шару. При налаштуванні моделі, сумарну помилку моделювання знаходимо за формулою:

$$e = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} \sqrt{\left(\Phi_{ijp} - \Phi_{ijэ}\right)^2},$$

де k – кількість зон шару;

n – кількість фракцій;

Φ_{ijp} - розрахункові значення вмісту фракції і у горизонті шару j, %;

$\Phi_{ijэ}$ - експериментальні значення вмісту фракції і в горизонті шару j, %.

Вихідними даними для розрахунку розподілу фракцій по висоті шару є загальна кількість матеріалу, середній діаметр частинок матеріалу, коефіцієнт зміни середнього діаметра частинок сипкого матеріалу в процесі його розсіву - К, отриманий при налаштуванні моделі, середні діаметри частинок фракцій, для яких виконується розрахунок, методиці, описаної в розділі 3 цієї роботи.

Розглянемо процес розрахунку розподілу класів крупності по висоті шару деяких підприємств. Значення коефіцієнта К та дані про помилку моделювання наведено у таблиці 4.1. У таблицях 4.2, 4.3 та 4.4 наведено результати розрахунків для умов аглофабрик промислових підприємств регіону.

Таблиця 4.1 - Значення коефіцієнта зміни середнього діаметра частинок сипкого матеріалу в процесі його розсівання - К і помилки моделювання для різних підприємств

Підприємство	К	Середньоквадратичне відхилення, %		
		Средн.	Мин.	Макс.
Підприємство 1, а.м. №2	0,34	0,644	0,016	2,083
Підприємство 1, а.м. №4	0,48	1,567	0,027	5,109
Підприємство 2	0,43	0,768	0,032	1,864

Таблиця 4.2 - Моделювання розподілу фракцій висотою шару на аглострічці підприємства 1, агломашина №2

Характеристика шару		Середній діаметр частинок фракції, мм				
		1,5	4,5	8	11	13
Експеримент						
Горизонт шару	1	9,53	3,7	2,02	0,6	0,82
	2	8,87	4,3	1,92	0,5	1,08
	3	8,48	4	2,15	0,58	1,45
	4	6,85	5,05	2,33	0,6	1,83
	5	5,98	5	2,63	0,73	2,32
	6	5,23	4,25	2,62	1,58	2,98
Моделювання						
Горизонт шару	1	9,55	3,16	2,13	1,21	0,62
	2	8,20	3,76	2,53	1,43	0,74
	3	7,50	4,07	2,74	1,55	0,80
	4	6,78	4,39	2,96	1,68	0,86
	5	6,57	4,49	3,02	1,71	0,88
	6	6,39	4,56	3,07	1,74	0,90
Середньоквадратичне відхилення, %						
Горизонт шару	1	0,01552	0,53657	0,10942	0,60667	0,19838
	2	0,66998	0,53886	0,61176	0,93467	0,34093
	3	0,97764	0,07107	0,59039	0,97288	0,65003
	4	0,06921	0,65839	0,62615	1,07515	0,96704
	5	0,58943	0,51450	0,38936	0,98097	1,43859
	6	1,16384	0,31350	0,45186	0,16072	2,08326

Таблиця 4.3 - Моделювання розподілу фракцій висотою шару на аглострічці підприємства 2

Характеристика шару		Середній діаметр частинок фракції, мм				
		1,5	4	6	8,5	12
Експеримент						
Горизонт шару	1	11,25	1,57	1,04	1,19	0,24
	2	10	2,37	1,14	0,54	0,27
	3	8,81	2,63	1,8	0,7	0,34
	4	6,72	3,23	2,94	0,86	0,53
	5	5,93	2,8	2,83	1,31	1,41

	6	5,17	2,33	2,71	1,73	2,34
	7	5,06	1,57	2,64	1,39	2,64
Моделювання						
Горизонт шару	1	10,09	1,05	1,12	1,16	0,87
	2	8,14	1,53	1,64	1,70	1,28
	3	7,07	1,80	1,93	1,99	1,50
	4	6,01	2,06	2,21	2,28	1,72
	5	5,75	2,12	2,28	2,35	1,77
	6	5,50	2,19	2,35	2,42	1,83
	7	5,28	2,24	2,41	2,48	1,87
Середньоквадратичне відхилення, %						
Горизонт шару	1	1,16300	0,52490	0,08209	0,03201	0,63357
	2	1,86441	0,83918	0,50357	1,15617	1,00956
	3	1,73595	0,83496	0,12726	1,28893	1,16042
	4	0,70749	1,17073	0,72905	1,42170	1,19128
	5	0,17523	0,67658	0,55017	1,04278	0,36491
	6	0,33120	0,14346	0,36240	0,69272	0,51234
	7	0,21672	0,67241	0,23241	1,09463	0,76563

Таблиця 4.4 - Моделювання розподілу фракцій висотою шару на аглострічці підприємства 1, агломашина №4

Характеристика шару		Середній діаметр частинок фракції, мм		
		1,5	4,5	10
Експеримент				
Горизонт шару	1	14,2	1,7	0,8
	2	10	5	1,7
	3	7,5	5,8	3,4
	4	5,7	6	5
	5	4,2	5,5	7
	6	2,5	3,8	10,4
Моделювання				
Горизонт шару	1	10,87	3,01	2,78
	2	8,65	4,17	3,85
	3	7,40	4,82	4,45
	4	6,31	5,39	4,97
	5	5,97	5,56	5,13

	6	5,64	5,73	5,29
Середньоквадратичне відхилення, %				
Горизонт шару	1	3,32540	1,31189	1,98021
	2	1,35049	0,83108	2,14823
	3	0,09729	0,98274	1,04670
	4	0,60709	0,61302	0,02740
	5	1,76997	0,06228	1,86559
	6	3,14307	1,93227	5,10868

Результати розрахунків показують, що модель є адекватною і може бути використана для розрахунку розподілу класів крупності агломераційної шихти по висоті шару шихти на аглострічці. Помилка моделювання для кожної з фракцій не перевищує 5,109%, в середньому помилка дорівнює 0,993%.

4.2 Оцінка впливу параметрів завантажувального пристрою на розподіл фракцій агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці

Для вирішення завдання формування структури шару агломераційної шихти на аглострічці необхідно знати, яким чином технологічні параметри завантажувальних вузлів агломашин та властивості самої шихти впливають на розподіл фракцій по висоті шару. Такими параметрами є тип живильника, кут нахилу та довжина завантажувального лотка, середній діаметр частинок шихти. Для оцінки впливу цих параметрів на розподіл фракцій агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці проведено чисельний експеримент, схема якого представлена в таблиці 4.5. Експеримент виконаний для умов Підприємства 1, агломашина №2 (вібраційний живильник) та агломашина №4 (барабанний живильник). Результати моделювання наведено на рис. 4.2 – 4.7.

Таблиця 4.5 - Схема чисельного експерименту з оцінки впливу параметрів завантажувального вузла на розподіл фракцій агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці

Змінний параметр	Середній діаметр часток, мм	Кут нахилу заванта-жувального лотка, град	Довжина заванта-жувального лотка, м	Висота шару на аглострічці, м
Середній діаметр часток	4,7	45	1	0,4
	4,8	45	1	0,4
	4,9	45	1	0,4
	5,0	45	1	0,4
Кут нахилу завантажу-вального лотка	4,7	45	1	0,4
	4,7	46	1	0,4
	4,7	47	1	0,4
	4,7	48	1	0,4
	4,7	49	1	0,4
	4,7	50	1	0,4
Довжина завантажу-вального лотка	4,7	45	1	0,4
	4,7	45	1,1	0,4
	4,7	45	1,2	0,4
	4,7	45	1,3	0,4

Для оцінки впливу параметрів завантажувального пристрою та властивостей агломераційної шихти на розподіл її класів крупності по висоті шару на аглострічці, виділимо 3 горизонти шару: верхній, середній та нижній. У таблицях 4.6 та 4.7 наведено зміни вмісту фракцій у кожному з горизонтів шару при зміні параметрів моделі, наведених у таблиці 4.5.

Таблиця 4.6 - Оцінка впливу параметрів завантажувального пристрою на розподіл фракцій висотою шару на аглострічці агломашини №2

Параметр	Горизонт шару	Фракція, мм				
		1,5	4,5	8	11	13
α	Верхній	3,85	-1,71	-1,15	-0,65	-0,34
	Середній	1,47	-0,65	-0,44	-0,25	-0,13
	Нижній	-4,30	1,91	1,29	0,73	0,38

l	Верхній	4,21	-1,87	-1,26	-0,71	-0,37
	Середній	1,79	-0,79	-0,53	-0,30	-0,16
	Нижній	-4,36	1,94	1,30	0,74	0,38
d_{cp}	Верхній	2,64	-1,17	-0,79	-0,45	-0,23
	Середній	-0,47	0,21	0,14	0,08	0,04
	Нижній	-5,92	2,63	1,77	1,00	0,52

Таблиця 4.7 - Оцінка впливу параметрів завантажувального пристрою на розподіл фракцій висотою шару на аглострічці агломашини №4

Параметр	Горизонт шару	Фракція, мм		
		1,5	4,5	10
α	Верхній	5,30	-2,76	-2,54
	Середній	2,10	-1,09	-1,01
	Нижній	-3,73	1,94	1,79
l	Верхній	5,51	-2,87	-2,65
	Середній	2,52	-1,31	-1,21
	Нижній	-3,93	2,04	1,89
d_{cp}	Верхній	2,33	-1,21	-1,12
	Середній	-0,63	0,33	0,30
	Нижній	-5,82	3,05	2,78

Як видно з таблиць 4.6 та 4.7, збільшення середнього діаметра частинок матеріалу, кута нахилу та довжини завантажувального лотка призводять до посилення сегрегації у шарі. При цьому зміна перерахованих вище параметрів найбільше впливає на вміст фракції 1,5 мм у верхньому і нижньому горизонтах шару, в середньому горизонті шару фракційний склад матеріалу змінюється незначно.

Як показують результати моделювання, зміна середнього діаметра частинок матеріалу при незмінних параметрах завантажувального лотка істотно впливає на розподіл класів крупності агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці.

Зміна середнього діаметра частинок матеріалу відбиває зміна його гранулометричного складу. В умовах промислового підприємства підготовлена до спікання шихта містить близько 44% фракції 1,5 мм. Тому, зміна середнього

діаметра частинок надає найбільше вплив на зміст саме цієї фракції. Як показують результати моделювання, збільшення середнього діаметра частинок агломераційної шихти призводить до незначного збільшення вмісту фракції 1,5 мм у верхньому горизонті шару, в нижньому горизонті вміст цієї фракції різко падає. Зміст інших фракцій змінюються незначно.

Як видно з результатів моделювання, збільшення кута нахилу та довжини завантажувального лотка призводять до збільшення вмісту фракції 1,5 мм у верхньому горизонті шару, зі зниженням вмісту цієї фракції в нижньому горизонті. Розподіл інших фракцій за висотою шару змінюється незначно.

Для порівняння впливу різних параметрів на сегрегацію агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці скористаємося наступним безрозмірним коефіцієнтом чутливості сегрегації до зміни параметра процесу:

$$C_i = \frac{\Delta \Phi_{ij}}{\Delta \Pi_i},$$

де C_i - коефіцієнт чутливості до зміни і-го параметра;

$\Delta \Phi_{ij}$ - зміна вмісту і-ї фракції в j-му шарі, %;

$\Delta \Pi_i$ - зміна параметра завантажувального пристрою або матеріалу, %.

Результати розрахунку коефіцієнта для агломашин №2 та №4 наведено на рис. 4.2 – 4.4. Символом ◊ позначено значення коефіцієнта для верхнього горизонту шару, символом □ – для середнього, символом Δ – для нижнього.

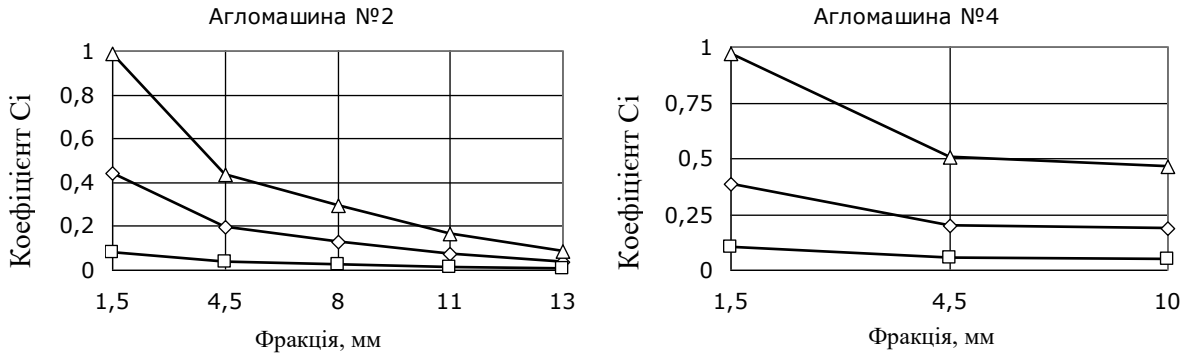


Рисунок 4.2 - Чутливість сегрегації до зміни середнього діаметра частинок агломераційної шихти

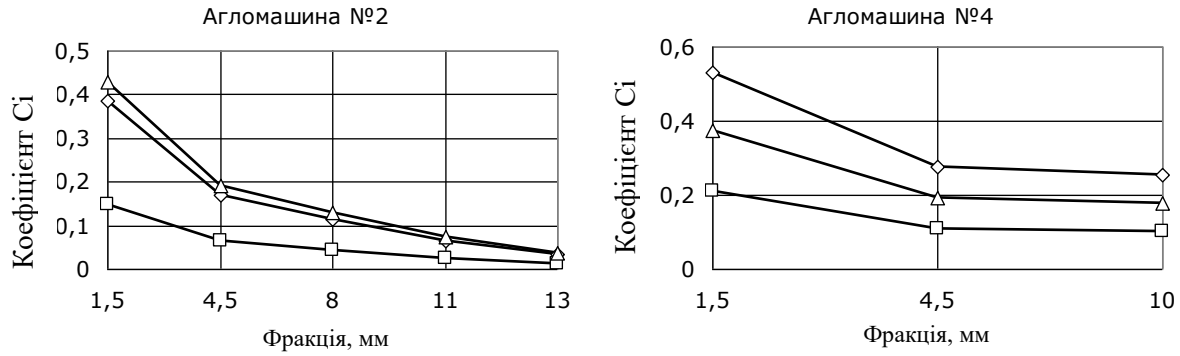


Рисунок 4.3 - Чутливість сегрегації до зміни кута нахилу завантажувального лотка

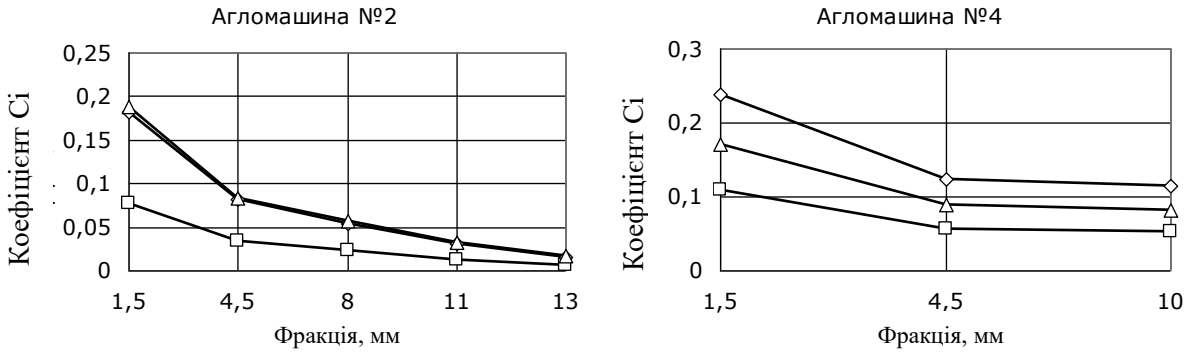


Рисунок 4.4 - Чутливість сегрегації до зміни довжини завантажувального лотка

Порівняння залежностей, наведених на рис. 4.2 - 4.4 показує, що як для барабанного, так і для вібраційного живильників найбільший вплив на сегрегацію в шарі агломераційної шихти на аглострічці виявляє зміна середнього діаметра часток матеріалу.

Зміна кута нахилу завантажувального лотка значно впливає на сегрегацію в шарі агломераційної шихти на аглострічці, в той час як зміна довжини завантажувального лотка фактично не має впливу на сегрегацію в шарі.

Таким чином, найбільш ефективно управляти структурою шару агломераційної шихти на аглострічці можна змінюючи кут нахилу завантажувального лотка. При цьому необхідно стабілізувати середній діаметр частинок матеріалу для зведення до мінімуму його впливу на процес сегрегації частинок по висоті шару.

4.3 Технологічні рекомендації щодо вдосконалення конструкції завантажувальних вузлів агломашин

Підготовленадо спікання агломераційна шихта повинна задовольняти ряду вимог щодо хімічного складу (місту заліза та основності) та фізичних властивостей. Огрудковані частки повинні мати міцність, що допускає їх транспортування і завантаження на агломашини без руйнування. Певні вимоги пред'являються також фракційного складу агломераційної шихти [14,15].

Якість підготовки шихти можна поліпшити в результаті оптимізації управління насипною щільністю матеріалу, досягнення найбільш раціональних режимів її обгортування (шляхом зміни швидкості обертання барабана-окомкователя), впливів на транспортні потоки шихти.

Згідно з функціональною схемою управління агломераційним процесом, рис. 4.5, поряд з локальними системами стабілізації таких основних параметрів процесу, як вологість шихти, вміст в ній палива, висота шару шихти і швидкість аглострічкі, в системі використовують оптимізацію впливу на кожен із зазначених регуляторів [7, 16, 17, 18, 19]. Ці впливи виробляються в результаті аналізу інформації, одержуваної від ряду датчиків, що контролюють процес спікання (вологість і вуглець шихти, розрідження і

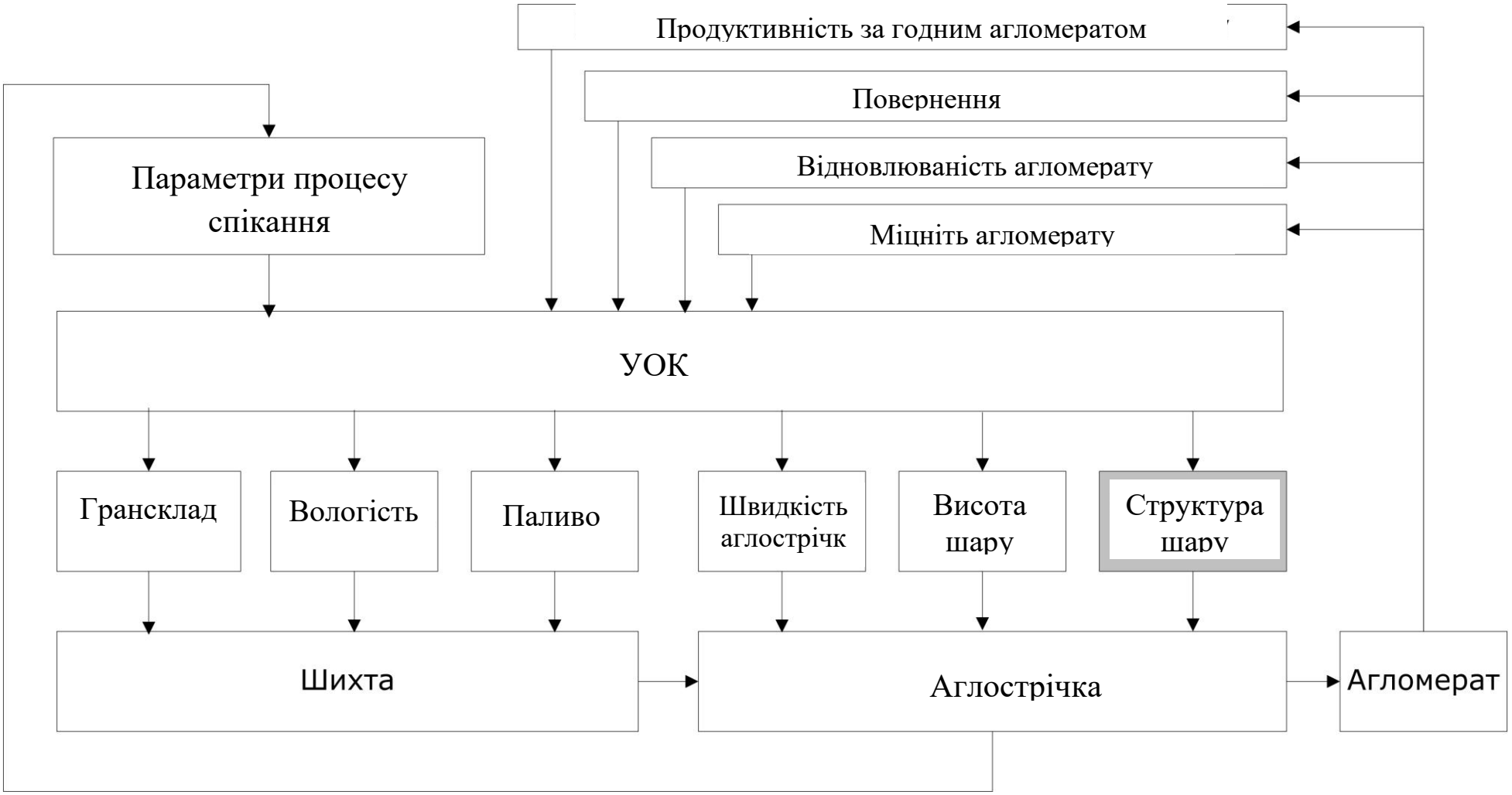


Рисунок 4.5 - Функціональна схема управління агломерційним процесом

температура газу, висота шару, швидкість аглострічкі та ін), а також за інформацією про якість одержуваного агломерату, його кількість і вихід повернення.

Сукупність усієї інформації надходить у керуючий обчислювальний комплекс (КОК), за допомогою якого визначається необхідна кількість шихти, а також виробляються, відповідно до завдання оптимізації, коригувальні впливи на задатчики локальних систем.

Однак і за такої комплексної системи управління з використанням КОК повномасштабне вирішення завдань оптимізації здійснити буде важко, зокрема, через деяке запізнення оптимальних рішень, яке спостерігатиметься при впливі поточних збурень у процесі спікання. Так, якщо оцінювати міцність агломерату за кількістю дрібниці (0-5 мм) у барабанній пробі, то між часом спікання та отриманням результатів випробувань спека проходить більше години (відбір усередненої проби, її доставка, випробування та оцінка результату шляхом грохочення та зважування). За такий, відносно тривалий, проміжок часу, стан процесу спікання під впливом ряду факторів, що обурюють, настільки зміниться, що отримана рекомендація щодо кількості палива в шихті виявиться хибною для нових умов процесу. Аналогічним чином негативно позначається запізнення отримання інших якісних показників.

Ще одна обставина, що утруднює використання економічного критерію оптимізації, пов'язано з необхідністю періодично змінювати завдані найбільш сприятливі значення складу агломерату і його кількості.

У зв'язку з цим можна зробити висновок, що поряд з критеріями оптимізації за економічними показниками, доцільно використовувати деякі критерії оптимізації за технологічними параметрами, таким, як ступінь огрудкування, коригування вмісту палива в шихті за тепловим рівнем процесу спікання, висоти шару за швидкістю спікання та деяким іншим.

При такій постановці завдання виконання оптимальних значень вказаних параметрів забезпечить задані умови процесу агломерації, які, у свою чергу, сприятимуть досягненню оптимальності за економічним критерієм.

При цьому необхідно мати на увазі, що деякі з показників якості, наприклад вміст заліза, порожньої породи і, в якійсь мірі, основність, не піддаються оптимізуючим впливам при виробництві агломерату, так як вони обумовлені умовами по складу шихтових матеріалів, що постачаються, і одержуваного продукту.

Тому, використовуючи різні керуючі впливи при виробництві агломерату, можна ефективно впливати тільки на такі якісні показники, як відхилення від заданих значень за змістом заліза і основності, а також міцність (зміст дрібниці) і відновлюваність або витрата палива на спікання.

У зв'язку зі складністю математичного опису об'єкта в цілому, доцільно виконати його на першому етапі у вигляді підсистем управління для найбільш типових і відповідальних технологічних операцій, до числа яких можна віднести управління обкомкуванням шихти, формуванням шару на аглострічці, а також підготовку шихтових матеріалів [20, 21].

Система управління окомкуванням та завантаженням шихти на аглострічку повинна забезпечити безперебійну подачу підготовленого до спікання матеріалу на аглострічку та стабілізацію властивостей агломераційної шихти у шарі. Удосконалення технології процесу агломерації висунуло завдання підвищення якості управління підготовкою сипких матеріалів, що вимагає більш повного обліку фізико-механічних властивостей шихти при її підготовці до спікання [22].

Процес спікання шихти у високому шарі висуває принципово нове завдання в управлінні завантаженням матеріалу на аглострічку. Як показали результати досліджень, міцність агломерату значною мірою визначається фізико-механічними властивостями обкомкованої шихти, в першу чергу її гранулометричним складом, вологістю і сегрегацією матеріалу по висоті шару, що формується. Завдання управління процесом сегрегації полягає у стабілізації оптимального розподілу частинок обкомкованої шихти по висоті шару. Як було раніше показано, ефективне керування сегрегацією часток шихти може здійснюватися шляхом цілеспрямованої зміни кута нахилу завантажувального

лотка. Алгоритм розрахунку кута нахилу завантажувального лотка, при якому буде отримано заданий розподіл фракцій агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці, наведено на рис. 4.6.

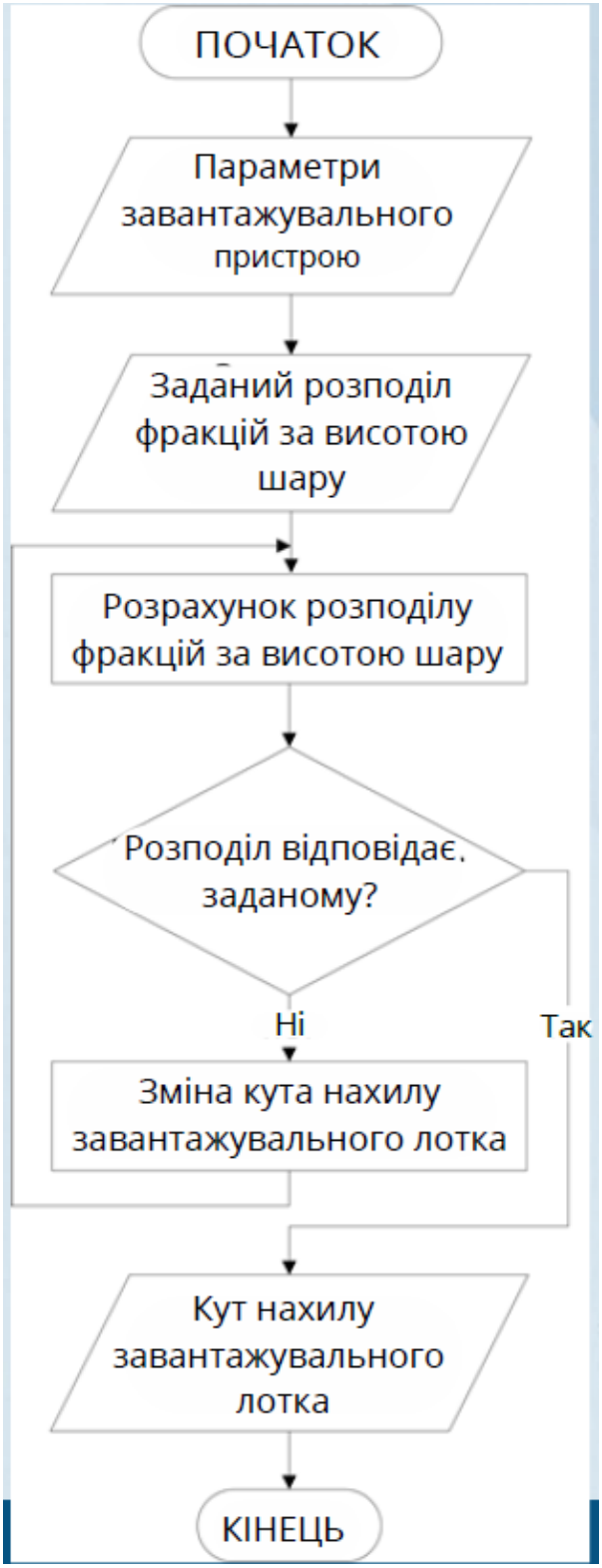


Рисунок 4.6 - Алгоритм розрахунку кута нахилу завантажувального лотка, що забезпечує заданий розподіл фракцій по висоті шару агломераційної шихти на аглострічці

4.4 Висновки до розділу 4

1. Для знаходження розподілу класів крупності агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці шар шихти запропоновано розглядати як сукупність горизонтів шару, гранулометричний склад кожного з яких можна визначити незалежно від інших. При використанні цієї методики для розрахунку розподілу класів крупності агломераційної шихти за висотою шару на аглострічці для умов промислового підприємства помилка моделювання не перевищувала 5,109%.

2. Оцінка впливу параметрів завантажувального пристрою на розподіл фракцій агломераційної шихти на висоті шару на аглострічці показала, що найбільший вплив на сегрегацію в шарі агломераційної шихти на аглострічці мають зміну середнього діаметра частинок матеріалу і кут нахилу завантажувального лотка. Вплив довжини завантажувального лотка на процес сегрегації незначний.

3. Управління структурою шару агломераційної шихти на аглострічці може бути досягнуто шляхом зміни кута нахилу завантажувального лотка. При цьому необхідно стабілізувати середній діаметр часток агломераційної шихти, що завантажується на аглострічку, для зведення до мінімуму його впливу на процес сегрегації.

4. Розроблено алгоритм визначення кута нахилу завантажувального лотка, що дозволяє сформувати шар агломераційної шихти на аглострічці із заданими показниками якості.

ВИСНОВКИ

1. Удосконалено підхід до вирішення задачі ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти, що дозволяє на відміну від відомих методів аналізу враховувати технологічні особливості переробки залізорудних матеріалів.

2. Запропонована методика ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти дозволяє з високою точністю прогнозувати фракційний склад сипкого матеріалу за результатами вимірювання середнього діаметра частинок, що становлять його масу.

3. Розроблено прикладну програму розрахунку фракційного складу агломераційної шихти, що завантажується на аглострічку, з урахуванням встановлених особливостей її переробки на основі інформації про середній діаметр часток.

4. Уточнено механізм процесів, що протікають під час руху огрудкованої шихти трактом завантаження на аглострічку із використ анням балансового методу, що створює теоретичні передумови для вибору раціональних режимів роботи технологічного обладнання аглофабрик.

5. На основі встановлених закономірностей формування структури шару полідисперсного матеріалу теоретично обґрунтовано метод ідентифікації гранулометричних характеристик агломераційної шихти в кожному з горизонтів з урахуванням сегрегації при завантаженні.

6. Для знаходження розподілу класів крупності агломераційної шихти по висоті шару на аглострічці шар шихти запропоновано розглядати як сукупність горизонтів шару, гранулометричний склад кожного з яких можна визначити незалежно від інших. При використанні цієї методики для розрахунку розподілу класів крупності агломераційної шихти за висотою шару на аглострічці для умов промислового підприємства помилка моделювання не перевищувала 5,109%.

7. Визначено, що найбільший вплив на сегрегацію в шарі агломераційної шихти на аглострічці мають зміну середнього діаметра частинок матеріалу і кут

нахилу завантажувального лотка. Вплив довжини завантажувального лотка на процес сегрегації незначний.

8. Управління структурою шару агломераційної шихти на аглострічці може бути досягнуто шляхом зміни кута нахилу завантажувального лотка. При цьому необхідно стабілізувати середній діаметр часток агломераційної шихти, що завантажується на аглострічку, для зведення до мінімуму його впливу на процес сегрегації.

9. Розроблено алгоритм визначення кута нахилу завантажувального лотка, що дозволяє сформувати шар агломераційної шихти на аглострічці із заданими показниками якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Васильєв В.І., Садовська Т.Г. Організаційно-економічні основи гнучкого виробництва. Учбовий посібник для машинобудівної спеціальності вузів. Київ : Вища школа, 1988. 272 с.

2. Економіка і організація виробництва в дипломних проєктах. Учбовий посібник для машинобудівних вузів. / Під заг. ред. К.М. Веліканова. 4-е вид. перероб. і доп. Машинобудування, 1986. 285 с.

3. Барішенко О. М., Овчининкова І. А. Методичні вказівки до контрольної роботи для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами». Запоріжжя, 2010. 28 с.

4. Марюта О. М., Качан Ю. Г. Автоматический контроль гранулометрического состава сыпучих материалов. Київ – Донецьк : «Вища школа», 1977. 120 с.

5. Плискановский С. Т., Маковський В. О., Кожух В. Я. АСУ і ОЦ металургійного заводу. Київ : Техніка, 1977. 184 с.

6. Іщенко О. Д. Статичні та динамічні властивості агломераційного процесу. *Металургия*. 1973. 320 с.

7. Федоровський М. В. Автоматичне управління технологічними процесами окускування сипкихьматеріалів. Київ : Техніка, 1976. 224 с.

8. Маковський В. О., Власюк Ю. М., Карташов Ю. В. Оптимальне управління агломераційним процесом. Київ : Вища школа, 1987. 122 с.

9. T. Poeschel, V. Buchholtz. Static Friction Phenomena in Granular Materials: Coulomb Law vs. Particle Geometry. *Phys.Rev*.Lett. 71 (1993) 3963.

10. Каталимов О. В., Любартович В. О. Дозування сипких та в’язких матеріалів. Хімія, 1990. 240 с.

11. D. C. Rapaport. Simulational studies of axial granular segregation in a rotating cylinder. *Phys. Rev*. E 65, 061306 (2002).

12. Готовцев О. О., Тихонов В. І., Сальников І. М., Вакуленко С. О. Формування шару агломераційної шихти перед спіканням. *Сталь,* 1981. №12. С. 11-15.

13. Пазюк М. Ю., Гранковський В. І., Туровцев Г. В. Особливості формування шару полідисперсних сипких матеріалів. *Известия вузов. Черная металлургия*, 1983. №10. С. 13-16.

14. Виробництво агломерату і окатишів. Довідник. / Під заг.ред Ю. С. Юсфіна. Металургія, 1984. 216 с.

15. Глинков Г. М., Маковський В. О. АСУ технологічними процесами в агломераційних та сталеплавильних цехах. Металургія, 1981. 360 с.

16. Бутковський О. Г. Теорія оптимального управління системами із розподіленими параметрами. Наука, 2005. 747 с.

17. Маковський В. О. Динамика металургійних об’єктів із розподіленими параметрами. Металургія, 2001. 384 с.

18. Олейніков В. О., Зотов І. С., Пришвін Л. М. Основи оптимального та екстремального управління. Вища школа, 1969. 311 с.

19. Юсфін Ю. С., Каменов А. Д., Буткарев О. П. Управління окускуванням залізорудних матеріалів. Металургія, 1999. 279с.

20. Бережной М. М., Терехов П. В. В кн. : Автоматизація процесів окускования залізних руд. Київ : Техніка, 1976. 153 с.

21. Федоровський М. В., Дементʼєва Е. М., Руденко А. П. Автоматизація процесів окускования залізних руд. Київ : Техніка, 1976. 144 с.

23. Федоровський М. В. Розробка АСУ ТП окускованням залізних руд. Київ : Знання, 1978. 20 с.

24. Федоровський М. В., Шанідзе Д. І. Агломерація залізних руд : Довідник. Київ : Техніка, 1991. 141 с.;

25. Глінков Г. М., Маковський В. О. АСУ ТП в чорній металургії : Підручник. Металлургия, 1999. 310 с.

26. Федоровський М. В., Даньшин В. В., Губанов В. І., Сігуа Р. І. Автоматизація фабрик окускування залізних руд та концентратів. Металлургия, 1986. 206 с.

27. Ренгевич О. В., Кригін Д. О., Клименко Ю. С. Сучасні методи ідентифікації якісних параметрів та механізму огрудкуванню агломераційної шихти. *Металургія* : зб.наук.праць. Запоріжжя : ЗДІА, 2004. №10. С. 23-26.

28. Гранковський В. І., Пазюк М. Ю., Ніколаєнко А. М., Половой П. О. Дослідження впливу фізічний властивостей шихти на початковий період спікання. В сб.: *Теоретические основы и технология подготовки металлургического сырья к доменной плавке*. Тез. докл. республиканской научно-технической конференции. Днепропетровск, 1980. С. 40-41.

29. Готовцев А. А., Сальников И. М., Тихонов В. И., Колода С. Г. Рациональная загрузка шихты на аглоленту. В сб. *«Теплотехніка та газодинаміка агломераційного процесу»*. Київ : Наукова думка,1983. С. 12-17.

30. Петрушов С. Н., Полухин А. П., Рузанов Л. М. Исследование и совершенствование укладки шихты на аглоленту. *«Теплотехніка та газодинаміка агломераційного процесу»*. Київ : Наукова думка, 1983. С. 29-33.

31. Ніколаєнко А. М., Гранковський В. І., Погорелов В. М. Математична модель усадки шару шихти у початковий період сіекання. *Известия вузов. Черная металлургия*, 1983. №2. С. 9-12.

ДОДАТОК А

Схема взаємозв’язку спікального відділення з іншими цехами

