

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ МЕТАЛУРГІЇ

Кафедра автоматизованого управління технологічними процесами
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

Оптимізація режимів формування структури
у агломераційній шихти на ацетстріці з метою
підвищення якості автоматизованої системи управління
піканням шихти

Виконав: студент 2 курсу, групи АКТТ-18-1мд
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-
(код і назва спеціальності) інтегровані технології
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-
(код і назва освітньої програми) інтегровані технології
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

М. М. Сірінюк

(ініціали та прізвище)

Керівник доц. каф. АУТТ, доц. к.т.н. Шинько С. А. Шинькінова
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Рецензент Гол. факультету С. М. Мельник
(посада, вчене звання, науковий ступінь, підпис, ініціали та прізвище)

Запоріжжя

2020

Запорізький національний університет

(символ функціонування висшої освіти)

сег металургії
в автоматизованого управління технологічними процесами
вищої освіти Дружини (Калістрівський) рівень
(шифр (за багаторівневий рівень))
код 51 Автоматизація та комп'ютерно інтегрованої техніки
(шифр і назва)
назва _____
(шифр і назва)
а професійна програма Автоматизація та комп'ютерно інтегрованої
(шифр і назва) технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуючий кафедри автоматизованого управ
ління технологічними процесами
проф. Назівок М.Ю.
" " " 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Сірючок Наталія Юріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

кваліфікаційної роботи магістра Оптимізація режимів формування струк
тури шнору агломераційної шихти на аглострічці з метою підвищення
автоматизованої системи управління спікальними шихтами

кваліфікаційної роботи магістра Величкова Л.А., доц., к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

сені наказом закладу вищої освіти від "10" 09 2019 року № 1540-с
подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра 26.12.19

ні дані кваліфікаційної роботи магістра технологічні інструкції, па
звіти з науково-дослідних робіт, дослідження співробітників
фабрики ДЛП.

г розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
в) аналізуючих способів управління процесом формування
тури шнору агломераційної шихти на аглострічці.

робочий процесу структуроутворення та дослідження газодинаміч
затискателів шнору шихти на аглострічці.

ізації режимів формування структури шнору агломераційної шихти
в системі управління формування шнору шихти на аглострічці.
к графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

аа задачі кваліфікаційної роботи, аналіз сучасного стану
у зв'язку з технікою шихти на аглострічці структурно
а алгоритму розрахунку оптимального кута нахилу
підвішеного лотку, графічний вигляд програми, застосовані
калібри для середнього діаметру, система управління форму

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра:

Розділ	Прізвище, ініціали та поєада консультанта	Підпис
Розділ 1	Обвинникова Т.А., доц. к.а.р. АУТП	Обвинникова
Розділ 2	Обвинникова Т.А., доц. к.а.р. АУТП	Обвинникова
Розділ 3	Обвинникова Т.А., доц. к.а.р. АУТП	Обвинникова
Розділ 4	Обвинникова Т.А., доц. к.а.р. АУТП	Обвинникова
Нормоконтроль	Обвинникова Т.А., доц. к.а.р. АУТП	Обвинникова

7. Дата видачі завдання 10.09.2019р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра
1.	Ознайомлення з інформацією про стан якості виготовленого асфальту	11.09.19 - 19.09.19
2.	Аналіз існуючих способів управління процесом формування структури шору асфальту	20.09.19 - 30.09.19
3.	Визначення фракційного складу та газодинамічних властивостей	01.10.19 - 11.10.19
4.	Визначення впливу процесу завантаження на формування шкати	12.10.19 - 21.10.19
5.	Створення математичної моделі	22.10.19 - 14.11.19
6.	Дослідження структури формування шору за допомогою мат. моделі	15.11.19 - 24.11.19
7.	Розробка САУ формування шору шкати на асф.	25.11.19 - 22.12.19
8.	Підготовка презентації	23.12.19 - 25.12.19
9.	Перезахист	26.12.19

Здобувач вищої освіти

[Підпис]
(підпис) *Сірюк М.Ю.*
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра

[Підпис]
(підпис) *Обвинникова Т.*
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка кваліфікаційної магістерської роботи складається з 104 сторінки, 3 таблиць, 30 рисунків, 2 додатків.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена оптимізації режимів формування структури шару агломераційної шихти на аглострічці з метою підвищення якості автоматизованої системи управління спікання шихти в умовах аглофабрики ПАТ «Запоріжсталь».

У першому розділі розглянутий аналіз сучасного стану агломераційного виробництва. Визначено недоліки діючих систем виготовлення агломерату та встановлені цілі підвищення якісних показників технологічного процесу та визначення оптимального поєднання газодинамічних властивостей шару шихти та міцності агломерату.

У другому розділі встановлено основні показники структури формування шару агломераційної шихти в процесі завантаження шихти на аглострічку завантажувальним лотком та вплив фракційного складу шихти на газопроникливість шару. А також встановлено загальні закономірності процесу завантаження, розроблений алгоритм та створено математичну модель визначення оптимальних показників для покращення газопроникливості шару.

У третьому розділі проаналізовано отримані дані оптимальних показників за допомогою розробленої програми та на їх основі розраховано газопроникливість шихти для якісного спікання агломерату.

У четвертому розділі розроблено автоматизовану систему управління оптимізації формування структури шару агломераційної шихти із застосуванням технології «Індикатор крупності».

АГЛОМЕРАЦІЙНА МАШИНА, ЗАВАНТАЖУВАЛЬНИЙ ЛОТОК, АГЛОШИХТА, ГАЗОПРОНИКЛИВІСТЬ, ФРАКЦІЇ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ПРОГРАМА, СИСТЕМА.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Аналіз існуючих способів управління процесом формування структури шару агломераційної шихти на аглострічці	9
1.1 Опис технологічного процесу виготовлення агломерату	9
1.2 Аналіз існуючих методів та моделей процесу завантаження та формування шару шихти на аглострічці.....	13
1.3 Постановка цілі та задачі дослідження	29
2 Моделювання процесу структуроутворення та дослідження газодинамічних властивостей шару шихти на аглострічці.....	30
2.1 Обґрунтування засобів та методів дослідження	30
2.2 Методологія визначення фракційного складу та газодинамічних властивостей шару шихти	31
2.3 Визначення впливу процесу завантаження на формування шихти	32
2.3.1 Математичний опис процесу формування шихти на аглострічці	32
2.3.2 Визначення газодинамічних властивостей агломераційної шихти .	49
2.4 Створення математичної моделі	53
2.5 Висновки	60
3 Оптимізація режимів формування структури шару агломераційної шихти на аглострічці.....	61
3.1 Дослідження структури формування шару агломераційної шихти отриманої за допомогою математичної моделі.....	61
3.2 Визначення оптимальних показників для покращення газодинамічності шару шихти	65
3.3 Висновки	68
4 Розробка системи управління формування шару шихти на аглострічці	69

4.1 Розробка системи автоматичного управління формування шару шихти на аглострічці	69
4.2 Висновки	75
Висновки	76
Список використаної літератури	78
Додаток А – Графічне відображення програми розрахунку оптимальних показників	81
Додаток Б – Код програми	82

ВСТУП

Актуальність теми. Постійне зростання об'єму металургійного виробництва в деяких випадках тягне за собою зниження якості продукту. Оскільки, незважаючи на те, що ціна на шихтові матеріали зростає, якість при цьому погіршується. Тому, в наслідок, техніко-економічних особливостей є необхідним підвищення ефективності та якості виробництва шляхом удосконалення технологій виготовлення агломерату. Однією з умов покращення ефективності агломераційних машин є висока газопроникливість спікання матеріалу, що в значній мірі визначається характеристиками шихти, в тому числі й сегрегації шару на аглострічці. Насьогодні, досліджено вплив тільки окремих факторів на формування структури шихти, що не дає можливості в повній картині оцінювати вплив структурної неоднорідності на показники процесу спікання. Аналіз сучасного стану агломераційного виробництва показує, що продуктивність агломерату значно збільшується внаслідок підвищення шару шихти на аглострічці. Однак, з підвищенням шару шихти знижується газопроникливість шихти на агломераційній стрічці. Тому вивчення даної теми є необхідним для покращення якості та продуктивності металургії, оскільки виготовлення агломерату є першою ступеню для економічного підвищення продуктивності металургії.

Мета і задачі роботи. Ціллю даної роботи є підвищення якісних показників технологічного процесу та визначення оптимального поєднання газодинамічних властивостей шару шихти та міцності агломерату.

Об'єктом дослідження є процесу завантаження шихти на агломераційну стрічку в умовах агломераційної фабрика ПАТ «Запоріжсталь».

Предметом дослідження є визначення газодинамічних характеристик сформованого шару та встановлення залежності впливу структури шару на його газодинамічний опір.

Методи дослідження. При створенні математичних моделей використовувався балансовий метод, методи математичної статистики, моделювання, числові методи вирішення систем балансових та диференціальних рівнянь. Перевірка основних теоретичних положень виконана з використанням математичного моделювання та результатів експериментальних досліджень. Визначення фракційного складу здійснювалось ситовим методом. А газодинамічні властивості стаціонарного шару шихти на агломераційній стрічці визначалися методом визначення газодинамічності шару в промислових умовах.

Наукова новизна одержаних результатів. Встановлено закономірності, що характеризують вплив фракційного складу агломераційної шихти та структури шару на якість агломерату. А також, встановлена можливість управління якісними показниками агломерату шляхом змінення параметрів завантажувального вузла агломашини.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено алгоритм розрахунку структури шару агломераційної шихти та математичну модель, що дозволяє визначити при якому куті завантажувального лотку буде краща газопроникливість. На основі даної моделі розроблена система управління для якісного спікання агломерату.

Апробація результатів роботи. Участь в XXIV конференції ІЗНУ

Публікації. Сірінюк Н.Ю. Оптимізація режимів формування структури шару агломераційної шихти на аглострічці з метою підвищення якості автоматизованої системи управління спікання шихти. Матеріали XXIV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів. Металургія як основа сучасної промисловості. Том I/ II ЗНУ. – Запоріжжя: ІЗНУ. - 2019 р. с.76.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ШАРУ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ НА АГЛОСТРІЧЦІ

1.1 Опис технологічного процесу виготовлення агломерату

Агломерація є методом для створення предметів з порошкового матеріалу. При нагріванні нижче температури плавлення відбувається злипання частинок між собою через затвердіння легкосплавних частин матеріалу. Агломерація є процесом підготовки залізорудної сировини для металургійного виробництва чавуну.

Склад компонентів шихти, що спікається на агломераційній машині, складається з 4,5% подрібненого палива (коксику), 13,9% подрібненого вапняку, 2,1% вапна, 1,26% колошникового пилу, 0,54% торфу, 1,93% шламу, 0,67% окалини, 75,1% руди та концентрату [1]. Компоненти шихти надходять з рудного двору до прийомних бункерів.

Висока якість агломерату є основною умовою високопродуктивної роботи доменних печей. Агломерат повинен мати: високий вміст заліза, крупність від 100 мм до 150 мм, низький ступінь руйнування при перевантаженнях і відновленні, сталість всіх фізико-хімічних властивостей.

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, дроблення агломерату, відсів повернення і транспортування його до шихтового відділення, навантаження агломерату в хопери і контроль його якості.

Змішування, зволоження та огрудкування шихти призначено для отримання однорідної суміші всіх компонентів з високою газопроникливістю в

процесі спікання. Ці етапи проходять в змішувальних барабанах, розміщених на агломераційними машинами.

Для забезпечення нормального змішування і огрудкування ступінь заповнення барабана шихтою повинна становити від 10% до 15%. Нормально зволожена шихта дрібно огрудкована, пухка, пориста, й спікається при високій вертикальній швидкості. Сталість вологості досягається якісним усередненням сирих матеріалів, подачею в шихту оборотних продуктів (повернення, колошникового пилу) постійної якості і кількості і ретельним контролем за подачею води в змішувальні барабани. При надмірному зволоженні та огрудкуванні 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 огрудкування її відбувається погано, газопроникність різко погіршується, що також призводить до зниження швидкості спікання.

Важливою умовою отримання якісного агломерату є правильне завантаження шихти на візки агломашини, де проходить спікання. Після виходу з барабана-змішувача аглошихта надходить в проміжний бункер, в якому підтримується постійний рівень. З проміжного бункера шихта рівномірно видається на всю ширину живильника (вібраційний, барабанний), з якого по завантажувальному лотку рівномірним шаром укладається на аглострічку. Висота шару шихти становить від 400 мм до 600 мм.

Поверхню шихти, що завантажена на стрічки, потрібно постійно згладжувати за допомогою спеціальної гладилки, розташованої за завантажувальним пристроєм. Зниження висоти шару супроводжується погіршенням міцності агломерату, підвищенням відносного виходу повернення. Збільшення висоти шару сприяє поліпшенню якості агломерату, тобто його зміцненню, зменшення питомої витрати палива на спікання, зниження відносного виходу повернення і вертикальної швидкості спікання. Рівномірний

розподіл шихти по всій ширині аглострічки є однією з необхідних умов для нормального протікання процесу спікання. Шар шихти перед завантажувальним лотком повинен бути на рівні або вище кромки лотка на від 30 мм до 50 мм.

Великий вплив на якість завантаження шихти надає кут нахилу, стан поверхні і конструктивні особливості завантажувального лотка (рис. 1.1). Установка лотка під кутом близьким до кута природного укосу шихти сприяє створенню сегрегації матеріалу по висоті шару шихти, що позитивно позначається на процесі спікання. Положення кромки завантажувального лотка шихти по висоті і куту нахилу регулюється вручну двома окремими приводами.



Рисунок 1.1 – Завантажувальний лоток агломераційної машини

Процес спікання агломерату (рис. 1.2) починається з запалювання верхнього шару шихти при просуванні його під запальним горном. Оптимальна температура факела досягається при коефіцієнті надлишку повітря α в діапазоні від 1,0 до 1,6.



Рисунок 1.2 – Процес спікання агломерату

Для забезпечення нормального запалювання аглошихти необхідно постійно підтримувати температуру запалювання шихти від 1250°C до 1300°C .

Спікання шихти є основним етапом в технології отримання високоякісного агломерату. В результаті процесу спікання повинен вийти однорідний за хімічним складом, міцний, шматковатий, пористий агломерат. Спікання ведеться на колосникових решітках палет агломераційної машини методом просочування повітря за рахунок розвитку високих температур в шарі шихти.

Швидкість руху аглострічки регулюється відповідно до вертикальної швидкості спікання так, щоб процес спікання закінчувався над передостанньою вакуум-камерою. Вертикальна швидкість спікання визначається швидкістю переміщення зон високих температур в шарі шихти після запалювання (від поверхні шихти до колосникових ґрат).

Сходячи з палет, агломерат проходить стадію дроблення одновалковою роторною дробаркою до фракції від 0 до 150 мм. Після дроблення агломерат проходить стадію просівання: стаціонарний гуркіт з шириною щілини між колосниками від 10 до 20 мм. Агломерат, пройшовши стадію дроблення і

просіювання, по похилому жолобу надходить в хопери. Дрібна фракція агломерату надходить в бункера повернення. Не допускається наповнення бункера поверненням, так як це перешкоджає нормальному відсіву дрібниці з агломерату і призводить до викривлення металоконструкцій, порушень режиму зволоження і дозування повернення. З бункера повернення надходить в барабан охолодження повернення, в якому охолоджується водою до температури приблизно від 80 °С до 90 °С. З барабана охолодження повернення надходить з конвеєрів в бункери шихтового відділення, з яких дозується в шихту.

1.2 Аналіз існуючих методів та моделей процесу завантаження та формування шару шихти на аглострічці

Зазвичай, сама ретельна підготовка шихти може виявитися неефективною через незадовільне формування шару шихти на аглострічці. Для досягнення високої газопроникності шару необхідно вирішити комплекс завдань, починаючи з оптимізації режиму роботи вузла завантаження шихти і закінчуючи конструкцією гладилки шихти.

В області підготовки сировини у чорній і кольоровій металургії, в агломерації залізних і кольорових руд і концентратів є різноманіття способів для усунення негативних чинників, що обумовлюють нерівномірність процесу спікання шихти на агломераційних машинах при її завантаженні.

Завдяки сегрегації твердого палива вирівнюються температури за висотою шару, а економія твердого палива в зв'язку з поліпшеною сегрегацією може досягати від 8% до 10% і більше. М'яке укладання шару шихти зі збереженням його порозності дає можливість для підвищення продуктивності процесу, створює умови для економічного спікання шихти у високому шарі.

Завантажувальні пристрої повинні забезпечувати:

- оптимальний ступінь (частіше максимальний) сегрегації шихти, яка означає поділ її маси на класи крупності і за хімічним складом в напрямку від поверхні до нижньої частини шару;
- мінімальний ступінь руйнування гранул шихти при перевантаженнях від барабана до палет агломашин;
- однакову висоту шару за шириною і довжиною площі спікання агломашини;
- ідентичність гранулометричного складу і хімічних властивостей шихти за шириною і висотою шару.

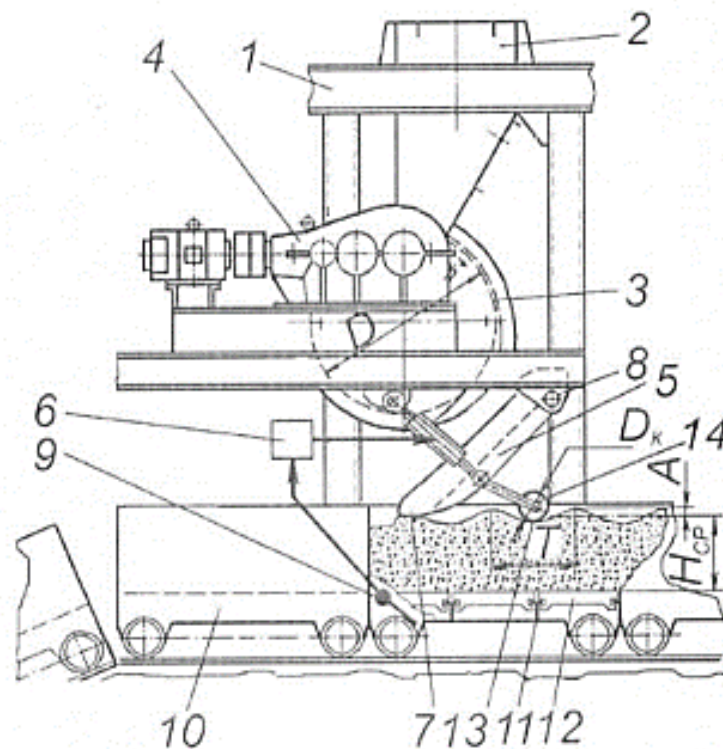
Тема щодо забезпечення рівномірного розподілу шихти на аглострічці вивчалася та модернізувалася безліч раз. Їй присвячено велика кількість робіт та патентів на території України та не тільки.

Винахідники Інституту чорної металургії НАН України створили спосіб підготовки агломераційної шихти до спікання [2]. Цей винахід належить до галузі чорна металургія. Спосіб підготовки агломераційної шихти до спікання включає змішування, зволоження і гранулювання шихти у валковому пресі, причому обмежують крупність гранул шихти діапазоном від 3 мм до 6 мм, встановлюють відношення діаметрів гранул максимального і мінімального розмірів в межах від 1,25 до 2, при цьому відношення середнього діаметра 1/3 маси гранул найменшої крупності до середнього діаметра решти гранул підтримують рівним від 0,8 до 0,95. Винахід збільшує порізність і поліпшує вихідну газопроникність шару шихти перед спікання.

Недоліком даного способу є високий вміст фракції від 0 мм до 2,0 мм в гранулометричному складі огрудкованої шихти, внаслідок чого знижується газопроникність шару, що спікається, та знижується продуктивність агломераційної машини.

Рудь Ю. С., Кучер В. Г., Білоножко В. Ю. (Криворізький національний університет) створили пристрій для завантаження шихти на колосникові грати рухомих візків агломераційної машини [3]. Даний пристрій (рис.1.3) містить

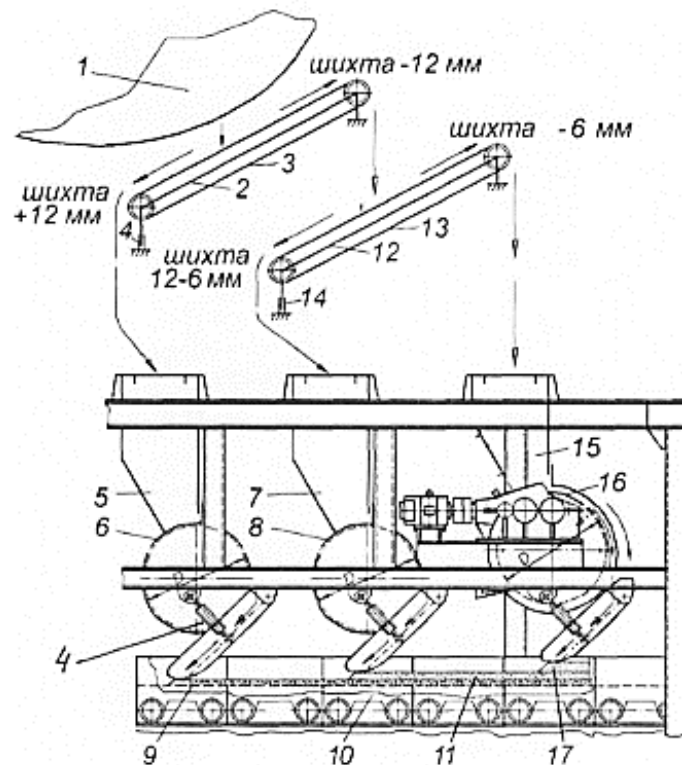
рухомі візки з поперечними балками і закріпленими на них колосниками, бункер, барабанний живильник з приводом, шарнірно підвішений завантажувальний лоток та ущільнювач верхнього шару шихти. Крім цього завантажувальний лоток додатково забезпечено автоматичним приводом для надання його нижній розвантажувальній частині коливального руху навколо опорного шарніра з частотою, яка кратна числу поперечних балок рухомого візка, причому нижнє положення розвантажувальної частини лотка відповідає місцю знаходження поперечних балок рухомих візків, а верхнє положення розвантажувальної частини лотка - місцю знаходження робочих частин колосників, які утворюють технологічні зазори колосникових ґрат.



1 – каркас; 2 – бункер; 3 – барабанний живильник; 4 – привод; 5 – завантажувальний лоток; 6 – автоматичний привод; 7 – завантажувальна частина; 8, 14 – шарнір; 9 – датчик; 10 – рухомі візки; 11 – поперечні балки; 12 – колосникові решітки; 13 – ущільнювач верхнього шару шихти

Рисунок 1.3 - Пристрій для завантаження шихти на колосникові ґрати агломераційної машини

Ще одним один спосіб [4] завантаження шихти на колосникові грати агломераційної машини (рис.1.4), створений Рудь Ю. С. та Кучером В. Г., включає роздільне завантаження матеріалів «постілі» та кондиційної шихти за допомогою пристрою, що складається із огрудковувача 1, бункера «постілі», живильника та розвантажувальної частини бункера, причому між живильником та огрудковувачем встановлено нахилений стрічковий конвеєр, верхня частина якого закріплена шарнірно, а нижня - з'єднана із штоком підіймача 4, в якому для підготовки матеріалу «постілі» використовують огрудковану шихту, яку подають на середню частину стрічки 3 нахиленого конвеєра 2, де вони розділяються за гранулометричним складом на два класи, причому фракції крупністю +12 мм під дією сил гравітації переміщуються по стрічці конвеєра в напрямку його нижньої частини, потім у завантажувальний бункер 5 живильника «постілі» 6; далі - на колосникові грати 9 агломераційної машини для формування «постілі» 10. Фракції крупністю -12 мм, які переміщуються стрічкою в напрямку верхньої частини конвеєра завантажуються на середню частину стрічки 13 додатково встановленого нахиленого конвеєра 12, де розділяється на два класи різної крупності - шихта крупністю від 12 до 6 мм з нижньої частини додаткового нахиленого конвеєра завантажуються в бункер 7 кондиційної шихти, а шихта крупністю -6 мм з верхньої частини стрічкового конвеєра завантажуються в додатково встановлений бункер 15 з живильником 16, з якого завантажуються поверх шару 11 кондиційної шихти та формує верхній збагачений паливом шар шихти 17.



1 – огрудковувач; 2 - нахилений стрічковий конвеєр з рамою і стрічкою 3;
 4, 14 - піднімач; 5 - завантажувальний бункер "постелі"; 6, 8, 16 – живильник; 7
 - бункер шихти; 9 - колосникові грати агломераційної машини; 10 - шар
 "постілі"; 11 - шар кондиційної шихти крупністю 12-6 мм; 12 - додатковий
 нахилений конвеєр із стрічкою 13; 15 - бункер шихти крупністю -6 мм; 17 -
 верхній шар шихти крупністю -6 мм

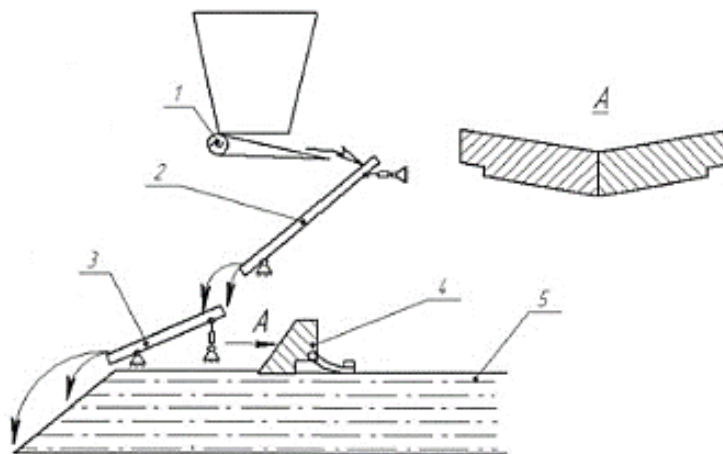
Рисунок 1.4 – Спосіб завантаження шихти на колосникові грати
 агломераційної машини

Ще одним винаходом Рудь Ю. С. та Кучера В. Г. є спосіб спікання шихти на агломераційних машинах [5]. Спосіб включає в себе завантаження шихти на колосникові грати двома шарами заданої висоти з різним вмістом палива, запалювання верхнього шару шихти, просмоктування повітря через верхній та нижній шари шихти, її спікання та розвантаження спеченого агломерату. Експериментально визначають графічну залежність температури зони горіння шихти з середнім вмістом палива в нижньому та верхньому шарі від відстані до колосникових ґрат. Висоти нижнього та верхнього шарів шихти вибирають

пропорційними відрізкам, довжини яких відповідають відстаням від точки перетину лінії оптимального значення температури спікання та кривої графіка залежності температури зони горіння шихти з середнім вмістом палива від відстані до колосникових ґрат агломераційної машини. Середній вміст палива нижнього та верхнього шарів шихти корегують пропорційно до площі ділянок між лінією оптимального значення температури горіння і кривою графіку залежності температури зони горіння шихти з середнім вмістом палива від відстані до колосникових ґрат з урахуванням знаку відхилення від оптимального значення температури горіння шихти.

Недоліком наведеного методу підвищення якості агломерату є складність реалізації двошарового завантаження шихти на аглострічку.

Також, Мнихом А.С. та Пазюком М.Ю. був створений завантажувальний пристрій конвеєрної агломераційної машини [6]. Даний пристрій (рис.1.5) включає в себе бункер з живильником, завантажувальний лоток та стрілоподібну секцію. Як завантажувальний лоток використовують два послідовно розташованих завантажувальних лотки, які розділені повітряним проміжком і встановлені з різними кутами нахилу.

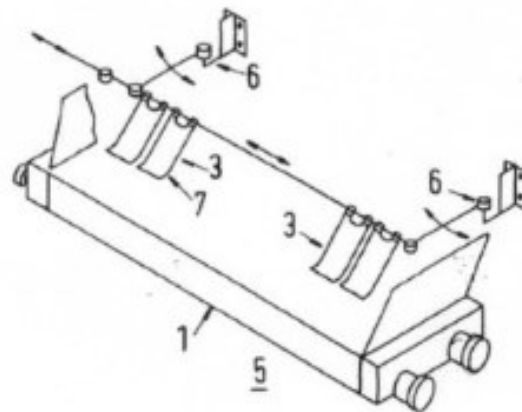
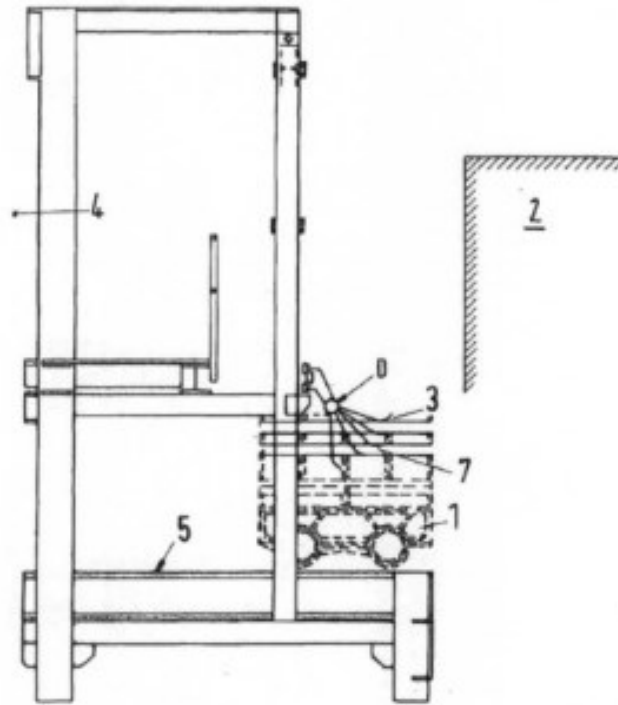


1 – вібраційний живильник; 2,3 – завантажувальна площина; 4 – стрілоподібна секція; 5 – конвеєрна машина

Рисунок 1.5 - Завантажувальний пристрій конвеєрної агломераційної машини

Недоліком є низьке розділення класів крупності потоку шихти при її завантаженні на палети, що обумовлює зниження продуктивності агломераційної машини та якості агломерату.

Фінським вченим Баровскі Г. був створений пристрій [7] для вирівнювання поверхні агломераційної шихти у ґратчастому спікальному візку. Винахід належить до галузі чорної металургії, а саме - до конструкції пристрою (рис.1.6) для вирівнювання поверхні агломераційної шихти у ґратчастому спікальному візку 1 перед її входженням у запалювальний горн 2 щонайменше одним шкребок 3 на ділянці між місцем 4 завантаження шару агломератної суміші і запалювальним горном 2, де щонайменше один шкребок 3 навішено над шляхом 5 проходження ґратчастого спікального візка 1 для забезпечення його зворотно-поступальних рухів за напрямком і проти напрямку її проходження, завдяки чому шкребок 3 створює опір у напрямку уздовж поверхні шару агломерату, коли ґратчастий спікальний візок 1 рухається під шкребок 3.

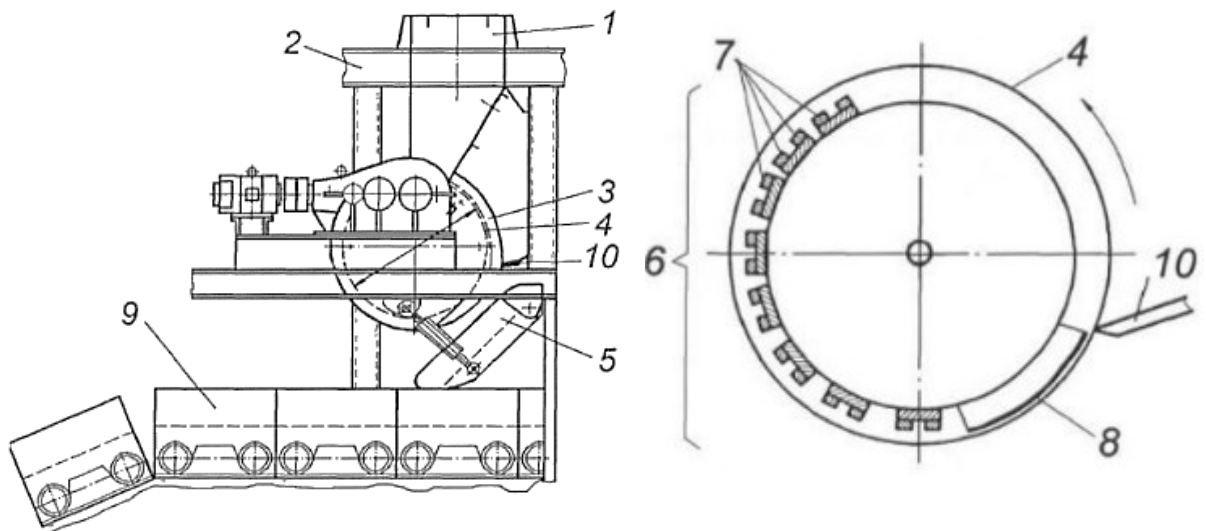


1 - ґратчастий спікальний візок; 2 - запалювальний горн; 3 - шкребок; 4 - місце завантаження; 5 - шлях проходження; 6 - коливальний привід; 7 - нахилений або зігнутий кінець; D - вісь обертання верхнього кінця шкребка(ків)

Рисунок 1.6 - Пристрій для вирівнювання поверхні агломераційної шихти у ґратчастому спікальному візку

Українським вченим Білоножко В.Ю. було створено корисну модель для завантаження шихти на палети агломераційної машини [8]. Пристрій для завантаження шихти (рис.1.7) містить бункер, барабанний живильник з обичайкою з діамагнітного матеріалу, завантажувальний лоток, розміщену

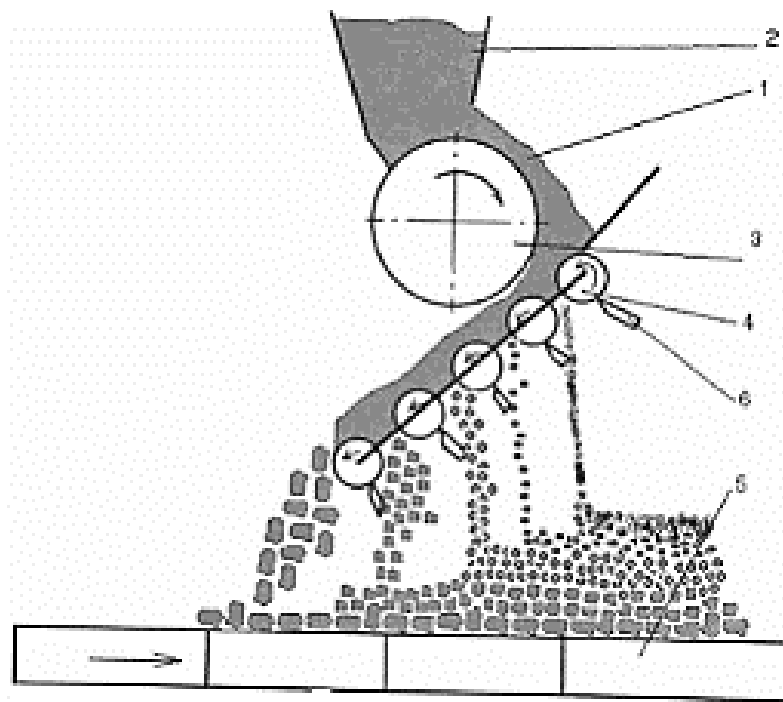
нерухомо всередині барабанного живильника магнітну систему магнітів, полярність яких чергується, екран, виконаний з магнітом'якого матеріалу і розміщений між магнітною системою і обичайкою барабанного живильника співвісно з ними. Бункер і барабанний живильник з обичайкою з діамагнітного матеріалу встановлені на агломераційній машині таким чином, що напрямок обертання барабанного живильника в його нижній точці збігається з напрямком руху палет агломераційної машини, магніти з полярністю, яка чергується, встановлені в системі зі змінним кроком, який зростає у відповідності з напрямком обертання барабанного живильника з коефіцієнтом від 1,1 до 1,5, а виконаний з магнітом'якого матеріалу екран має вигляд частини пустотілого циліндра з довжиною дуги основи, рівною від 0,12 до 0,25 від загальної довжини кола основи пустотілого циліндра, і розміщений нерухомо в нижній правій чверті барабанного живильника.



1 – бункер; 2 – каркас; 3 – барабанний живильник; 4 – обичайка з діамагнітного матеріалу; 5 – завантажувальний лоток; 6 – магнітна система; 7 – магніти; 8 – екран; 9 – палети; 10 – шкребок

Рисунок 1.7 - Пристрій для завантаження шихти на палети агломераційної машини

Воробйовим О.В. Томашем О.А. та ін. було створено пристрій для завантаження шихти на аглострічку [9]. Винахід (рис. 1.8) містить бункер, барабанний живильник і валковий грохот, встановлений з нахилом у бік, протилежний напрямку руху аглострічки, який відрізняється тим, що відстань між валками грохота збільшено у напрямку, протилежному руху аглострічки, із співвідношенням між наступною та попередньою відстанями між поверхнями валків від 1,5 до 2,25.



1 – шихта; 2 – бункер; 3 - барабанний постачальник; 4 - валковий гуркіт-розподільувач; 5 - аглострічка; 6 - ножі

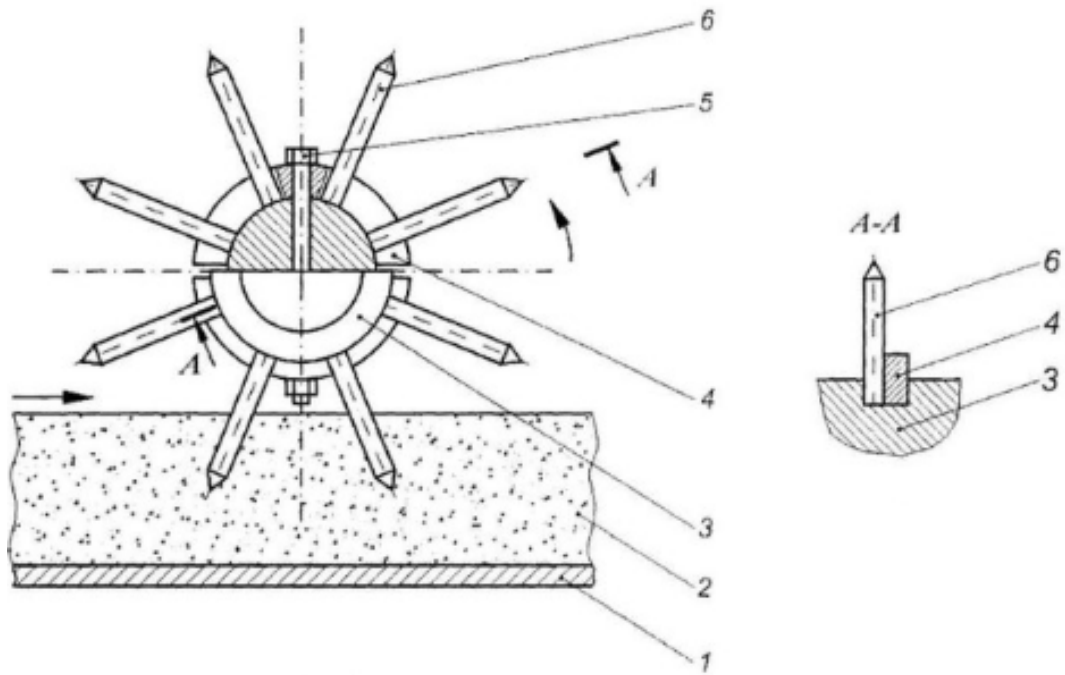
Рисунок 1.8 – Пристрій для завантаження шихти на аглострічку

Шихта 1 подається в бункер 2, після чого йде до барабанного постачальника 3, з якого подається до валкового гуркіт-розподільувача 4. Валки грохоту обертаються в напрямку руху шихтових матеріалів. Аглошихта розподіляється по гранулометричному складу наступним чином. Спочатку на першій вузькій щілині відсіюються найбільш дрібні частинки. Потім більш

крупні гранули просипаються в середині за розміром та розташуванням щілин між валками. Найбільш крупні гранули, не піддаючись відсіву, зсипаються безпосередньо на аглострічку 5 з розвантажного кінця грохоту, формуючи нижній шар шихти. На нижній шар зсипаються середні частинки, формуючи другий шар шихти, за рахунок протилежного напрямку руху матеріалів на грохоті-розподільвачі та на агломераційній конвеєрній машині. Найдрібніші гранули, що зсипаються до першої вузької щілини, формують верхній шар шихти. Таким чином, протилежні напрямки руху шихти по валковому грохоту та на аглострічці, які збільшуються між валками грохоту в напрямку до його розвантажного кінця сприяють посиленню сегрегації агломераційної шихти по висоті та забезпечують максимальну газопроникність.

Ще один спосіб виробництва агломерату [10], створений Карабаш Д.Г. та Зотовим О.В., включає горизонтальне пошарове укладання в штабелі подрібнених залізовмісних матеріалів концентрату, аглоруди, колошникового пилу, огару, їх усереднення, перемішування з паливом та флюсом, зволоження, згрудковування, укладання на стрічку і спікання, який відрізняється тим, що як залізовмісний матеріал додатково використовують піритні недогарки у кількості від 5 мас. % до 10 мас. % від загальної маси матеріалів, а кількість аглоруди відповідно зменшують.

Фоменком О.П., Мосьпаном В.В. та ін. було винайдено модель для підготовки шихти при виробництві агломерату [11]. Пристрій для підготовки шихти при виробництві агломерату (рис. 1.9) містить колосникову решітку, виконану у вигляді безконечної стрічки візків з бортами для спікання, з встановленим над нею валом із паралельно розташованими органами, що утворюють щілини. Органи, які утворюють щілини, виконані у вигляді штирів, закріплених нерухомо на бічних поверхнях півкільця, сполучених попарно різьбовим з'єднанням перпендикулярно осі вала, причому півкільця встановлені в кільцеві канавки, розташовані уздовж вала з однаковим кроком.



1 - колосникова решітка; 2 – шихта; 3 – вал; 4 – півкільця; 5 – болтове з'єднання перпендикулярно осі вала; 6 – штирі; А-А - повернений розріз

Рисунок 1.9 – Пристрій для підготовки шихти при виробництві агломерату

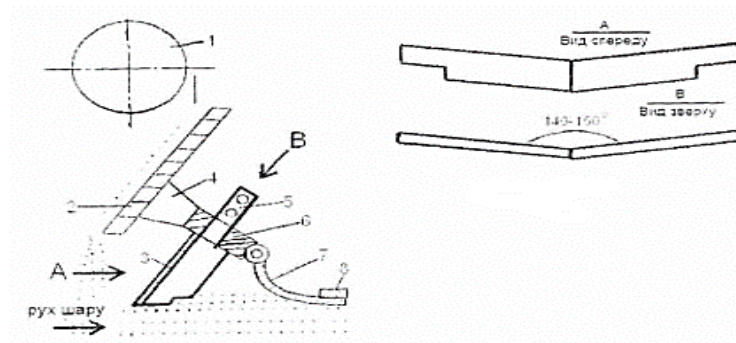
Пристрій працює в такий спосіб. При прямолінійному русі колосникової решітки 1 штирі 6 послідовно входять на задану глибину в шар шихти 2, що спікається, утворюючи в ній клиноподібні щілини й обертаючи вал 3. Півкільця 4 встановлені в паралельних кільцевих канавках, що виключає їх поперечний зсув і дає можливість для кріплення їх лише одним болтовим з'єднанням перпендикулярним осі вала. Розташування півкілець 4 з однаковим кроком уздовж вала 3 сприяє рівномірному розподілу щілин. У випадку зрізування болтового з'єднання 5, півкільця 4 зі штирями 6 можуть бути використані повторно. Переривчасті щілини клиноподібної форми відносно рівномірно розподіляються в шарі шихти, що спікається, і збільшують поверхню, через яку проходить атмосферне повітря, що сприяє рівномірному згорянню твердого палива і інтенсифікації процесу спікання, завдяки чому знижується вміст в агломераті фракції менше 5 мм.

Таким чином, при використанні пропонованого пристрою забезпечується рівномірність розподілу щілин у верхньому шарі шихти, що спікається, збільшується обсяг атмосферного повітря, яке проходить крізь нього, при цьому поліпшуються умови згоряння твердого палива, що поліпшує якість агломерату, знижує витрату твердого палива за рахунок його повного згоряння та збільшує питому продуктивність агломашини. До того ж, корисна модель дозволяє полегшити виготовлення пристрою і підвищити його ремонтпридатність.

Недоліком даного пристрою є те, що при русі колосникової решітки клиноподібні диски формують на поверхні шихти суцільні подовжні щілини, які створюють нерівномірний опір проходженню атмосферного повітря в поперечному перерізі шару шихти. До того ж при експлуатації ускладнена конструкція пристрою суттєво знижує надійність його роботи.

Спосіб виробництва агломерату [12], винайдений Руденко Ю. Р., Бродським С. С. та ін., включає рівномірне укладання карбонатного флюсу на постіль, перед завантаженням шихти, який відрізняється тим, що завантаження шихти на колосникову решітку здійснюється одночасно з формуванням постелі, що являє собою шар флюсу, фракційний склад якого знаходиться між 50 мм і величиною, що перевищує поперечний провіт між колосниками спікальних візків.

Модель завантажувального пристрою конвеєрної агломераційної машини [13], винайдений Овчинниковою І. А., Міщенко І. М. та ін., закладається в тому, що пристрій (рис. 1.10), який містить барабанний живильник, двоступінчастий завантажувальний лоток і спеціальну гладилку, який відрізняється тим, що другий ступінь виготовлений стрілоподібної форми із двох площин з кутом між ними від 140 град до 150 град і крайовими щілинами внизу площини висотою від 50 мм до 70 мм і довжиною від 250 мм до 300 мм. В пристрої другий ступінь з'єднаний зі спеціальною гладилкою шихти, що має крайові вантажі.



1 - барабанний живильник, 2 - перший ступінь завантажувального лотка, що забезпечує сегрегацію шихти по висоті шару, що формується у агломераційній машині; 3 - другий ступінь для формування шару з початковими крайовими виступами стовщення шару; 4 - кронштейни для кріплення другого ступеня; 5 - опорні муфти; 6 - штоки регулювання положення; 7 - спеціальна гладилка з вантажами по краях 8

Рисунок 1.10 - Завантажувальний пристрій конвеєрної агломераційної машини

Пристрій працює таким чином. Підготовлена шихта за допомогою барабанного живильника та завантажувального лотка завантажується на палети агломераційної стрічки. При цьому на першій ступені лотка шихта розподіляється за фракціями для забезпечення максимальної газопроникливості шару. За допомогою другої стрілоподібної ступені частина шару зрізується до заданої висоти, причому зрізана шихта скачується з середини шару уздовж бокових поверхонь другої ступені лотка до його країв з вирізами, що дозволяє збільшити висоту шару шихти по краях на від 50 мм до 70 мм. Після того, як палети проходять під завантажувальним лотком, шар шихти на них приймає форму площини з виступами біля бортів, які виникають на місці щілин. Для придання шару однакової висоти після лотка знаходиться спеціальна гладилка з вантажами, яка ущільнює шар шихти в прибортовій зоні, що знижує в ній прососи повітря. Далі шихта, проходячи під горном агломації, запалюється і спікається методом просмоктування, але з мінімальною різницею у швидкості спікання між центральною та периферійною зонами шару шихти.

Фроловим Ю. А., Горшковим М. М. та ін. було винайдено пристрій для завантаження шихти на агломераційну машину [14]. Пристрій для завантаження шихти на агломераційну машину, що містить послідовно розташовані завантажувальну воронку з розвантажувальним вікном і шибером, барабанний живильник, стабілізатор, встановлений з примиканням його завантажувального кінця до котра утворює поверхні барабана, обмеженою кутом від 35 град до 45 град до горизонтальної площини, і похилий до горизонтальної площини під негативним кутом завантажувальний лоток, що відрізняється тим, що на нижньому торці стабілізатора виконані зуби, знизу між зубами розміщені розсікачі, при цьому довжину стабілізатору вибирають з розрахунком того, що його проекція на горизонтальну площину становить від 0,4 до 0,6 від радіуса барабанного живильника, а за завантажувальним лотком встановлені автономний вирівнюючий ніж і гладилка, ніж регулюється по висоті і відстані від завантажувального лотка таким чином, щоб забезпечити його нахил до горизонтальної площини по відношенню до нахилу завантажувального лотка на від 5 град до 15 град більше, причому зазор по вертикалі між нижніми крайками ножа і завантажувального лотка становить від 50 мм до 150 мм.

Спеціалістами ОАО «Азовсталь» було досліджено застосування статистичного критерію сегрегації для оцінки перерозподілу шихти по крупності при завантаження на агломераційної машини [15]. Для оцінки сегрегації агломераційної шихти по висоті шару порівнюються діаметри частинок, відібраних з різних горизонтів, з ідеальною розміром гранул, що відповідає статистичному розподілу Вейбула. Для порівняння запропоновано критерій, аналогічний вибіркового кореляційному відношенню. Аналіз розподілу шихти по крупності на агломераційних машинах ВАТ МК «Азовсталь» із застосуванням розробленого методу показав необхідність збільшення сегрегації гранул по висоті спікається шару і скорочення нерівномірності їх розподілу по ширині палет.

Науковцями Руских В. І. та Кривенко С. В. розглянуто процес підвищення газопроникливості шару агломераційної шихти [16]. В даній статті описаний

спосіб оптимізації агломераційного процесу на основі моделі газопроникливості шару аглошихти, яка визначає оптимальні параметри роботи агломашини з урахуванням їх комплексного впливу на виробництво та якість агломерату. Модель газопроникливості шару сипучого матеріалу складається з опису гранулометричного складу аглошихти по його висоті, моделі шару аглошихти та моделі руху газу в ньому. Кількість шихти, що завантажують на агломашину, регулюють зміненням кількістю обертів барабанного живильника та розміром вікна видачі. Кут нахилу завантажувального приладу встановлюють на оптимальному значенні при якому забезпечується найбільша газопроникливість шару.

Вище наведені способи підвищення якості газопроникливості шихти, завантаження, формування шару мають наступні недоліки:

- суттєво ускладнюють конструкцію завантажувального лотку [3, 4, 7, 8, 10, 14];
- порушують структуру шару аглошихти [9, 11].

Пошук способів модернізації технології та обладнання завантаження шихти на агломашини продовжує залишатися актуальною задачею, оскільки в агломерації досі не розроблено такого унікального завантажувального пристрою, який відповідав би всім вимогам сучасної технології формування на агломашині шару з оптимальними температурно-тепловими та газодинамічними характеристиками. Системи завантаження на українських аглофабриках не відповідають багатьом вимогам специфічної технології підготовки і спікання шихти, що містить залізородні концентрати і відходи, вони менш досконалі, ніж деякі закордонні аналоги і потребують як мінімум елементарної модернізації. У той час як японські фахівці запропонували кілька оригінальних конструкцій двоступінчастих завантажувальних пристроїв агломашин, що успішно використовуються не тільки в Японії, але і в Китаї, Бразилії та інших країнах.

1.3 Постановка цілі та задачі дослідження

Аналіз сучасного стану агломераційного виробництва показав необхідність покращення сучасного процесу агломерації у зв'язку із нестабільністю якості та характеристик вхідних матеріалів. Враховуючи аналіз літературних даних щодо модернізації процесу та дослідження встановлено, що найбільше раціональним є оптимізація процесу завантаження шихти на агломераційній стрічці.

З ростом об'єму виробництва знижується якість виготовленого агломерату внаслідок погіршення газопроникливості шихти. Одним з значних моментів виникнення даної проблеми є процес завантаження шихти, внаслідок якого формується шар шихти на аглострічці.

Виходячи з вищесказаного, ціллю даної роботи є підвищення якісних показників технологічного процесу та визначення оптимального поєднання газодинамічних властивостей шару шихти та міцності агломерату.

Для досягнення поставлених цілей сформовані такі задачі:

- проаналізувати сучасний стан процесу завантаження шихти на агломераційну стрічку, пристроїв та методів підвищення якості автоматизованої системи управління спікання шихти;
- визначити газодинамічні характеристики сформованого шару та встановлення залежності впливу структури шару на його газодинамічний опір;
- дослідити вплив структури сформованого шару шихти на якість агломерату;
- розробити математичну модель оптимізації режимів роботи завантажувального вузла агломераційної машини;
- розробити удосконалену систему роботи завантажувального пристрою агломашини.

2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ШАРУ ШИХТИ НА АГЛОМЕРАЦІЙНІЙ СТРІЧЦІ

2.1 Обґрунтування засобів та методів дослідження

Дана робота спрямована на підвищення якості агломерату шляхом оптимізації структурної неоднорідності та газопроникності шару шихти. Для цього необхідно встановити загальні закономірності процесу завантаження і на їх основі розробити математичну модель, що дозволить оптимізувати і прогнозувати зазначені вище показники.

Для вирішення поставленого завдання необхідно:

- визначити фракційний склад агломераційної шихти;
- визначити газодинамічні властивості стаціонарного шару шихти на агломераційній стрічці;
- вибрати критерії оптимальності;
- розробити систему управління завантаження шару шихти.

Існують різноманітні способи підвищення ефективності агломераційного процесу. Але більшість з них вимагають технічного переозброєння підприємств і великих капітальних витрат, інші є недостатньо ефективними і не враховують процесів формування шару шихти і її спікання. Одним з найбільш ефективних і економічно доцільних способів є оптимізація процесу завантаження шихти на аглострічку.

Для вирішення основних задач необхідно для початку визначити модель руху окремих частинок та потоку частин по похилій площині та встановити залежність впливу кута нахилу завантажувальної поверхні на структуру шару. Надалі, експериментальним шляхом визначити залежність впливу структури шару на газодинамічні властивості стаціонарного шару. Після чого розробити систему управління для оптимізації формування шару шихти на аглострічці.

2.2 Методологія визначення фракційного складу та газодинамічних властивостей шару шихти

Визначення гранулометричного складу шихти можливо ситовим методом та лазерним. Найоптимальніше визначати ситовим аналізом, не зважаючи на те, що він займає більше часу, але є менш затратним. Ситовий аналіз дозволяє оперативно і з мінімальними технічними витратами отримати інформацію про гранулометричному складі багатокomпонентного порошкового матеріалу.

Визначення фракційного складу здійснювалося методом ситового аналізу з використанням спеціально розроблених відбірників шихти. Відбір проб проводилось в спікальному відділенні аглофабрики ВАТ «Запоріжсталь». Як завантажувальні вузли агломашин використовуються типу «барабанний живильник - завантажувальний лоток». Дослідження сегрегації визначалось по висоті шару і ширині агломераційної стрічки.

Пробовідбірник встановлювався на агломашину, проходячи під завантажувальним лотком, заповнювався шихтою. Надалі, він витягувався з шару шихти на агломашин при спеціальній зупинці аглострічки. Шихта, що там знаходилась, поділялася спеціальними заслінками по висоті на шари висотою 0,15 м кожен. Отримані пошарові проби полідисперсного матеріалу розсіювалися методом ситового розсівання згідно ГОСТ 27562 - 87 по фракціям з наступним фракційним складом: +6 мм, від 3 мм до 6 мм, 3 мм. Насипна щільність шихти визначалася згідно ДСТУ 3202-95. Відбір проб агломераційної шихти проводився в центрі і по краях спікальних візків.

Газодинамічні властивості стаціонарного шару шихти на агломераційної стрічці досліджували методом визначення газопроникності шару в промислових умовах (ГОСТ 21707-76), а також на лабораторній установці.

Вимірювання втрат тиску повітря безпосередньо на аглострічці здійснювалося методом змінного перепаду тиску. Вимірювальна установка являє собою стакан, встановлений на поверхню шару з ущільненням для виключення

шкідливих просочувань повітря. Кришка склянки представляє собою стандартне сопло з отвором, діаметр якого розрахований, але з відомих методик [17]. До й після сопла здійснюється відбір тисків за допомогою трубок, причому до пристрою звуження вимірюється тиск навколишнього повітря, а після - розрідження склянкою постіль.

Чим менше абсолютне значення тиску під склянкою, тим більший газодинамічний опір має шар в місці установки вимірювальної склянки та, відповідно, менше його газопроникливість. Перепад тиску на звужуючому приладі вимірюється за допомогою мікроманометра МТМ701.9 виробництва компанії «Мікротерм».

2.3 Визначення впливу процесу завантаження на формування шихти

Структура шару шихти визначає основні показники процесу агломерації. Для визначення впливу характеристик процесу завантаження проводилися дослідження впливу кута нахилу одноступінчастого завантажувального лотка на структуру шихти. Для оптимізації параметрів завантаження шихти необхідний математичний опис експериментальних закономірностей досліджуваного процесу. Математичний опис дозволяє встановити чіткі залежності впливу завантаження, зокрема кута нахилу завантажувального лотка, на визначення газодинамічності шару агломераційного процесу. Для вирішення поставлених завдань в роботі необхідно розробити докладний опис процесу формування шару шихти, в основі якого повинні лежати результати експериментальних досліджень.

2.3.1 Математичний опис процесу формування шихти на аглострічці

Враховуючи те, що після огрудкування в барабані-огрудковувачі шихта надходить в проміжний бункер, а потім – на завантажувальний прилад агломашины, процес завантаження необхідно описувати не тільки як потік

окремих частинок, а й враховувати характеристики руху сипучого матеріалу по площині [18].

При завантаженні матеріалу на горизонтальну площину в міру накопичення сипучої маси утворюється конус, формування якого триває до тих пір, поки нахил його бічної поверхні не досягне кута природного укосу. Якщо розміри площині обмежені, то кут нахилу бічної поверхні може не досягти свого граничного значення, так як матеріал почне розвантажуватися раніше. У цьому випадку значення кута нахилу буде визначатися моментом настання рівноваги між приходом ($q_{п}$) і витратою ($q_{в}$) матеріалу: $q_{п}=q_{в}$.

Для вивантаження також необхідно, щоб початкова швидкість руху частинок була достатня для пробігу по боковій поверхні об'ємної фігури, що сформувалася на площині. Рух сипучий потоку визначається за формулою (2.1):

$$V_k = \sqrt{2gl\mu \cdot (\sin \alpha_2 - f_{2cp} \cos \alpha_2) + V_n^2}, \quad (2.1)$$

де V_k - кінцева швидкість руху частинки, м/с;

l - довжина бокової поверхні конуса сипучого матеріалу, м;

μ - коефіцієнт форми частинки;

α_2 - кут нахилу укосу матеріалу, градус;

V_n - початкова швидкість руху частинки, м/с;

f_{2cp} - середній коефіцієнт тертя ковзання сипучого матеріалу.

З формули (2.1) визначається значення кута нахилу бічної поверхні об'ємної фігури α_2 , яке є необхідним для забезпечення вивантаження сипучого матеріалу.

Граничне умова руху частинки до кромки площині визначається умовою, що $V_k=0$ (2.2):

$$\sin \alpha_2 - f_{2cp} \cos \alpha_2 + \frac{V_H^2}{2gl\mu} = 0. \quad (2.2)$$

Замінюємо $\cos \alpha = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha}$ й позбавляємося від знаку радикала в лівій частині рівняння 2.3:

$$\sin^2 \alpha_2 + \frac{V_H^2}{gl\mu(1 + f_{2cp}^2)} \sin \alpha + \frac{\left(\frac{V_H^2}{2gl\mu}\right)^2 - f_{2cp}^2}{1 + f_{2cp}^2} = 0. \quad (2.3)$$

Вирішуємо отримане рівняння щодо α_2 :

$$\alpha_2 = \arcsin \left\{ -\frac{V_H^2}{gl\mu(1 + f_{2cp}^2)} + \sqrt{\left[\frac{V_H^2}{gl\mu(1 + f_{2cp}^2)}\right]^2 - \frac{\left(\frac{V_H^2}{2gl\mu}\right)^2 - f_{2cp}^2}{1 + f_{2cp}^2}} \right\}. \quad (2.4)$$

Аналіз (2.4) показав, що при зміні кута нахилу бічної поверхні об'ємної фігури буде змінюватися і його вплив на умови руху частинок. У міру збільшення кута вплив на умови руху частинок буде зменшуватися і навпаки. У момент, коли $\alpha_2 = \arctg f_{2cp}$, кінцева швидкість руху частинок по боковій поверхні конуса буде дорівнює початковій їх швидкості, тобто $V_k = 0$. Подальше збільшення кута нахилу бічної поверхні об'ємної фігури припиниться, тому що частки, що на ній з $V_H = 0$ будуть мимовільно скочуватися вниз в зв'язку з тим, що $\sin^2 \alpha_2 - f_{2cp} \cos \alpha_2 > 0$.

Для даного матеріалу, умови руху якого визначаються коефіцієнтом тертя кочення f_{2cp} , розміри завантажувального лотка визначаються з рівності $\alpha_2 = \arctg f_{1cp}$. Отримані значення відповідають умовам, при яких окремі частинки рухаються по боковій поверхні конуса, утвореного на площині

завантажувального лотка, без зупинок. Збільшення розмірів площини призведе до того, що рухаючись по бічній поверхні конуса частинки зупиняться, не досягнувши її краю. Це викличе скупчення матеріалу, що надходить на бічній поверхні об'ємної фігури. Кут її нахилу перевищить критичне значення і в результаті виникає мимовільний рух частини маси матеріалу вниз. У зв'язку з тим, що в процесі руху частинки взаємодіють з нерухомою частиною матеріалу і захоплюють її частково за собою, кут нахилу поверхні їх руху буде менше кута природного укосу даного матеріалу. Кут, що утворився після сходу частинок з бічної поверхні об'ємної фігури, завжди менше кута природного укосу матеріалу і називається динамічним кутом укосу. Його значення менше значення граничного кута α , в середньому від 10 градусів до 12 градусів. Після сходу частини матеріалу рівновагу об'ємної фігури відновлюється і рух частинок, з яких складається масу, припиняється. Якщо кількість матеріалу на площині збільшується за рахунок його надходження, то вказана рівновага носить тимчасовий характер. Як тільки обсяг маси матеріалу досягає критичного значення, станеться обвал її частини і відновлення рівноваги. Оскільки процес руху матеріалу через площину носить сталий характер, то середнє значення його миттєвої витрати на всіх елементарних ділянках має бути постійним і рівним $q_{\text{п}}$.

При цьому форма об'ємної фігури, утвореною сипучою масою на площині, не буде постійною, а циклічно змінюється в часі. В результаті цих коливань утворюється потік, що скачується з площини матеріалу, який має переривчастий характер. Період видачі матеріалу визначається його кількістю, що надходять на площину в одиницю часу та знаходиться за формулою (2.5):

$$\tau = \frac{\Delta Q_{\text{ср}}}{q_{\text{п}}}, \quad (2.5)$$

де $\Delta Q_{\text{ср}}$ - середня кількість матеріалу, що скачується з площини, м;

$q_{\text{п}}$ - продуктивність дозатора, що подає матеріал на площину, м³/с.

Ця залежність справедлива в тому випадку, якщо $q_{\text{п}} \ll \Delta Q_{\text{ср}}$. В міру збільшення періоду часу між окремими вивантаження матеріалу з площини зменшується і рух перетворюється в безперервний потік при $q_{\text{п}} = \Delta Q_{\text{ср}}$. З урахуванням часу руху маси, що скочується по боковій поверхні об'ємної фігури значення $q_{\text{п}}$ буде навіть менше ніж $\Delta Q_{\text{ср}}$.

Розглянутий механізм руху матеріалу відповідає його переміщенню по боковій поверхні об'ємної фігури невеликої довжини. Для цих умов характерно практично повне скочування всієї маси матеріалу, що відірвалася з бічної поверхні конуса і вивантаження його з площини.

Якщо розміри об'ємної фігури, утвореної матеріалом на площині, значні, то в цьому випадку процес його руху набуває складний багатоступінчастий характер. Він може бути представлений як послідовний рух маси, що скочується між окремими елементарними ділянками об'ємної фігури. В цілому ж, закономірності руху зберігаються. Для переходу в безперервний режим руху матеріалу необхідно, щоб $q_{\text{п}} \rightarrow n \cdot \Delta Q_{\text{ср}}$, де n - число елементарних ділянок руху. У міру збільшення $q_{\text{п}}$ період між видачами матеріалу з площини буде скорочуватися. Оскільки на рух потрібен певний час, то в міру зменшення їх частина матеріалу не буде встигати вчасно скочуватися з бічної поверхні конуса. Це призведе до того, що амплітуда коливань поточних значень в часі зменшиться, а рівномірність руху підвищиться.

Таким чином, у міру збільшення режим переміщення матеріалу по поверхні об'ємної фігури, утвореної його масою на площині, наближається за своїм механізмом до руху рідини. Відмінною особливістю є необхідність накопичення певної нерухомої кількості матеріалу, що забезпечує можливість руху для решти. Його мінімальне значення визначається залежністю (2.6):

$$\alpha_2 = \arctg \frac{2H}{D} = \arctg f_{2\text{ср}}. \quad (2.6)$$

Як впливає з отриманого виразу, кількість матеріалу, що знаходиться на площині, визначається її розміром за формулою (2.7):

$$Q_m = S_0 \cdot \frac{1}{3}H = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{1}{3}H, \quad (2.7)$$

де S_0 - площа підстави об'ємної фігури, утвореної матеріалом на площині, м²;

H - висота об'ємної фігури, м;

D - діаметр основи конуса, м.

Період проходження максимумів витрати матеріалу визначається часом створення критичних умов стійкого стану його маси на окремих елементарних ділянках.

Уривчастість руху виникає в результаті переходу фізичного стану матеріалу від відповідності єдиного тіла до рідини, який супроводжується руйнуванням зв'язків між його частинками. У момент виникнення руху частини об'ємної фігури, утвореної на площині, її цілісність порушується і сипуча маса розпадається на безліч складових її окремих частинок, що рухаються самостійно. Це явище небажано з точки зору періодичного порушення рівномірності потоку, що рухається. Тому в тих випадках, коли потрібно зберегти стабільність потоку, необхідно вживати спеціальних заходів щодо усунення явища дискретності [19].

Розглядаючи безпосередньо рух потоку частинок по завантажувальному лотку, його можна уявити похилою площиною обмеженого розміру. Умови руху сипучого матеріалу по такій поверхні мають складний неоднозначний характер, на який впливає кут нахилу площини щодо горизонталі.

Якщо енергії, придбаної часткою під час падіння на похилу площину, недостатньо для досягнення нижнього краю похилій площині, то на її поверхні накопичується нерухома маса матеріалу. Її значення визначається умовами виникнення критичного стану, що утворилася на поверхні об'ємної фігури і

початку руху матеріалу. На момент початку руху гранична кількість матеріалу, що знаходиться на похилій площині, менше в порівнянні з масою на горизонтальній поверхні аналогічного розміру.

Максимальна кількість матеріалу, що знаходиться на поверхні завантажувального лотка при різних кутах його нахилу, визначається з рис. 2.1, згідно формули (2.8):

$$S_1 = \frac{1}{2} l_1^2 \operatorname{tg} \alpha_2'', S_1 = \frac{1}{2} l_1^2 \operatorname{tg} \alpha_2', \quad (2.8)$$

де S_1 - площа перетину сипучої маси, що знаходиться на горизонтальній площині, м^2 ;

S_2 - площа перетину нерухомого шару сипучої маси, м^2 ;

S_1-S_2 - площа перетину рухається сипучої маси, що знаходиться на похилій площині, м^2 ;

l - довжина завантажувального лотка, м ;

α_2 - кут нахилу частини сипучої маси, що безпосередньо прилягає до горизонтальної площини, град;

α_1 - кут нахилу поверхні завантажувального лотка, град;

α_2 - кут нахилу бічної поверхні об'ємної фігури на поверхні завантажувального лотка, град.

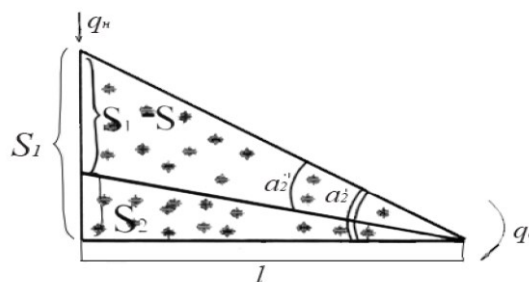


Рисунок 2.1 - Схема формування структури сипучого матеріалу на завантажувальному лотку

Процес руху матеріалу по завантажувальному лотку характеризується періодичним переходом окремих обсягів граничного шару сипучої маси в псевдозріджений стан і скочування їх в напрямку розвантажувального краю. Рух має переривчастий характер і здійснюється локальними обсягами матеріалу. Швидкість переміщення сипучої маси незначна, однакова для всіх фракцій і визначається кількістю що надходить на площину матеріалу, а також його фізико-механічними характеристиками. Завдяки розподілу локального обсягу сипучої маси по ділянці руху, забезпечується хороше перемішування її і усереднення.

При монотонному збільшенні кута нахилу площини досягається його значення, при якому кінетичної енергії, придбаної частинками при падінні, буде досить для досягнення розвантажувального краю площині. У цьому випадку на її поверхні утворюється потік рухомого матеріалу, який має характеристики, близькі до властивостей рідини. Значний вплив на умови його руху по поверхні завантажувального лотка надає продуктивність живильника. При відносно невеликій її величині локальні обсяги матеріалу, падаючи на площину лотка, поділяються на окремі, не пов'язані один з одним частинки, які рухаються при мінімальних взаємних силах зчеплення. Це дозволяє описувати процес, ґрунтуючись на умовах руху окремої частки по похилій площині. Можливість використання зазначеної моделі руху сипучого матеріалу обмежена граничною величиною продуктивності, при якій змінюються ступінь його поділу на окремі фракції.

При збільшенні кута нахилу площини щодо горизонталі може бути досягнуто його значення, при якому швидкості руху всіх фракцій практично зрівнюються, що призведе до зникнення сегрегації сипучої маси по гранулометричному складу.

Таким чином, в процесі руху маси полідисперсного матеріалу по похилій площині в системі «живильник - завантажувальний лоток - укіс шару» окремі частинки займають різне становище в шарі, що формується, яке визначається за

допомогою рівнянь, що описують стан частинки в шарі при її русі в режимі качення [20] за формулою 2.9:

$$h_i = \frac{l_1(\sin\alpha_1 - f_{1i}\cos\alpha_1) \cdot \sin\alpha_2}{f_{2i} \cdot \cos\alpha_2 - \sin\alpha_2}, \quad (2.9)$$

де l_1 - довжина завантажувального лотка;

α_1 - кут нахилу лотка;

α_2 - кут нахилу укосу матеріалу, град;

f_{1i} - коефіцієнт тертя качення частки сипучого матеріалу по площині нахилу поверхні;

f_{2i} - коефіцієнт тертя качення частки сипучого матеріалу по поверхні монодисперсних матеріалу.

Однак ці рівняння не враховують взаємодії в потоці частинок між собою, що викликає відхилення їх поведінки від отриманих розрахунковим шляхом закономірностей. Великі фракції (+6 мм), втрачаючи частину своєї кінетичної енергії при зіткненні з дрібними, будуть затримуватися на більш високих горизонтах по відношенню до розрахункового положення. Дрібні фракції матеріалу (-3 мм), в свою чергу, під впливом рухомих великих часток будуть переміщатися на більш тривалі відстані, ніж розраховано за допомогою моделі. У зв'язку з тим, що процес взаємодії окремих частинок в рухомому потоці схильний до значного впливу випадкових впливів, значення їх коефіцієнтів тертя можуть бути визначені тільки експериментально для конкретних умов формування шару. Тому при моделюванні процесів формування шарів полідисперсних матеріалів для перевірки правильності теоретичних розрахунків необхідно використовувати додаткові умови. Це, зокрема, умова збереження балансу гранулометричного складу матеріалу, до і після його укладання на спекательні візки. Структурна схема визначення розрахунку середнього діаметра

частинок сформованого шару представлена на рис. 2.2. Розрахункові формули представлені виразами (2.10-2.16).

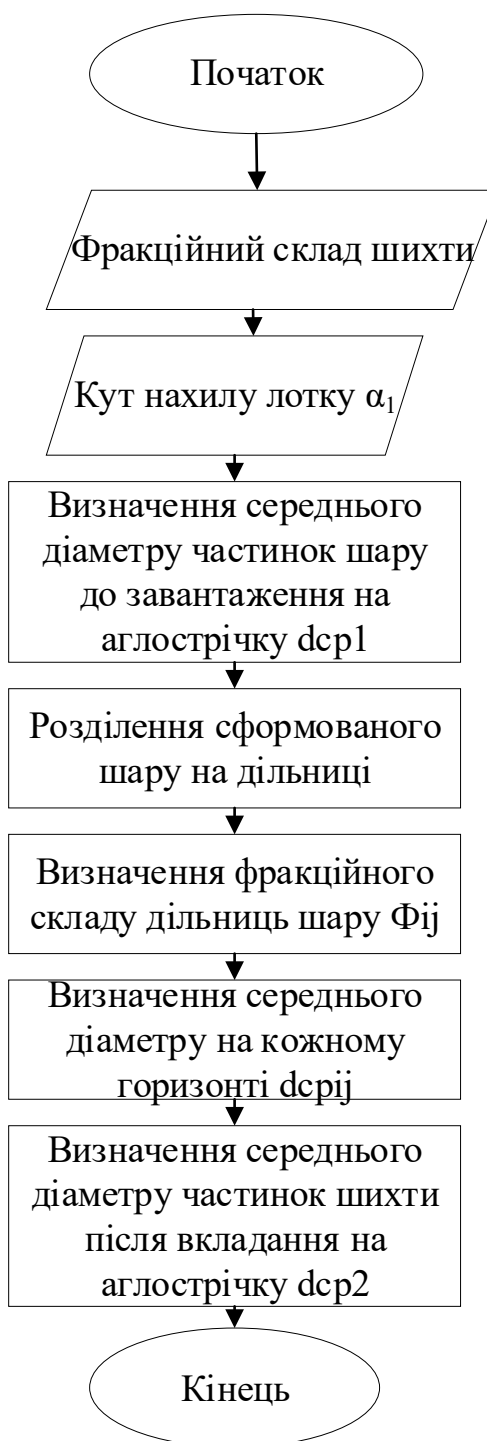


Рисунок 2.2 – Структурна схема розрахунку середнього діаметру частинок сформованого шару

Згідно з балансом фракційного складу матеріалу, що надходить, і шихти, що знаходиться на аглострічці, середні діаметри частинок, складових їх маси, повинні бути рівні між собою незалежно від умов розподілу фракцій по висоті формується шару. В цьому випадку (2.10):

$$d_{cp1} = d_{cp2}, \quad (2.10)$$

де d_{cp1} та d_{cp2} – середній діаметр частинок шихти, що надходять на аглострічку та тих, що вже завантажились на спікаючі візки, мм.

Виходячи з (2.10), отримане в результаті розрахунку значення d'_{cp2} має відповідати середньому діаметру частинок, що надходять на аглострічку матеріалу d_{cp1} . Середній діаметр частинок матеріалу, що знаходиться в шарі, визначається за формулою (2.11):

$$d_{cp2} = \frac{d_{2H} + d_{2B}}{2}, \quad (2.11)$$

де d_{2H} , d_{2B} – середній діаметр частинок матеріалу, що знаходяться в нижній та верхній половині шару, мм.

У свою чергу, значення d_{2H} та d_{2B} визначаються як середні значення фракцій матеріалу, що знаходяться в крайніх горизонтах верхньої і нижньої половин формується шару.

При великих кутах нахилу завантажувального лотка, значно перевищують кут природного укосу матеріалу, великі фракції шихти не зможуть повністю розосередитися по його висоті (2.12):

$$l_k > \frac{h_{сл}}{\sin\alpha_2}, \quad 2.12$$

де l_k - шлях, що проходить по поверхні укосу сформовуючого шару великими фракціями шихти, м;

α_2 - кут нахилу укосу матеріалу, град;

$h_{сл}$ - висота шару на аглострічці, м.

У цьому випадку вони будуть накопичуватися в нижній половині шару, що призведе до порушення розрахункових закономірностей розподілу фракцій матеріалу по його висоті. Середній діаметр частинок шихти, що знаходяться в нижній половині шару, буде перевищувати його розрахункове значення, що призведе до порушення рівності (2.6). В цьому випадку:

$$\frac{d_{2н} + d_{2в}}{2} > d'_{сп2}, \text{ тобто } d'_{сп2} < d_{сп2}. \quad (2.13)$$

Таким чином, рух агломераційної шихти носить складний характер, описуваний закономірностями руху як окремої частки сферичної форми (2.11, 2.12), так і потоку сипучої маси. Однак в більшості випадків для опису процесу завантаження шихти достатнім є застосування законів руху окремих частинок. В даному випадку необхідно враховувати умови роботи, властиві для кожного окремого завантажувального вузла. Тому найбільш раціонально вплив зазначених факторів на зміну загального закону руху шихти враховувати через забезпечення балансу гранулометричного складу шихти. Дані коефіцієнти носять емпіричний характер і суттєво залежать від конкретних виробничих умов.

В процесі формування шару агломераційної шихти на спікальних візках виникає нерівномірне розміщення складаючих їх масу фракцій по висоті шару. Кожна фракція розміщується в залежності від її фізико-механічних

характеристик та умов роботи завантажувального вузла. В загальному виді цей процес можливо охарактеризувати залежностями (2.14-2.15):

$$\Phi_{1j}d_1 + \Phi_{2j}d_2 + \Phi_{3j}d_3 + \dots + \Phi_{nj}d_n = \sum_{i=1}^n \Phi_{ij}d_{cpj}, \quad (2.14)$$

$$d_{cpj} = \frac{\sum_{i=1}^n \Phi_{ij}d_{ij}}{\sum_{i=1}^n \Phi_{ij}}, \quad (2.15)$$

де Φ_{ij} – кількість фракцій з діаметром d_i на j -му горизонті шару шихти, %;

d_i – середній діаметр часток, що складають i -ю фракцію шихти, мм;

d_{cpj} – середній діаметр часток на j -ому горизонті шару, мм.

Сумуючи значення Φ_{ij} на всіх горизонтах шару, отримуємо залежність, що характеризує гранулометричний склад вхідного матеріалу (2.16-2.17):

$$\Phi_{1\Sigma}d_1 + \Phi_{2\Sigma}d_2 + \Phi_{3\Sigma}d_3 + \dots + \Phi_{n\Sigma}d_n = \sum_{i=1}^n \Phi_{i\Sigma}d_{cp}, \quad (2.16)$$

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n \Phi_{i\Sigma}d_i}{\sum_{i=1}^n \Phi_{i\Sigma}}, \text{ або } d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_{cpj}}{n}, \quad (2.17)$$

де $\Phi_{i\Sigma}$ – зміст i -ої фракції в агломераційній шихті, %;

d_{cp} - середній діаметр всіх часток шихти, мм.

Для визначення середнього діаметра частинок, що складають масу полідисперсного матеріалу на різних горизонтах шару (d_{cpj}) необхідно вирішити систему рівнянь, яка складається з виразу, адаптованого до процесу формування

шару на конвеєрних машинах, і рівнянь, що описують фізико-механічні характеристики фракцій матеріалу при завантаженні барабаном живильником (2.18) [20]:

$$h_i = \left. \begin{aligned} & \frac{l_1(\sin\alpha_1 - \hat{f}_{1i}\cos\alpha_1) \cdot \sin\alpha_2}{\hat{f}_{2i} \cdot \cos\alpha_2 - \sin\alpha_2} \\ & f_2 = \frac{a_1}{d_i} + b_1, \end{aligned} \right\} \quad (2.18)$$

де h_i – положення i -тої частинки в шарі відносно його поверхні, м;

α_1 – кут нахилу лотка, град;

α_2 – кут нахилу укусу матеріалу, град;

\hat{f}_{1i} – коефіцієнт тертя кочення частки сипучого матеріалу по площині нахилу поверхні; розраховується за формулою (2.19):

$$f_1' = \frac{a_1}{d_i} + b_1, \quad (2.19)$$

де a_1 , b_1 – експериментальні коефіцієнти (методом підбору присвоїмо значення $a_1 = 1,1$, а $b_1 = 0,2$);

\hat{f}_{2i} – коефіцієнт тертя кочення частки сипучого матеріалу по поверхні монодисперсних матеріалу; розраховується за формулою (2.20-2.21):

$$f_2' = \frac{14,67}{d_i}, \text{ при } d_i \geq 4,5\text{мм}, \quad (2.20)$$

$$f_2' = \frac{42,87 - 6,63d_i}{d_i}, \text{ при } d_i < 4,5\text{мм}, \quad (2.21)$$

де d_i – середній діаметр частинок i -ї фракції матеріалів, мм.

Чутливість залежності $f_2' = f(d_i)$ при значеннях $d_i < 4,25$ мм до типу завантажувального пристрою пояснюється тим, що одночасно з тертям кочення спостерігається значне за значенням тертя ковзання, що зростає зі зменшенням розміру часток, що рухаються. При збільшенні діаметра гранул понад значення 4,25 мм, форма окремих частинок стає досить близькою до сферичної, що призводить до практично повного зникнення ковзання при русі окремих гранул.

Значення коефіцієнта тертя ковзання агломераційної шихти по шихті [21], його залежність від вологості може бути описана рівнянням (2.22):

$$f_1 = 1,55 + 0,13W, \quad (2.22)$$

де W – вологість сипучих матеріалів, %.

Розподіл фракцій шихти по висоті шару пояснюється тим, що фізико-механічні характеристики різноманітних агломераційних шихт змінюються в залежності від фракційного складу [22]. Так, фракції -3 мм володіють високими коефіцієнтами внутрішнього і зовнішнього тертя, що обумовлює їх переважне розташування в верхніх горизонтах формується шар. Ті, що мають мінімальні значення коефіцієнтів тертя частинки розміром 6 мм в основному знаходяться в нижній частині шару. Фракції від 3 мм до +6 мм мають коефіцієнти тертя, що змінюються від максимальних значень до мінімальних. Тому вони можуть займати різне положення в шарі, яке визначається умовами його формування [23].

Таким чином, при зміні кута нахилу завантажувального лотка відбувається перерозподіл фракцій формується шар: при збільшенні кута нахилу частки при русі по площині обмеженого розміру будуть меншою мірою розділятися по швидкості руху, що призведе до затримування великих частинок у верхніх горизонтах шару і відповідного збільшення середнього розміру частинок, що там

знаходяться. При зменшенні кута нахилу лотка до значення кута природного укосу шихти буде спостерігатися зворотна картина.

Для розрахунку фракційного складу шару агломераційної шихти може використовуватися балансовий метод. Однак його практична реалізація вимагає досить великого часу розрахунку, обумовленого обробкою великої кількості можливих варіантів поєднань фракцій в окремих горизонтах шару. У той же час для оперативного розрахунку параметрів шару шихти потрібно обмежений часовий інтервал. У зв'язку з цим, використовуючи відомі закономірності формування структури стаціонарного шару полідисперсного матеріалу під впливом гравітаційних сил, доцільно використовувати для розрахунку Φ_{ij} рівняння, отримані емпіричним шляхом. Вони відображають на якісному рівні основні закономірності формування структури шару агломераційної шихти, а їх адаптація з конкретними виробничими умовами досягає вибір необхідних значень коефіцієнтів рівнянь за результатами експериментальних досліджень.

Розподіл фракцій агломераційної шихти розміром до 3 мм може описуватися залежністю (2.23):

$$\Phi_{-3j} = \frac{A + d_{cp}}{d_{cpj}}, \quad (2.23)$$

де d_{cpj} - середній діаметр частинок на j -му горизонті слою, мм;

A - емпіричний коефіцієнт, що характеризує умови формування шару шихти.

Для умов аглофабрики ВАТ «Запоріжсталь», коефіцієнт A , що відображає фізико-механічні характеристики матеріалу та умов роботи завантажувального вузла, при завантаженні шихти на аглострічку барабанним живильником дорівнює 160,4 мм. Значення емпіричного коефіцієнта отриманий шляхом математичного аналізу та враховує особливості отриманого в даний час на металургічних підприємствах тонкодисперсних шихт.

Розподіл фракцій розміром від 6 мм по висоті шару матеріалу на спікальних візках може бути представлено залежністю 2.24:

$$\Phi_{+6j} = \frac{d_{cpj}}{B + d_{cp}} \cdot \left(\frac{d_{cpj}}{d_{cp}} \right)^n, \quad (2.24)$$

де B , n – емпіричні коефіцієнти, що характеризують умови формування шару шихти.

Для агломераційної шихти, що використовується на агломераційній фабриці комбінату ВАТ «Запоріжсталь», отримано наступні значення коефіцієнтів: $B=4,47$ мм, $n=1,5$.

Вміст фракцій від 3 мм до 6 мм визначається, виходячи з умов збереження матеріального балансу в заданому горизонті шару та розраховується за формулою (2.25):

$$\sum_{i=0}^n \Phi_{ij} = 100\%, \quad \Phi_{3-6} = 100 - (\Phi_{-3j} + \Phi_{+6}). \quad (2.25)$$

Для перевірки достовірності результатів розрахунку гранулометричного складу матеріалу на різних горизонтах шару необхідно визначити загальну кількість окремих фракцій у переданому на аглострічку матеріалі (2.26):

$$\Phi_{i\sigma p} = \sum_{j=1}^n \frac{\Phi_{ij}}{n}. \quad (2.26)$$

Отримані значення $\Phi_{i\sigma p}$ порівнюються з дійсним вмістом даних фракцій у вихідному сипучому матеріалі $\Phi_{i\sigma d}$, отриманих експериментальним шляхом. У

разі виникнення неузгодженості між $\Phi_{i\Sigma p}$ та $\Phi_{i\Sigma d}$ проводиться корекція розрахункових значень: $\Phi_{-3j}, \Phi_{(+3-6)j}, \Phi_{+6j}$.

Скоригований вміст фракцій $\Phi_{-3j}, \Phi_{(+3-6)j}, \Phi_{+6j}$ в різних горизонтах шару визначається згідно з рівнянням (2.27):

$$\Phi'_{ijp} = \frac{k \cdot \Phi_{i\Sigma\sigma} \cdot \Phi_{ijp}}{\sum_{j=1}^k \Phi_{ij}}, \quad (2.27)$$

де k - кількість горизонтів в розглянутому шарі.

Розподіл фракцій $\Phi_{(+3-6)j}$ описується залежністю (2.28):

$$\Phi'_{(+3-6)j} = \Phi'_{(+3-6)jp} + (\Phi'_{(-3)jp} - \Phi'_{(-3)jp}) + (\Phi'_{(+6)jp} - \Phi'_{(+6)jp}), \quad (2.28)$$

2.3.2 Визначення газодинамічних властивостей агломераційної шихти

Найважливішою характеристикою процесу спікання є газодинамічний опір шару, який залежить від висоти та швидкості руху газу в шарі шихти. У визначальній мірі втрати напору в шарі (перепад тиску газу) залежить від швидкості і режиму руху газу, що характеризується коефіцієнтом газодинамічного опору. Основною задачею процесу завантаження шихти на аглострічку є визначити при якому куту нахилу завантажувального лотку формування структури шару шихти буде максимально та рівномірною по ширині спікаючих візків для кращої газопроникливості в процесі спікання.

Газодинаміка шару агломераційної шихти визначає основні показники роботи агломашини: її продуктивність, витрати природного газу та електроенергії. З цього слідує, що визначення газодинамічних характеристик шару є актуальною задачею для контролю й управління роботою агломераційних машин. Враховуючи, складність та багатообразність характеристик стаціонарного шару полідисперсного матеріалу є необхідним розглянути його як

однорідну масу й використати узагальнені характеристики – коефіцієнт газодинамічного опору.

Газодинаміка агломераційного процесу є складною системою з багатьма взаємо зв'язаними змінними. Тому при дослідженні процесу агломерації ці аспекти технології потребують підвищеної уваги. Їх некомплексне вивчення може призвести до погіршення умов функціонування системи в цілому навіть при покращенні характеристик її окремих компонентів.

Агломераційна шихта відноситься до сипучих матеріалів, які складаються з окремих частинок, що контактують один з одним, й між якими знаходяться міжшматкові канали чи пори. Прийнято вважати, що газ в шарі сипучого матеріалу або обтікає окремі частинки, або рухається по звивистим, змінного перетину каналам.

Оскільки основним параметром, що практично визначає продуктивність агломераційної машини є коефіцієнт опору шару, то для визначення газодинамічного стану шару доцільно використати полумпіричне рівняння Дарси-Вейсбаха (2.29), яке широко використовується в шаровій газодинаміці. При русі газу по каналам шару сипучого матеріалу втрати тиску рівні:

$$\Delta P = \frac{\lambda \cdot H \cdot \rho_{\Gamma} \cdot \omega_{\Phi}^2}{2d_{\text{екв}}}, \quad (2.29)$$

де λ – коефіцієнт опору шару, що залежить від режиму руху газу, що характеризується числом Рейнольда - Re ;

H – висота слою, м;

ρ_{Γ} – густина газу, кг/м^3 ;

ω_{Φ} – швидкість фільтрації повітря, ($\omega_{\Phi} = 1(\text{м/с})$);

$d_{\text{екв}}$ - еквівалент діаметрів каналів, м.

Для сипучого матеріалу визначаючим розміром є діаметр еквівалентного каналу $d_{\text{екв}}$, що визначається через середній діаметр шихти (2.30):

$$d_{\text{екв}} = \mu \cdot d_{\text{ср}} \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}, \quad (2.30)$$

де μ – коефіцієнт форми (для кулі $\mu = 2/3$).

При цьому частинки, що складають шар, зведені до середнього значення (2.31):

$$d_{\text{ср}} = \frac{100}{\sum \frac{\Phi_i}{d_i}}. \quad (2.31)$$

Найбільшу складність при практичному застосуванні рівняння (2.31) представляє визначення коефіцієнта гідравличного опору λ , який залежить від більшого числа факторів – від властивостей шару й газу до режиму руху газу. Найбільш обширно ця залежність відображається враховуючи турбулентну та ламінарну складову газового потоку:

$$\lambda = \frac{A}{Re} \cdot \frac{(1 - \varepsilon)^2}{\varepsilon^3} + B \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3}, \quad (2.32)$$

де

$$Re = \frac{\omega_{\phi} \cdot d_{\text{екв}}}{\nu}. \quad (2.33)$$

При малих числах Re в діапазоні від 10 до 150, тобто в області ламінарного руху, вплив турбулентної складової незначний, тому $\lambda = \frac{A}{Re}$, де A – постійна величина.

При значеннях $Re > 800-1000$ коефіцієнт опору не залежить від нього, оскільки рух переходить в турбулентний режим.

Найбільш складною є залежність коефіцієнта опору від числа Re в перехідній області. При цьому Re знаходиться в діапазоні від 150 до 800, що відповідає умовам експлуатації агломераційних машин. Для перехідного режиму використовують вираз (2.34):

$$\lambda = \frac{A_2}{Re} + B, \quad (2.34)$$

де A_2, B – емпіричні коефіцієнти.

При оцінці газодинамічного стану шару як на лабораторній установці, так й в умовах виробництва виникає складність, зв'язана з тим, що змінюється загальний опір, що складається із опору шару, постелі та колосникової решітки.

На величину опору шару дає великий вплив висота шару й степінь сегрегації гранул шихти по його висоті.

Опір постелі визначається середнім діаметром частинок нижнього сформованого горизонту, а отже, як у випадку з опором останнього шару, визначається розподілення гранул по його висоті.

Газодинамічні характеристики колосників визначаються їх станом та формою. Під станом розумієм ступінь засмічення колосника частинками й шматками шихти. При злипанні колосника дріб'язком втрати тиску зростають та досягають значення від 0,9 кПа до 1,0 кПа.

Враховуючи те, що на агломераційних машинах ПАТ «Запоріжсталь» палети збудовані в прямокутній формі конструкції, що самоочищаються, це

дозволяє забезпечити втрати напору колосникового поля на рівні від 0,2 кПа до 0,35 кПа.

Однією з основних задач газодинаміки є встановлення залежностей коефіцієнту опору від числа Re , що дозволяє використовувати коефіцієнт подібності Рейнольдса та переносити експериментальні дані на нові об'єкти, що вивчаються. Враховуючи те, що рівняння (2.29) не дає стійкої залежності, то при розрахунках втрат тиску в реальних умовах використовуються експериментальні значення, отримані в лабораторних установках. Це дозволяє уникнути впливу на загальний коефіцієнт опору втрат тиску на колосникових решітках.

2.4. Створення математичної моделі

Для знаходження кращої газопроникливості шару шихти, ґрунтуючись на вище розглянутій інформації, створено програму, яка допомагає визначити оптимальні показники рівномірного формування шару агломераційної шихти на аглострічці, задля якісного спікання агломерату.

На рис. 2.3 приведено структурну схему алгоритму розрахунку оптимального кута нахилу завантажувального лотку для покращення газопроникливості шару.

Для розрахування оптимального кута нахилу розроблено програму, яка розраховує оптимальні показники завантаження шихти на аглострічку. Дана програма була розроблена в прикладній програмі MATLAB за допомогою додатку графічного редактору GUI на основі алгоритму розрахунку кута нахилу (рис. 2.3). Графічний інтерфейс приведено в додатку А.

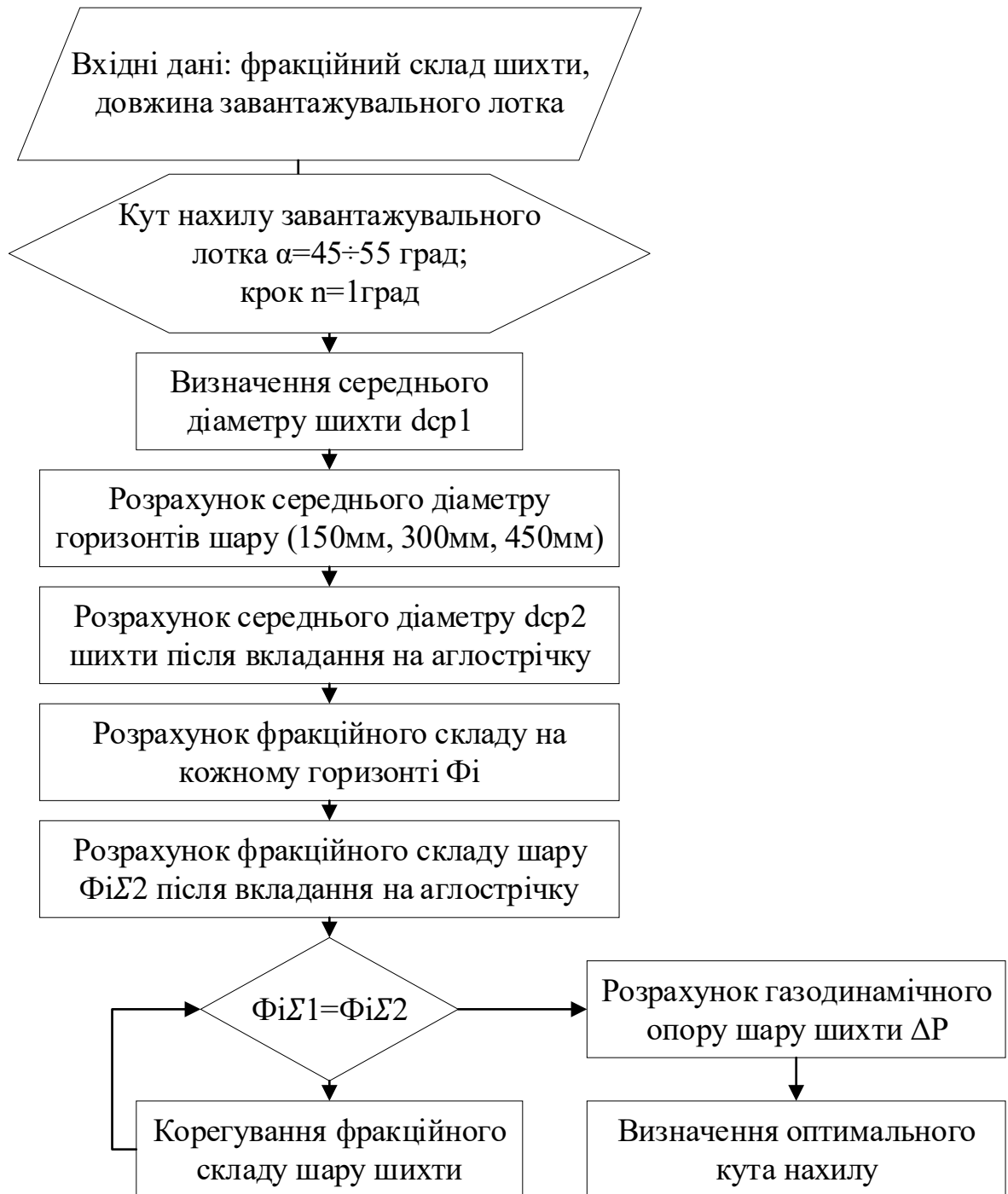


Рисунок 2.3 – Структурна схема алгоритму розрахунку оптимального кута нахилу завантажувального лотку для покращення газопроникливості шару

В лівій частині робочого поля розташовано «Вхідні дані» (рис.2.4) в яких ми можемо задавати:

— фракційний склад компонентів шихти в діапазонах до 3 мм, від 3 мм до 6 мм, від 6 мм;

- середній діаметр фракцій $d_{ср}$, мм;
- довжину завантажувального лотку, м;
- кут завантажувального лотку α_1 ;
- кут завантажувального лотку α_2 ;
- висоту шару шихти на аглострічці, м.

Всі параметри, окрім висоти шару можна регулювати. Висота шару const, оскільки вхідні дані беруться на основі роботи аглофабрики ПАТ «Запоріжсталь». В якій висота шару шихти на аглострічці дорівнює 0,45 м.

ВХІДНІ ДАНІ

Фракційний склад шихти (%)

Ф-3	Ф3-6	Ф+6
<input type="text" value="47.48"/>	<input type="text" value="23.99"/>	<input type="text" value="28.53"/>

Середній діаметр фракцій (мм)

$d_{ср-3}$	$d_{ср3-6}$	$d_{ср+6}$
<input type="text" value="2.5"/>	<input type="text" value="4.75"/>	<input type="text" value="8.75"/>

Довжина завантажувального лотку (м)

l

Кут завантажувального лотку (α_1) та природного відкосу (α_2)

α_1°	α_2°
<input type="text" value="45"/>	<input type="text" value="45"/>

Висота шару шихти на аглострічці (м)

H, м

Рисунок 2.4 – Встановлення параметрів розрахунку

При натисканні на кнопку «Розрахувати» на основі даних розраховується (рис.2.5):

- середній діаметр шихти до вкладання на аглострічку, dcp1;
- середній діаметр фракцій кожного горизонту шару шихти на висоті 150 мм, 300 мм, 450 мм, dcp1;
- середній діаметр шихти після вкладання на аглострічку, dcp2.

Також на графіку відображається графічне відображення розміщення середнього діаметру шихти на горизонтах (рис.2.6)

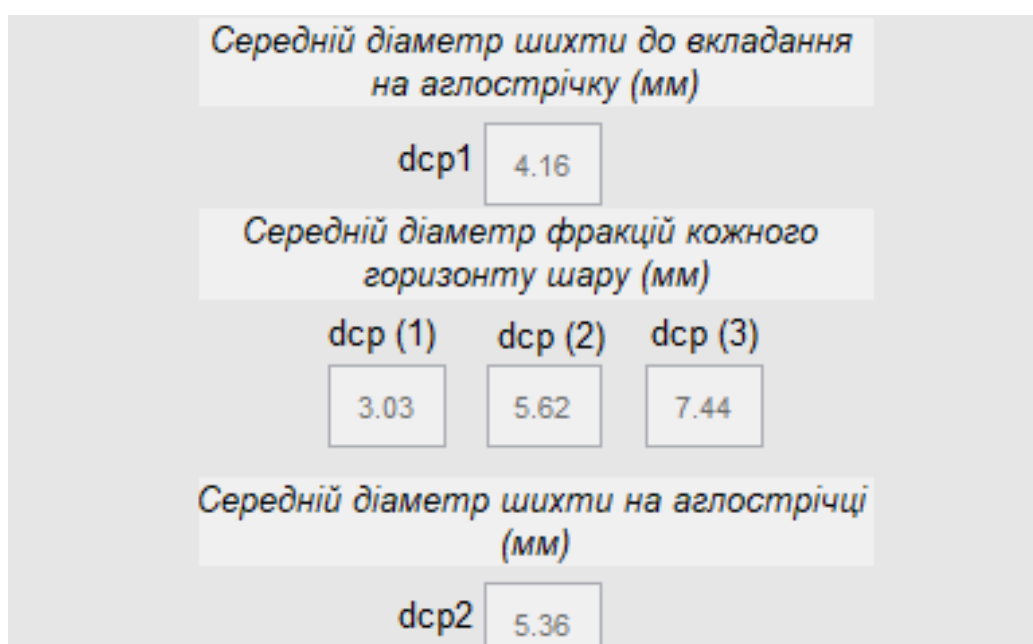


Рисунок 2.5 – Розрахування середнього діаметру шару шихти до та після вкладання на аглострічку

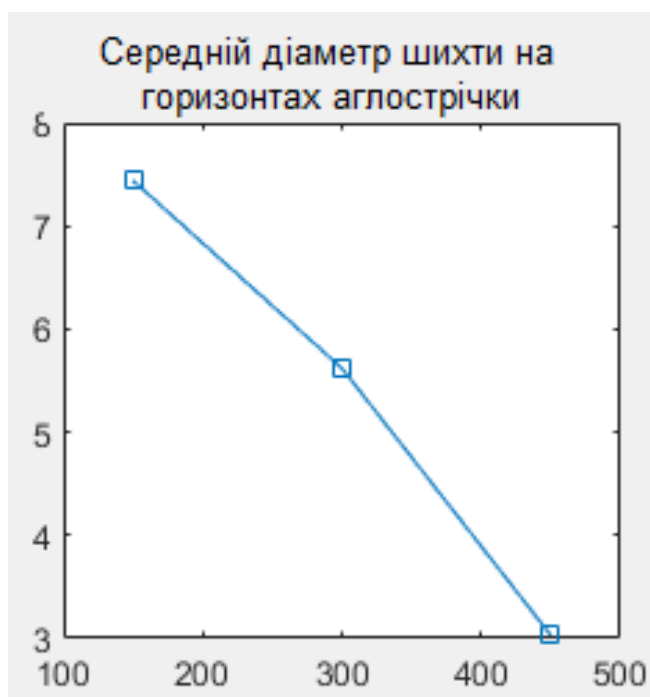


Рисунок 2.6 – Графічне відображення вкладання шихти на аглострічку

Разом з цим, після розрахування середнього діаметру розраховується розподілення фракцій на трьох горизонтах до 3 мм (2.23), та більше 6 мм (2.24) (рис.2.7).

Розподілення фракцій по горизонту (%)				
шар	1	2	3	Σ
Ф-3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Ф+6	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Рисунок 2.7 – Розподілення фракцій по горизонту

Розрахувавши фракції після вкладання на аглострічку порівнюються фракції до вкладання та після. Після чого в разі відмінності відбувається коригування (2.27-2.28) (рис.2.8).

Розподілення фракцій по горизонту (%)				Коригування великої та дрібної фракції (%)				
шар	1	2	3	Σ	шар	1	2	3
Φ-3	54.71	29.49	22.28	35.49	Φ-3	73.19	39.45	29.8
Φ+6	0.13	0.61	1.24	0.66	Φ+6	5.62	26.37	53.6
Розподілення Φ 3-6 по горизонту (%)								
шар	1	2	3	Σ	КОРЕГУВАТИ			
Φ3-6	21.19	34.18	16.6	63.85				

Рисунок 2.8 – Розподілення фракцій по горизонту та коригування

При натисканні на кнопку «Корегувати» розраховується фракційний склад на горизонтах в діапазоні від 3 мм до 6 мм (2.25). Після чого формується остаточний вигляд формування фракційного складу на аглострічці (рис. 2.9).

Фракційний склад на аглострічці (%)				
шар	1	2	3	Σ
Φ-3	24.4	13.15	9.93	35.49
Φ3-6	7.06	11.39	5.53	63.85
Φ+6	1.87	8.79	17.87	0.66

Рисунок 2.9 – Фракційний склад компонентів шихти на аглострічці

Розподілення фракційного складу шихти на горизонтах аглострічки формується графічно (рис. 2.10).

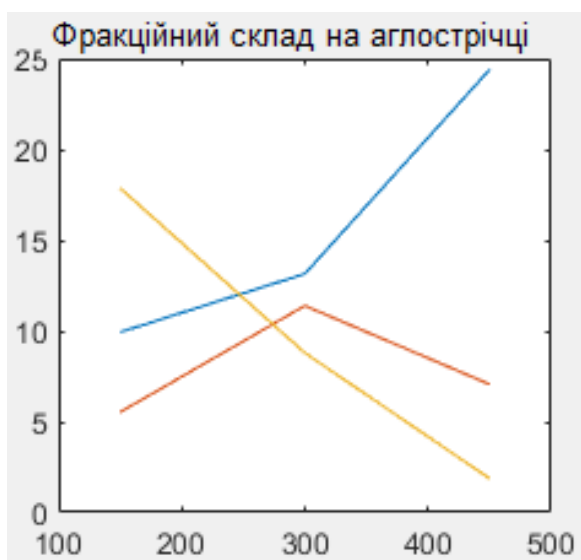


Рисунок 2.10 – Формування фракційного складу на аглострічці

На рисунку 2.10 жовтою лінією позначено фракційний склад на аглострічці частинок з діаметром від 6 мм, червоною – в діапазоні від 3 мм до 6мм, синьою – в діапазоні до 3 мм.

Ґрунтуючись на вищераховані показники можна визначити газодинамічний опір сформованого шару агломераційної шихти на аглострічці за формулою (2.29) (рис.2.11).

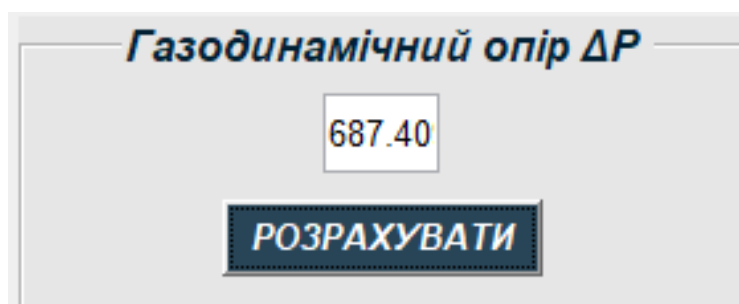


Рисунок 2.11 – Графічне зображення програми розрахування газодинамічного опору ΔP

Код програми розрахування оптимальних показників приведений в додатку Б.

2.5 Висновки

1. Існують різноманітні способи підвищення ефективності агломераційного процесу. Але більшість з них вимагають великих капітальних витрат, інші є недостатньо ефективними і не враховують процесів формування шару шихти і її спікання. Одним з найбільш ефективних і економічно доцільних способів є оптимізація процесу завантаження шихти на аглострічку.

2. Визначено методи визначення фракційного складу та газодинамічності шару шихти.

3. Встановлено основні показники структури формування шару агломераційної шихти в процесі завантаження шихти на аглострічку завантажувальним лотком. В процесі завантаження шихта утворює конус, формування якого визначається розміром площини, початкової швидкості частинок, кута нахилу площини відносно горизонталі. Кут нахилу площини визначає сегрегацію руху частинок по завантажувальному лотку.

4. Встановлено вплив фракційного складу шихти на газопроникливість шару. Газодинаміка шару агломераційної шихти визначає основні показники роботи агломашини: її продуктивність, витрати природного газу та електроенергії. Визначення газодинамічних характеристик шару є актуальною задачею для контролю й управління роботою агломераційних машин.

5. Встановлено загальні закономірності процесу завантаження та розроблений алгоритм визначення оптимальних показників для покращення газопроникливості шару. На їх основі розроблено математичну модель, що дозволить оптимізувати і прогнозувати зазначені показники.

3 ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ШАРУ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ШИХТИ НА АГЛОСТРІЧЦІ

3.1 Дослідження структури формування шару агломераційної шихти отриманої за допомогою математичної моделі

Оскільки агломераційна шихта є неоднорідною, для забезпечення можливості оптимізації та прогнозування процесів структуроутворення необхідно провести дослідження закономірностей процесу формування стаціонарного шару для забезпечення високої газопроникливості шару.

Умови роботи завантажувального вузла та стан сипкої маси визначають сегрегацію проміжної фракції матеріалу. Залежність кута нахилу від середнього діаметру часток шихти після вкладання на аглострічку, розрахованих за допомогою розробленої математичної моделі (п.2.4), приведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Залежність кута нахилу від середнього діаметру

Кут завантажувального лотку	dcp (0,15)	dcp (0,3)	dcp (0,45)
45	3,3	4,325	4,455
46	3,561	4,316	4,415
47	3,38	4,295	4,418
48	3,657	4,27	4,41
49	3,545	4,25	4,4
50	3,44	4,235	4,4
51	3,2	4,21	4,39
52	3,08	4,24	4,4
53	3,478	4,22	4,378
54	3,287	4,209	4,373
55	2,94	4,197	4,368

На основі табл. 3.1 на рис. 3.1-3.4 наведено залежності середнього діаметру частинок шихти на кожному із горизонтів від кута нахилу завантажувального лотка.



Рисунок 3.1 - Залежність середнього діаметру частинок шихти на першому горизонті в діапазоні від 0 м до 0,15 м від кута нахилу завантажувального лотка

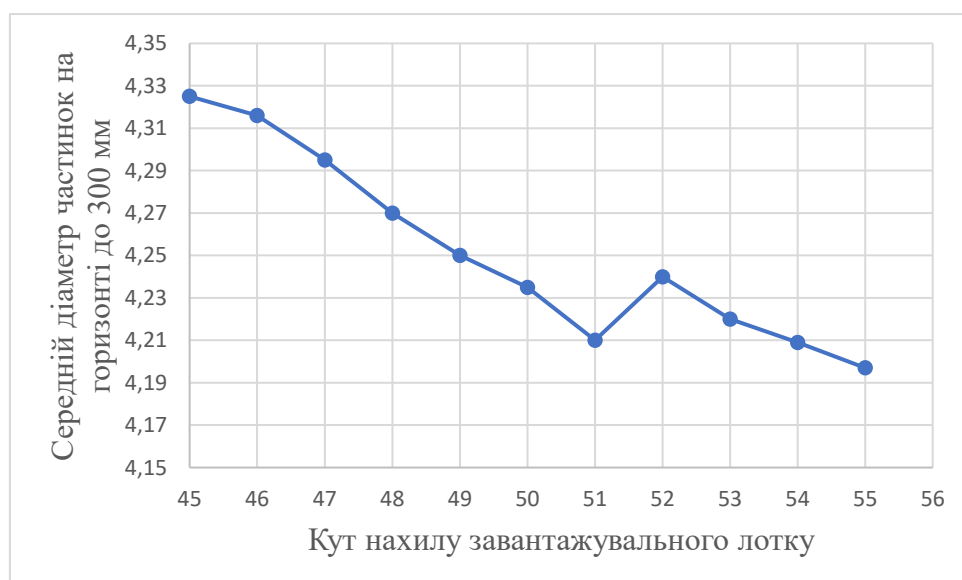


Рисунок 3.2 - Залежність середнього діаметру частинок шихти на другому горизонті в діапазоні від 0,15 м до 0,3 м від кута нахилу завантажувального лотка

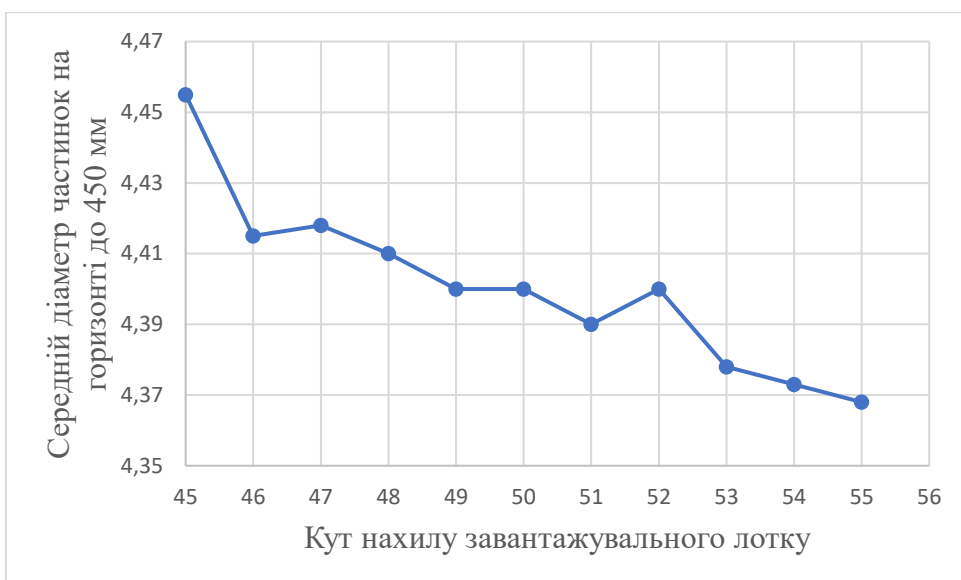


Рисунок 3.3 - Залежність середнього діаметру частинок шихти на третьому горизонті в діапазоні від 0,3 м до 0,45 м від кута нахилу завантажувального лотка

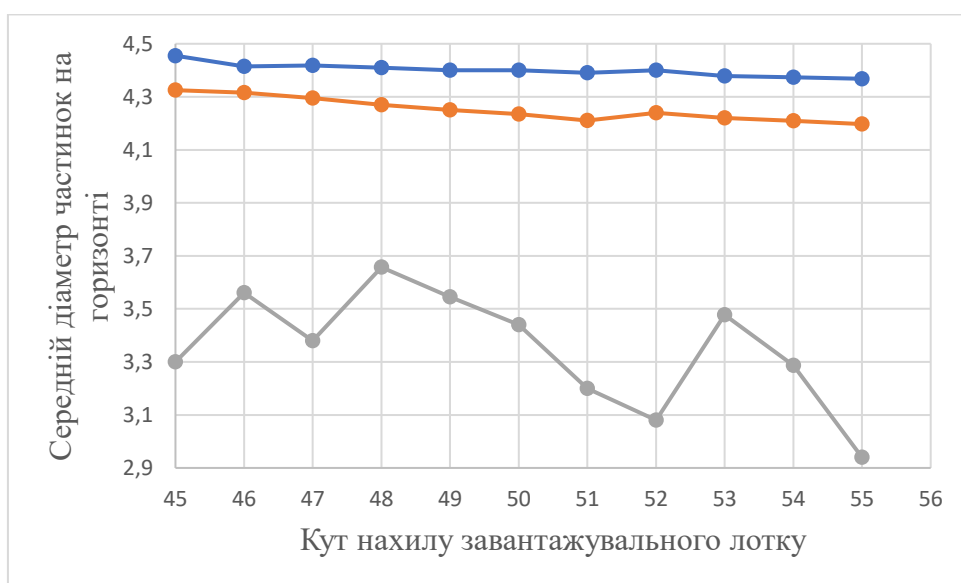
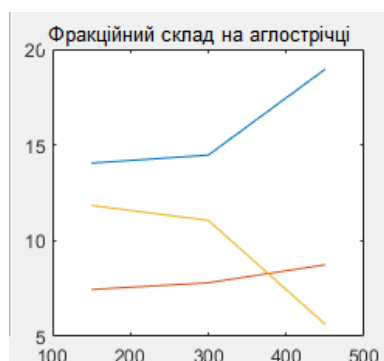


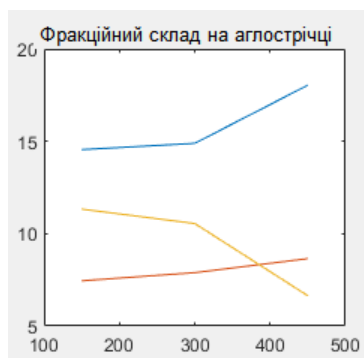
Рисунок 3.4 - Залежність середнього діаметру частинок шихти на кожному з горизонтів від кута нахилу завантажувального лотка

З вище приведених графіків можна зробити висновок, що положення часток в шарі шихти на пряму зв'язано з кутом нахилу завантажувального лотку.

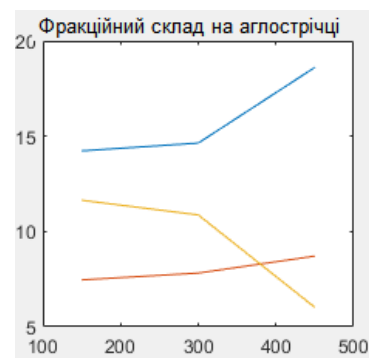
Залежність фракційного складу на аглострічці від кута нахилу завантажувального лотка приведено на рис. 3.5.



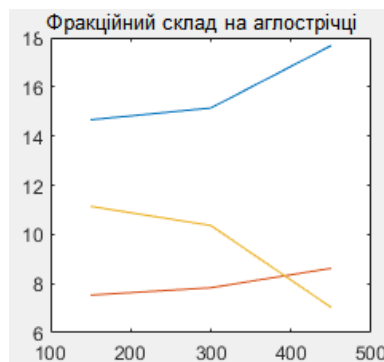
$\alpha_1=45$ град



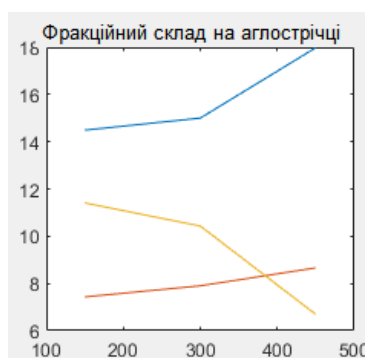
$\alpha_1=46$ град



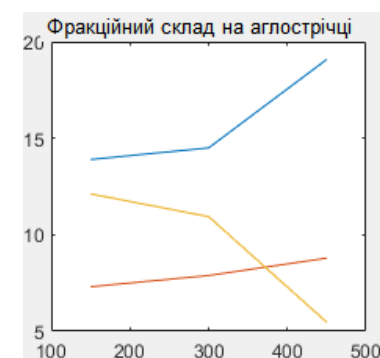
$\alpha_1=47$ град



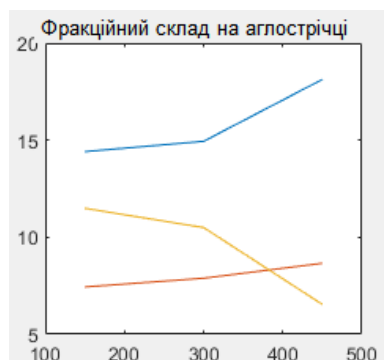
$\alpha_1=48$ град



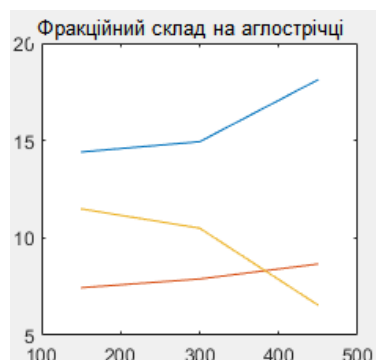
$\alpha_1=49$ град



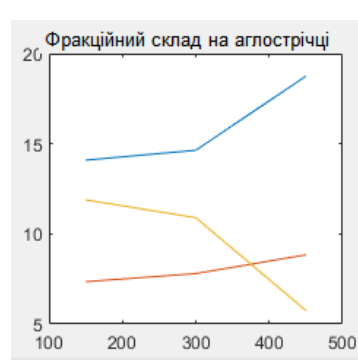
$\alpha_1=50$ град



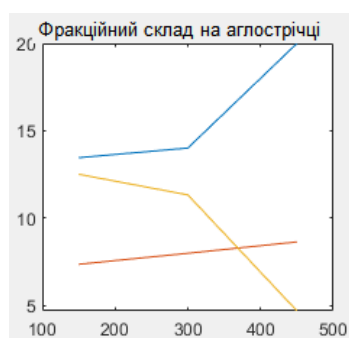
$\alpha_1=51$ град



$\alpha_1=52$ град



$\alpha_1=53$ град



$\alpha_1=54$ град

Рисунок 3.5 – Розподіл фракційного складу шихти по горизонтам шару при зміні кута нахилу завантажувального лотку від 45 град до 54 град

Згідно аналізу прогнозованих даних, видно, що дрібна фракція, що має максимальну силу тертя, буде скупчуватися в більшій кількості в верхній частині шару, поступово зменшуючись по напрямку до його нижніх горизонтів.

При зміні кута нахилу завантажувального лотку виникає перерозподіл фракцій формуючого шару: при збільшенні кута нахилу частинки при русі по поверхні певного розміру будуть в меншій мірі розподілятися по швидкості руху, що приведе до затримання великих частинок в верхніх горизонтах шару й відповідному збільшенню середнього розміру частинок, що там знаходяться. При зменшенні кута нахилу лотку до значення кута природнього укосу шихти буде перерозподіл частинок навпаки збільшенню.

3.2 Визначення оптимальних показників для покращення газопроникливості шару шихти

Швидкість спікання при постійних теплофізичних властивостях шихти й газу залежить від швидкості фільтрації повітря через шар. Іноді, газодинамічний опір шару шихти заміняють поняттям газопроникністю шихти, що показує яка кількість повітря просмоктується через шар шихти при певному розрідженні.

Газопроникливість шихти є важливим показником в спіканні агломерату. Для досягнення кращої газопроникливості досліджено вплив сегрегації та процесу завантаження шихти на аглострічку. В результаті чого, встановлено залежність та вплив кута нахилу завантажувального лотку на газодинамічний опір.

Безперервна зміна структури шихти при агломерації затрудняє аналітичний опис його газодинамічного опору й не дозволяє дати прийнятний метод інженерного розрахунку без проведення додаткових робіт. Тому створення алгоритму розрахунку цих показників та його програмної реалізації несе вагомий внесок для якісного спікання агломерату.

На рис. 3.6 приведено результати розрахунків отриманих шляхом регулювання кута нахилу лотка в діапазоні від 45 град до 55 град.

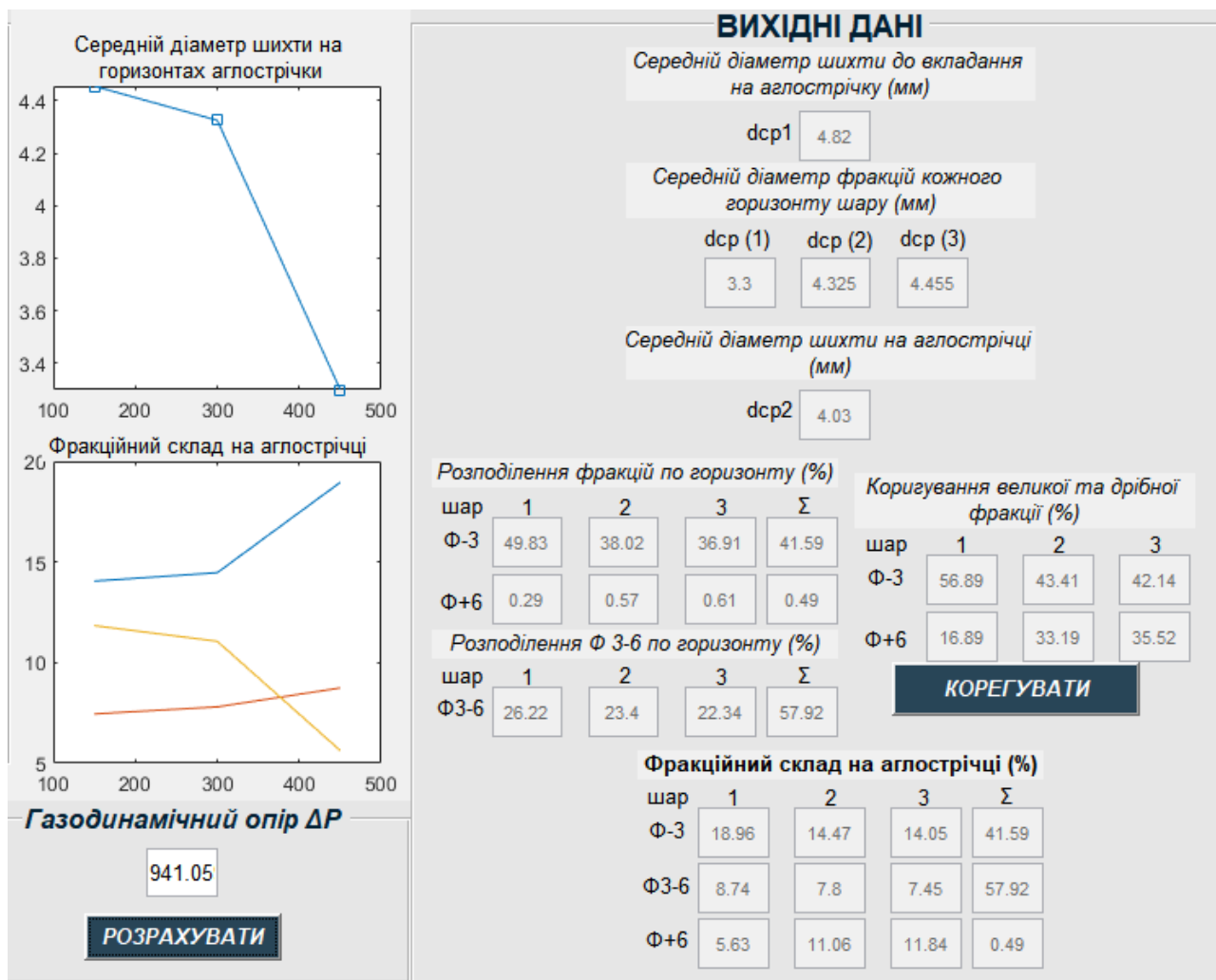


Рисунок 3.6 – Розрахунок газодинамічного опору при нахилу лотка на 45 град

На основі отриманих результатів сформовано таблицю 3.2 залежності газодинамічного опору від кута нахилу завантажувального лотка.

Таблиця 3.2 – Вплив кута нахилу завантажувального лотку на газодинамічний опір

Кут завантажувального лотку, град	ΔP
45	941,05
46	923,37
47	941,05
48	920,90
49	930,87
50	941,05
51	967,46
52	972,92
53	941,05
54	959,39
55	992,47

На рис.3.7 представлено графічно залежність газодинамічного опору від кута нахилу завантажувального лотку.



Рисунок 3.7 - Залежність газодинамічного опору від кута нахилу завантажувального лотку

Ґрунтуючись на результати досліджень, можна зробити висновок, що краща за все газопроникливість шару шихти при куті нахилу лотка на 48 град, а найбільш гірша - при 55 град.

3.3 Висновки

1. Аналіз прогнозованих даних за допомогою розробленої програми визначення оптимальних показників показав, що на структуру і фракційний склад шару шихти в значній мірі впливають конструктивні та технологічні особливості агломераційних машин.

Встановлено, що при зміні кута нахилу завантажувального лотку виникає перерозподіл фракцій формуючого шару. Змінення кута нахилу завантажувального лотку має керуючий вплив на процес завантаження шихти на аглострічку, а перерозподіл вказаних фракцій дає значний вплив на фракційний склад окремих горизонтів шару та його газопроникливості в цілому.

2. Враховуючи значимість газопроникливості шихти спікання агломерату для досягнення кращих показників, досліджено вплив сегрегації та процесу завантаження шихти на аглострічку та знайдено кут нахилу завантажувального лотка, при якому шар має найменший газодинамічний опір (48 град). При даній характеристиці спікання шихти якість агломерату підвищиться.

4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ФОРМУВАННЯ ШАРУ ШИХТИ НА АГЛОСТРІЧЦІ

4.1 Розробка системи автоматичного управління формування шару шихти на аглострічці

Формування шару на аглострічці безпосередньо зв'язано з проблемою достовірного визначення гранулометричного складу та правильного завантаження шихти на аглострічку.

Сучасна автоматизована система управління технологічними процесами представляє собою сукупність математичних методів, засобів зв'язку, приладів введення та відображення інформації, організаційних комплексів та обслуговуючого персоналу, котрий забезпечує управління об'єктом у відповідності з загальними критеріями або заданими функціями цілі (мінімальна вартість продукції, максимальна ефективність та мінімальний час перевodu об'єкта з одного стану в інший).

Таким чином, при розробці сучасної автоматизованої системи управління технологічними процесами велике значення має вибір критерія управління, що забезпечує оптимізацію керуючого процесу.

В перше чергу для визначення оптимальних критеріїв більш рівномірного розподілу шихти на аглострічці необхідно достовірно знати гранулометричний стан завантажувальної шихти. Для вирішення даної задачі пропонується ввімкнути в систему автоматизованого управління завантаження шихти телеметричну комп'ютерну систему «Індикатор крупності».

Система «Індикатор крупності» створена фахівцями ТОВ «НПЗП ТОРЕКС» спільно з фірмою «Siemens» для визначення в потоці гранулометричного складу сирих окатишів після барабанних огрудковувачів.

Дана компанія розробляє і поставляє спеціалізоване обладнання та програмне забезпечення для вимірювання та математичної обробки технологічних параметрів, здатних функціонувати в недоступному для людини місці, в важких виробничих умовах - при високій температурі та запиленості. При створенні обладнання застосовуються новітні мікропроцесорна база і найбільш технологічні конструкційні матеріали.

Безконтактна гранулометрична комп'ютерна система «Індикатор крупності» призначена для визначення розподілу геометричних розмірів огрудкованих або гранульованих матеріалів, що знаходяться на конвеєрі або рухаються по роликівому гуркоту (укладальникові). Безконтактність забезпечує надійність та довговічність таких приладів. До складу системи входять пристрої зчитування відеозображення і комп'ютер, в якому встановлений модуль перетворення аналогового телевізійного кадру в цифрове зображення і реалізовані програмні блоки, за допомогою яких розраховуються розміри огрудкованої або гранульованих часток і проводиться їх статистична обробка.

До складу «Індикатор крупності» входить:

- пристрою зчитування інформації;
- перемикач приладу зчитування відеоінформації;
- комп'ютер, в якому встановлений модуль перетворення аналогового телевізійного кадру в цифрове зображення та реалізовані програмні блоки, за допомогою яких розраховуються розміри гранульованих або огрудкованих частинок та проводиться їх статична обробка.

Призначення комп'ютерної індикаторної системи «Індикатор крупності» полягає в оцінці гранулометричного складу окатишів верхнього шару, що рухається в потоці. Вимірювання може проводитися як над конвеєром сирих окатишів, так і при візуванні безпосередньо в чашу огрудковувачів. Ця комп'ютерна система дозволяє оцінити гранулометричного складу і стану поверхні матеріалу в потоці. Конструкція якої представлена на рис. 4.1.

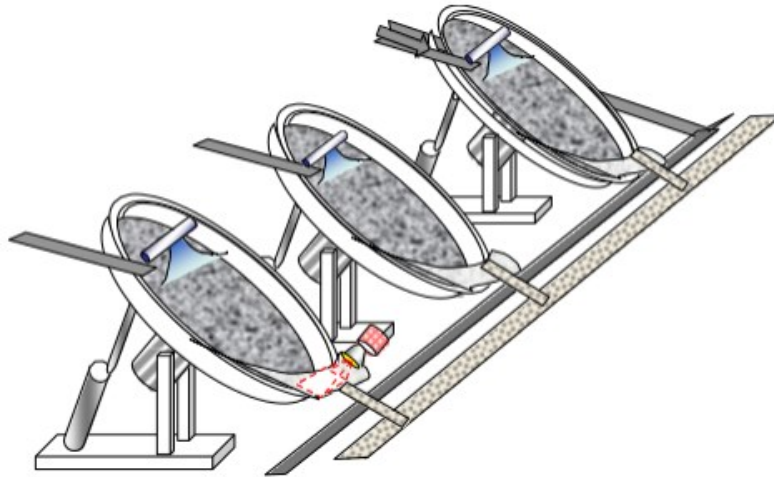


Рисунок 4.1 – Конструкція комп'ютерної системи оцінки
гранулометричного складу

Загальні характеристики вимірювальної системи «Індикатор крупності»
приведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Загальні характеристики вимірювальної системи «Індикатор
крупності»

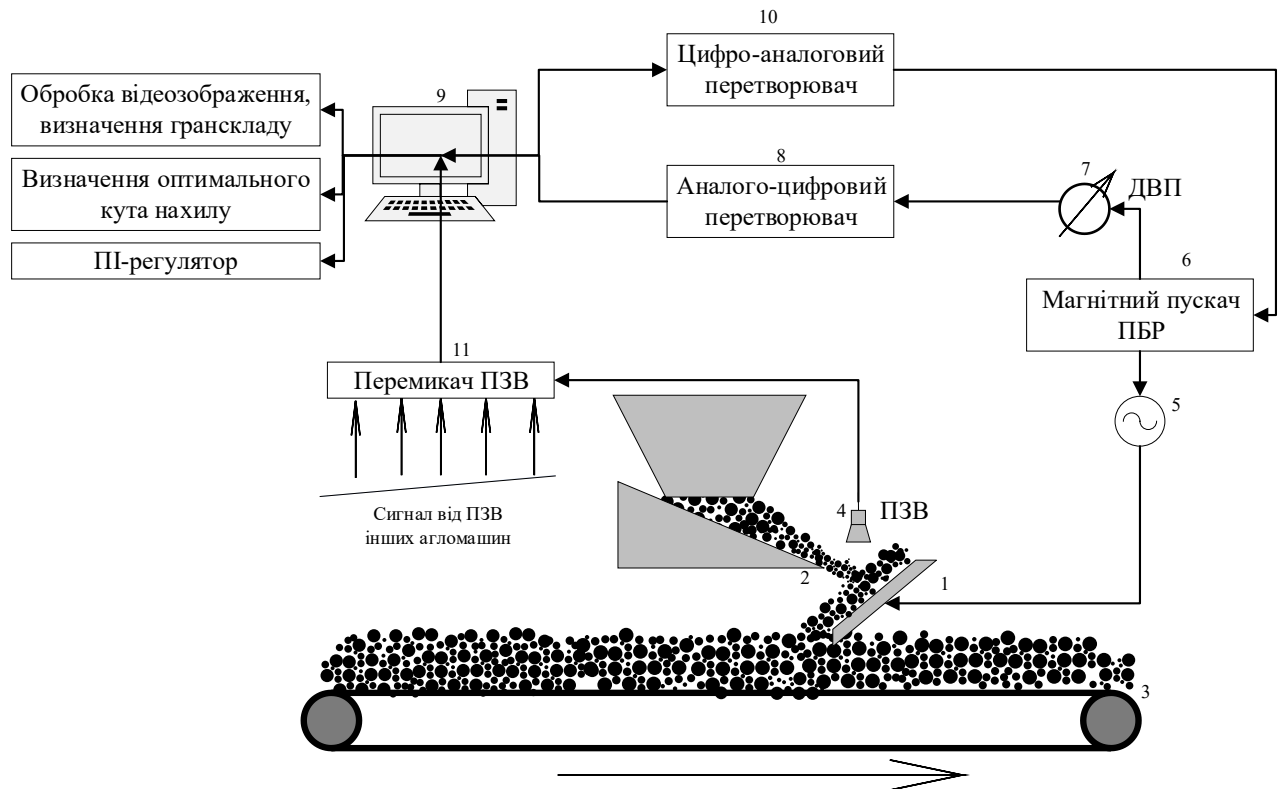
Параметр	Значення	Одиниця вимірювання
Діапазон вимірюваних діаметрів окатишів	5-25	мм
Мінімальна ширина класу (по діаметру)	1	мм
Потенційна точність вимірювання діаметру	$\frac{1}{2}$ - 1	піксель
	0,25	мм
Кількість кадрів усереднення	8	шт
Кількість каналів вимірювання	до 8	шт
Час вимірювання одного каналу	40-70	с
Вікно візування	130*130	мм
Розширення зображення	4	піксель/мм
Відносна похибка визначення масового гранскладу (порівняння з ситовим методом)	<10	%
Швидкість руху матеріалу	<1	м/сек
Дальність прийому та передачі інформації	<90	м
Pentium MMX 233 МГц		

Суть полягає в тому, що гранули сипучого матеріалу піддають дії спрямованого електромагнітного випромінювання. Вимірюють двовимірний розподіл інтенсивності відбитого від гранул випромінювання. Виділяючи мінімуми в розподілі інтенсивності, послідовно виявляють кордон опромінених гранул і отримують їх двовимірне контурне зображення [24]. Принцип отримання первинної інформації – оптичний. В місцях контролю гранскладу встановлено відеокамери та системи інфрачервоних прожекторів для забезпечення постійного підсвічування кадру. Після знімання зображення шихти кадр передається на обробку в комп'ютер. Форма та розмір вимірюючих частинок можуть бути різними. Для кожної частинки знаходиться еквівалентний діаметр, рівний максимально справжньому діаметру частинок. За запитом технологів система може бути налаштована на видачу інформації про весь грансклад за необхідними класами. Завдяки сучасним вимірювальним засобам та гнучкому програмному забезпеченню можливо реалізувати сигналізацію про відхилення гранскладу від заданого значення, відеоконтроль роботи приладу, перемикач та комп'ютер, в якому встановлений модуль перетворення аналогового телевізійного кадру в цифрове зображення, а також реалізовані програмні блоки, за допомогою яких розраховуються розміри гранульованих або огрудкованих частинок та проводиться їх статична обробка.

Тому доцільно буде використати цю технологію визначення гранулометричного стану, який в свою чергу буде надавати інформацію створеній програмі. А вже за допомогою математичної моделі в програмі (п.2.4) будуть розраховуватися оптимальні показники, в тому числі кут нахилу, який в якості керуючого впливу буде встановлюватися на завантажувальному лотку в реальному часі.

Принципова схема системи управління завантаження шихти на аглострічку на базі системи «Індикатор крупності» приведена на рис. 4.2. За допомогою одного або декількох приладів зчитування відеозображення проводиться зйомка зображення огрудкованого сипкого матеріалу з різних

огрудковувачів. В обчислювальній машині через перемикач можна підключити до 16 приладів зчитування.



1 – завантажувальний лоток, 2 – подача шихти, 3 – рух агломераційної шихти на аглострічці, 4 – пристрій зчитування відеозображення, 5 – привід завантажувального лотку, 6 – магнітний пускач ПБР, 7 – дистанційний вказівник положення, 8 – аналогово-цифровий перетворювач, 9 – прикладний комп'ютер, 10 – цифро-аналоговий перетворювач, 11- перемикач пристрою зчитування відеозображення

Рисунок 4.2 – Принципова схема роботи системи автоматизованого управління завантаження шихти на аглострічку на базі системи «Індикатор крупності»

Ця система призначена для управління процесом завантаження шихти на аглострічку з метою забезпечення заданого розподілу фракційного складу шихти по висоті, що максимально відповідає виготовленню якісного агломерату на виході.

Поточне значення положення завантажувального лотку визначається за сигналом дистанційного показника положення типу ДВП 7, що показує кут нахилу вихідного валу приводу 5 завантажувального лотку 1. Даний сигнал надходить до прикладного комп'ютера 9 через аналогово-цифровий перетворювач 8.

Далі вимірюється фракційний склад шихти на виході з завантажувального бункеру для надання керуючого впливу за допомогою системи «Індикатор крупності». Здійснюється це таким чином: прилад зняття відеозображення ПЗВ 4 знімає зображення гранул шихти, далі через перемикач ПЗВ 11, до якого надходять сигнали від інших датчиків, оцифрований сигнал надходить до комп'ютеру 9, де вбудоване програмне забезпечення розраховує кількість окремих фракцій. Отримана інформація про фракційний склад шихти використовується для розрахування оптимального кута нахилу за допомогою розробленої програми (п. 2.4).

Розраховане значення оптимального кута нахилу та сигнал від ДУП надходить на обробку в пропорційно-інтегральний регулятор, де ці два значення порівнюються і в випадку виникнення неузгодженості сигналу регулятор надає керуючий вплив для уникнення розбіжностей. Величина керуючого впливу пропорційна величині сигналу розбіжності.

Керуючий сигнал перетворюється в аналоговий за допомогою цифро-аналогового перетворювача 10 та надходить на безконтактний магнітний перетворювач 6, де підсилюється його значення, необхідного для приведення до дії виконавчого механізму МЕО завантажувального лотку. Вихідний вал виконавчого механізму, кінетично зв'язаний з завантажувальним лотком, що забезпечує необхідний розрахований нахил завантажувального лотку. Робота системи управління припиниться у разі уникнення розбіжностей.

4.2 Висновки

На основі розробленої математичної моделі створено автоматизовану систему управління оптимізації формування структури шару агломераційної шихти. Використовуючи для визначення гран складу шихти технологію «Індикатор крупності», у програмі за математичною моделлю будуть розраховуватися оптимальні показники, в тому числі кут нахилу, з якого будуть подаватися вихідні характеристики на керуючий вплив завантажувального лотку в реальному часі.

Система «Індикатор крупності» дозволяє стабілізувати гранулометричний склад шихти, внаслідок чого прогнозується збільшення обсягів виробництва.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній магістерській роботі представлено аналіз сучасного стану агломераційного виробництва, який показав, що є необхідність покращення сучасного процесу агломерації у зв'язку із нестабільністю якості та характеристик вхідних матеріалів. Ґрунтуючись на аналізі літературних даних, в яких представлена інформація про модернізацію процесу та дослідження, в цій області визначено необхідність оптимізації процесу завантаження шихти на агломераційну стрічку, оскільки представлені варіанти суттєво ускладнюють конструкцію або порушують структуру шару агломераційної шихти.

1. Враховуючи те, що більшість способів підвищення ефективності агломераційного процесу, вимагають великих капітальних витрат, інші є недостатньо ефективними і не враховують процесів формування шару шихти і її спікання, одним з найбільш ефективних і економічно доцільних способів є оптимізація процесу завантаження шихти на аглострічку. Тому було визначено методи визначення фракційного складу та газодинамічності шару шихти. Встановлено основні показники структури формування шару агломераційної шихти в процесі завантаження шихти на аглострічку завантажувальним лотком. Встановлено вплив фракційного складу шихти на газопроникливість шару. Газодинаміка шару агломераційної шихти визначає основні показники роботи агломашини: її продуктивність, витрати коксу та електроенергії.

2. Встановлено загальні закономірності процесу завантаження та розроблено алгоритм визначення оптимальних показників для покращення газопроникливості шару. На їх основі розроблено прикладну програму, що дозволяє оптимізувати і прогнозувати зазначені показники, дозволяє для компонентів шихти різного діаметру розраховувати розподіл часток шихти по висоті при різних кутах нахилу завантажувального лотку та визначити оптимальний кут нахилу завантажувального лотка.

3. Аналіз експериментальних даних показав, що на структуру та фракційний склад шару шихти впливають конструктивні та технологічні

особливості агломераційних машин. Встановлено, що при зміні кута нахилу завантажувального лотку виникає перерозподіл фракцій формуючого шару. Зміна кута нахилу завантажувального лотку має керуючий вплив на процес завантаження шихти на аглострічку

4. Враховуючи значимість газопроникливості шихти в спіканні агломерату для досягнення кращих показників, досліджено вплив сегрегації та процесу завантаження шихти на аглострічку та знайдено кут нахилу завантажувального лотка при якому найменший газодинамічний опір (48 град).

5. Розроблена АСУ процесу завантаження шихти на аглострічку. Дана система дозволяє покращити техніко-економічні показники виготовлення агломерату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гренковский В. И., Пезюк М. Ю., Сыромяцкий В. А. Управление агломерационным процессом. Киев: Техника, 1988. 145 с.
2. Спосіб підготовки агломераційної шихти до спікання: пат. 113820 Україна: МПК С22В 1/14 (2006.01), С22В 1/16 (2006.01), С22В 1/24 (2006.01). № а 2016 06487; заявл. 13.06.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5. 6 с.
3. Пристрій для завантаження шихти на колосникові грати рухомих візків агломераційної машини: пат. 113631 Україна: МПК (2016.01), F27В 21/00. №и 2016 07453; заявл. 08.07.2016; опубл. 10.02.2017, Бюл. № 3. 5 с.
4. Спосіб завантаження шихти на колосникові грати агломераційної машини: пат. 109978 Україна: МПК (2016.01), В65G 65/00, F27В 21/00. № и 2016 00997; заявл. 08.02.2016; опубл. 26.09.2016, Бюл. № 18. 5 с.
5. Спосіб спікання шихти на агломераційних машинах: пат. 109837 Україна: МПК (2016.01) В22F 3/00, С08J 9/33 (2006.01), G01N 25/02 (2006.01). № и 2016 02389; заявл. 12.03.2016; опубл. 12.09.2016, Бюл. № 17. 5 с.
6. Завантажувальний пристрій конвеєрної агломераційної машини: пат. 110975 Україна: МПК F27В 21/06 (2006.01), С22В 1/16 (2006.01). № и 2016 04303; заявл. 19.04.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20. 4 с.
7. Пристрій для вирівнювання поверхні агломераційної шихти у гратчастому спікальному візку: пат. 104727 Україна: МПК (2014.01), С21В 13/00, С22В 1/16 (2006.01), С22В 1/20 (2006.01), F27В 9/18 (2006.01). № а 201102384; заявл. 15.09.2009; опубл. 11.03.2014, Бюл. № 5. 4 с.
8. Пристрій для завантаження шихти на палети агломераційної машини: пат. 99154 Україна: МПК (2015.01), F27В 21/00. № и 2014 11648; заявл. 27.10.2014; опубл. 25.05.2015, Бюл. № 10. 6 с.
9. Пристрій для завантаження шихти на аглострічку: пат. 79892 Україна: МПК С22В 1/20 (2007.01), F27В 21/10 (2007.01). № а200511550; заявл. 05.12.2005; опубл. 25.07.2007, Бюл. № 11. 3 с.

10. Спосіб виробництва агломерату: пат. 77903 Україна: МПК (2006), C22B 1/16, C22B 1/14, C22B 1/00. № а200508888; заявл. 19.09.2005; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1. 2 с.
11. Пристрій для підготовки шихти при виробництві агломерату: пат. 76654 Україна: МПК (2013.01) C22B 1/00. № u 2012 07927; заявл. 27.06.2012; опубл. 10.01.2013, Бюл. № 1. 4 с.
12. Спосіб виробництва агломерату: пат. 52753 Україна: 7 C22B1/16, C22B1/20. № 2010108038/22; заявл. 21.12.1999; опубл. 15.01.2003; Бюл. № 1. 3 с.
13. Завантажувальний пристрій конвеєрної агломераційної машини: пат. 42105 Україна: МПК (2009) F27B 21/06 (2009.01), C22B 1/16. № u200900038; заявл. 05.01.2009; опубл. 25.06.2009, Бюл. № 12. 3 с.
14. Устройство для загрузки шихты на агломерационную машину: пат. 95667 Россия: МПК C22B 1/14. № 2010108038/22; заявл. 04.03.2010; опубл. 10.07.2010, Бюл. № 19. 2 с.
15. Томаш А. А., Безверхий И. В., Белоног В. А., Кривенко С. В. Применение статистического критерия сегрегации для оценки перераспределения шихты по крупности при загрузке на агломерационную машину. *Вісник приазовського державного технічного університету. Технічні науки. Металургія*. Маріуполь. 2005. № 15. С. 1-4.
16. Русских В. П., Кривенко С. В. Повышение газопроницаемости спекаемого слоя аглошихты / *Вісник приазовського державного технічного університету. Технічні науки*. Маріуполь. 1999. № 8. С. 15-17.
17. Кремлевский П. П. Расходомеры. Ленинград: Машгиз. 1963. 656 с.
18. Базилевич С. В. Агломерация. Москва: Металлургия. 1974. 287 с.
19. Пазюк М. Ю. Влияние условий загрузки на формирование структуры слоя шихты. *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 1985. № 8. С. 12-15.
20. Пазюк М. Ю. Теоретические основы движения и взаимодействия дисперсных железорудных масс в процессе формирования их объемных макроструктур: диссертация. Запорожье. 1993. 365 с.

21. Зенков Р. Л., Гриневич Г. П., Исаев В. С. Бункерные устройства Р. Л. Зенков,. Москва: Машиностроение. 1977. 219 с.
22. Бражников, С. Г., Берман Ю. А., Белоцерковский Я. Л. Теплотехника окускования железорудного сырья. Москва: Metallургия. 1970. 343 с.
23. Коротич В. И. Основы теории и технологии подготовки сырья к доменной плавке. Москва: Metallургия. 1978. 208 с.
24. Способ и система для определения геометрических размеров гранул сыпучего материала: пат. 2261432 Россия: G 01 N 15/02. № 2002111894/28; заявл. 06.05.2002; опубл. 27.09.2005, Бюл.№ 27. 8 с.

ВИХІДНІ ДАНІ

Фракційний склад шихти (%)

Φ-3 47.48 Φ3-6 23.99 Φ+6 28.53

Середній діаметр фракцій (мм)

dcp-3 2.5 dcp3-6 4.75 dcp+6 8.75

Довжина завантажувального лотку (м)

l 1

Кут завантажувального лотку (α1) та природного відкосу (α2)

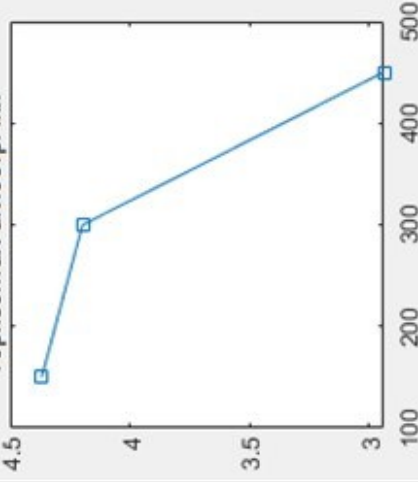
α1° 45 α2° 45

Висота шару шихти на аглостріці (м)

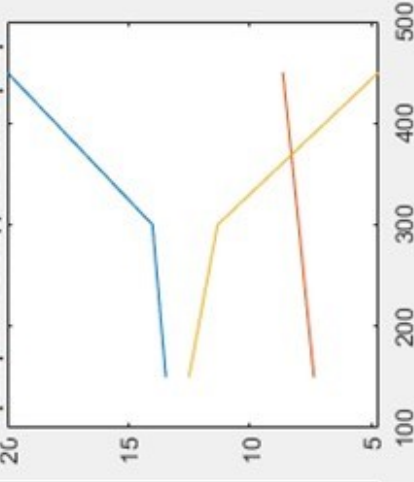
H, м 0.45

РОЗРАХУВАТИ

Середній діаметр шихти на горизонтал аглостріці



Фракційний склад на аглостріці



Газодинамічний опір ΔP

992.47

РОЗРАХУВАТИ

ВИХІДНІ ДАНІ

Середній діаметр шихти до складання на аглострічку (мм)

dср1 4.82

Середній діаметр фракцій кожного горизонту шару (мм)

dср (1) 2.94 dср (2) 4.197 dср (3) 4.368

Середній діаметр шихти на аглостріці (мм)

dср2 3.84

Розподілення фракцій по горизонту (%)

шар 1 2 3 Σ
Φ-3 55.86 39.13 37.6 44.2
Φ+6 0.24 0.58 0.64 0.49

Розподілення Φ 3-6 по горизонту (%)

шар 1 2 3 Σ
Φ3-6 25.92 23.96 22.09 55.32

Коригування великої та дрібної фракції (%)

шар 1 2 3
Φ-3 60.01 42.04 40.39
Φ+6 14.07 34 37.52

КОРЕГУВАТИ

Фракційний склад на аглостріці (%)

шар	1	2	3	Σ
Φ-3	20	14.01	13.46	44.2
Φ3-6	8.64	7.99	7.36	55.32
Φ+6	4.69	11.33	12.51	0.49

Додаток Б – Код розробленої програми

```

function varargout = untitled(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @untitled_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @untitled_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [] , ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
function varargout = untitled_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;
function f3_Callback(hObject, eventdata, handles)
ff3=str2double(get(handles.f3,'String'));
ff3=ff3/100;
function f3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

end

function f36_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function f6_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function dcp3do_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp3do_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function dcp36do_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp36do_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function dcp6do_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp6do_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');

```

```

end

function dlzu_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dlzu_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function ugolzu_Callback(hObject, eventdata, handles)
function ugolzu_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function ugotkos_Callback(hObject, eventdata, handles)
function ugotkos_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function vissloyshih_Callback(hObject, eventdata, handles)
function vissloyshih_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function wlagsipmat_Callback(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
function dcpdo_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcpdo_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp150_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp150_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp300_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp300_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp450_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp450_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp500_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp500_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp650_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp650_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp800_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp800_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp950_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp950_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp1000_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp1000_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```

function edit18_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit18_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function d2n_Callback(hObject, eventdata, handles)
function d2n_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function d2v_Callback(hObject, eventdata, handles)
function d2v_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp150kor_Callback(hObject, ~, handles)
function dcp150kor_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp300kor_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp300kor_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
function dcp450kor_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp450kor_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit24_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit24_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function d300kor_Callback(hObject, eventdata, handles)
function d300kor_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit26_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit26_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function dcp2kor_Callback(hObject, eventdata, handles)
function dcp2kor_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```

```

function f3p2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3p2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f3p3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3p3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f6p1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6p1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f6p2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6p2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f6p3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6p3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```



```

function f6psum_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6psum_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f3psum_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3psum_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f3p1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3p1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
tr (hObject, eventdata, handles);
function tr (hObject, eventdata, handles)
f3do=get(handles.f3,'string');
f3do=str2double(f3do);
f36do=get(handles.f36,'string');
f36do=str2double(f36do);
f6do=get(handles.f6,'string');
f6do=str2double(f6do);
dcp3do=get(handles.dcp3do,'string');
dcp3do=str2double(dcp3do);

```

```

dcp36do=get(handles.dcp36do,'string');
dcp36do=str2double(dcp36do);
dcp6do=get(handles.dcp6do,'string');
dcp6do=str2double(dcp6do);
l=get(handles.dlzu,'string');
l=str2double(l);
a1=get(handles.ugolzu,'string');
a1=str2double(a1);
a2=get(handles.ugolotkos,'string');
a2=str2double(a2);
H=get(handles.vissloyshih,'string');
H=str2double(H);
f3do=f3do/100;
f36do=f36do/100;
f6do=f6do/100;
a1=a1*2*pi/360;
a2=a2*2*pi/360;
dcp1=f3do*dcp3do+f36do*dcp36do+f6do*dcp6do;
dcp1=round(dcp1*100)/100;
d1=1.5; d2=2; d3=2.5; d4=3; d5=3.5; d6=4; d7=4.5; d8=5; d9=5.5; d10=6; d11=6.5;
d12=7; d13=7.5; d14=8; d15=8.5; d16=9; d17=9.5; d18=10; d19=10.5; d20=11;
%коэффициент трения кочения сыпучего материала по площади наклона
поверхности.
a=1.1;
b=0.2;
f011=(a/d1+b);
f012=(a/d2+b);
f013=(a/d3+b);
f014=(a/d4+b);

```

$$f015=(a/d5+b);$$

$$f016=(a/d6+b);$$

$$f017=(a/d7+b);$$

$$f018=(a/d8+b);$$

$$f019=(a/d9+b);$$

$$f0110=(a/d10+b);$$

$$f0111=(a/d11+b);$$

$$f0112=(a/d12+b);$$

$$f0113=(a/d13+b);$$

$$f0114=(a/d14+b);$$

$$f0115=(a/d15+b);$$

$$f0116=(a/d16+b);$$

$$f0117=(a/d17+b);$$

$$f0118=(a/d18+b);$$

$$f0119=(a/d19+b);$$

$$f0120=(a/d20+b);$$

%коэффициент трения кочения сыпучего материала по материалу

$$f021=14.67/d1;$$

$$f022=14.67/d2;$$

$$f023=14.67/d3;$$

$$f024=14.67/d4;$$

$$f025=14.67/d5;$$

$$f026=14.67/d6;$$

$$f027=14.67/d7;$$

$$f028=(142.14-30*d8)/d8;$$

$$f029=(142.14-30*d9)/d9;$$

$$f0210=(142.14-30*d10)/d10;$$

$$f0211=(142.14-30*d11)/d11;$$

$$f0212=(142.14-30*d12)/d12;$$

$$f0213=(142.14-30*d13)/d13;$$

$$f0214=(142.14-30*d14)/d14;$$

$$f0215=(142.14-30*d15)/d15;$$

$$f0216=(142.14-30*d16)/d16;$$

$$f0217=(142.14-30*d17)/d17;$$

$$f0218=(142.14-30*d18)/d18;$$

$$f0219=(142.14-30*d19)/d19;$$

$$f0220=(142.14-30*d20)/d20;$$

%положение отдельных частиц в шихте

$$h1=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f021*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h2=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f022*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h3=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f023*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h4=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f024*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h5=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f025*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h6=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f026*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h7=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f027*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h8=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f028*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h9=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f029*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h10=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0210*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h11=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0211*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h12=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0212*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h13=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0213*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h14=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0214*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h15=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0215*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h16=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0216*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h17=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0217*\cos(a2)-\sin(a2));$$

$$h18=(1*(\sin(a1)-f011*\cos(a1))*\sin(a2))/(f0218*\cos(a2)-\sin(a2));$$

```

h19=(1*(sin(a1)-f011*cos(a1))*sin(a2))/(f0219*cos(a2)-sin(a2));
h20=(1*(sin(a1)-f011*cos(a1))*sin(a2))/(f0220*cos(a2)-sin(a2));
%диаметры шихты на каждом горизонте (0, 0.15, 0.3, 0.45)
d00=1.3372;
d01=4.7315;
d02=6.5123;
d03=8.3721;
%количество слоев шихты
n=3;
%средние диаметры каждого горизонта
dcp150=2.94;
dcp300=4.197;
dcp450=4.368;
%средние диаметры каждого горизонта
%dcp150=(d00+d01)/2; dcp150=round(dcp150*100)/100;
%dcp300=(d01+d02)/2; dcp300=round(dcp300*100)/100;
%dcp450=(d02+d03)/2; dcp450=round(dcp450*100)/100;
%средний диаметр фракций на аглоленте
dcpposle=(dcp150+dcp300+dcp450)/3; dcpposle=round(dcpposle*100)/100;
%распределение ф-3 по горизонтам
f3p1=(160.4+dcpposle)/dcp150; f3p1=round(f3p1*100)/100;
f3p2=(160.4+dcpposle)/dcp300; f3p2=round(f3p2*100)/100;
f3p3=(160.4+dcpposle)/dcp450; f3p3=round(f3p3*100)/100;
%распределение ф+6 по горизонтам
f6p1=(dcp150/(4.47+dcpposle))*((dcp150/dcpposle)^1.5);
f6p1=round(f6p1*100)/100;
f6p2=(dcp300/(4.47+dcpposle))*((dcp300/dcpposle)^1.5);
f6p2=round(f6p2*100)/100;

```

```

f6p3=(dcp450/(4.47+dcpposle))*((dcp450/dcpposle)^1.5);
f6p3=round(f6p3*100)/100;

f3psum=(f3p1+f3p2+f3p3)/3; f3psum=round(f3psum*100)/100;
f6psum=(f6p1+f6p2+f6p3)/3; f6psum=round(f6psum*100)/100;

set(handles.dcpdo, 'String', num2str(dcp1));
set(handles.dcp150, 'String', num2str(dcp150));
set(handles.dcp300, 'String', num2str(dcp300));
set(handles.dcp450, 'String', num2str(dcp450));
set(handles.dcpposle, 'String', num2str(dcpposle));

set(handles.f3p1, 'String', num2str(f3p1));
set(handles.f3p2, 'String', num2str(f3p2));
set(handles.f3p3, 'String', num2str(f3p3));
set(handles.f6p1, 'String', num2str(f6p1));
set(handles.f6p2, 'String', num2str(f6p2));
set(handles.f6p3, 'String', num2str(f6p3));
set(handles.f3psum, 'String', num2str(f3psum));
set(handles.f6psum, 'String', num2str(f6psum));

function f3kor2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3kor2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function f3kor3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3kor3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function f6kor1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6kor1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f6kor2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6kor2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f6kor3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6kor3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f3kor1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3kor1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f6k2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6k2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```
function f6k3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6k3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f6ksum_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6ksum_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f6k1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f6k1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit65_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit65_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function edit66_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit66_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
```



```

function edit70_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit70_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton2kordcp_Callback(hObject, eventdata, handles)
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
korfr (hObject, eventdata, handles);
gr (hObject, eventdata, handles);
grdcp (hObject, eventdata, handles);
function korfr (hObject, eventdata, handles)
f6p1=get(handles.f6p1,'string');
f6p1=str2double(f6p1);
f6p2=get(handles.f6p2,'string');
f6p2=str2double(f6p2);
f6p3=get(handles.f6p3,'string');
f6p3=str2double(f6p3);
f3p1=get(handles.f3p1,'string');
f3p1=str2double(f3p1);
f3p2=get(handles.f3p2,'string');
f3p2=str2double(f3p2);
f3p3=get(handles.f3p3,'string');
f3p3=str2double(f3p3);
f3=get(handles.f3,'string');
f3=str2double(f3);
f36=get(handles.f36,'string');
f36=str2double(f36);
f6=get(handles.f6,'string');

```

```

f6=str2double(f6);
n=3;
f3psum=(f3p1+f3p2+f3p3); f3psum=round(f3psum*100)/100;
f6psum=(f6p1+f6p2+f6p3); f6psum=round(f6psum*100)/100;
%корректировка фракций на горизонтах шихты на аглоленте
f3pkor1=n*f3*f3p1/f3psum; f3pkor1=round(f3pkor1*100)/100;
f3pkor2=n*f3*f3p2/f3psum; f3pkor2=round(f3pkor2*100)/100;
f3pkor3=n*f3*f3p3/f3psum; f3pkor3=round(f3pkor3*100)/100;
f6pkor1=n*f6*f6p1/f6psum; f6pkor1=round(f6pkor1*100)/100;
f6pkor2=n*f6*f6p2/f6psum; f6pkor2=round(f6pkor2*100)/100;
f6pkor3=n*f6*f6p3/f6psum; f6pkor3=round(f6pkor3*100)/100;
f3psum0=(f3p1+f3p2+f3p3)/3; f3psum=round(f3psum*100)/100;
f6psum0=(f6p1+f6p2+f6p3)/3; f6psum=round(f6psum*100)/100;
%расчёт фракций ф 3-6
f36p1=100-f3pkor1-f6pkor1;
f36p2=100-f3pkor2-f6pkor2;
f36p3=100-f3pkor3-f6pkor3;
f36psum=100-f3psum0-f6psum0; f36psum=round(f36psum*100)/100;
%Фракционный состав на ленте из расчета
f3k1=f3pkor1/3; f3k1=round(f3k1*100)/100;
f3k2=f3pkor2/3; f3k2=round(f3k2*100)/100;
f3k3=f3pkor3/3; f3k3=round(f3k3*100)/100;
f3ksum=f3psum0; f3ksum=round(f3ksum*100)/100;
f36k1=f36p1/3; f36k1=round(f36k1*100)/100;
f36k2=f36p2/3; f36k2=round(f36k2*100)/100;
f36k3=f36p3/3; f36k3=round(f36k3*100)/100;
f36ksum=f36psum; f36ksum=round(f36ksum*100)/100;
f6k1=f6pkor1/3; f6k1=round(f6k1*100)/100;

```

```

f6k2=f6pkor2/3; f6k2=round(f6k2*100)/100;
f6k3=f6pkor3/3; f6k3=round(f6k3*100)/100;
f6ksum=f6psum0; f6ksum=round(f6ksum*100)/100;
set(handles.f3kor1, 'String', num2str(f3pkor1));
set(handles.f6kor1, 'String', num2str(f6pkor1));
set(handles.f6kor2, 'String', num2str(f6pkor2));
set(handles.f6kor3, 'String', num2str(f6pkor3));
set(handles.f3kor2, 'String', num2str(f3pkor2));
set(handles.f3kor3, 'String', num2str(f3pkor3));
set(handles.f36p1, 'String', num2str(f36p1));
set(handles.f36p2, 'String', num2str(f36p2));
set(handles.f36p3, 'String', num2str(f36p3));
set(handles.f36psum, 'String', num2str(f36psum));
set(handles.f3k1, 'String', num2str(f3k1));
set(handles.f3k2, 'String', num2str(f3k2));
set(handles.f3k3, 'String', num2str(f3k3));
set(handles.f36k1, 'String', num2str(f36k1));
set(handles.f36k2, 'String', num2str(f36k2));
set(handles.f36k3, 'String', num2str(f36k3));
set(handles.f6k1, 'String', num2str(f6k1));
set(handles.f6k2, 'String', num2str(f6k2));
set(handles.f6k3, 'String', num2str(f6k3));
set(handles.f6ksum, 'String', num2str(f6ksum));
set(handles.f3ksum, 'String', num2str(f3ksum));
set(handles.f36ksum, 'String', num2str(f36ksum));
function f3k2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3k2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f3k3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3k3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f36k1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36k1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f36k2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36k2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f36k3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36k3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f3k1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3k1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f36ksum_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36ksum_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f3ksum_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f3ksum_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f36p1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36p1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f36p2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36p2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f36p3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36p3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if      ispc      &&      isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))

```

```

    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function f36psum_Callback(hObject, eventdata, handles)
function f36psum_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
gp (hObject, eventdata, handles);
function gp (hObject, eventdata, handles)
H=get(handles.vissloyshih,'string');
H=str2double(H);
dcp2=get(handles.dcp2,'string');
dcp2=str2double(dcp2);
de=0.46*dcp2;
R=1*de/(1.8*(10^(-5)));
u=160/R+3.1/(R^0.1);
P=2*H*1*1.98*u/de*1000;
set(handles.P, 'String', num2str(P));
function gr (hObject, eventdata, handles)
f3k1=get(handles.f3k1,'string');
f3k1=str2double(f3k1);
f3k2=get(handles.f3k2,'string');
f3k2=str2double(f3k2);
f3k3=get(handles.f3k3,'string');
f3k3=str2double(f3k3);
f36k1=get(handles.f36k1,'string');
f36k1=str2double(f36k1);

```

```
f36k2=get(handles.f36k2,'string');
f36k2=str2double(f36k2);
f36k3=get(handles.f36k3,'string');
f36k3=str2double(f36k3);
f6k1=get(handles.f6k1,'string');
f6k1=str2double(f6k1);
f6k2=get(handles.f6k2,'string');
f6k2=str2double(f6k2);
f6k3=get(handles.f6k3,'string');
f6k3=str2double(f6k3);
x=[150, 300, 450];
y1=[f3k3, f3k2,f3k1];
y2=[f36k3, f36k2, f36k1];
y3=[f6k3, f6k2, f6k1];
plot(x,y1,x,y2,x,y3);
axes(handles.axes2);
function grdcp (hObject, eventdata, handles)
dcp150=get(handles.dcp150,'string');
dcp150=str2double(dcp150);
dcp300=get(handles.dcp300,'string');
dcp300=str2double(dcp300);
dcp450=get(handles.dcp450,'string');
dcp450=str2double(dcp450);
x=[150, 300, 450];
y=[dcp450, dcp300, dcp150];
plot(x,y,'-s');
axes(handles.axes4);
function P_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```
function P_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
        get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    end
function ii6_Callback(hObject, eventdata, handles)
function ii6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
    if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
        get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
        set(hObject,'BackgroundColor','white');
    end
```