МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

другого (магістерського) рівня освіти
(рівень вищої освіти)

на тему Теоретичний аналіз роботи тракту шихтопідготовки у спікальному відділенні агломераційної фабрики

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1743
спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно -інтегровані технології та робототехніка_____
(код і назва спеціальності)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)
освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології_____
(назва освітньої програми)
_____О. В. Горбатко_____
(ініціали та прізвище)

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

Запоріжжя 2024

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«06» грудня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Горбатку Олексію Владиславовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Теоретичний аналіз роботи тракту шихтопідготовки у спікальному відділенні агломераційної фабрики
керівник роботи Пазюк М. Ю., професор, докт.техн.наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «30» вересня 2024 року № 1483-с
2 Строк подання студентом роботи 05 грудня 2024 р.
3 Вихідні дані до роботи технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики
4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технологічні особливості управління агломераційним виробництвом; математичний апарат для аналізу автоматизованої системи управління потоково-транспортною системою; математичне моделювання роботи потоково-транспортних систем аглофабрики; розробка алгоритму керування ділянкою приймальних бункерів аглофабрики
5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема аглофабрики; схема системи транспортування шихти на аглострічку; технологічна схема підготовки шихти; модель ділянки приймальних бункерів; параметри ділянки приймальних бункерів; алгоритм оптимізації роботи ділянки приймальних бункерів

6 Консультанти розділів роботи

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

7 Дата видачі завдання 27.05. 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення особливостей завантаження бункерів сипкими матеріалами	27.05 – 16.06. 2024 р.	виконано
2	Аналіз принципів побудови сучасних АСК ТП	17.06 – 14.07 2024 р	виконано
3	Розробка математичної моделі руху сипких матеріалів у потоково-транспортній системі	15.07 – 08.09. 2024 р	виконано
4	Дослідження роботи потоково-транспортної системи аглофабрики, обладнаної конвеєрним розподільником шихти	09.09-13.10. 2024 р	виконано
5	Моделювання руху шихти в потоково - транспортній системі аглофабрики, обладнаної плужковими скидачами	14.10-03.11. 2024 р	виконано
6	Планування та проведення обчислювального експерименту	04.11-24.11.2024 р.	виконано
7	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю	25.11-05.12. 2024 р	виконано
8	Підготовка доповіді	01.12-09.12. 2024 р	виконано

Студент _____ Олексій ГОРБАТКО
(підпис) (ініціали та прізвище)

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

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Ірина ОВЧИННИКОВА
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Горбатко О. В. Теоретичний аналіз роботи тракту шихтопідготовки у спікальному відділенні агломераційної фабрики

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття вищої освіти за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», науковий керівник М. Ю. Пазюк, Запорізький національний університет, Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем. Запоріжжя, 2024.

У роботі виконано аналіз послідовного режиму завантаження приймальних бункерів, розширено теоретичні положення для його режиму завантаження із урахуванням кількості бункерів на ділянці та їх взаємним розташуванням, розроблено алгоритм завантаження бункерів.

Шляхом математичного моделювання та проведення пасивного експерименту доведена ефективність послідовного режиму завантаження. Порівняльний аналіз результатів моделювання та експерименту показав адекватну роботу моделі у 95% усіх можливих значень параметрів роботи ділянки приймальних бункерів.

Ключові слова: МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, АЛГОРИТМ, БУНКЕР, РЕЖИМ ЗАВАНТАЖЕННЯ, ПОТОКОВО-ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, КРИТЕРІЙ ОПТИМАЛЬНОСТІ, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ЦІЛЬОВА ФУНКЦІЯ

ABSTRACT

Horbatko O. Theoretical Analysis of Development of the Batch Preparation Tract in the Sintering Department of the Agglomeration Factory

The final master's qualifying work for completion of the higher education in the specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics", supervisor: M. Yu. Paziuk, Zaporizhzhia National University, Engineering Education and Research Institute, Department of Electrical Engineering and Cyberphysical Systems. Zaporizhzhia, 2024.

In the work, an analysis of the sequential loading mode of receiving hoppers was performed, the theoretical provisions for its loading mode were expanded, taking into account the number of hoppers on the site and their relative location, and an algorithm for loading hoppers was developed.

Through mathematical modeling and conducting a passive experiment, the effectiveness of the sequential loading mode has been proven. A comparative analysis of the simulation and experiment results showed the adequate operation of the model in 95% of all possible values of the operating parameters of the area of receiving bunkers.

Keywords: MATHEMATICAL MODEL, ALGORITHM, BUNKER, LOADING MODE, FLOW-TRANSPORT SYSTEM, OPTIMALITY CRITERION, AUTOMATED CONTROL SYSTEM, OBJECTIVE FUNCTION

ЗМІСТ

Вступ …….. 8
Розділ 1 Технологічні особливості управління агломераційним виробництвом…… 11
1.1 Конструкція технологічного агрегату……. 11
1.2 Основні технологічні величини……... 17
1.3 Взаємозв'язок спікального відділення з суміжними відділеннями……. 21
1.4 Технологічні схеми потоково-транспортних систем……. 22
1.5 Принципи побудови сучасних АСК ТП…….. 31
1.6 Постановка задачі дослідження……... 44
Розділ 2 Удосконалення математичного апарату для аналізу автоматизованої системи управління потоково-транспортною системою…….. 46
2.1 Розробка математичної моделі руху сипких матеріалів у потоково-транспортній системі……... 46
2.2 Послідовний режим розподілу сипких матеріалів……. 49
2.3 Висновки до розділу 2……... 58
Розділ 3 Математичне моделювання роботи потоково-транспортних систем аглофабрики…… 59
3.1 Дослідження роботи потоково-транспортної системи аглофабрики, обладнаної конвеєрним розподільником шихти.. 59
3.2 Моделювання руху шихти в потоково -транспортній системі аглофабрики, обладнаної плужковими скидачами……. 65
3.3 Висновки до розділу 3……... 72
Розділ 4 Розробка алгоритму керування ділянкою приймальних бункерів аглофабрики……. 74
4.1 Планування обчислювального експерименту……. 74
4.2 Проведення обчислювального експерименту……. 78

4.3 Оптимізація розподілу сипких матеріалів між приймальними бункерами потоково-транспортної системи….. 84
4.4 Висновки до розділу 4……... 95
Висновки……... 97
Використані джерела……... 98

ВСТУП

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

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

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

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

Основним завданням ділянки приймальних бункерів є безперервна видача сипкого матеріалу у подальший технологічний ланцюг. При цьому не повинно спостерігатися переповнення бункерів, так як це є аварійною ситуацією, при якій робота ділянки припиняється, а також спорожнення бункерів у тракті подачі шихти на аглострічку, що є причиною простоїв ділянки та впливає на безперервність процесу виробництва агломерату та знижує продуктивність аглофабрики.

Існує велика кількість систем управління ділянкою приймальних бункерів, що використовують типові алгоритми переміщення

завантажувальних пристроїв. Використання існуючих алгоритмів управління системою завантаження приймальних бункерів призводить до їх періодичних переповненням та спорожненням, що є неприпустимим для безперервного агломераційного процесу.

Таким чином, розробка алгоритму управління завантаженням бункерів є важливою задачею. Підвищення ефективності роботи автоматизованих систем управління завантаженням може бути здійснено за допомогою дослідження роботи систем завантаження на імітаційних математичних моделях.

Мета дослідження. Розробка алгоритму управління завантаженням приймальних бункерів, а також дослідження роботи автоматизованої системи завантаженням приймальних бункерів та находження таких умов роботи системи, при яких на ділянці не буде спостерігатися переповнення або спорожнення бункерів.

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

1. Узагальнити теоретичні положення, що реалізують алгоритм завантаження для систем із n-ою кількістю бункерів із урахуванням поточної кількості матеріалу у бункерах.

2. Розробити математичну модель послідовного завантаження приймальних бункерів.

3. Розробити алгоритм керування послідовним завантаженням приймальних бункерів.

4. Сформувати методику знаходження параметрів системи завантаження, при яких не буде спостерігатися спорожнення або переповнення бункерів

Об’єкт дослідження. Рух сипких матеріалів по тракту шихтопідготовки спікального відділення агломераційної фабрики

Предмет дослідження. Процес завантаження сипких матеріалів у приймальні бункери

Методи дослідження. Аналіз та дослідна експлуатація режимів завантаження ділянки приймальних бункерів; при створенні математичних моделей використано балансовий метод; методи математичної статистики, теорії ймовірності та моделювання. Перевірка основних теоретичних положень виконана з використанням математичного моделювання та результатів виробничих експериментальних досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Проаналізовані відомості про проблему завантаження ділянки бункерів.

2. Узагальнено та розширено теоретичні положення теорії управління завантаженням бункерів.

3. Розроблено власну методику досліджень; проведено ряд математичних експериментів, за результатами яких, запропоновано алгоритм оптимального завантаження ділянки із n-ою кількістю бункерів із урахуванням поточної кількості матеріалу у них.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати роботи мають практичне значення та можуть бути використані при завантаженні ділянки приймальних бункерів сипких матеріалів із забезпеченням стабільної роботи та уникнення аварійних ситуацій, які виникають при спорожненні та переповненні бункерів.

Особистий внесок дослідника полягає у формуванні мети та задач дослідження, обґрунтуванні наукових положень; проведенні теоретичних і експериментальних досліджень; розробленні алгоритму оптимального завантаження системи бункерів; розроблення технологічних рішень щодо удосконалення роботи ділянки приймальних бункерів.

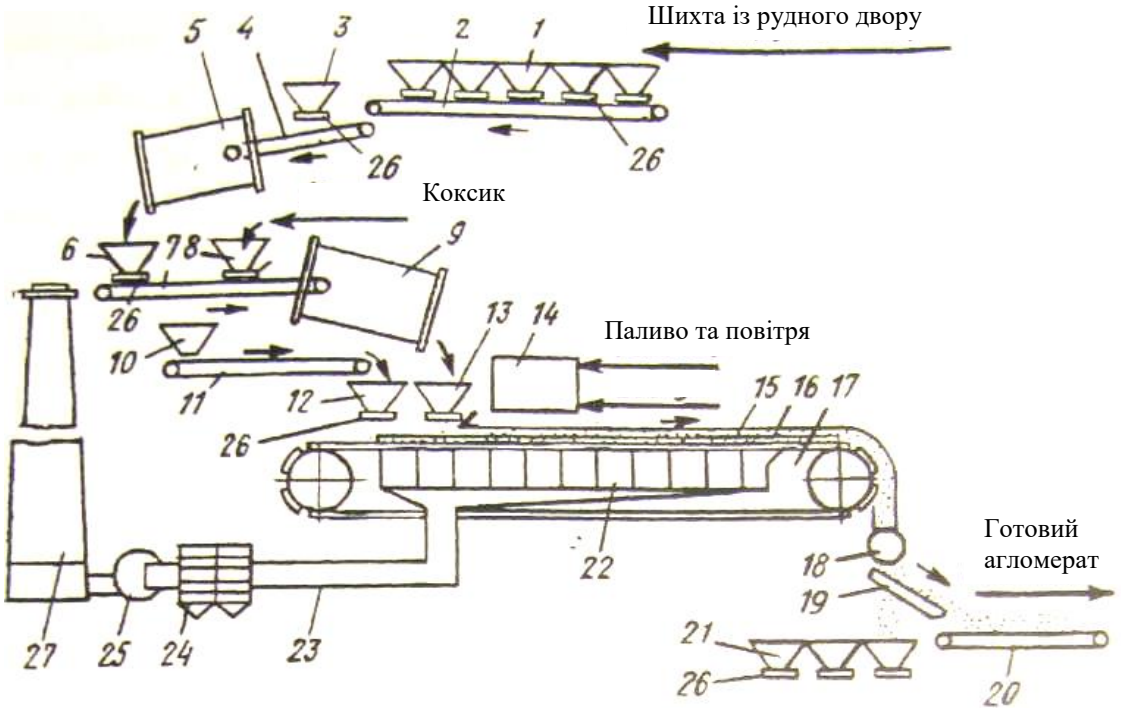
Структура та обсяг магістерської роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання з 36 найменувань, викладена на 101 сторінках машинописного тексту, включаючи 30 рисунків та 3 таблиці.

РОЗДІЛ 1
ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ УПРАВЛІННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНИМ ВИРОБНИЦТВОМ

1.1 Конструкція технологічного агрегату

На агломераційній фабриці шихту, що складається з рудної частини, флюсів, повернення (дрібної фракції агломерату) і палива (коксику, антрациту), завантажують на конвеєрну агломераційну машину (аглострічку), запалюють зверху та спікають, просмоктуючи повітря через шар оброблюваних матеріалів.

Виробничі процеси, здійснювані на аглофабрики, ілюструє схема на рисунку 1.1.



1 – приймальні бункери; 2, 4, 7, 11, 20 – транспортні конвеєри; 3, 6, 8, 10, 12, 13, 21 – бункери; 5, 9 - змішувач-окомкувач; 11, 26 – живільники; 14 – запалювальний горн; 15 – підготовлена шихта; 16 – постіль; 17 – агломераційна машина; 18 – дробарка; 19 – гуркіт; 22 – вакуум-камери; 23 – колектор; 24 – циклон; 25 – ексгаустер; 27 – димова труба

Рисунок 1.1 - Технологічна схема аглофабрики [1]

Сучасні системи дозування представляють собою складні комплекси систем автоматики, що включають сотні різних пристроїв. При цьому самі системи дозування входять до складу загальної технологічної схеми з лініями шіхтоподготовкі, транспортними пристроями, сховищами шихтових матеріалів та ін.

Компоненти шихти з рудного двору надходять у приймальні бункери 1 при допомоги самозавантажувальних візків - автостел. Для кращого усереднення матеріалів при завантаженні їх в бункери автостели переміщуються безперервно у челноковому режимі над усіма бункерами з одним і тим же матеріалом. Вапняк і повернення завантажуються в призначені для них бункери за допомогою перемикання шибером відповідних течок. З бункерів у певному співвідношенні з транспортних конвеєрів 2 і 4 вони подаються в первинний змішувач-окомкувач 5, де відбувається їх змішування, зволоження і огрудкування. З бункера 3 в змішувач надходить повернення. Дрібні частинки зволоженої шихти при перемішуванні укрупнюються, утворюючи грудочки; шихта стає зернистою і рихлою, що підвищує її газопроникність. Усереднена шихта із змішувача завантажується в бункер 6 і транспортером 7 в певному співвідношенні з коксиком, що надходить з бункера 8, подається у вторинний змішувач-окомковувач 9.

Дозування здійснюється встановленням необхідних витрат компонентів шихти, які видаються на збірний транспортер 2 живильниками 26 з відповідних бункерів. Для видачі матеріалів з бункерів застосовують вібраційні живильники.

Підготовлену шихту 15 з проміжного бункера 13 рівномірно і безперервно подають системою завантаження на агломашину 17 і укладають на нескінченний рухомий ланцюг колосникових візків (палет), попередньо помістивши на них постіль 16, яка надходить з приймального 10 і проміжного 12 бункерів по транспортеру 11.

Запалювання шару шихти, завантаженої на аглострічку, проводиться при проходженні шару під запалювальний горном 14 в результаті згоряння в ньому рідкого або газоподібного палива. У міру руху візків до хвостової частини машини горіння коксику з верхнього шару поширюється в нижні шари; цьому сприяє розміщення під візками вакуум-камер 22, в яких за допомогою ексгаустеру 25 створюється розрядження в 10 кПа.

Готовий агломерат скидають в кінці машини з візків, дроблять за допомогою дробарок 18, подають для відсіювання на гуркіт 19, охолоджують і відправляють по транспортеру 20 в доменний цех. Неспечений дріб'язок (возврат) розміщують у приймальні бункери 21 і повертають для повторного спікання як добавку до шихти.

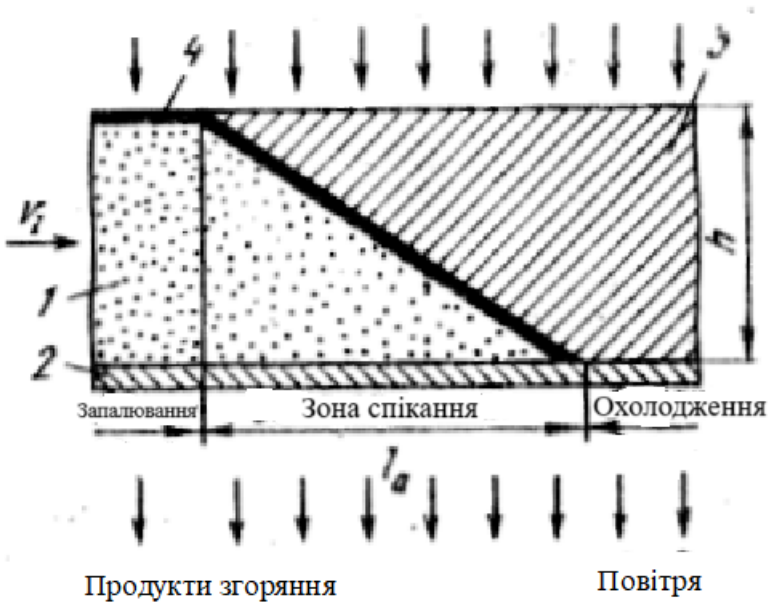
Продукти згорання і повітря з вакуум-камер по колектору 23 надходять на очищення в циклони 24 і видаляються ексгаустерами 25 через трубу 27.

У шихтовому відділенні аглофабрики «Запоріжсталь» для зберігання матеріалів є 32 бункера ємністю по 175 $м^3$ кожен.

Виробничі операції, здійснювані на аглофабриці показані на технологічній схемі (рис. 1.2). Тверде паливо подрібнюють у чьотирьохвалкових дробарках, вапняк дроблять у молоткових дробарках або тангенціальних шахтних млинах і, якщо є потреба, обпалюють у кільцевих шахтних печах. Розрахункове співвідношення окремих компонентів шихти підтримують шляхом вагового дозування. Змішування, зволоження та огрудкування шихти здійснюють у барабанних змішувачах. При цьому процес ведуть таким чином, щоб досягти максимальної газопроникності шихти. Огрудковану шихту укладають на спікальні візки (палети), запалювання шихти відбувається при проходженні візка під запальним горном. У міру руху спікальних візків до хвостової частини машини, горіння з верхнього шару поширюється в нижні шари.

При горінні палива утвориться зона горіння висотою 15-30 мм із температурою 1400 - 1600 °С, що пересувається вниз до колосників зі швидкістю руху аглострічки.

У таких умовах зона горіння здобуває форму нахиленого плоского шару. Основні параметри при сталому режимі зв'язані співвідношенням (статичною характеристикою).



1 - сира шихта; 2 - постіль; 3 - готовий агломерат; 4 - зона горіння; 1а - довжина зони спікання (активна довжина); 1б - горизонтальна швидкість руху аглострічки; h - висота шару шихти; t_0 - час спікання

Рисунок 1.2 - Схема спікання шихти на агломераційній машині [2]

Температура продуктів згоряння, що виходять із шару, становить 50 - 70 °С і тільки при наближенні зони горіння до колосників (у районі останніх вакуум-камер зони спікання) температура газів підвищується до 200 - 400 °С. Максимальна температура газів, що відходять, свідчить про закінчення процесу спікання. На нових агломашинах, крім зони спікання, передбачена також зона охолодження агломерату. Охолоджений агломерат дроблять, піддають просіюванню і відправляють у доменний цех.

Пересування палет здійснюється електроприводом постійного струму. Швидкість руху регулюють таким чином, щоб процес спікання закінчувався на заданій активній довжині.

У зоні спікання відсмоктування газів здійснюється через камери розрідження ексгаустерами. Хвостова частина аглострічки використається для охолодження агломерату, повітря для охолодження просмоктується через шар димососами. Для запалювання шихти служить горн з пальниками, де спалюється рідке або газоподібне паливо.

Так як процес безперервний, на аглофабриках створюються сприятливі умови для автоматичного управління виробничими й технологічними операціями. На фабриці звичайно є два відділення - шихтове та спікальне. У перше входять ділянки підготовки палива, флюсів і залізовмісних матеріалів. Підготовлена шихта потім надходити у відділення спікання. Усі ділянки аглофабрики зв'язані між собою конвеєрними трактами, містять ємності та перевантажувальні вузли, які забезпечують потоковість і безперервність процесів. При такій організації виробництва більшість операцій може бути автоматизовано.

Автоматизація, що забезпечує одержання агломерату заданої якості, охоплює операції усереднення залізовмісних матеріалів, вагового дозування компонентів шихти, контролю хімічного складу або змісту окремих елементів у шихті та агломераті, відбору проб для аналізів і випробувань агломерату, контролю і регулювання кількості палива в шихті з метою оптимізації теплового режиму процесу спікання. Для забезпечення максимальної продуктивності агломашин служать системи автоматичного контролю та керування процесом спікання, що виконують операції підготовки шихти (зволоження та огрудкування), завантаження її на агломераційну машину, контролю теплового режиму і оптимізації процесу спікання. Певне значення мають також локальні схеми контролю і управління рівня матеріалів у потоках і ємностях, а також системи

управління окремими механізмами агломераційної фабрики - дробарками, ексгаустерами, запалювальними установками та ін.

Точність дозування компонентів шихти впливає на якість готового агломерату хід спікання на аглострічці. Сталість хімічного складу шихти досягається дозуванням шихтових матеріалів системою бункерів з живильниками. Дозування здійснюється по масі матеріалів з урахуванням їхнього хімічного складу. Співвідношення компонентів шихти регулюють шляхом автоматичної підтримки витрати окремих складових з коректуванням за даними хімічних аналізів і аналізів вологості матеріалів. Якість регулювання при цьому залежить від частоти відбору проб на аналіз. У порівнянні з ручним керуванням автоматизовані системи дозування знижують коливання основності агломерату приблизно в 1,5 рази.

Застосовуються два типи систем вагового дозування - індивідуальної і груповий. Система індивідуального дозування складається з бункера, живильника (тарілчастого, вібраційного та ін.), транспортера, підсистеми зважування транспортера з матеріалом і підсистеми підтримки заданої маси. Система групового дозування складається із групи ємностей, групи живильників, що працюють на транспортер, конвеєрних важелів і підсистеми підтримки заданої маси.

Автоматизація управління процесами в спікальному відділенні полягає в автоматичній підтримці висоти шару аглошихти, що завантажується на машину, автоматичному регулюванні рівня шихти в проміжному бункері над агломашиною, контролі і автоматичному регулюванні вологості шихти, автоматичному управління процесом запалювання шихти та регулюванні закінченості процесу спікання наприкінці активної ділянки аглосрічки. Окремий вузол управління становлять механізми охолодження та дозування повернення.

Обсяг автоматизації агломераційної фабрики встановлюється залежно від її структури та продуктивності. Для фабрик, що мають

продуктивність більше 10 млн.т агломерату в рік, необхідна повна автоматизація виробництва, 6 - 10 млн.т - комплексна автоматизація.

Повна автоматизація фабрики (рис. 1.3) передбачає включення всіх відділень (приймання і складування матеріалів, усереднюючого, шихтового, підготовки палива та флюсів, спікального, ексгаустерного, охолодження та виділення повернення) у загальну систему автоматичного управління. Агломераційна фабрика оснащується автоматизованою системою управління виробництвом АСУВ і автоматизованою системою управління технологічними процесами АСУ ТП. АСУ ТП здійснює управління з операторських пунктів: прийманням, складуванням і усередненням шихтових матеріалів; ваговим дозуванням компонентів шихти; транспортуванням шихтових матеріалів і завантаженням бункерів; зволоженням шихти і її окомкуванням; подачею шихти на агломашини; підігрівом, запалюванням і спіканням шихти; охолодженням агломерату; видаленням газів, що відходять, в ексгаустерному відділенні; відбором проб матеріалів і їхнім аналізом; контролем якості готової продукції.

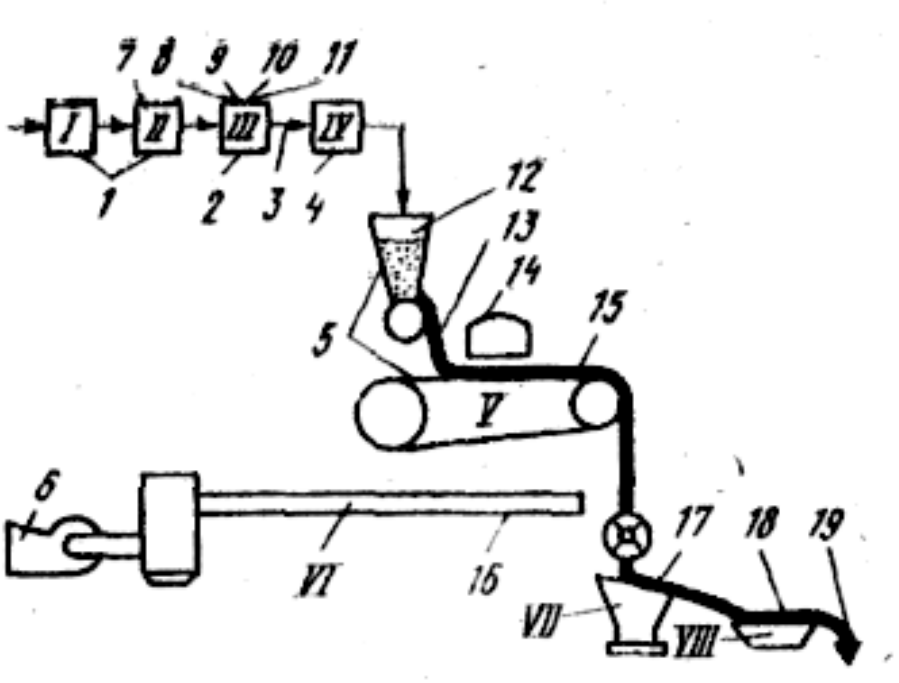
1.2 Основні технологічні величини

Робота спікального відділення залежить від багатьох факторів. У зв’язку із тим, що процес спікання безперервний, особливу роль грає забезпечення тісного взаємозв'язку між керуючими впливами, керованими величинами і обурюючими факторами.

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

Керуючі впливи:

- витрата газу;
- швидкість аглострічки;
- температура газів у вакуум-камерах;



I- прийомне відділення шихтових матеріалів; II - склад шихтових матеріалів; III - шихтове відділення; IV - зволоження та огрудкування: V - агломашина; VI - газовий тракт; VII - повернення; VIII - охолоджувач;

Системи автоматичного управління: 1 - прийманням, складуванням і усередненням; 2 - ваговим дозуванням; 3 - конвеєрними трактами та завантаженням у бункери; 4 - зволоженням і окомкуванням; 5 - завантаженням шихти на аглострічку; 6 - ексгаустерами та газоочищенням; засоби контролю: 7 - вмісту заліза; 8 - основності; 9 - вмісту вуглецю; 10 - маси; 11 - витрати; 12-19 - датчики контролю: 12 - рівня шихти; 13 - завантаження шихти на аглострічку; 14 - температури горна; 15 - закінченості процесу спікання; 16 - розрідження і температури диму; 17 - температури повітря; 18- температури агломерату; 19 - якості агломерату

Рисунок 1.3 - Схема повної автоматизації агломераційної фабрики

- розрідження в загальному колекторі;
- температура газів, що відходять;
- витрата води;
- витрата шихти із проміжного бункера;
- витрата коксу;
- витрата повітря;
- співвідношення компонентів шихти;

– спосіб укладання шихти на аглострічку;

– час нагрівання/спікання шихти.

Керовані величини:

– температура запалювання шихти;

– закінченість спікання;

– вологість шихти;

– рівень шихти на аглострічці;

– вміст вуглецю в агломераті;

– співвідношення витрат газ/повітря;

– міцність агломерату;

– температура повернення;

– продуктивність агломашини.

Фактори, що збурюють:

– зміна фізико-хімічних властивостей компонентів шихти та палива;

– зміна умов змішування та дозування;

– зміна умов роботи агломашини (різні режими роботи, аварійні зупинки і т.д.);

– перебої в постачанні.

Схема інформаційних потоків представлена на рис. 1.4.». Значення основних вимірюваних величин наведено у табл. 1.1.

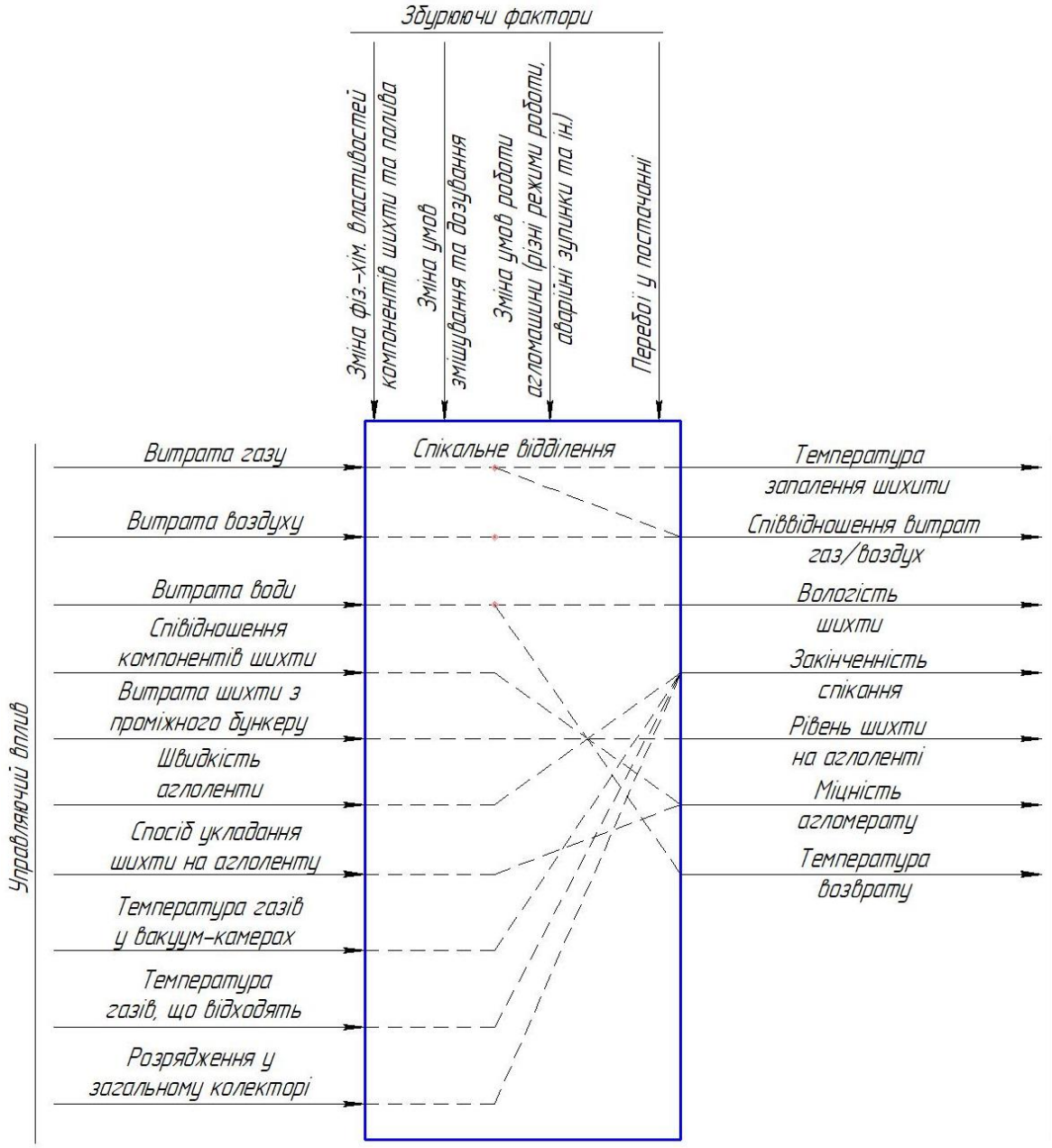


Рисунок 1.4 - Спікальне відділення як об'єкт керування

Таблиця 1.1 - Основні вимірювані величини

Вимірювана величина	Діапазон значень
Витрата газу	400-600 $м^3$/год
Витрата повітря	450-14000 $м^3$/год
Витрата води	15 $м^3$/год
Вологість шихти	5-20 %
Температура горна	1280-1380 °С

Рівень шихти на аглострічці	330-400 мм
Рівень шихти в бункерах	0,8-10 м
Маса шихти в бункерах	300 т
Температура газів у вакуум-камерах	250-400 °С
Розрядження в загальному колекторі	10 кПа
Розрядження у вакуум-камерах	10-15 кПа
Вміст O_2 у газах, що відходять	10-20 %
Вміст С у шихті	2-10 %
Швидкість руху аглострічки	5-10 об/хв

1.3 Взаємозв’язок спікального відділення з суміжними відділеннями

Спікальне відділення знаходиться у тісному взаємозв’язку з суміжними відділеннями такими, як шихтове відділення агломераційного цеху та доменний цех. Цей взаємозв’язок є послідовним, тобто шихтове відділення є підготовчою ланкою для спікального відділення, а саме спікальне відділення є підготовчою ланкою для доменного цеху. Можливі перебої в роботі будь-якого з цих відділень порушить роботу усієї лінії виробництва сталі. Схема взаємозв’язку спікального відділення з іншими представлена на рис. 1.5.

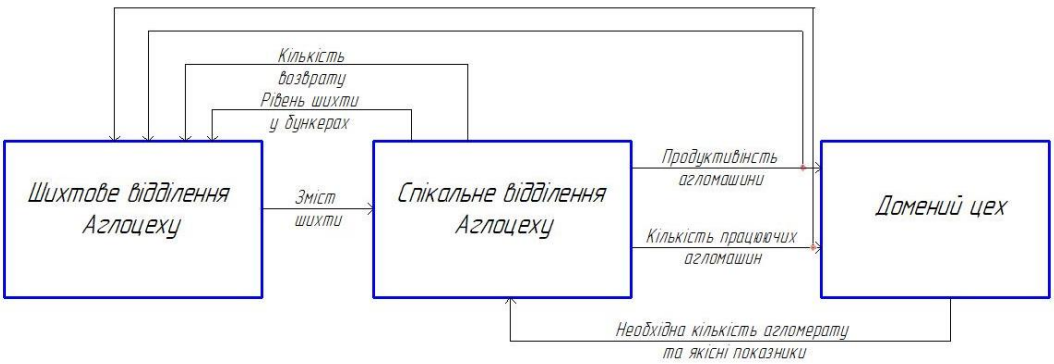


Рисунок 1.5 - Взаємозв’язок спікального відділення з іншими виробництвами

1.4 Технологічні схеми потоково-транспортних систем

Основною задачею ділянки транспортування шихти із шихтового відділення та завантаження її у приймальні бункери агломашини (рис. 1.6) є безперебійне забезпечення спікального відділення шихтою та розподілення шихти між приймальними бункерами у кількості, що дорівнює споживанню її агломашинами.

На агломераційних фабриках в основному застосовуються два способи подачі і розподілу матеріалів по бункерах: за допомогою пересувного реверсивного конвеєра або рухомого розвантажувального візка. Застосовуються також конвеєри з встановленими над ними плужковими скидачами.

Пересувні стрічкові конвеєри виготовляють з шириною стрічки 1600 і 2000 мм. Продуктивність 1500 - 1400 т / рік в залежності від швидкості стрічки (1,5 - 2,5 м/с). Швидкість пересування всього ряду конвеєрів дорівнює 0,3 м/с.

Стрічкові транспортери із прогумованою стрічкою виготовляються плоскими і жолобчастими: вони є машинами безперервного внутрішньозаводського транспорту, що застосовується для перекидання масових сипких вантажів.

Продуктивність стрічкових транспортерів розраховується за масою або об'ємом матеріалу, який перекидається в одиницю часу.

При транспортуванні сипучих матеріалів безперервним потоком продуктивність стрічкового транспортера визначається за формулами:

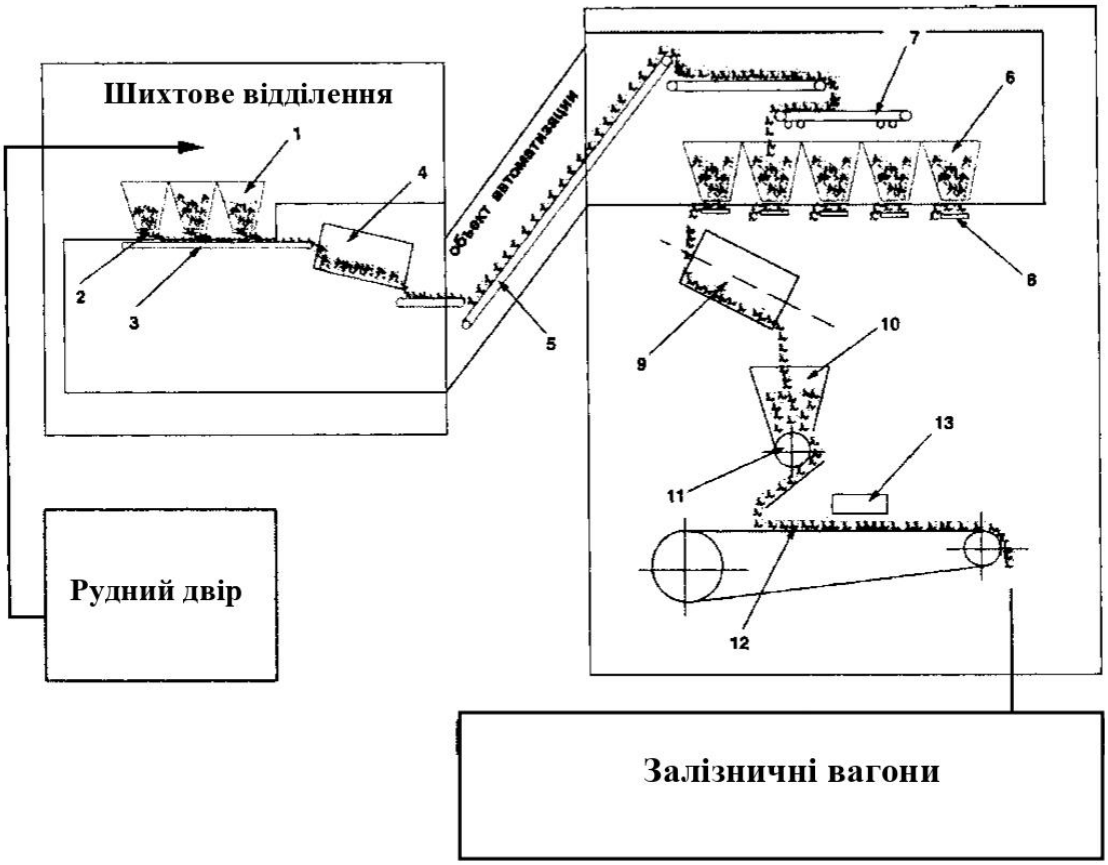
$$V = 3600 \cdot S \cdot v;$$

$$Q = 3600 \cdot S \cdot v \cdot \gamma,$$

де S - площа перерізу потоку матеріалів на стрічці, м^2;

v - швидкість руху стрічки з матеріалами, м/с;

γ - насипна маса, т/м^3.



1 – бункери компонентів шихти; 2 – дозатори бункерів шихтового відділення; 3 – збірний конвеєр; первинний барабанний змішувач; 5 – конвеєр; 6 – приймальні бункери агломашин; 7 – розподільчий пристрій; 8 – живильники; 9 – вторинні барабани-змішувачі; 10 – проміжні бункери агломашин; 11 – барабанні живильники; 12 – агломераційні машини; 13 – горн агломашини

Рисунок 1.6 – Технологічна схема підготовки шихти до спікання

Для агломераційної шихти кут природного відкосу складає 30-33°, а насипна щільність 1,6 - 1,8 т/м^3.

Внаслідок струсу матеріалу на стрічці його профіль приймає форму, подібну параболі, з шириною основи, рівною 0,8 b, де b - ширина стрічки. Для спрощення розрахунків переріз матеріалу на стрічці умовно розглядають у вигляді трикутника з кутом при основі φ, рівним 0,35 α, де α - кут природного укосу матеріалу в стані спокою. Площа перерізу матеріалу:

$$S = b \cdot h/2 = 0{,}8b \cdot 0{,}4b \cdot \tan\frac{\varphi}{2} = 0{,}16b^2 \cdot \tan\varphi.$$

Підставивши вираз площі перерізу матеріалу у формулу масової продуктивності, отримаємо формулу для продуктивності пластинчастих стрічок:

$$Q = 3600 \cdot v \cdot \gamma \cdot 0{,}16b^2 \cdot \tan\varphi.$$

Важливою вимогою при підготовці агломераційної шихти до спікання є забезпечення рівномірного гранулометричного складу за рахунок усунення сегрегації в бункерах і при перевантаженнях. Запас шихти, створюваний у приймальних бункерах, дозволяє компенсувати тимчасові невідповідності між продуктивністю шихтового відділення та величиною витрати шихти на спікання, яка може змінюватися під час пуску, зупинки та зміни продуктивності агломашин.

Споживання шихти запальним відділенням є змінною у часі величиною. Процес постачання спекотного відділення шихтою утруднюється наявністю великого транспортного запізнення.

Шихту між бункерами агломашин необхідно розподіляти пропорційно до їх продуктивності, що при безперервному процесі дозволить покращити її газопроникність, оскільки шихта перебуватиме весь час у рухомому стані, не налипає на стінки бункера і не злежується.

На аглофабриках розподіл шихти між бункерами спікального відділення провадиться візками (автостелами) з шиберами або без шиберів і реверсивними котучими конвеєрами [3]; зустрічається також послідовний ряд конвеєрів із шиберами або без них [3]. В інших галузях промисловості для подібних цілей застосовуються плужкові скидачі.

Конвеєр з візком, що скидає, в порівнянні з реверсивним котучим конвеєром має малу швидкість пересування, яка не дозволяє швидко перемикати потік шихти з одного бункера в інший.

Важливим показником взаємозв'язку ділянок підготовки шихти до спікання є співвідношення між ємністю системи подачі і розподілом шихти, з одного боку, і ємністю системи спікання (агломераційної машини) - з іншого боку. Більшість фабрик воно дорівнює 6:1.

Періодичне заповнення приймальних бункерів шихтою та спорожнення їх викликає сегрегацію шихти [4]. Коливання ситового складу з періодом Т=600-1600 с не згладжуються в змішувальному барабані.

Відомо, що фізичні та хімічні властивості компонентів шихти і, отже, самої шихти змінюються випадковим чином та мають значні коливання. Внаслідок цього, а також в залежності від рівня матеріалу в бункері, може спонтанно (тобто незалежно від керуючих впливів) змінюватися продуктивність живильника, що характерно для бункерів шихтового та спікального відділень. Рівень матеріалу в бункері може різко змінюватися в результаті обвалення матеріалу. Найчастіше спостерігається налипання шихти на стінки бункера. При цьому через зменшення прохідних перерізів знижується ємність бункерів. Для усунення таких явищ застосовують різні методи періодичного обвалення матеріалів, що зависли.

Очевидно, що для забезпечення сталості витрати матеріалу з бункера необхідно підтримувати однаковий рівень його заповнення.

Визначення допустимих значень коливань рівня в бункері має ґрунтуватися на дослідженні їх впливу на величину сегрегації шихти, а отже, і перебіг процесу спікання. Аналіз процесу завантаження бункерів на аглофабриках НКГЗК, ПівдГЗК, заводу «Запоріжсталь» показав, що заповнення 1/3 обсягу бункера шихтою є найбільш раціональним.

Особливе значення для рівномірності якості агломерату і для самого процесу агломерації має усереднення його складових. Усереднення матеріалу відбувається за човниковому режимі роботи завантажувального агрегату, тобто. щоб завантаження бункерів

відбувалося великою кількістю тонких шарів по всій довжині, або, наскільки можна, меншими порціями.

Так як можливе усереднення матеріалів у бункерах, необхідно це використовувати при керуванні процесом завантаження приймальних бункерів агломашин.

Шихта перемішується і усереднюється в основному в барабанах змішувачів. Дослідження показали, що змішувальні барабани мають значні фільтруючі властивості. Певні демпфуючі властивості змішувального барабана виявляються також щодо коливань витрати шихти. Вони полягають у «розмиванні» фронту різких змін витрати шихти за довжиною барабана.

Дослідження показали, що основними параметрами потоку матеріалу, що визначають середню здатність різних технологічних ланок, є не амплітуда, а частота коливання показника вмісту (того чи іншого компонента) щодо базового.

Специфікою регулювання в агломераційному виробництві є наявність порівняно великих транспортних запізнювань, пов'язаних з розподіленістю процесів у просторі та в часі, а також з впливом різних та значних впливів, що обурюють.

При автоматизації ділянки подачі та розподілу шихти по бункерах агломашин стикаються з такими технічними труднощами:

1. Реверсивні пересувні конвеєри мають різні співвідношення швидкостей стрічки та візка, а також допустиме навантаження на стрічці, які визначають здатність конвеєрів переміщатися на задані відстані без просипу матеріалу в бункера.

2. Бункери розміщуються на різних відстанях від місця надходження матеріалу на завантажувальний агрегат (матеріал може надходити з краю або посередині ряду бункерів).

3. Необхідне потокове та надійне визначення «робочого» запасу шихти у приймальних бункерах у зв'язку з їх «заростанням».

4. Обмежена ємність скидного бункера (робочий або спеціальний бункер, до якого направляється шихта під час переміщення завантажувального агрегату від бункера до бункеру, за наявності міжбункерних майданчиків).

5. Довгий конвеєрний зв'язок між шихтовими бункерами у шихтовому відділенні та приймальними бункерами у спекальному відділенні.

6. Збільшення частоти перемикань механізмів завантажувального агрегату та його пускової електроапаратури знижує термін їхньої служби та збільшує витрату електроенергії [9].

Для ділянки подачі та розподілу шихти по приймальних бункерах спікального відділення характерні наступні впливи, що обурюють:

- нерівномірне споживання та надходження шихти [13];

- зміна фізико-хімічних властивостей шихти [1,2,6,9,18];

- включення чи вимикання споживача матеріалу (наприклад, ремонт бункера, агломашини чи іншого, що належить до неї устаткування, та був включення в роботу);

- налипання шихти на стінки бункерів та зависання шихти в бункерах.

Внаслідок цього можна сформулювати технологічні вимоги до роботи автоматизованих систем управління процесом завантаження шихти в бункери агломашин:

1. Не допускати переповнення бункерів, оскільки це є аварійним станом (засипаються навколобункерні майданчики, порушується робота завантажувальних механізмів).

2. Не допускати випорожнення бункерів, оскільки це викликає зупинку агломераційних машин, що знижує випуск агломерату, порушує безперервний процес спікання агломерату (призводить до перегріву агломерату та збільшення браку). Випорожнення бункерів допускається лише у виняткових випадках і має бути обґрунтовано.

3. Підтримувати в бункерах оптимальний рівень матеріалів з огляду на явища сегрегації, ущільнення та зависання матеріалів [1,2].

4. По можливості сприяти додатковому усередненню матеріалів.

5. Забезпечити автоматичне керування розподілом шихтових матеріалів між приймальними бункерами спікального відділення аглофабрики.

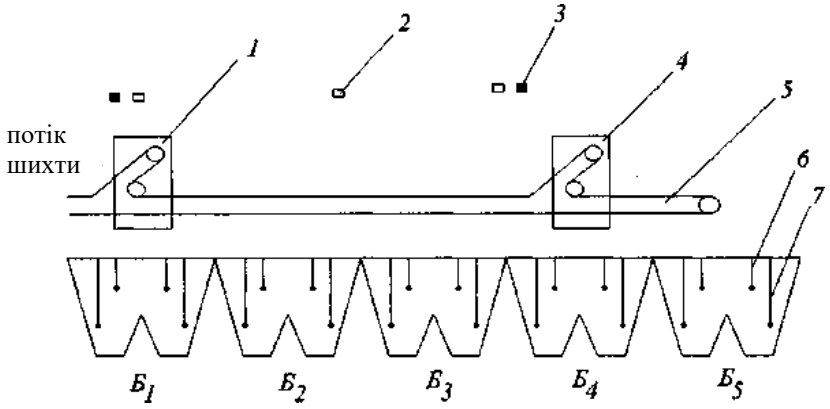
6. Не можна прокидати матеріал на міжбункерні майданчики, якщо завантажувальний агрегат не має пристроїв (наприклад, відсутність ножа) для скидання матеріалу з цих майданчиків у бункерах під час свого руху.

Нині створення сучасного агломераційного виробництва неможливе без використання автоматизованих систем управління (АСУ). Ці системи можуть бути використані на різних ділянках аглофабрики. Найбільш складною і маловивченою є ділянка приймальних бункерів аглофабрики [5].

Ручна праця не забезпечує необхідної надійності ПТС. Для підвищення надійності ПТЗ доцільним є використання сучасних засобів комп'ютерної техніки, контролерів та інших пристроїв [5]. Надійність АСУ ПТС, що експлуатується, залежить від багатьох факторів: людей, апаратури на технологічних ділянках, комп'ютерної техніки. Одним з найбільш вузьких місць існуючих АСУ ТП є програмне забезпечення (ПЗ), що застосовується в них. Незважаючи на високий технологічний рівень існуючих АСУ ПТС, у цих системах присутній низький логічний рівень, який зумовлює зупинення цих систем та різноманітні аварійні ситуації.

Відома велика кількість автоматизованих систем керування транспортними потоками та завантаженням матеріалів у бункери. Проектувальники цих систем прагнули забезпечити автоматичне керування завантаженням з використанням мінімуму обладнання, що суттєво збільшувало надійність цих систем, а також вартість їхнього обслуговування [5].

Розглянемо розробку НДІАчермету У АСУ ПТС (уніфікована агрегатна система управління механізмами потоково-транспортних систем (ПТС)). УАС УПТС включає підсистему автоматизованого завантаження кількох модифікацій (для керування автостелою, пересувним конвеєром, плужковим скидувачем і близькими до них, за принципом роботи, завантажувальними механізмами). Технологічна схема ділянки завантаження представлена на рис. 1.7. Ділянка складається з п'яти бункерів, на схемі Б1, Б2 ... Б5. По всій довжині над бункерами розташовуються два стрічкові конвеєри. Конвеєри обладнані двома автостелами, що виконують завантаження шихти в бункери.



1-рухлива автостела; 2- сигналізатори положення; 3- кінцевий вимикач; 4-стаціонарна автостела; 5- транспортер; 6-7 - сигналізатори рівня

Рисунок 1.7 - Технологічна схема ділянки бункерів на аглофабриці

Одна автостела рухлива, друга стаціонарна. У системі передбачено завантаження як у двох лініях одночасно, і незалежно з кожної з них. Рухлива автостела виконує завантаження бункерів з першого по третій, а стаціонарне завантаження четвертого та п'ятого бункерів. Кожен бункер розділений всередині перегородкою на дві однакові секції, кожна з яких має власний живильник, під бункерами знаходяться агломераційні машини.

Бункери оснащені датчиками верхнього та нижнього рівня. На ділянці передбачені датчики положення рухомих автостел, датчики

шиберів та кінцеві вимикачі. Всі датчики, встановлені в системі, через кабельні лінії, підключені до централізованого пульта управління та логічного пристрою, який обробляє сигнали від датчиків положення механізмів та датчиків рівнів матеріалу у бункерах.

У системі передбачено два режими завантаження, дистанційний (оператор з пульта управління) або автоматичний. Дистанційний режим увімкнеться у разі внесення корекції в автоматичний режим, який виконується. Автоматичне керування виконується за показаннями датчиків контролю. Основним недоліком цієї системи є наявність жорсткого управління, логіка якого закладена у логічний керуючий пристрій. При використанні системи можливі аварійні ситуації, пов'язані з випорожненням бункерів.

Система автоматичної подачі та розподілу шихти між бункерами агломашин, розроблена НДІАчерметом. Тракт подачі шихти на аглофабриці є поточково-транспортною системою, яка починається збірними конвеєрами відділення шихтопідготовки і закінчується завантажувальними агрегатами (котучими реверсивними конвеєрами), що подають шихту в приймальні бункери агломашини.

Роботою завантажувального механізму керують залежно від отриманої інформації про наявність шихти бункерах. Система реалізує три режими роботи ділянки приймальних бункерів: автоматичний, дистанційний та місцевий.

Якщо система працює в автоматичному режимі, можлива робота обох ліній, що транспортують шихту або одну з них. Можливі лише три варіанти роботи системи: заповнення бункерів вище за датчик верхнього рівня; завантаження бункера провадиться до датчика нижнього рівня; рівень шихти бункері може опускатися нижче датчика нижнього рівня. Роботою розподільчого пристрою керують залежно від показань датчиків та від його положення на ділянці [5]. Управління розподілом сипучого матеріалу здійснюється залежно від витрати шихти, що надходить від

шихтового відділення (ШО) і ступеня заповнення бункерів. Час завантаження бункерів фіксований. Завантаження бункерів ведеться за нижнім рівнем, у своїй матеріал подається в бункера до досягнення НУ, та був ще протягом 20-40 секунд [5].

Київським інститутом автоматики розроблена система автоматичного управління подачею та розподілу шихти між бункерами. Система забезпечує кілька режимів роботи: керування оператором; дистанційний режим; автоматичний режим роботи, при якому керування завантаженням шихти в бункери здійснюється в залежності від ступеня їх заповнення. Цей режим передбачає завантаження бункерів у певній послідовності, за програмою та викликом, появи мінімальної кількості матеріалу в бункері.

Система включає логічні керуючі пристрої та інші блоки. Логічне пристрій являє собою жорстку релейну систему, що виробляє на підставі вхідної інформації та заданої програми керуючі сигнали для блоку виконавчих реле, двигунів конвеєрів та виконавчих механізмів шиберів.

Розподіл сипучого матеріалу здійснюється за допомогою котучого конвеєра. Автоматизована система управління котучими конвеєрами має дві незалежні схеми, кожна з яких керує однією технологічною лінією механізмів шихтоподачі.

Контроль управління руху візка та стрічки катучого конвеєра, його розташування, контроль мінімального та максимального рівня шихти в бункерах здійснюється блоком контролю. У системі використано жорсткий алгоритм управління, що не змінюється в ході експлуатації системи.

1.5 Принципи побудови сучасних АСУ ТП

Розподіл сипучого матеріалу між приймальними бункерами є складним завданням, однозначне теоретичне обґрунтування якого наразі

відсутнє, що зумовлено різноманіттям використовуваного технологічного устаткування, яке застосовується на ділянці приймальних бункерів [5].

Нині існує велика кількість прикладів побудови АСУ ПТС [19]. Основна відмінність цих систем полягає в їхній програмній частині та принципах побудови. Деякі з АСУ ПТС використовують модульний принцип побудови, коли система складається з певної кількості окремих модулів, взаємопов'язаних між собою, що реалізують певний алгоритм керування. У сучасних АСУ ПТС використовуються елементна база на основі промислових контролерів і комп'ютерів відомих фірм виробників IBM, Intel. Як програмну частину АСУ ПТС використовують системи супервізорного управління (SCADA). Наразі під час проектування сучасних АСУ намагаються застосовувати децентралізацію і декомпозицію систем, тобто розбиття системи на окремі частини, що виконують певні функції, налагодження і проектування яких можливе незалежно одна від одної. Наявність неоднозначних ситуацій під час переміщення розподільних пристроїв на ПТС призвела до ускладнення застосовуваних в АСУ алгоритмів управління ПТС, реалізація яких в АСУ можлива різними способами.

Використання АСУ ПТС сучасних програмних засобів дозволяє реалізувати алгоритми управління потоково-транспортними системами на програмному рівні, а не на фізичному. Фізична реалізація алгоритму управління потоково-транспортними системами передбачає стикування модулів, виконують базові математичні функції, у єдину систему. Системи управління потоково-транспортними системами використовують промислові контролери, які дозволяють змінювати програмно логіку, за допомогою панелі оператора. Такі системи мають високий ступінь надійності, однак, складні в експлуатації, не дозволяють гнучко змінювати програмну частину, змінювати логіку поведінки системи в залежності від ситуації на ділянці приймальних бункерів. У

зв'язку з цим доцільним є створення програмної реалізації алгоритмів управління потоково-транспортними системами, використовуючи мови програмування високого рівня та застосовуючи SCADA системи, що дозволяють стежити за технологічним процесом у режимі реального часу.

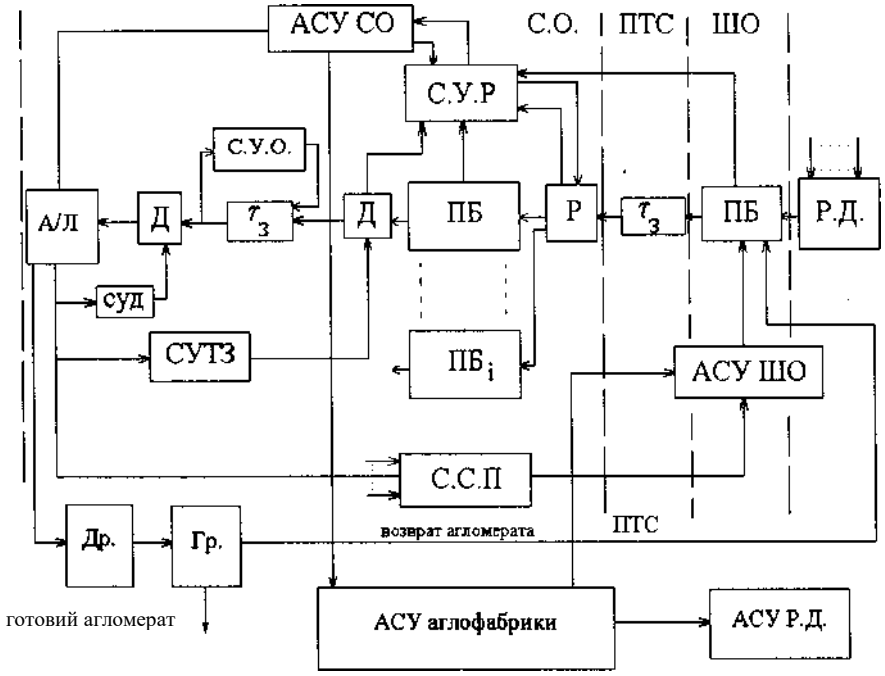
Основні параметри автоматизованих потоково-транспортних систем - продуктивність живильників приймальних бункерів та витрата шихти, що подається на ділянку, можуть змінюватися як заплановано, так і випадково. Натомість параметри системи впливають працювати алгоритмів управління потоково-транспортними системами. Функціонування керованої системи завантаження приймальних бункерів є досить складним процесом, який зазвичай описується словесно, що призводить до результатів, які не піддаються порівняльному аналізу. Структурну схему завантаження можна показати у складі структурної схеми АСУ аглофабрики (рис. 1.8).

У деяких роботах наводиться також кількісний аналіз характеристик систем завантаження бункерів. При цьому застосовувалися різні методи дослідження: аналітичні, теорія масового обслуговування [6], математичне моделювання.

Пропонується досліджувати ділянку завантаження із застосуванням методу статистичного моделювання, оскільки використання аналітичних методів за умови випадкових перерв у роботі та подачі сипкого матеріалу ускладнене.

Існування різних методів дослідження ділянки приймальних бункерів призводить до наявності великої кількості досліджень у даній галузі та відсутності універсальних теоретичних положень, що дають змогу проводити дослідження різних ПТЗ. Застосування теорії масового обслуговування до цього об'єкта управління також недоцільне, оскільки результати досліджень дають змогу оцінити поведінку досліджуваного об'єкта управління лише приблизно, потрібні також попередні експерименти на об'єкті, що не завжди можливо. Одним із прогресивних

методів дослідження потоково-транспортних систем є метод математичного моделювання.



А/Л - аглострічка; Д - дозатор; ПБ - приймальні бункери; С.У.Р. - система управління розподільником; С.О. – спікальне відділення; АСУ С.О. - автоматизована система управління спікальним відділенням; ПТС - потоково-транспортна система; ШО - шихтове відділення; АСУ ШО - автоматизована система управління шихтовим відділенням; ССП - система узгодження продуктивності відділень; СУТЗ - система управління трактом завантаження; СУД - система управління дозатором; С.У.О. - система управління окомкуванням шихты; Др - система дроблення агломерату; Гр - система грохочення агломерату; АСУ РД- автоматизована система управління спікальним рудним двором

Рисунок 1.8 - Структурна схема АСУ аглофабрики

Керування потоково-транспортними системами може здійснюватися за заданими в програмній частині алгоритмами керування, що реалізують різні режими розподілу сипучого матеріалу між приймальними бункерами.

Відомі такі режими розподілу шихти між приймальними бункерами [5]:

- послідовний режим завантаження;

- циклічний режим завантаження;

- човниково-крапковий режим завантаження, що за своїми характеристиками відповідає циклічному і відрізняється від нього постійністю часу завантаження;

- «за викликом».

Під час програмної реалізації цих режимів завантаження можливі варіації алгоритмів керування. Це зумовлено тим, що змінюється кількість бункерів на ділянці, з'являються міжбункерні переходи, завантаження бункерів можливе різними розподільними пристроями. Різноманіття різних схем управління говорить про те, що відсутня теоретична база з управління потоково-транспортними системами.

Розглянемо особливості реалізації алгоритмів завантаження бункерів за використання різних методів дослідження в різних технологічних системах управління потоково-транспортними системами.

При побудові послідовного алгоритму розподілом шихти між приймальними бункерами використано статистичні методи. Особливістю алгоритму керування є наявність імовірнісного визначення часу відсутності розподільного пристрою над бункером:

$$\tau_{\text{обс}} = \frac{\tau \cdot (\text{p}-1)}{\text{p}^2} \qquad (1.1)$$

де τ - допустимий час обслуговування бункера, с;

p – число сигналів від інших бункерів.

Недоліком алгоритму є відсутність точної інформації щодо часу руху розподільчого пристрою, що не дає змоги точно визначити кількість матеріалу, який перебуває в приймальних бункерах. Отже, під час реалізації АСУ ПТС, використовуючи цей алгоритм, можливі спорожнення або переповнення бункерів.

Дослідження ділянки приймальних бункерів можливе з використанням балансових методів [7,8], що належать до аналітичних

методів досліджень. Балансові методи універсальні, дають змогу з високою достовірністю досліджувати вплив виробничих факторів на роботу агломераційних машин, порівнювати роботу різних агрегатів, ефективно вирішувати складні питання вибору оптимальних значень основних технологічних параметрів процесу [8].

Характеристики технологічних об'єктів потоково-транспортних систем і процесу транспортування шихти загалом визначаються на підставі рівнянь матеріального балансу, у припущенні нерозривності потоку матеріалу [9]:

$$\Delta Q_{\Sigma} = \int_0^{t_p} q_n dt - \sum_{i=1}^{t_p} \int_0^{t_p} q_v[i] dt = 0$$

де ΔQ_{Σ} – сумарна зміна кількості матеріалу у бункерах, м^3;

q_n – продуктивність шихтового відділення, м^3/с;

q_v - продуктивність дозатора і-го приймального бункера, м^3/с;

n – кількість бункерів;

tp – час роботи потоково-транспортної системи, с;

і – номер приймального бункера.

Застосовуючи балансові методи для дослідження дільниці приймальних бункерів, можна визначити основні параметри роботи дільниці та окремих агрегатів, такі як:

час завантаження бункера $t_з[i]$:

$$tз[i] = \frac{\Delta Q[i]}{q_n - q_v[i]},$$

де $\Delta Q[i]$ – кількість матеріала у і-му бункері, м^3.

Сума t_0 та $t_з[i]$ сьворюють мінімальний часовий інтерал, що забезпечує стійкий рух сипкого матеріалу через і-й приймальний бункер

спікального відділення із заданою амплітудою коливань $\Delta Q[i]$, який називається часом циклу завантаження і-го бункера:

$$t_ц = t_0 + t_з[i],$$

Використання балансових методів дає змогу виокремити основні технологічні об'єкти дослідження й автоматизації, сформувати загальний методологічний підхід до їхнього дослідження та суттєво підвищити достовірність отриманих результатів.

У [5] використовуються балансові методи дослідження ділянки приймальних бункерів аглофабрики для аналізу їхніх різних режимів.

Прийнято допущення:

- розглядаються тільки крайні бункери на ділянці, як такі, що перебувають у «найважчих умовах»;

- під час знаходження часу руху розподільного пристрою між бункерами з мінімальними запасами шихти приймається, що розподільник може переміститися до будь-якого бункера.

- допускається, що в разі одночасного спорожнення двох бункерів виникає неоднозначна ситуація, пропонується завантаження першого бункера.

Прийняті допущення показують, що рівняння не дають змоги забезпечити безперервну роботу дільниці, оскільки завжди можлива ситуація спорожнення або переповнення бункерів. Це спричинено тим, що в пропонованій реалізації режиму послідовного завантаження не враховується стан інших бункерів на ділянці, а також положення розподільника щодо бункерів із мінімальним запасом шихти.

Запропоновано використовувати теорію систем масового обслуговування (СМО). Ділянку приймальних бункерів можна представити у вигляді класичної задачі СМО, рис. 1.9.

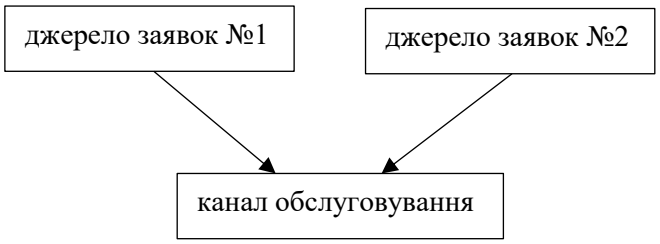
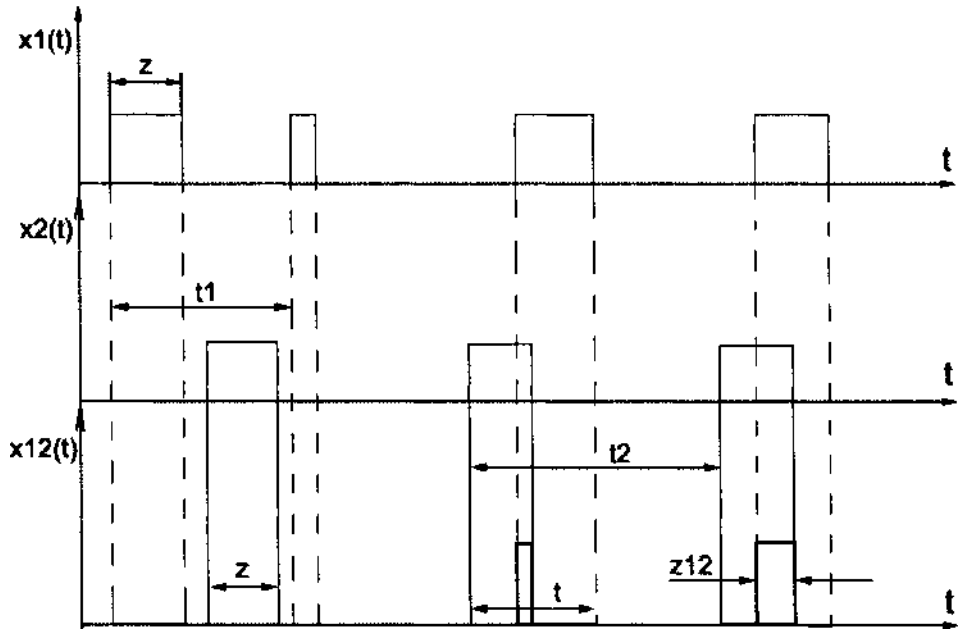


Рисунок 1.9 – Представлення ділянки приймальних бункерів за допомогою систем масового обслуговування

Кожен із бункерів є джерелом заявок, і їх може бути п-та кількість. Канал обслуговування являє собою розподільний пристрій, який переміщується ділянкою і виконує завантаження агрегатів. Допускається, що на ділянці розташовано два бункери, джерела заявок №1 і №2. Система в такому разі є одноканальною, оскільки сигнали від двох джерел заявок надходять на один канал обслуговування. Якщо канал обслуговування зайнятий, заявка стає в чергу на обслуговування, кількість місць на обслуговування m=n не обмежена. «Усі потоки, що переводять систему зі стану в стан, є найпростішими, стаціонарними або пуасонівськими» [10]. Таким чином, інтервали часу між подіями в потоках мають показовий розподіл із параметром, що дорівнює інтенсивності відповідного потоку. Діаграму надходження заявок наведено на рис. 1.10.



Рисуннок 1.10 – Діаграма надходження заявок від джерел

До одноканальної СМО надходять 2 простих потоки заявок з інтенсивностями $\lambda_1 = \frac{1}{\tau_1}$ та $\lambda_2 = \frac{1}{\tau_2}$. Час оюслуговування – показовий із параметром $\mu = \frac{1}{z}$. У початковий момент часу t = 0 канал є вільним. Визначаються фінальні стани на ділянці (0,T). Це класична задача із рішенням виду:

$$P_0(t) = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda}{\lambda+\mu} * e^{-(\lambda+\mu)*T} ;$$

$$P_1(t) = 1 - P_0(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} * \left(1 - e^{-(\lambda+\mu)*T}\right)$$

де $P_0(t)$ – вірогідність появи заявки;

μ - показник часу обслуговування;

λ - інтенсивність надходження заявок;

T – тривалість інтервалу надходження заявок, с;

$P_1(t)$ – вірогідність відсутності заявки.

У багатьох системах масового обслуговування ступінь невизначеності появи конкретної заявки настільки великий, що черговість робіт, тобто робота за розкладом, принципово не може бути дотримана. При наближенні розглянутої системи масового обслуговування до реального процесу ускладнюється розподіл потоку заявок і потоку обслуговувань. Слід також підкреслити, що аналітичні моделі систем масового обслуговування далекі від адекватного опису реальних процесів. Складність більшості моделей реальних систем така, що їх неможливо отримати аналітично.

Використання систем масового обслуговування не дає змоги отримати точний аналітичний опис ділянки приймальних бункерів, спрогнозувати її поведінку, або виявити області її стійкої роботи. Застосування теорії систем масового обслуговування не дає змоги провести оптимізацію процесу розподілу сипких матеріалів, тому що відсутнє аналітичне розв'язання поставленої задачі, розв'язання представлене ймовірнісними характеристиками.

Деякі дослідники пропонують використовувати теорію масового обслуговування для реалізації різних алгоритмів завантаження. Систему розглядають як класичну систему масового обслуговування, рис. 1.7, замкнуту з обмеженою чергою і необмеженим часом очікування. Вхідний потік заявок пропонується вважати пуасонівським [10]. Кількісні взаємозв'язки між числом обслуговуючих і необслуговуваних пристроїв і параметрами вхідного потоку встановлюються алгебраїчними рівняннями. Автори пропонують знаходити λ за допомогою методів математичної статистики, обробляючи дані з реального об'єкта, що не завжди можливо.

Приймається припущення, що час пересування від бункера до бункера є випадковою величиною. Пропонується оцінювати ймовірність завантаження того чи іншого бункера.

Наведені алгоритми, що базуються на системах масового обслуговування, мають суттєвий недолік, який полягає в самому методі дослідження об'єкта. Імовірнісні характеристики системи не відображають точного стану на ділянці, завжди можливе випорожнення бункера, або ж його переповнення. Дані розрахунків показують високий коефіцієнт завантаження цієї системи, і виникнення ситуації з чергою на обслуговування нескінченної довжини, що неприпустимо під час реалізації алгоритму на потоково-транспортних системах.

Пропонується використовувати аналітичний метод реалізації алгоритмів управління потоково-транспортними системами, проте кінцеві рівняння, що описують завантаження приймальних бункерів, відсутні. Автори допускають заздалегідь поняття часу простою бункерів:

$$T_1 = \left(\tau - \frac{V}{q} \cdot n\right)$$

де τ - тривалість фактичної переви подачі матеріалу, с;

V – об’єм бункера, м^3;

q – середнє споживання матеріалу, м^3/с;

n – кількість бункерів на ділянці.

У [5] наведено математичний опис процесу послідовного завантаження приймальних бункерів на тепловій електростанції. Приймається допущення про те, що середня продуктивність живильників бункерів є величиною постійною. Допускається, що завантаження п бункерів проводиться по черзі одним транспортером. У завантажуваний бункер надходить q_1 матеріалу у годину. Витрата матеріалу з бункерів однакова та дорівнює q_2. Вважається, що продуктивність транспортеру *a* більше за сумарну продуктивність усіх бункерів:

$$a > n \cdot \frac{q_2}{q}$$

Кількість матеріалу у і-му бункері на початку циклу визначається на базі рівняння матеріального балансу

$$Q_i^r = Q_i^{r-1} - q_2 \cdot \tau_{i-1}^{r-1} + q \cdot \Delta\tau_i^{r-1} - q_2 \cdot (\tau_n^{r-1} - \tau_i^{r-1})$$

де Q_i^{r-1} – кількість матеріалу у і-му бункері на початку (r-1)-го циклу, м^3;

$q_2 \cdot \tau_{i-1}^{r-1}$ – зменшення кількості матеріалу за час очікування до початку завантаження, м^3;

$q \cdot \Delta\tau_i^{r-1}$ – приріст кількості матеріалу під час завантаження, м^3;

$q_2 \cdot (\tau_n^{r-1} - \tau_i^{r-1})$ – зменшення кількості матеріалу за час від закінчення завантаження і-го бункеру до кінця циклу, м^3.

Базове рівняння, яке визначає час завантаження бункеру, має вигляд:

$$\mathrm{T}_i^r = \mathrm{T}_i^{r-1} + \left(1 + \frac{q_2}{q}\right) \cdot (\tau_i^{r-1} - \tau_{i-1}^{r-1}) - \frac{q_2}{q} \cdot \tau_n^{r-1}$$

де T_i^{r-1} – час завантаження бункера у (r-1)-му циклі,с;

τ_i^{r-1} – час початку завантаження бункера,с;

τ_{i-1}^{r-1} – час очікування до початку завантаження, с;

τ_n^{r-1} – час закінчення завантаження, с.

Розглядається дві стратегії завантажень приймальних бункерів: «доверху», «порівну». Стратегія «доверху» характеризується тим, що завантаження кожного бункера закінчується тоді, коли кількість матеріалу в бункері досягає верхнього датчика рівня. На початку періоду кількість матеріалу в усіх бункерах однакова. Число циклів у періоді за цього режиму теоретично дорівнює нескінченності. Тривалість циклів завантаження вважається кінцевою. Наприкінці активної частини періоду всі бункери повні доверху». Під час реалізації стратегії «доверху»

необхідно здійснювати розрахунок коефіцієнтів $К_1$, $К_2$, які вказують допустимі значення кількості матеріалу в бункерах:

$$K_1 = 1 - \frac{1}{\alpha^{n-1}} \quad (1.2)$$

$$K_2 = 1 - \frac{1}{\alpha^{n-\alpha}} \quad (1.3)$$

де α - продуктивність розподільчого пристрою

Рівняння (1.2, 1.3) показують, що коефіцієнти $К_1$, $К_2$ не враховують відстань між бункерами, рівні встановлення сигналізаторів та інші параметри системи, наслідком чого є можливість спорожнення бункерів на дільниці. «Стратегія «порівну» характеризується тим, що час завантаження бункера не залежить від номера бункера і номера циклу». Цей режим відповідає човниково-точковому завантаженню приймальних бункерів.

У [7] наведено аналіз ділянки приймальних бункерів на збагачувальній фабриці. Це виробництво має свою специфіку, виражену тим, що в бункерах присутні осередки, які потребують завантаження. Автори вказують, що завантаження всіх комірок неможливе, тому що для цього необхідна нескінченно велика швидкість розподільного пристрою, водночас у математичні докази цього судження не наведено.

Особливістю досліджень є використання коефіцієнта К, що враховує кількість бункерів на ділянці, кількість бункерів, які функціонують, співвідношення кількості матеріалу, який надходить на ділянку, і того, що вивантажується з усіх бункерів. Так, за човниково-точкового режиму завантаження, пропонується обчислювати коефіцієнт К за формулою:

$$К = \frac{P \cdot (n-1)}{P - T_ц \cdot Q_p} + 1$$

де Р – кількість матеріалу, що надходить у бункер, $м^3$;

n – кількість бункерів;

$T_ц$ – час циклу, с;

$Q_р$ – продуктивність живильника бункера, т/год.

Для інших режимів завантаження [5] пропонується обчислення коефіцієнта К графічним методом.

Використання аналітичних виразів, наведених у, обмежене певним класом систем із заздалегідь відомими значеннями коефіцієнта К. У тому разі, якщо система не підходить під клас систем, то застосування аналітичних виразів не є можливим.

Оскільки коефіцієнт К не враховує розташування бункерів, то на ділянці завжди можливе спорожнення або переповнення бункерів. В аналізі роботи систем вказується, що отримання математичного опису алгоритму управління ПТС «за викликом» не є можливим, тому рекомендовано перехід до статистичного моделювання.

1.6 Постановка задачі дослідження

Аналіз сучасного стану агломераційного виробництва показав необхідність поліпшення показників процесу агломерації в умовах нестабільності якості та характеристик вихідних матеріалів. Постійне зростання обсягів виробництва ставить завдання використання всіх незадіяних ресурсів діючого устаткування при зниженні собівартості готової продукції.

Як випливає з аналізу літературних даних, стримуючим фактором на шляху технічного переозброєння та модернізації агломераційного виробництва є висока вартість цих заходів. На підставі аналізу літературних даних встановлено, що найбільш раціональним напрямком підвищення якості агломерату є оптимізація процесу усереднення завантаження шихти на спікальні візки агломашини.

Загалом, аналіз відомих рішень дає змогу сформулювати основну мету роботи: підвищення якісних показників процесу агломерації шляхом удосконалення систем завантаження шихти та алгоритмів управління потоково-транспортними системи.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

1. Проведення теоретичних досліджень ділянки приймальних бункерів для послідовного режиму завантаження з метою визначення основних закономірностей.

2. Розробка математичної моделі послідовного режиму завантаження бункерів, використання яких дозволить проводити експерименти без втручання у роботу потоково-транспортної системи.

3. Визначення параметрів роботи автоматизованої системи управління потоково-транспортною системою, при використанні яких з’явиться можливість використання типових алгоритмів управління у безаварійному режимі.

РОЗДІЛ 2
УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ДЛЯ АНАЛІЗУ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОТОКОВО-ТРАНСПОРТНОЮ СИСТЕМОЮ

2.1 Розробка математичної моделі руху сипких матеріалів у потоково-транспортній системі

Відомо, що ділянка приймальних бункерів аглофабрики складається з паралельно розташованих агрегатів, у кожний з яких здійснюється розподіл шихти відповідно до передбаченого режиму завантаження [5]. Під кожним бункером розташований живильник, середня продуктивність якого q [z] впливає на швидкість вивантаження сипучого матеріалу в технологічний ланцюжок, рис. 2.1.

Максимальний час руху розподільного пристрою між бункерами tg, вважається як час руху між крайніми бункерами на ділянці, а час руху розподільного пристрою між будь-якими двома бункерами визначається як:

$$t_g\,[z,\kappa] = \frac{g}{n-1} * |i-k| \qquad (2.1)$$

де i, k – індекси бункера, від якого розподільник переміщується і до якого переміщується, відповідно

У той час, поки розподільний пристрій здійснює заповнення і -го бункера, решта бункерів спорожняються протягом часу to. Отже, час спорожнення будь-якого к -го бункера визначатиметься за формулою:

$$t_0[k] = t_з[i] + t_g[i,k] \qquad (2.2)$$

Якщо представити бункер у вигляді об’єкту управління (рис. 2.1)

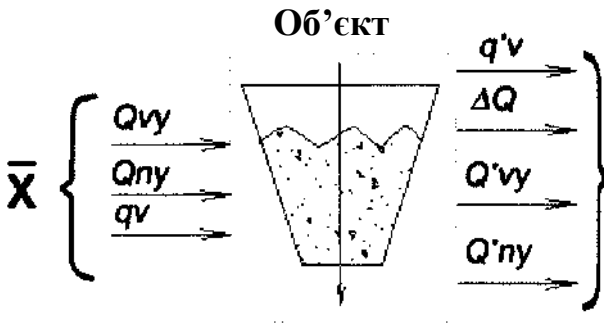


Рисунок 2.1 – Приймальний бункер як об’єкт управління

то рівняння (2.2) показує, що ділянку приймальних бункерів можна представити у вигляді системи, що складається з n-ї кількості об'єктів, взаємопов'язаних між собою, рис. 2.2.

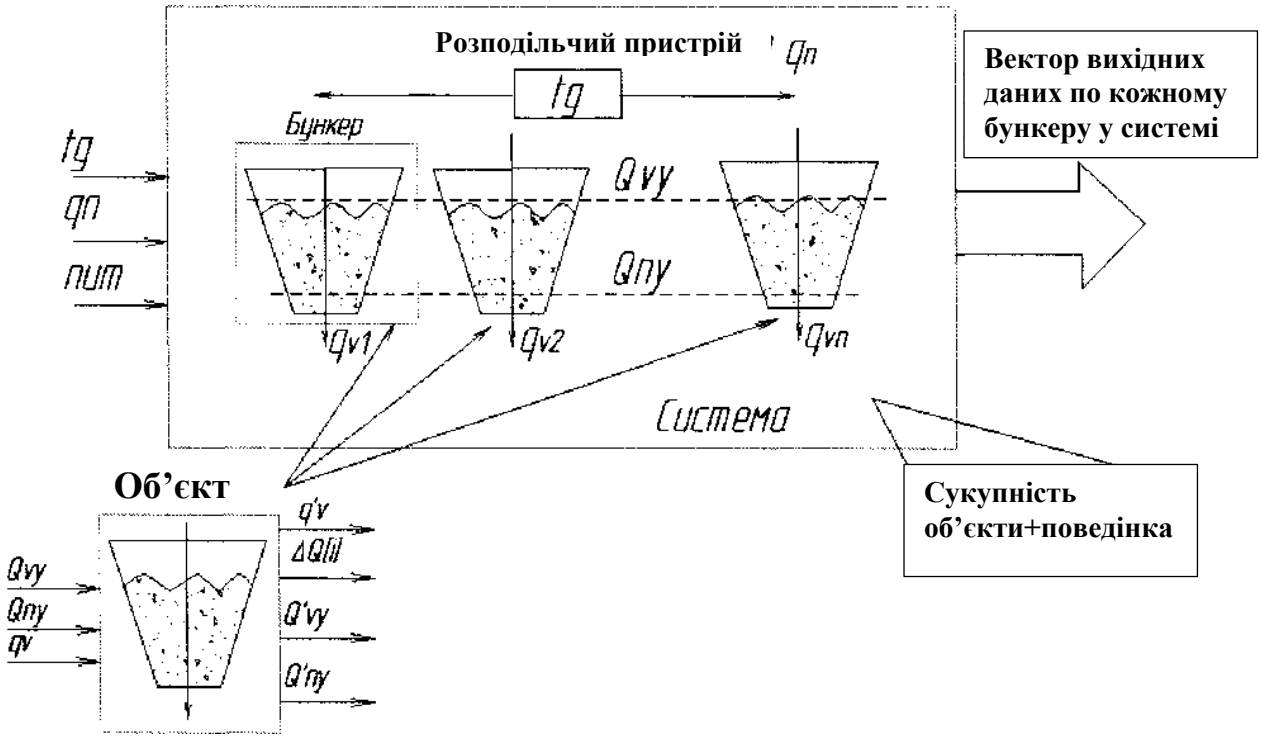


Рисунок 2.2 – Модель ділянки приймальних бункерів

Ділянка приймальних бункерів як система має набір параметрів, які визначають роботу кожного з об’єктів цієї системи:

$$\overline{X}_c = \{t_g, q_n, num\}$$

де q_n – продуктивність шихтового відділення аглофабрики, м^3/с.

Кожен з об’єктів у свою чергу має свій набір вхідних даних:

$$\overline{X_0} = \{i, q_v[i], Q_{vy}[i], Q_{ny}[i]\}$$

де Q_{ny} – мінімальна кількість шихти у бункері, м^3;

Q_{vy} – максимальна кількість шихти у бункері, м^3;

q_v[i] – середня продуктивність живильника бункера, м^3/с.

Вихідні дані бункера представлено у вигляді вектора:

$$\overline{Y_0} = \{q'_v[i], Q'_{vy}[i], Q'_{ny}[i], \Delta Q[i]\}$$

де ΔQ[i] – амплітуда коливань кількості шихти у бункері, м^3.

Сукупність вихідних векторів по кожному бункеру утворюють загальний вихідний вектор усієї системи:

$$\overline{Yc} = \left\{ \begin{array}{l} \overline{Y}_O[1] = \left\{ q'_v[1], Q'_{vy}[1], Q'_{ny}[1], \Delta Q[1] \right\} \\ \overline{Y}_O[2] = \left\{ q'_v[2], Q'_{vy}[2], Q'_{ny}[2], \Delta Q[2] \right\} \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \overline{Y}_O[n-1] = \left\{ q'_v[n-1], Q'_{vy}[n-1], Q'_{ny}[n-1], \Delta Q[n-1] \right\} \\ \overline{Y}_O[n] = \left\{ q'_v[n], Q'_{vy}, Q'_{ny}, \Delta Q[n] \right\} \end{array} \right\}.$$

Оскільки об'єкти системи взаємопов'язані між собою, то рівняння, що характеризують різні режими завантаження, доцільно складати, враховуючи такі чинники:

- кількість бункерів на ділянці n;

- час руху розподільчого пристрою між крайніми бункерами t_g, що впливає на час завантаження бункерів і час переміщення розподільчого пристрою між будь-якими двома бункерами;

- розподільний пристрій переміщується відповідно до режиму завантаження і його положення визначається аналітично, отже, можливе прогнозування положення розподільного пристрою в часі;

- оскільки ділянку уявляють у вигляді системи, що складається з n-ї кількості об'єктів, то під час складання рівнянь, що характеризують режими завантаження, необхідно враховувати завантаження та спорожнення кожного бункера, що входить до складу системи.

На підставі прийнятих припущень, проведено аналіз типових режимів завантаження [5], використовуючи як модель ділянку приймальних бункерів, представлену на рис. 2.2.

2.2 Послідовний режим розподілу сипких матеріалів

Для розгляду послідовного режиму [5] завантаження приймальних бункерів використовуватимемо модель дільниці у вигляді системи, що складається з n-ї кількості об'єктів, рис. 2.2. Послідовний режим завантаження приймальних бункерів представлено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Послідовний режим завантаження бункерів

У загальному випадку час руху розподільного пристрою від першого бункера $Б_1$ до останнього $Б_n$ - t_g змінюється залежно від співвідношення середніх продуктивностей живильників окремих агрегатів, зокрема й тих, що перебувають між $Б_1$ і $Б_n$.

Задаємося значенням часу руху розподільного пристрою між крайніми бункерами:

$$\left.\begin{array}{c} t_з[1]+t_g[1,2]>t_o[2] \\ t_з[2]+t_g[2,3]>t_o[3] \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ t_з[n-1]+t_g[n-1,n]>t_o[n] \end{array}\right\},$$

Час руху між двома будь-якими бункерами визначається із співвідношення:

$$t_g[i,k]=\frac{t_g}{n-1}\cdot|(i-k)|$$

Час спорожнення бункера:

$$t_o[i]=\frac{Q_{vy}-Q_t[i]}{q_v[i]}$$

де Q_{ny} – мінімальна кількість шихти у бункері, м^3;

$Q_t[i]$ – поточна кількість шихти у бункері, м^3.

Час завантаження бункеру визначається за формулою:

$$t_з[i]=\frac{Q_{vy}-Q_t[i]}{q_n-q_v[i]}$$

де Q_{vy} – максимальна кількість шихти у бункері, м^3.

У транспортній системі необхідно дотримання матеріального балансу:

$$q_n = \sum_{i=1}^{n} q_v[i]$$

Для стабільного руху матеріалу через бункери необхідно виконання умови:

$$\left.\begin{array}{c} t_з[1] + t_g[1,2] = t_o[2] \\ t_з[2] + t_g[2,3] = t_o[3] \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ t_з[n-1] + t_g[n-1,n] = t_o[n] \end{array}\right\}.$$

Перетворюючи отриману систему рівнянь, отримуємо:

$$\left.\begin{array}{c} t_з[1] + t_o[1] = t_з[2] + t_o[2] \\ t_з[2] + t_o[2] = t_з[3] + t_o[3] \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ t_з[n-1] + t_o[n-1] = t_з[n] + t_o[n] \end{array}\right\}. \quad (2.3)$$

Наведена система рівнянь характеризує умову стабільної роботи всіх приймальних бункерів, згідно з якою сума часу завантаження та спорожнення є постійною для всіх агрегатів, що необхідно враховувати під час проєктування математичної моделі дільниці приймальних бункерів, яка імітує послідовне завантаження, блок-схему якої представлено на рис. 2.4.

В умовах дотримання балансу між продуктивностями шихтового і спікального відділень аглофабрики можливо задаватися різними технологічними критеріями роботи розподільного пристрою [5].

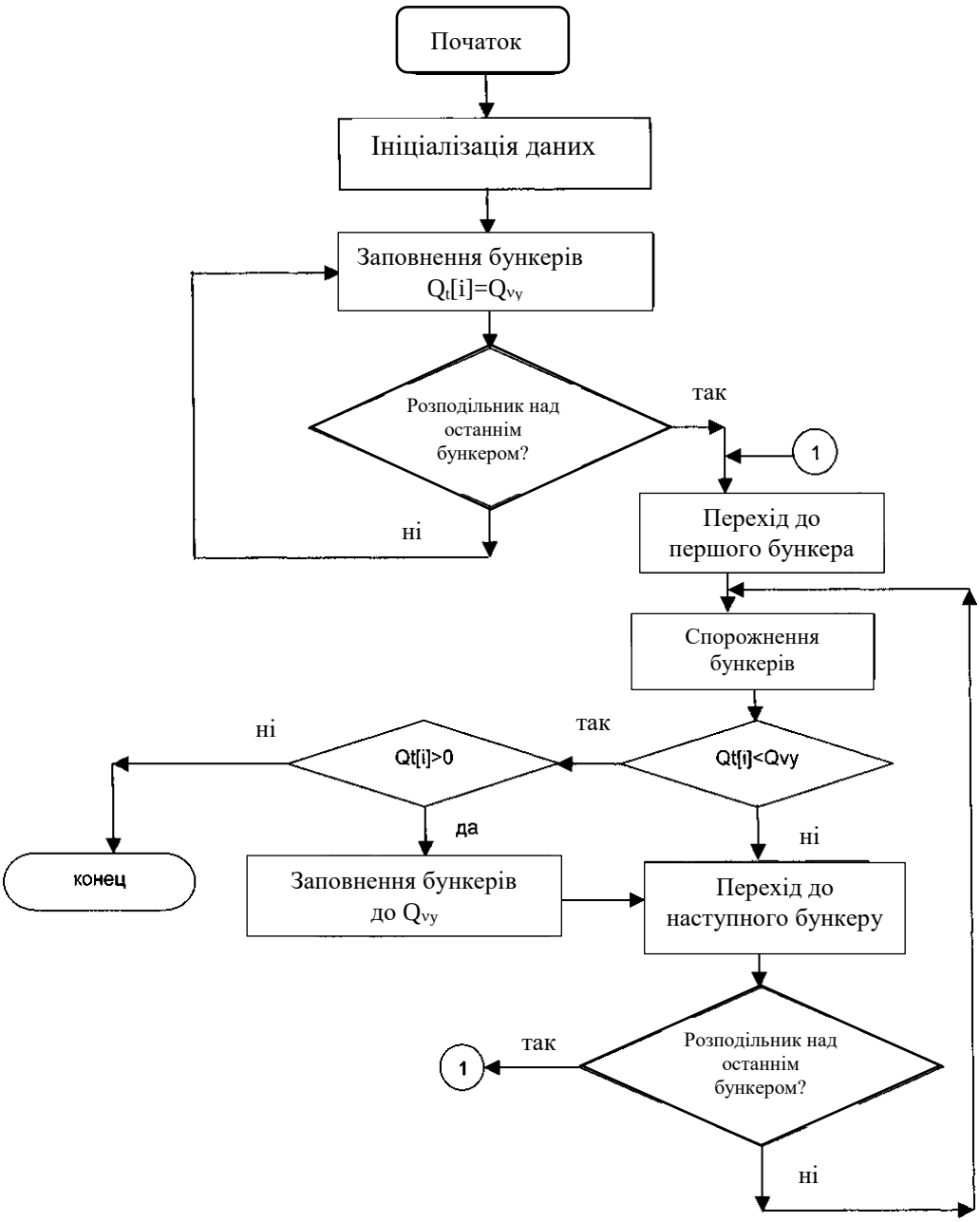


Рисунок 2.4 – Алгоритм управління розподільчим пристроєм при послідовному режимі завантаження бункерів

Незалежними параметрами під час складання математичного опису процесу розподілу сипкого матеріалу між бункерами є: час циклу руху розподільного пристрою - $t_ц$, с; час завантаження та спорожнення кожного бункера – $t_з[i]$, $t_о[i]$, с і амплітуда коливань кількості матеріалу в бункерах - ΔQ, $м^3$. Кожен із наведених вище параметрів може бути використаний

як вихідний, під час складання алгоритму роботи ділянки приймальних бункерів [19]. Можливі чотири режими роботи розподільного пристрою:

$$t_o = const$$
$$t_з = const$$
$$t_ц = const$$
$$\Delta Q = const$$

Послідовний режим завантаження [11] для ділянки приймальних бункерів, рис.2.3, характеризується системою рівнянь (2.3).

Записуючи систему рівнянь (2.3) для одного приймального бункера отримаємо:

$$t_з[n-1] + t_g[n-1,n] = t_0[n] \qquad (2.4)$$

Рівняння вивантаження бункеру має вигляд:

$$Q_t[i] = Q_{vy} - t_o[i] \cdot q_v[i]$$

Завантаження бункеру описується рівнянням:

$$Q_t[i] = Q_{ny} - t_з[i] \cdot (q_n - q_v[i])$$

Припустимося, що $t_o = const$. Тоді рівняння (2.4) набуває вигляду:

$$t_з[n-1] + t_g[n-1,n] = t_0$$

Замінюємо $t_g[n-1,n] = t_g' = const$ та отримаємо:

$$t_з[n-1]=\frac{\Delta Q[n-1]}{q_n-q_v[n-1]},$$

$$\frac{\Delta Q[n-1]}{q_n-q_v[n-1]}+t_g[n-1,n]=t_o[n]. \quad (2.5)$$

Після перетворення (2.5), знаходимо амплітуду коливань шихти у бункері:

$$\Delta Q\ \ [n-1]=(t_0[n]-t_g[n-1,n]\cdot(q_n-q_v[n-1])$$

Визначимо час циклу:

$$t_ц=t_o[i]+t_з[i]=t_з[i]+\frac{Q_t[i]-Q_{vy}}{q_v[i]} \quad (2.6)$$

Із виразу (2.6) знаходимо значення часу завантаження приймального бункеру:

$$t_з[i]=t_ц[i]-\frac{Q_t[i]-Q_{vy}}{q_v[i]}$$

І остаточно отримаємо значення часу циклу:

$$t_ц=\frac{Q_t[i]-Q_{vy}}{q_v[i]}-t_g[n-1,n]+t_o[n]. \quad (2.7)$$

Роздивимося алгоритм роботи при $t_з$ = const. У цьому випадку можна записати значення часу випорожнення приймального бункеру:

$$\begin{aligned} & t_з[n-1]+t_g[n-1,n]=t_o[n]; \\ & \left|\begin{array}{l} t_g[n-1,n]=const \\ t_з[n-1]=const \end{array}\right|; \\ & t_o[n]=const. \end{aligned} \qquad (2.8)$$

Формулу для визначення часу циклу запишемо із виразу (2.7):

$$\begin{aligned} & t_ц=t_o[i]+t_з[i]; \\ & t_o[i]=const; t_з[i]=const; \\ & t_ц=const. \end{aligned} \qquad (2.)$$

Значення амплітуди коливань кількості шихти у приймальному бункері за заданих умов $t_з$ = const:

$$\left.\begin{array}{l} t_з[n-1]+t_g'=\dfrac{Q_{vy}-Q_t[n]}{q_v[n]}=\dfrac{\Delta Q[n]}{q_v[n]} \\ \Delta Q[n]=\left(t_з[n-1]+t_g'\right)*q_v[n] \end{array}\right\}. \qquad (2.9)$$

Роздивимося алгоритм роботи при $t_ц$ = const. У цьому випадку можна записати значення часу випорожнення приймального бункеру:

$$t_o[i]=t_ц\cdot\frac{q_v[n]}{q_n}$$

Із виразу (2.8) значення часу заповнення для приймального бункеру:

$$t_з[n-1]=t_ц\cdot\frac{q_v[n]}{q_n}-t_g' \qquad (2.10)$$

Підставивши в (2.10) значення часу заповнення з (2.9), отримаємо:

$$t_з[n-1]=\frac{Q_t[n-1]-Q_{ny}}{q_n-q_v[n-1]};$$

$$t_ц*\frac{q_v}{q_n}-t_g'=\frac{Q_t[n-1]-Q_{ny}}{q_n-q_v[n-1]}; \qquad (2.11)$$

$$t_ц*\frac{q_v}{q_n}-t_g'=\frac{\Delta Q}{q_n-q_v[n-1]}.$$

В результаті перетворень (2.11) визначемо ΔQ:

$$\Delta Q=\left(q_n-q_v[n-1]\right)*\left(t_ц*\frac{q_v}{q_n}-t_g'\right). \qquad (2.12)$$

Приймемо, що ΔQ = const. Знайдемо рівняння для знаходження $t_ц$, $t_з$, t_0.

Час завантаження визначемо за формулою:

$$t_з[n]=\frac{\Delta Q}{q_n-q_v[n]}. \qquad (2.13)$$

Підставив вираз (2.13) у рівняння, що описує послідовний режим завантаження приймальних бункерів (2.3), отримаємо значення часу спорожнення:

$$t_o[n]=t_g'+\frac{\Delta Q}{q_n-q_v[n-1]}. \qquad (2.14)$$

Враховуючи, що $t_ц$, = $t_з$,+ t_0, отримаємо:

$$t_ц = t_o[n] + t_з[n] = t_g' + \frac{\Delta Q}{q_n - q_v[n-1]} + \frac{\Delta Q}{q_n - q_v[n]}. \quad (2.15)$$

При q_v = const, рівняння (2.15) набуває вигляду:

$$t_ц = t_g' + 2 * \frac{\Delta Q}{q_n - q_v}.$$

Отримавши рівняння для кожного з алгоритмів роботи при послідовному завантаженні, доцільно визначити найбільш оптимальний. У якості критерію оптимальності оберемо мінімумом амплітуди коливань шихти в приймальному бункері $\Delta Q \rightarrow$ min, за якого спостерігатиметься стабілізація гранулометричного складу шихти з приймального бункера [5].

Аналізуючи вирази (2.6, 2.9, 2.12) дляΔQ при t_o,= const; $t_з$= const; $t_ц$ = const відповідно можна дійти висновку, що найдоцільнішим є процес завантаження із $t_з$ = const, це зумовлено такими факторами:

- мінімальний вплив зовнішніх чинників, за $t_з$ = const, $\Delta Q = f(q_v[i])$ і не залежить від інших величин, отже, варіюючи $q_v[i]$ для кожного з бункерів, можна підібрати такий режим, за якого забезпечуватиметься $\Delta Q \rightarrow$ min;

- зміна $q_v[i]$ на практиці має випадковий характер, отже, це необхідно враховувати під час адаптації алгоритму до реальних умов. Збурення величини $q_v[i]$ можуть бути як високочастотними, так і низькочастотними. Високочастотна складова коливань $q_v[i]$ згладжуватиметься в барабані-огрудкувачі, що розташовується в технологічному ланцюжку за приймальним бункером, проте низькочастотна складова зміни $q_v[i]$ залишається.

Реалізація інших алгоритмів для цього режиму завантаження недоцільна, оскільки:

1. Забезпечення t_o = const за послідовного режиму завантаження спричинятиме значний знос обладнання через необхідну високу швидкість пересування розподільного пристрою.

2. Забезпечення ΔQ = const ускладнене. Під час спроби реалізації цього алгоритму спостерігатиметься перехід у режим завантаження «за викликом», що видно з рівняння (2.14), оскільки час спорожнення є функцією від часу руху між бункерами, отже, для забезпечення ΔQ = const розподільчому пристрою необхідно змінювати порядок завантаження приймальних бункерів.

3. Згідно з формулою (2.12), реалізація алгоритму з $t_ц$ = const показує, що ΔQ= f(t_g'), отже, аналогічно до п. 2, під час спроби реалізації цього алгоритму система завантаження перейде в режим роботи "за викликом", тому що в бункерах процеси завантаження та спорожнення відрізнятимуться, як це видно з (2.10), залежно від порядкового номера бункера в системі і значення q_v[i].

2.3 Висновки до розділу 2

1. Розроблено методику та теоретичні положення для ділянки як системи у цілому, що дозволяють аналізувати її поведінку при послідовному режимі завантаження.

2. Розглянуто різні варіанти завантаження при постійних часу циклу, часу завантаження бункеру та часу його спорожнення. Дойдено вискновку, що найбільш доцільним є процесс завантаження з постійним часом завантаження.

3. Обгрунтовано доцільність реалізації послідовного режиму завантаження, який потребує мінімальних обчислювальних ресурсів та забезпечує належну якість роботи ділянки приймальних бункерів.

РОЗДІЛ 3
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ПОТОКОВО-ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ АГЛОФАБРИКИ

3.1 Дослідження роботи потоково-транспортної системи аглофабрики, обладнаної конвеєрним розподільником шихти

У якості прототипу розглянуто ділянку приймальних бункерів спікального відділення аглофабрики нікелевого заводу складається з чотирьох агрегатів, що завантажуються за допомогою реверсивного конвеєра. Усі бункери обладнані 3-х позиційними сигналізаторами рівня. Розподіл сипучих матеріалів між бункерами за допомогою котучого конвеєра передбачає три режими переміщення рухомого пристрою: візок у циклічному режимі - транспортерна стрічка рухається в одному напрямку [5], рис. 3.1.

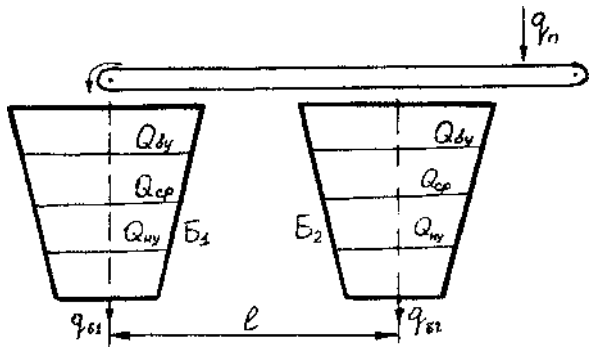


Рисунок 3.1 - Розподіл сипучого матеріалу між бункерами в циклічному режимі роботи розподільника

Переміщення транспортерної стрічки можливе також у двох взаємно протилежних напрямках - при цьому візок нерухомий, рис.3.2.

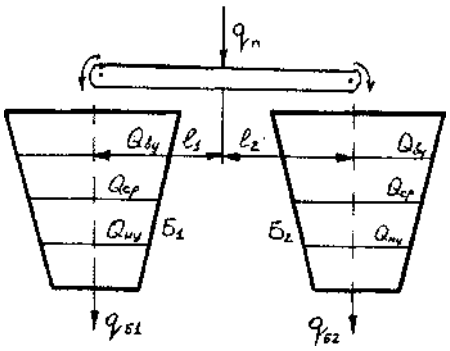


Рисунок 3.2 - Завантаження бункерів за допомогою транспортерної стрічки, що рухається в реверсивному режимі

Оскільки третій режим роботи розподільного пристрою охоплює два попередні, то зробимо його розгляд.

Припустимо, що перед пуском усі бункери завантажені до рівня Qi[t] = Qср. Після пуску агрегатів один бункер спорожнюється, другий протягом цього ж часу завантажується. Час досягнення поверхнею сипучого матеріалу рівня установки сигналізатора Qny становитиме:

$$t_0[i] = \frac{Q_t[i] - Q_{ny}}{q_v[i]} = \frac{Q_{\text{ср}} - Q_{ny}}{q_v[i]}$$

де $Q_{ср}$ – середня кількість шихти у бункері, м^3.

Своєю чергою, з досліджень ділянки приймальних бункерів для циклічного режиму завантаження, за ($t_з$ = const, час спорожнення можна визначити як:

$$t_o[i] = \sum_{i=1}^{n-1}\left(t_з + t_g{}'\right) = \sum_{i=1}^{n-1}\left(t_з[k] + \frac{tg}{n-1} * |i-k|\right);$$

$$t_o[i] = t_з + \frac{tg}{n-1} * |i-k|.$$

$$Q[i]_{\sum} = Q[1] + \Delta Q = \frac{L * q_n}{V_{m\text{р}}} + \frac{(n-1) * l}{V_m} * q_n.$$

Паралельно з випорожненням одного бункера, другий буде завантажуватися до рівня Q_{vy}:

$$t_з[i] = \frac{Q_{vy} - Q_{cp}}{q_n - q_v[i]}$$

У момент досягнення рівнем сипучого матеріалу значення Qny відбувається зміна вектору руху подачі шихти за допомогою зміни напряму руху транспортерної стрічки, рис. 3.2. Завантаження спорожненого бункера почнеться через час t_g, необхідний для досягнення масою матеріалу розвантажувального краю транспортера:

$$t_g[i] = \frac{l[i]}{V_{mp}}$$

де t_g[i] - час, необхідний для досягнення масою матеріалу розвантажувального краю транспортера, с;

l[i] - відстань від точки завантаження сипучого матеріалу на транспортер до його розвантажувального краю, м;

V_{mp} - швидкість руху стрічкового транспортера, м/с.

Протягом часу t_g сипучий матеріал не надходитиме в завантажуваний бункер, а буде накопичуватися на транспортерній стрічці, що виконує, в даному випадку, роль проміжного накопичувача. Тому в інтервалі часу t_g стрічковий транспортер працюватиме з подвоєним навантаженням:

$$Q_{mp} = q_n \frac{l[1] + l[2]}{V_{mp}}$$

де Qmp - кількість матеріалу, що накопичується на транспортерній стрічці, $м^3$;

l[1], l[2] - відстань від точки завантаження сипучого матеріалу на транспортер до його розвантажувального краю, м.

Увесь цей матеріал надалі надходить у завантажуваний бункер і недовантаження шихти за час $t_g[i]$ повністю компенсується, що дає змогу його не враховувати під час визначення часу спорожнення бункерів.

Умова стійкої роботи бункерів відповідає рівнянню $t_o[i]= t_з[k]$, тобто заповнення одного агрегату і спорожнення іншого відбуваються одночасно. Отже, можна записати:

$$\frac{Q_{ср} - Q_{ny}}{q_v[i]} = \frac{Q_{vy} - Q_{ср}}{q_n - q_v[i]}$$

Таким чином,

$$\frac{Q_{ny} - Q_{ср}}{Q_{ср} - Q_{ny}} = \frac{q_n - q_v[k]}{q_v[i]}$$

Таким чином, стійка робота ділянки приймальних бункерів можлива в разі, коли рівні встановлення сигналізаторів Q_{vy}, $Q_{ср}$ і Q_{ny} відповідають продуктивностям завантажувального і вивантажувального живильників.

Якщо візок котучого конвеєра рухається циклічно, переміщаючи розвантажувальний край стрічкового транспортера в задане положення, і бункери розташовані впритул один відносно одного, то конвеєри мають один постійний напрямок руху [5]. У тому випадку, коли між бункерами розташовані майданчики, алгоритм керування розподільчим пристроєм ускладняється необхідністю зупинки транспортера протягом часу його руху між агрегатами. За час зупинки стрічки та переміщення від одного бункера до іншого на неї додатково буде завантажено матеріалу:

$$\Delta Q[i] = t_g[i] \cdot q_n,$$

де $\Delta Q[i]$ - кількість шихти, що завантажується на транспортер у період його переміщення між бункерами, м^3;

q_n - продуктивність шихтового відділення аглофабрики, м^3/с;

$t_g[i]$ - час, необхідний для досягнення масою матеріалу розвантажувального краю транспортера, с.

Ця кількість матеріалу перебуватиме на ділянці конвеєра довжиною l. Чим більша відстань між бункерами, тим на більше навантаження має бути розрахований стрічковий конвеєр. Максимальна відстань між бункерами становить дві довжини конвеєра. Зупинений транспортер переміщається зі швидкістю візка - V_m. Отже, на ньому перебуватиме додаткова кількість сипучого матеріалу, пропорційна $t_g[i]$:

$$\Delta Q[i] = \frac{(n-1) \cdot l}{V_m} \cdot q_n$$

У цьому випадку, сумарна кількість матеріалу на стрічковому конвеєрі становить:

$$Q[i]_{\sum} = Q[1] + \Delta Q = \frac{L * q_n}{V_{m\text{р}}} + \frac{(n-1) * l}{V_m} * q_n.$$

Застосування 3-х позиційних сигналізаторів рівня сипких матеріалів дає змогу вести завантаження бункерів і компенсувати тимчасові невідповідності в продуктивностях шихтового і спікального відділення аглофабрики. За узгодженої роботи відділень, зміни кількості матеріалу мають перебувати в межах $Q_{пу}$-$Q_{ср}$. Середня кількість матеріалу в кожному бункері становитиме:

$$Q_{cp}[i] = \frac{Q_{cp} - Q_{ny}}{2},$$

де $Q_{cp}[i]$ – середня кількість матеріалу у кожному бункері, м^3;

Q_{cp} – середня кількість шихти у бункері, м^3;

Q_{ny} - мінімальна кількість шихти у бункері, м^3.

Якщо

$$q_n > \sum_{i=1}^{n} q_v[i],$$

тоді рівень матеріалу в бункерах почне підвищуватися до переходу змін його кількості в кожному бункері в інтервалі $Q_{cp} - Q_{ny}$. Середня кількість матеріалу в бункері становитиме:

$$Q'_{cp} = \frac{Q_{ny} - Q_{-p}}{2},$$

де Q'_{cp} - середня кількість шихти у бункері, м^3.

При

$$q_n < \sum_{i=1}^{n} q_v[i],$$

середня кількість сипкого матеріалу у кожному бункері знизиться до значення Q''_{cp}:

$$Q''_{cp} = \frac{Q_{ny}}{2}$$

Таким чином, максимально можливе змінення середньої кількості сипкого матеріалу у кожному бункері становитиме:

$$\Delta Q_{ср}^{"} = Q_{ср}' - Q_{ср},$$
$$\Delta Q_{ср}^{"} = Q_{ср} - Q_{ср}^{"}$$

Для поліпшення демпфуючих властивостей ділянки приймальних бункерів необхідно, щоб $\Delta Q_{ср}'$ та $\Delta Q_{ср}$ були якомога більшими:

$$\Delta Q_{ср}^{"} + \Delta Q_{ср}' = Q_{\sigma},$$

де $\Delta Q_{ср}'$ - середня кількість шихти у бункері, м^3;

$\Delta Q_{ср}^{"}$ – максимально можливе змінення середньої кількості сипкого матеріалу у кожному бункері, м^3;

Q_{σ} - корисний об’єм бункера, м^3.

Таким чином, можна зробити висновок, що збільшення інтервалу між рівнями встановлення сигналізаторів, більшого за необхідний для стабільної роботи дільниці приймальних бункерів, спричинить відповідне збільшення ΔQ [і], що не є бажаним, оскільки це призведе до погіршення фізико-хімічних властивостей шихти.

3.2 Моделювання руху шихти в потоково-транспортній системі аглофабрики, обладнаної плужковими скидачами

Розглянемо ділянку приймальних бункерів відділення шихтопідготовки на фабриці огрудкування ПівнГЗК [5]. Ділянка складається із семи приймальних бункерів. Розподіл сипучого матеріалу здійснюється за допомогою плужкових скидачів [12]. У кожному з бункерів здійснюється безперервний контроль кількості завантажуваного шихтового матеріалу.

Зазвичай, ступінь заповнення приймальних бункерів перебуває в межах від 10% до 80%, завантаження здійснюється в послідовному режимі. Причому, час завантаження $t_з$ є величиною постійною і визначається експериментально. Для даної фабрики $t_з$ становить 90 с.

Запишемо рівняння, що характеризує послідовний режим завантаження бункерів, за $t_з$ = const:

$$t_з[n-1] + t_g[n-1, n] = t_0[n]$$

Припустимо, що $t_з$ = const, то в цьому випадку час спорожнення буде виражатися у вигляді:

$$t_o[i] = t_з[k] + \frac{tg}{n-1} * |i-k| = t_з + \frac{tg}{n-1} * |i-k| .$$

Якщо з'являється бункер із заповненням нижче 10%, то послідовний цикл завантаження переривається і сипучий матеріал подається в цей агрегат. Завантаження приймального бункера припиняється в разі його заповнення до 80% загального обсягу $Q_t[i] = 0.8 \cdot Q_{vy}$. Таким чином реалізується послідовний режим завантаження з $t_з$ = const.

У тому разі, якщо кількість сипучого матеріалу в бункері, $Q_t[i]$ вийде із заданого діапазону зміни, система управління завантаженням бункерів переходить у режим роботи «за викликом», рівняння для якого можна записати у вигляді:

$$\left.\begin{array}{l} t_з[1]+t_g[1-2]=t_o[2] \\ t_з[2]+t_g[2-3]=t_o[3] \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ t_з[i]+t_g[i-k]=t_o[k] \\ t_з[k]+t_g[k-n]=t_o[n] \end{array}\right\}.$$

Переміщення розподільного пристрою здійснюється на основі інформації про мінімальну і максимальну кількість шихти в бункерах [13] (Qmin = 0,1·Q_{vy} та Qmax = 0,8·Q_{vy}), відповідно і одержувана інформація є дискретною.

Час завантаження приймальних бункерів необхідно обирати так, щоб забезпечити стабільну роботу дільниці в разі зміни q_n і $q_v[z]$.

При $t_з$ = const у послідовному режимі завантаження кількість сипкого матеріалу, що завантажується в і-й бункер, визначається згідно з рівнянням:

$$\Delta Q[i] = \text{tз} \cdot (q_n - q_v[i])$$

Водночас ΔQ для послідовного режиму завантаження, можна записати як:

$$\Delta Q[i] = \left(\text{tз} + \frac{t_g}{n-1} \cdot |i-k|\right) \cdot q_v[i]$$

Кількість сипучого матеріалу в і-му бункері після закінчення завантаження непостійна і визначається поточними значеннями q_n і $g_v[i]$. За час спорожнення і-го бункера кількість сипучого матеріалу в ньому зменшиться на ΔQ[i].

У режимі розподілу матеріалу між бункерами з $t_з$ = const:

$$t_0[i] = t_з + \frac{t_g}{n-1} \cdot |i-k|,$$

де n – кількість бункерів.

Максимальна зміна величини ΔQ[i] спостерігається у випадку, коли $g_ν[i] \rightarrow g_{νmax}$. При цьому можливе спорожнення бункера до $Q_{min} = 0{,}1 \cdot Q_{νy}$. Щоб цього не сталося, необхідно перед пуском агрегатів завантажувати в них початкову кількість матеріалу з урахуванням можливого підвищення продуктивності до $g_{νmax}[i]$.

Для стабільного режиму роботи кожного приймального бункера за час циклу розподіу кількості матеріалу, що надходить і вивантажується, повинні бути рівними. При цьому час циклу можна визначити як:

$$t_ц = \frac{q_n \cdot t_з}{q_ν}$$

Із урахуванням, що $q_n = \sum_{i=1}^{n} q_ν[i] = q_ν \cdot n$, так як $q_ν[i]$= const, отримаємо:

$$t_ц = t_з \cdot n$$

Якщо $q_ν[i]$ = const, тоді ΔQ[i] для кожного з бункерів, також будуть однакові. Одночасно має виконуватися рівність продуктивностей різних ділянок ланцюга підготовки залізорудного матеріалу до окускування.

У виробничих умовах робота окремих технологічних агрегатів схильна до впливу неконтрольованих впливів, закономірність виникнення яких має випадковий характер [5]. Отже, неможливо домогтися тривалих за часом стабільних умов роботи дільниці приймальних бункерів, що характеризуються рівняннями (2.9) і (2.10). У зв'язку з цим виникає відхилення ΔQ[i] в бункерах від заданого

середнього значення і виникнення можливості їхнього спорожнення або переповнення.

Для виключення можливості виникнення аварійної ситуації, за рівнів заповнення бункерів 10% і 80%, алгоритм завантаження змінюється таким чином, щоб відновити стабільність руху сипучого матеріалу через цю ділянку тракту шихтопідготовки. Якщо виконується умова (2.9), то середня кількість сипучого матеріалу в кожному бункері $Q_{ср}[i]$ залишається постійною. У разі, коли $q_v[i] \cdot t_ц < q_n \cdot t_з$, значення $Q_{ср}[i]$ починає зростати і може з часом спричинити переповнення приймального бункера.

За кожен цикл завантаження в бункері буде накопичуватися надлишок сипучого матеріалу:

$$\Delta Q[i] = q_n \cdot t_з - q_v[i] \cdot t_ц$$

Час, за який кількість матеріалу в і-му бункері досягне Q_{max}, визначається з рівняння:

$$t_{max} = \frac{Q_{max} - Q_{ny}[i]}{\Delta Q_{ср}[i]}$$

Якщо в процесі роботи бункера виникли умови, що описуються такою залежністю:

$$\Delta Q[i] = q_v[i] \cdot t_ц - q_n \cdot t_з,$$

то це може призвести до зменшення $Q_{ср}[i]$ і спорожнення агрегату. За кожен цикл завантаження бункера кількість матеріалу, що знаходиться в ньому, буде зменшуватися на $\Delta Q_{ср}[i]$. Умови спорожнення бункера визначаються поточним значенням $Q_{ср}[i]$ в момент закінчення його завантаження:

$$\frac{Q_{ср}[i] - Q_{min}}{q_{\nu}[i]} \leq t_{з}(n-1)$$

Якщо за час завантаження аварійного бункера кількість сипучого матеріалу в іншому агрегаті досягне критичного значення, то цей бункер буде наступним, що надходить під завантаження.

Таким чином, у разі досягнення кількістю матеріалу в декількох бункерах значення $Q_t[i]<Q_{min}$, розподіл матеріалу, що надходить між ними, здійснюється за сигналами «виклику», з урахуванням черговості їх надходження.

Однак може виникнути неоднозначна ситуація внаслідок одночасного надходження сигналів про необхідність першочергового завантаження з двох або декількох бункерів. При цьому можна визначити номер бункера, що потребує заповнення. Отже, задаючись значенням $\Delta Q[i]$, можна забезпечити роботу приймальних бункерів у заданому діапазоні, і стабілізувати $\Delta Q_{ср}[i]$.

У разі досягнення рівнем матеріалу в будь-якому бункері граничного значення, система управління починає працювати в режимі завантаження за сигналом «виклику». Це дає змогу частково відновити вихідну кількість сипучого матеріалу в аварійному бункері.

Розглянемо ділянку приймальних бункерів фабрики огрудкування Полтавського ГЗК. На ділянці розташовується п'ять бункерів. Залізорудний матеріал подається стрічковим транспортером і розподіляється між бункерами за допомогою плужкових скидачів.

Розподіл сипучого матеріалу між приймальними бункерами відділення огрудкування здійснюється в режимі завантаження за «викликом». Початковою інформацією, на основі якої здійснюється вибір під завантаження чергового бункера, є відхилення кількості сипучого матеріалу, що знаходиться в ньому, від заданого значення, рис.3.3.

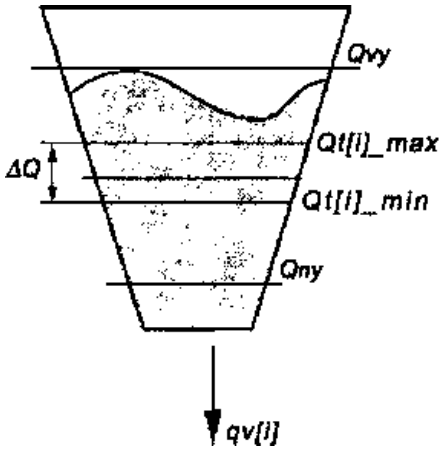


Рисунок 3.3 – Визначення ΔQ[i] у приймальному бункері

З цією метою періодично визначається кількість матеріалу в усіх бункерах, розрахунок ΔQ[i] і порівняння їх за знаком та амплітудою відхилення від $\Delta Q_{ср}$, далі обирається бункер з ΔQ[i] = max. Завантаження в нього сипучого матеріалу триває протягом часу $t_з$. Після закінчення завантаження і-го бункера повторюється розрахунок ΔQ[i] і вибір на основі його результатів наступного бункера під завантаження.

У тому разі, якщо $Q_t[i] >> Q_{ср}$, завантаження цього бункера не відбувається. Якщо всі бункери завантажені вище за середнє значення, тоді сипучий матеріал подається в агрегат із мінімальним значенням У разі досягнення значеннями $Q_t[i]$ максимальної величини Q_{max}, відбувається зупинка тракту подачі залізорудного матеріалу у відділення огрудкування.

За заданого режиму розподілу сипучого матеріалу між бункерами можливі два варіанти роботи ділянки приймальних бункерів:

$$Q_{ср} = \text{const} \quad \text{або} \quad Q_{ср} = f(q_n, \sum_{i=1}^{n} q_v[i]) = var$$

У цьому випадку, час завантаження кожного бункера можна визначити зі співвідношення:

$$t_з[i] = \frac{Q_t[i] - Q_{ny}}{q_n - q_v[i]} = \frac{\Delta Q[i]}{q_n - q_v[i]}$$

У другому випадку, задана середня кількість сипучого матеріалу в бункерах змінюватиметься залежно від співвідношення продуктивностей відділень фабрики огрудкування за шихтою. Якщо $q_n > \sum_{i=1}^{n} q_v[i]$, необхідно збільшити в певних межах величину заданого рівня $Q_{ср}$. Це частково забезпечить згладжування тимчасових невідповідностей у надходженні та витраті сипучого матеріалу на ділянці бункерів.

При $q_n < \sum_{i=1}^{n} q_v[i]$ необхідно знижувати $Q_{ср}$. Величина часу завантаження $t_з$ повинна забезпечити, відповідно до обраного алгоритму розподілу сипучого матеріалу, послідовне стабільне завантаження всіх бункерів, відповідно до рівняння (2.4).

У тому разі, якщо за час $t_з$ не вдається завантажити заданий бункер, то отже, буде здійснюватися збільшення його значення, виходячи з умов завантаження інших бункерів на ділянці. Однак, як зазначається в [19], при цьому можливі зациклення між двома бункерами, які мають найбільші значення q_v[i], тоді як інші бункери будуть спорожнятися. При значному збільшенні $t_з$ можливе спорожнення бункерів і з максимальними значеннями q_v[i].

Щоб не допустити спорожнення бункерів, доцільно використовувати прогнозування стану ділянки приймальних бункерів і визначення індексів бункерів, які потребують першочергового заповнення, що дасть змогу здійснювати своєчасне завантаження бункерів.

3.3 Висновки до розділу 3

1. Дослідження ділянки, обладнаної конвеєрними розподільниками, дає змогу зробити висновок про те, що використання цих

завантажувальних пристроїв вкрай ускладнене. Це зумовлено тим, що під час переміщення цього розподільчого пристрою, він має бути розрахований на транспортування значної кількості матеріалу. Крім того, пристрій має низький ступінь маневреності.

2. Найдоцільніше використовувати для завантаження приймальних бункерів плужкові скидачі, використання яких дає змогу з мінімальними часовими затримками здійснювати перенаправлення потоків сипучих матеріалів.

3. Аналіз ділянки приймальних бункерів, обладнаної різними типами розподільних пристроїв, дозволив виділити основні параметри для її роботи, такі як час завантаження, час спорожнення приймальних бункерів, граничні значення часу відсутності розподільного пристрою.

РОЗДІЛ 4
РОЗРОБКА АЛГОРИТМА КЕРУВАННЯ ДІЛЯНКОЮ ПРИЙМАЛЬНИХ БУНКЕРІВ АГЛОФАБРИКИ

4.1 Планування обчислювального експерименту

Вивчення АСУ потоково-транспортної системи можливо проводити в кількох напрямках. Проведення активного експерименту на реальному об'єкті не є можливим. Це пов'язано зі значними економічними та часовими витратами, а також складністю проведення експерименту. Можливістю вивчення систем у відносно стислий період часу є застосування математичного моделювання. Використання методів математичного моделювання дає змогу істотно скоротити витрати на вивчення систем.

Однак, є низка труднощів, пов'язаних із використанням математичних моделей. Створення адекватних реальному об'єкту математичних моделей є складним завданням, що вимагає всебічного вивчення модельованого об'єкта. У разі АСУ потоково-транспортної системи, об'єкт має велику кількість незалежних змінних. Крім того, складання математичної моделі, що враховує всі незалежні змінні об'єкта, не є можливим. Таким чином, доцільно при складанні математичного опису об'єкта абстрагуватися від тих змінних, використання яких не є обов'язковим.

Ділянку приймальних бункерів можна представити у вигляді об'єкта з лінійно-параметризованою структурою, рис. 4.1.

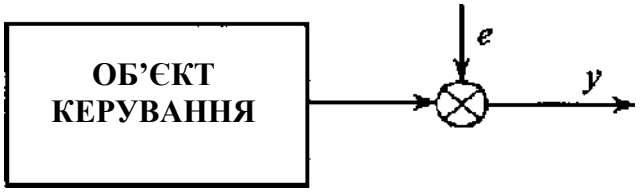


Рисунок 4.1 - Структурна схема моделі ділянки приймальних бункерів

Рівняння, що описує об'єкт, можна виразити у вигляді:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i * u_i + ... + e = \overrightarrow{A^T} * \vec{f}(\vec{u}) + e \ .$$

МНК-оцінка [71] вектора невідомих коефіцієнтів:

$$\vec{A} = (F^T * F)^{-1} * F^T * \vec{Y}$$

Якість моделі оцінюється за допомогою коваріаційної матриці:

$$\mathrm{cov}(\vec{A}) = \begin{Bmatrix} \mathrm{var}(a_0) & \mathrm{cov}(a_0, a_1) & ... & \mathrm{cov}(a_0, a_n) \\ \mathrm{cov}(a_1, a_0) & \mathrm{var}(a_1) & ... & \mathrm{cov}(a_1, a_n) \\ ... & ... & ... & ... \\ \mathrm{cov}(a_n, a_0) & \mathrm{cov}(a_n, a_1) & ... & \mathrm{var}(a_n) \end{Bmatrix} = \sigma_e^2 * (F^T F)^{-1}$$

У разі лінійної параметризації моделі, інформаційна матриця визначається на основі вимірювань вхідних змінних об'єкта, тобто інформаційна матриця визначається матрицею вхідних змінних, U_N^n і не залежить від значень виходу, отриманих за результатами експерименту. У разі лінійної параметризації моделі є можливість так спланувати експеримент, тобто визначити таку матрицю вхідних змінних, за якої коваріаційна матриця оцінок невідомих параметрів матиме ті чи інші бажані властивості.

У пасивному експерименті, коли матриця вхідних змінних є багато в чому випадковою, коваріаційна матриця оцінок найчастіше є погано обумовленою (тобто її детермінант близький до нуля), тому планування експерименту, тобто активне експериментування, коли вхідні змінні не просто вимірюють, а встановлюють на деяких оптимальних рівнях, дає

змогу одержати моделі, що володіють тими чи іншими оптимальними властивостями.

Як чинники планування, можна виділити керовані вхідні змінні:

$$UT = (u_1, u_2, \ldots, u_n)$$

У цьому разі простір планування експерименту - це область у n-мірному просторі [14], усередині та на межах якої можна проводити досліди, рис. 4.2.

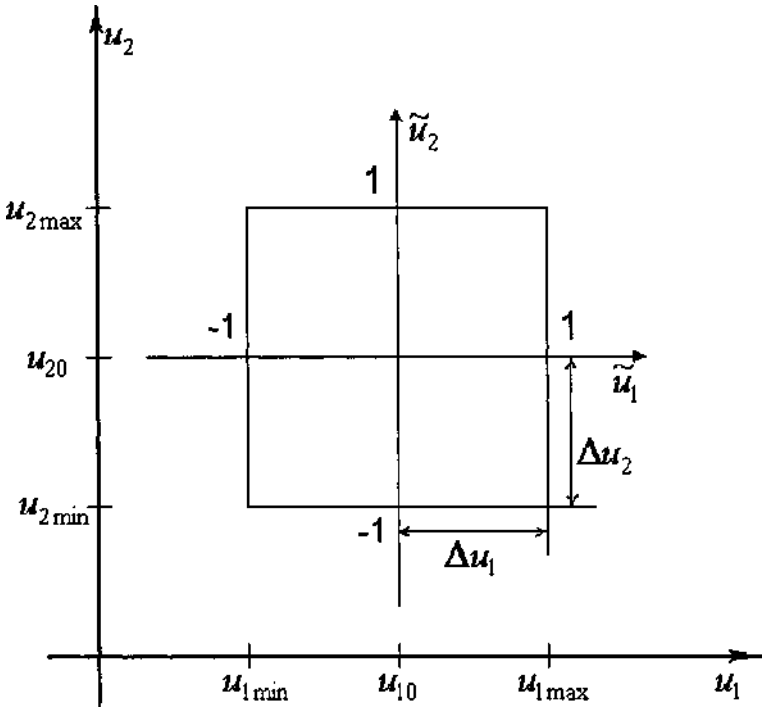


Рисунок 4.2 – Простір планування

Зазвичай фактори планування нормують таким чином:

$$u_i = \frac{u_i - u_{i0}}{\Delta u_i}, \qquad i = \overline{1,n}$$

де u_{i0} – координата центру області планування;

Δu_i –половина інтервалу планування.

Нормований простір планування - простір планування для нормованих чинників, являє собою одиничний n-мірний гіперкуб.

Під планом експерименту є можна розуміти сукупність точок простору планування, в яких проводяться досліди. Під час проведення експерименту задаємося спектром плану і частотами повторень спостережень у точках спектра:

$$\varepsilon = \begin{cases} u_1, u_2, \ldots, u_n \\ \varsigma_1, \varsigma_2, \ldots, \varsigma_n \end{cases}$$

де u_i – спектр;

ζ_i – частоти.

Спектр («скелет плану») - це сукупність точок простору планування, що не повторюються, в яких проводяться досліди. Використовуючи ці дані, складатиметься скелет плану експерименту для аналізу роботи алгоритму розподілу сипкого матеріалу. Вхідними даними для складання «скелета плану» є дані, що характеризують фізичні параметри об'єкта.

Частота повторення спостережень в і-ій точці визначається:

$$\varsigma_i = \frac{n_i}{\tilde{N}}, i = \overline{1, N}$$

де n_i - кількість дослідів в і-ій точці спектра;

N - загальна кількість дослідів, передбачених планом:

$$\tilde{N} = \sum_{i=1}^{N} u_i; \sum_{i=1}^{N} \varsigma_i = 1.$$

Плани поділяються на точні та безперервні. План називається точним, якщо в ньому все точно відомо, тобто загальне число дослідів і число дослідів в і-ій точці плану відомі і є цілими величинами.

Для дослідження ділянки приймальних бункерів буде використовуватися точний план, із заздалегідь відомою кількістю проведених експериментів.

Під час вибору кроку дискретизації для кожного з параметрів, що входять до плану, необхідно враховувати параметри реального об'єкта:

- кількість бункерів на ділянці.
- продуктивність живильників приймальних бункерів.
- максимальна кількість шихти в приймальному бункері.
- мінімальна кількість шихти в приймальному бункері.
- час руху між крайніми бункерами.
- параметри, що задаються для розподільного пристрою (автостели, котушкового конвеєра, плужкових скидачів).

4.2 Проведення обчислювального експерименту

Як було сказано раніше, під час проведення експерименту необхідно знати перелік параметрів, що задають роботу математичної моделі, який можна уявити у вигляді вектора змінних

$$\bar{z} = \{Q_{ny}, Q_{vy}, t_g, n, q_v[i], q_n\}$$

Залежно від типу використовуваного розподільного пристрою, в математичну модель можуть бути додані інші змінні, використання яких буде обов'язковим.

У кваліфікаційній роботі проводилося складання серії математичних моделей для послідовного режиму розподілу шихти [5].

Кожна з розроблених моделей складається з програмних модулів, що взаємодіють між собою. Розроблено такі модулі:

- основний модуль, що об'єднує в собі частини програми (модулі);

- модуль ініціалізації вхідних змінних;

- модуль відображення інформації на екрані;

- модуль імітації роботи автоматизованої системи управління потоково-транспортною системою;

- модуль аналізу вихідних даних.

Залежно від реалізованого режиму роботи, в математичних моделях змінювався модуль імітації ділянки приймальних бункерів. Під час моделювання використовували такі змінні:

Q_{ny} – мінімальна кількість матеріалу у бункері, $м^3$;

Q_{vy} – максимальна кількість матеріалу у бункері, $м^3$;

$q_v[i]$ – середня продуктивність дозаторів приймальних бункерів, $м^3/с$;

t_g – час рузу між крайніми бункерами, с;

q_n – продуктивність шихтового віддвлення аглофабрики, $м^3/с$;

n – кількість бункерів на ділянці.

Моделювання роботи ділянки приймальних бункерів проводиться в заздалегідь заданому діапазоні експерименту. Межі експерименту залежать від бажаної точності досліджень і від діапазону зміни параметрів ділянки. Залежно від бажаної точності отримання результатів, задаються кроком дискретизації для обумовлених раніше параметрів вектора $\bar{z} = \{Q_{ny}, Q_{vy}, t_g, n, q_v[i], q_n\}$.

Розглянемо створення моделі для послідовного режиму завантаження бункерів. Послідовне завантаження приймальних бункерів передбачає переміщення розподільчого пристрою від першого бункера до останнього, після чого розподільчий пристрій знову переміщується до першого бункера. Фіксований час заповнення відсутній і може бути визначений від часу знаходження розподільного пристрою над заданим

бункером. Недоліком такої схеми є часті зупинки, спричинені нерівномірним завантаженням приймальних бункерів у разі однакової продуктивності дозаторів бункерів на ділянці, за умови $q_v[i] = const$. Використання послідовного режиму завантаження рекомендується в тому випадку, коли $q_v[i] \neq const$.

Блок-схему послідовного режиму завантаження приймальних бункерів можна уявити на рис. 2.4. Експеримент доцільно проводити, використовуючи як початкові дані інформацію з реального виробництва. Для експериментів використовувалася інформація, представлена в [5] для комбінату «Запоріжсталь», табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Дані по ділянці приймальних бункерів

Параметр	Значення	Примітка
Середня продуктивність дозаторів приймальних бункерів $q_v[i]$	0,0259 $м^3/с$	$q_v[i] = const$ для всієї ділянки
Мінімальна кількість матеріалу у бункері Q_{ny}	6 $м^3$	-
Максимальна кількість матеріалу у бункері Q_{vy}	20 $м^3$	-
Час руху між крайніми бункерами t_g	240 с	-
Кількість бункерів на ділянці n	7	-

На підставі даних, представлених у табл. 4.1, визначимо межі експерименту, табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Межі експерименту для послідовного режиму завантаження

Параметр	Початкове значення	Кінцеве значення	Крок дискретизації
$q_v[i]$	0,0259 м^3/с	0,1 м^3/с	0,025
Q_{ny}	6 м^3	15 м^3	1
Q_{vy}	20 м^3	30 м^3	1
t_g	240 с	260 с	10
n	7	7	-

Дані з табл. 4.2 є вхідними для проведення експерименту на математичній моделі та підставляються в модуль ініціалізації змінних, блок-схема, рис. 2.4, після чого виконується робота модуля імітації в циклах. У цьому випадку кожен цикл утворено змінними, значення яких змінюються відповідно до кроку дискретизації. Аналіз даних експерименту проводиться на підставі обраного критерію. Для ділянки приймальних бункерів аглофабрики критерієм може бути обрано стабільну роботу ділянки, за якої не має спостерігатися спорожнення і переповнення приймальних бункерів. При цьому кількість матеріалу в приймальних бункерах Qt[i] не виходить за мінімальне і максимальне значення.

Після закінчення роботи програми отримується набір вихідних даних, які записуються у базу даних. У результаті опрацювання даних експерименту стала можливою побудова тривимірних областей, що характеризують стабільну роботу ділянки приймальних бункерів. Необхідно зазначити, що побудова тривимірних областей із застосуванням аналітичних методів вкрай ускладнена [15].

Аналіз даних дав змогу здійснити побудову області стабільної роботи дільниці, рис.4.3-4.5.

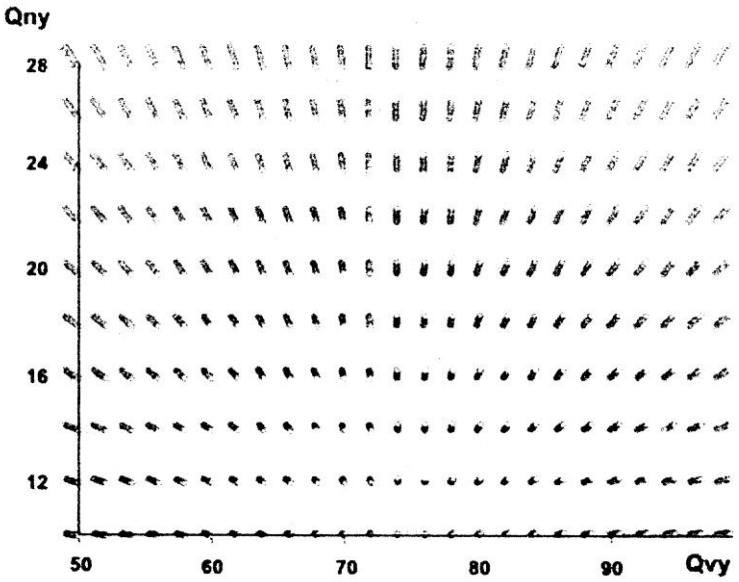


Рисунок 4.3 – Область стабільної роботи ділянки приймальних бункерів при послідовному режимі завантаження (проєкція)

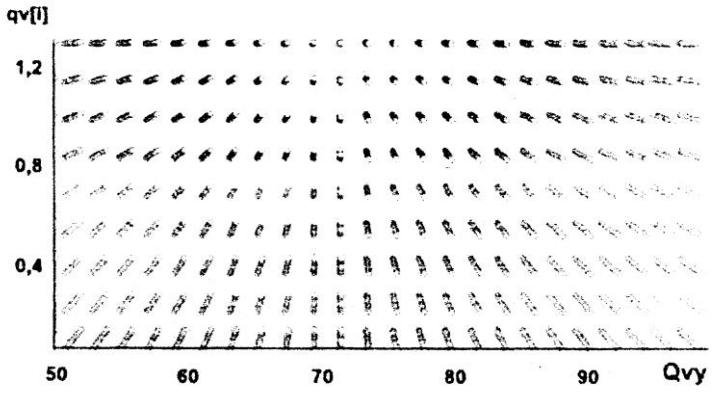


Рисунок 4.4 - Область стабільної роботи ділянки приймальних бункерів при послідовному режимі завантаження (проєкція)

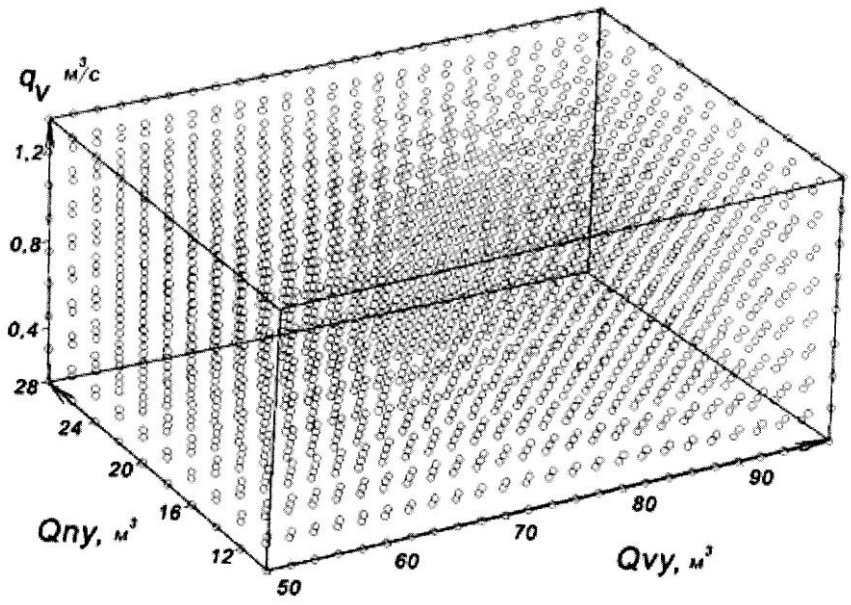


Рисунок 4.5 - Область стабільної роботи ділянки приймальних бункерів при послідовному режимі завантаження

У тому разі, якщо залишити тільки послідовний режим завантаження і прибрати можливість переходу до бункера в екстреному випадку, то область стійкості вироджується в нуль, тобто її немає. Якщо ж буде додано екстрений виклик розподільчого пристрою, то отримаємо режим роботи «за викликом без використання прогнозування»

Аналізуючи дані рис. 4.5, можна зробити висновок, що при послідовному завантаженні приймальних бункерів при $q_v[i]$ = const покривається вся зона експерименту.

Це свідчить про те, що використання послідовного завантаження приймальних бункерів можливе, проте не рекомендується, тому що, якщо станеться непередбачувана зміна продуктивностей живильників приймальних бункерів - $q_v[i]$ або ж продуктивність шихтового відділення аглофабрики - q_n, може виникнути аварійна ситуація, за якої приймальний бункер може спорожнитися або переповнитися.

Аналіз отриманих даних показує, що послідовний режим завантаження покриває не більше 10% від загального обсягу області експерименту.

4.3 Оптимізація розподілу сипких матеріалів між приймальними бункерами потоково-транспортної системи

У [5] зазначається, що важливим завданням ділянки приймальних бункерів аглофабрики є стабілізація гранулометричного складу шихти на виході з приймальних бункерів. Це завдання можна позначити як завдання оптимального керування [16] ділянкою приймальних бункерів. Причому стабілізація гранулометричного складу шихти на виході з приймальних бункерів можлива в разі мінімізації амплітуди коливань кількості шихти в бункерах у межах циклу.

Розглянемо ділянку приймальних бункерів, що являє собою систему з n-ї кількості агрегатів, розподіл сипучого матеріалу між якими здійснюється за допомогою розподільного пристрою.

Припустимо, час циклу для заданої ділянки приймальних бункерів задано заздалегідь, позначимо його як $T_ц$. У початковий момент часу відбувається завантаження всіх бункерів до певної величини Q_{vy}, яка характеризує максимальну кількість матеріалу в бункері. Такий режим називається передпусковим. Далі слідує пусковий режим, за якого всі бункери починають спорожнятися. Оскільки кожен бункер потребує «своєчасного» завантаження, то розподільний пристрій відповідно до раніше визначеного алгоритму здійснює подачу матеріалу в них. Поточну кількість матеріалу в бункерах $Q_t[t]$ визначають на підставі (2.4). Під амплітудою коливань кількості матеріалу в бункері розумітимемо його значення в заданий момент часу, яке розраховується за формулою:

$$\Delta Q[t] = Q_{vy} - Q_t[t]$$

Тоді середнє значення амплітуди коливань, за цикл, для заданого приймального бункера можна розрахувати за формулою:

$$\overline{\Delta Q_t[t]} = \frac{\sum_{t=1}^{T_ц} \Delta Q[t]}{T_ц},$$

де $T_ц$ – час циклу, с;

t – номер циклу прогонки математичної моделі.

Доцільність вибору середнього значення амплітуди коливань кількості шихти в бункері зумовлена тим, що саме в межах циклу можна спостерігати відносно сталий закон зміни кількості матеріалу в часі, що впливає на гранулометричний склад матеріалу, який вивантажується з бункера. Таким чином, середнє значення амплітуди $\overline{\Delta Q}$ характеризує роботу даного бункера в межах циклу. Мінімізація значення $\overline{\Delta Q}$ призведе до стабілізації гранулометричного складу шихти на виході з приймального бункера [5]. Отже, як критерій оптимальності обираємо вектор середніх значень амплітуди коливань у бункерах за цикл роботи:

$$\overline{\Delta Q}_{уч} = \begin{cases} \dfrac{\sum_{t=1}^{t=Tц} \Delta Q_1[t]}{T_ц}; \\ .....; \\ .....; \\ \dfrac{\sum_{t=1}^{t=Tц} \Delta Q_n[t]}{T_ц}. \end{cases} \qquad (4.1)$$

Задаючись у якості критерію оптимальності (4.1), можна забезпечити мінімізацію коливання кількості шихти в приймальних бункерах на ділянці і, як наслідок, забезпечити стабілізацію гранулометричного складу на виході з кожного приймального бункера. Із технологічних умов відоме значення $\overline{\Delta Q}_{діл}$, за якого спостерігатиметься стабілізація гранулометричного складу шихти на виході з приймальних бункерів. Задаючись значенням $\overline{\Delta Q}_{діл}$ і вводячи його в програму для

полідовного режиму завантаження, отримуємо математичні моделі ділянки приймальних бункерів.

Знаходження мінімуму розіб'ємо на етапи:

1. Знаходження областей стійкості як первинної задачі при знаходженні оптимального рішення.

2. Знаходження областей оптимальності для кожного бункера на ділянці.

3. Знаходження загального рішення для всієї ділянки.

Розв'язання задачі оптимізації може бути реалізовано різними способами. Використання аналітичних методів під час розв'язання цієї задачі не є можливим, оскільки важко отримати аналітичний вираз функції, що описує тривимірні ділянки стабільної роботи ділянки приймальних бункерів, одержувані в результаті обчислювальних експериментів. Вирішення поставленого завдання здійснювалося методами імітаційного моделювання [17].

Прогонку математичних моделей ділянки приймальних бункерів проводили за рівнями, отже, кожному вектору вхідних параметрів

$$\bar{X} = \{q_v, q_n, Q_{ny}, Q_{vy}, \Delta Q_{ny}, \Delta Q_{vy}, n\}$$

відповідає вектор вихідних параметрів:

$$\bar{Y} = \{q_v, t_g, Q_{ny}, Q_{vy}, \Delta Q_t[i]\} \qquad (4.2)$$

Вектор $\bar{Y}$ визначається для кожного з приймальних бункерів на ділянці. Отже, для ділянки приймальних бункерів буде n-на кількість областей оптимальної роботи, отриманих для кожного приймального бункера. Алгоритм знаходження області оптимальності представлений у вигляді блок-схеми, рис. 4.6.

Після отримання інформації за вектором (4.2), проводиться побудова областей розподілу амплітуд Q_t[i] всередині області проведення експерименту.

Початковими даними є значення параметрів роботи дільниці з таблиці 4.2, підставивши які до імітаційної моделі завантаження приймальних бункерів у послідовному режимі, отримуємо набір вихідних даних для кожного з бункерів на ділянці. На основі цих даних здійснюється побудова областей розподілу амплітуди коливань кількості матеріалу кожного приймального бункера.

Оптимальна робота ділянки можлива в різних діапазонах, але оскільки ділянка являє собою систему, що складається з бункерів, то необхідно отримати область оптимальної роботи для кожного бункера, після чого знайти загальну область оптимальної роботи для всієї ділянки.

Під час цих досліджень отримання загальної області не є можливим у графічному вигляді, оскільки для її побудови необхідна наявність аналітичного рішення. Тобто має виконуватися розв'язання зворотної задачі, а саме знаходження функції, що описує тривимірну область розподілу $\Delta Q_t[i]$, для кожного з бункерів на ділянці, подальше розв'язання системи рівнянь, знаходження спільного розв'язку для всієї ділянки.

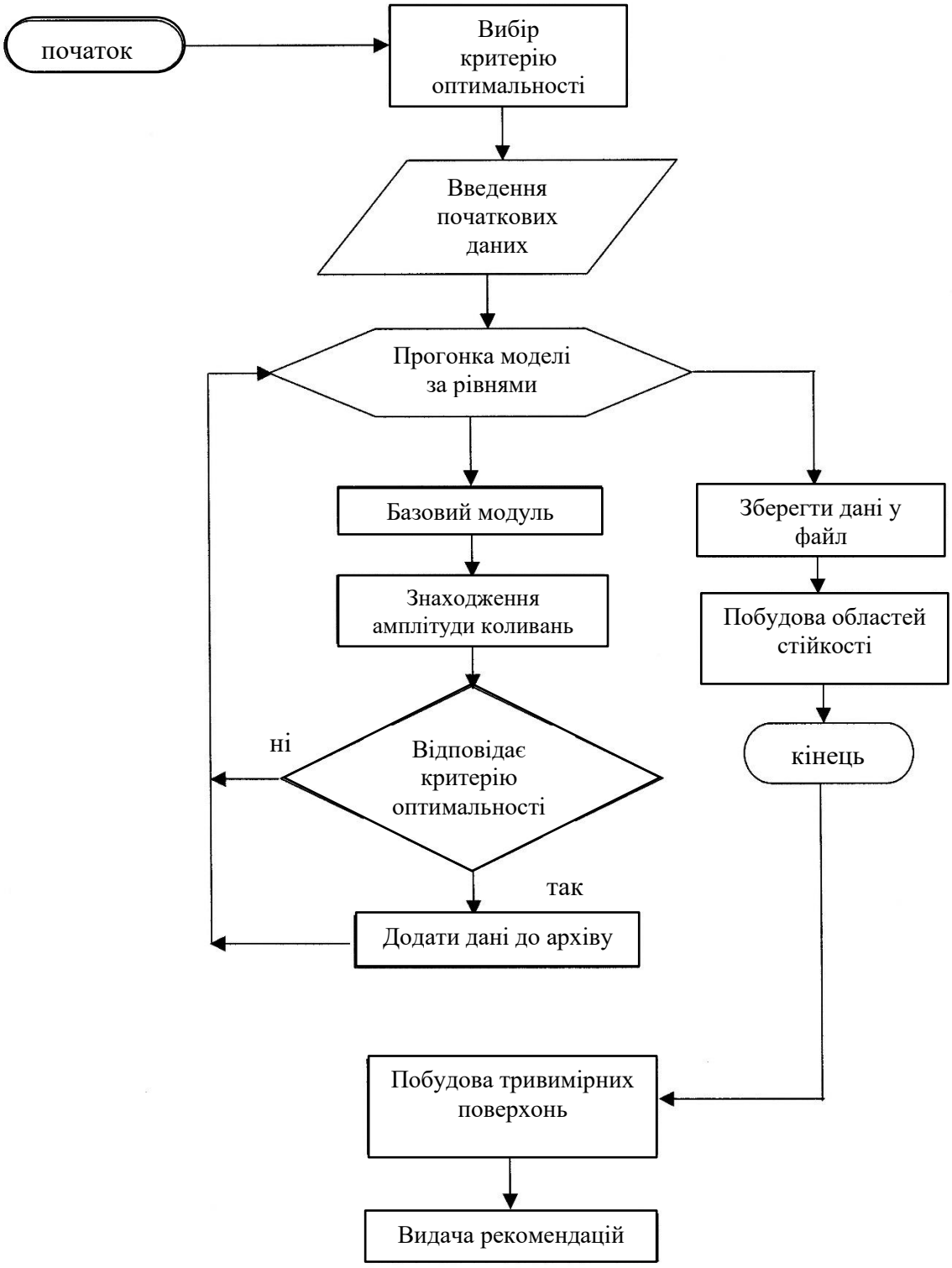


Рисунок 4.6 – Алгоритм знаходження областей оптимальності

Вирішення поставленого завдання ускладнене. Це пов'язано з тим, що наявні методи, описані в літературі, не дають змоги отримати функцію на тривимірній поверхні, використовуючи дані експерименту. Таким чином, розв'язання цієї задачі виражається у вигляді набору областей для

кожного бункера. Рішення можна також представити у вигляді набору таблиць із вихідними параметрами. Найбільш наочне, графічне, представлення загального рішення можна представити у вигляді набору областей розподілу $\Delta Q_t[i]$ за кожним приймальним бункером, що входить до складу ділянки.

На рис.4.7 представлено графік розподілу амплітуди коливань у першому бункері. Із графіка видно, що під час збільшення різниці між значеннями верхнього і нижнього сигналізатора амплітуда коливань кількості матеріалу в приймальному бункері зростає. Це викликано тим, що розподільний пристрій не встигає здійснювати своєчасне завантаження крайніх бункерів. Крім того, на графіку видно, що в бункері спостерігаються періодичні збурення $\Delta Q_t[i]$ по зоні експерименту.

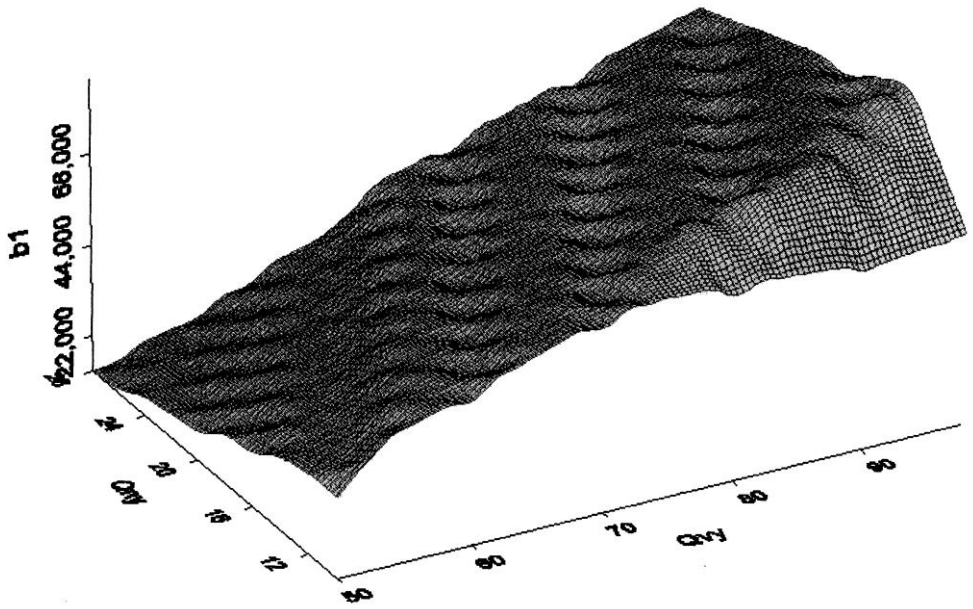


Рисунок 4.7 – Розподілення $\Delta Q_t[i]$ у бункері 1 при послідовному режимі завантаження

Цей факт свідчить про те, що за певних умов запасу шихти в приймальному бункері достатньо для забезпечення мінімуму $\Delta Q_t[i]$, однак одразу ж у разі збільшення $q_v[i]$, видно зниження цього значення, оскільки система вже не встигає забезпечити мінімум коливань, але

забезпечує стабільну роботу, після чого відбувається перехід на інший рівень значень сітки експерименту.

На рис. 4.8, представлено графік розподілу $\Delta Q_t[i]$ у другому бункері. При збільшенні $\Delta Q = Q_{vy} - Q_{ny}$ спостерігається збільшення значення амплітуди коливань $\Delta Q_t[i]$ по сітці експерименту. Однак збурень амплітуди $\Delta Q_t[i]$ по сітці експерименту не спостерігається. Це спричинено тим, що розподільний пристрій встигає виконувати своєчасне заповнення цього приймального бункера.

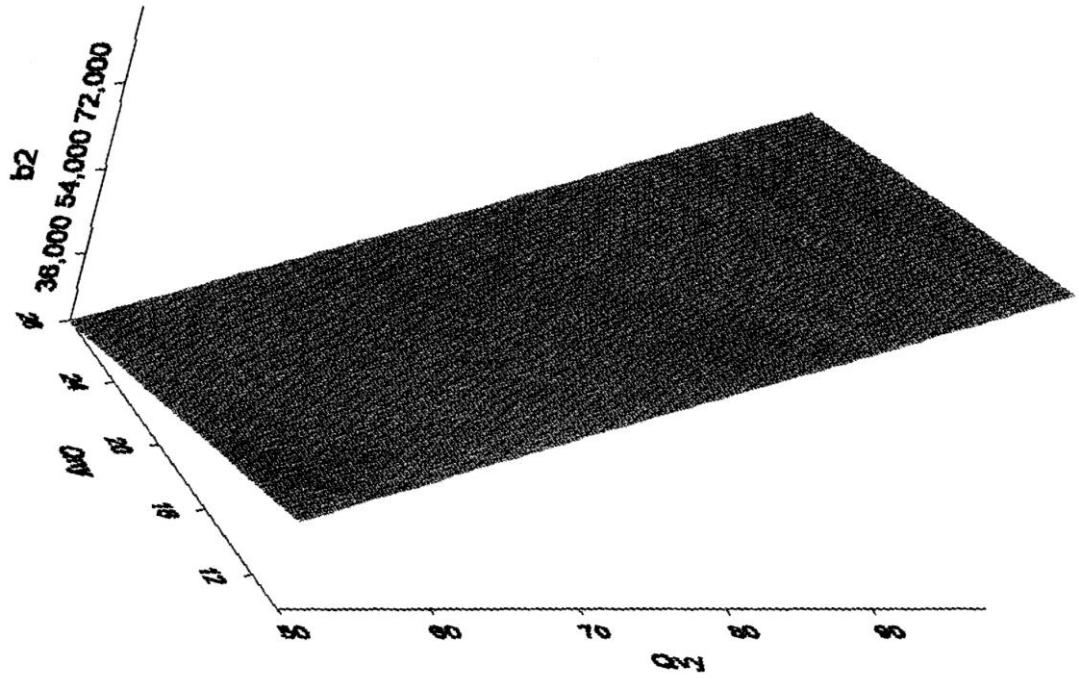


Рисунок 4.8 - Розподілення $\Delta Q_t[i]$ у бункері 2 при послідовному режимі завантаження

Розглянемо розподіл амплітуд коливання $\Delta Q_t[i]$ у середніх бункерах. Як видно з рис.4.9-4.10, ці графіки практично збігаються, і в них видно коливання $\Delta Q_t[i]$ по сітці експерименту. Збіг графіків пояснюється тим, що на ділянці ці бункери перебувають в абсолютно однакових умовах роботи, на рівній відстані від крайніх бункерів. Причому стрибки амплітуди $\Delta Q_t[i]$ спостерігаються в зоні експерименту

з мінімальними різницями значень, положення сигналізаторів рівня шихти.

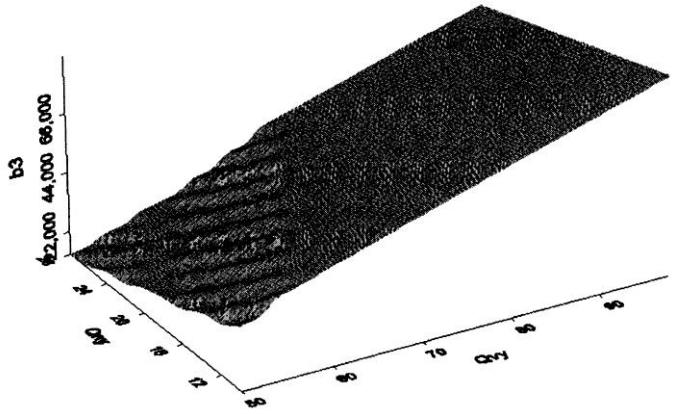


Рисунок 4.9 - Розподілення $\Delta Q_t[i]$ у бункері 3 при послідовному режимі завантаження

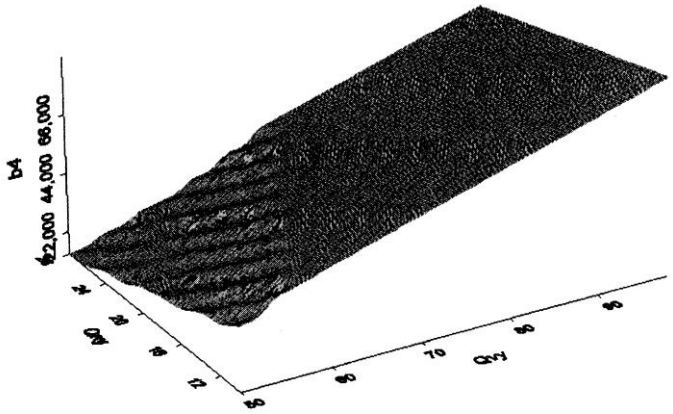


Рисунок 4.10 - Розподілення $\Delta Q_t[i]$ у бункері 4 при послідовному режимі завантаження

Також видно, що зі збільшенням різниці значень, положення сигналізаторів рівня шихти $\Delta Q = Q_{vy} - Q_{ny}$ різкі зміни амплітуди коливань стовпа шихти в цих бункерах зникають. Ця зона експерименту за своїми характеристиками ідентична бункеру 2.

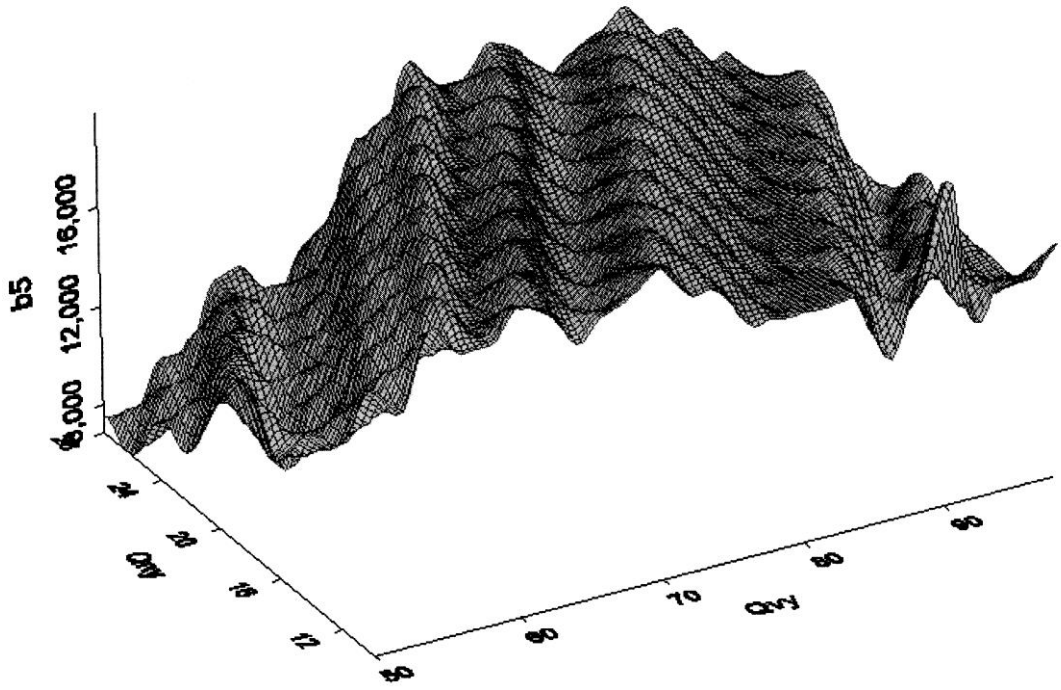


Рисунок 4.11 - Розподілення $\Delta Q_t[i]$ у бункері 5 при послідовному режимі завантаження

Розглянемо рис. 4.11, на якому представлено графік розподілу амплітуди коливань шихти для бункера 5. Відомо, що таких бункерів для експерименту було обрано шість, отже, цей бункер не є крайнім бункером. Як було зазначено у [5], у крайніх бункерах системи амплітуда коливань стовпа шихти має бути максимальною, проте експеримент показує, що це не так. Аналітично виразити це явище не представляється можливим.

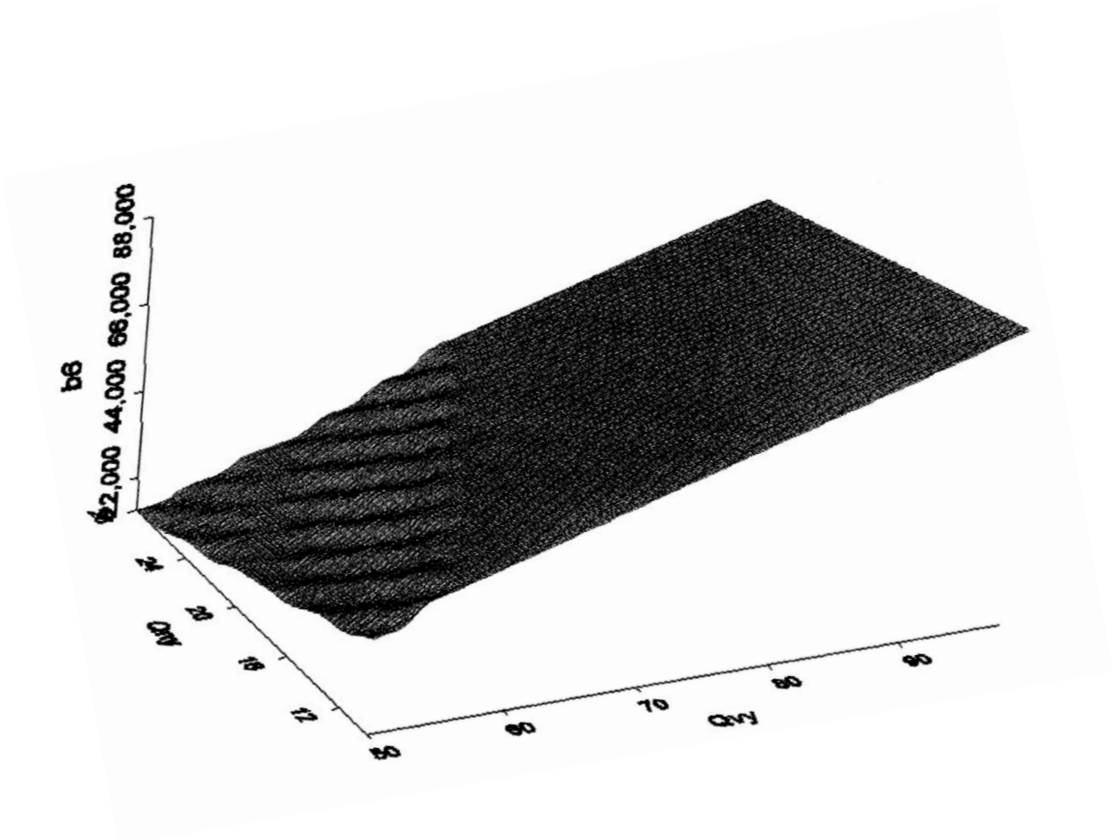


Рисунок 4.12 - Розподілення $\Delta Q_t[i]$ у бункері 2 при послідовному режимі завантаження

Графік розподілу $\Delta Q_t[i]$ у 6-му бункері (рис. 4.12) аналогічний середнім бункерам у системі. Необхідно зазначити, що не завжди в крайніх бункерах спостерігається мінімум амплітуди коливань. У тому разі, якщо $q_v \neq const$, поведінку системи передбачити аналітично вельми важко.

У деяких випадках доцільно, задаючись діапазоном $\Delta Q_t[i]$, визначити рівні встановлення сигналізаторів у приймальних бункерах, або продуктивність живильників приймальних бункерів, за яких забезпечуватиметься заданий показник $\Delta Q_t[i]$. На рис.4.13 запропоновано методику, що дає змогу виконати ці процедури.

Припустімо, для дослідження обрано ділянку приймальних бункерів із заданим набором характеристик, що визначаються вектором:

$$\bar{X} = \{q_v, q_n, Q_{ny}, Q_{vy}, \Delta Q_{ny}, \Delta Q_{vy}, n\}$$

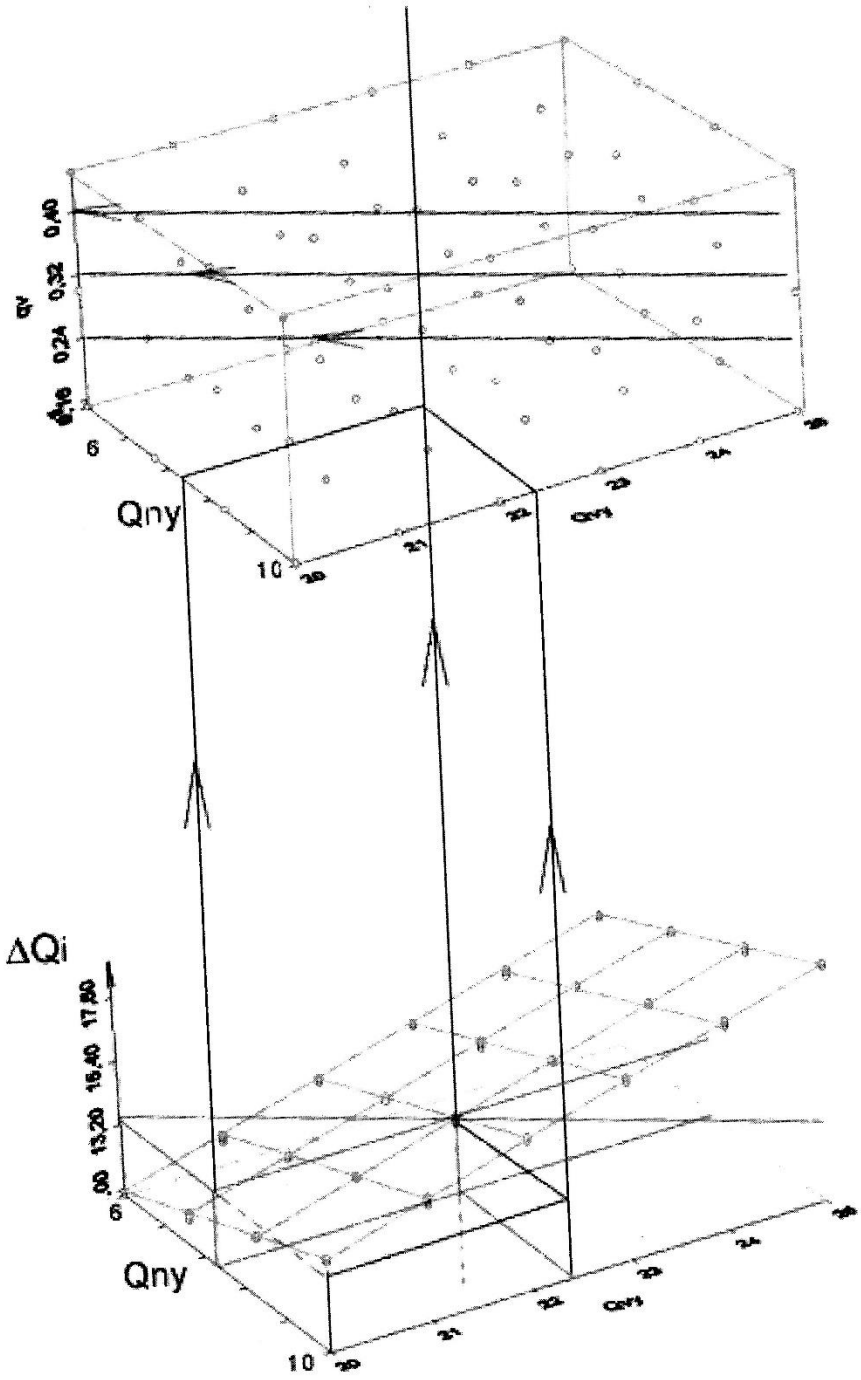


Рисунок 4.13 – Визначення параметрів ділянки приймальних бункерів

Основним завданням є визначення значення продуктивності живильників приймальних бункерів, за заданих значень установок сигналізаторів рівня. Алгоритм знаходження $q_v[i]$ такий:

1. Задаємося початковими умовами для обраної ділянки приймальних бункерів.

2. Встановлюємо діапазоном значень $\Delta Q_t[i]$, в межах яких можлива робота ділянки.

3. Виконується планування експерименту

4. Виконується експеримент, у результаті якого, для кожного з бункерів здійснюється побудова області

$$\overline{Z_1} = \{\Delta Q_t[i], Q_{ny}, Q_{vy}\}$$
$$\overline{Z_2} = \{q_v[i], Q_{ny}, Q_{vy}\}$$

5. Знаючи діапазон значень $\Delta Q_t[i]$ і використовуючи графічне розв'язання задачі (рис.4.13), визначаємо діапазон значень q_v[i], у межах якого забезпечуватиметься заданий показник $\Delta Q_t[i]$.

На рис. 4.13 показано приклад розрахунку для ділянки приймальних бункерів комбінату «Запоріжсталь», при цьому початкові дані бралися з таблиці 4.2. Задаючись $\Delta Q_t[i]$ вдалося отримати діапазон значень q_v[i] = (0,24 ÷ 0,40).

Запропонована методика визначення параметрів ділянки в залежності від обраного критерія оптимальності є перспективною, так як з’являється можливість дослідження роботи ділянок приймальних бункерів, що вже знаходяться в експлуатації, та визначення найоптимальніших режимів їх роботи.

4.4 Висновки до розділу 4

1. Сплановано та проведено пасивний експеримент, що моделює роботу ділянки приймальних бункерів. Визначено основні фактори, діапазони їх варіювання та функції відгуку.

2. Аналіз результатів експерименту показав, що випадкова величина продуктивності приймальних бункерів розподілена за нормальним законом Гауса.

3. Визначена область оптимальної роботи для кожного бункера та розроблено алгоритм для розрахунку цієї області для ділянки у цілому.

4. За результатами моделювання роботи бункерів математична модель визнана адекватною та такою, що забезпечує безаварійну роботу ділянки приймальних бункерів.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі магістра проведено аналіз послідовного режиму завантаження приймальних бункерів, розширено теоретичні положення для його режиму завантаження із урахуванням кількості бункерів на ділянці та їх взаємним розташуванням, розроблено алгоритм завантаження бункерів.

Основні висновки за роботою:

1. Проаналізовано світовий досвід управління потоково-транспортними системами, виділено основні закономірності роботи ділянок бункерів при послідовному завантажені.

2. Розроблено методику та теоретичні положення для ділянки як системи у цілому, що дозволяють аналізувати її поведінку при послідовному режимі завантаження.

3. Аналіз ділянки приймальних бункерів, обладнаної різними типами розподільних пристроїв, дозволив виділити основні параметри для її роботи, такі як час завантаження, час спорожнення приймальних бункерів, граничні значення часу відсутності розподільного пристрою.

4. Доведена можливість прогнозування стану ділянки приймальних бункерів у часі, розроблено алгоритм послідовного завантаження.

5. Шляхом математичного моделювання та проведення пасивного експерименту доведена ефективність послідовного режиму завантаження. Порівняльний аналіз результатів моделювання та експерименту показав адекватну роботу моделі у 95% усіх можливих значень параметрів роботи ділянки приймальних бункерів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Технологічна схема аглофабрики. URL: https://vuzlit.com/2227886/opisanie_tehnologicheskogo_protsessa#google_vignette (дата звернення 26.11.2024 р.)

2. Схема спікання шихти на агломераційній машині URL: https://vuzlit.com/2227888/protsess_spekaniya_aglomerata_aglomashine (дата звернення 26.11.2024 р.)

3. Шаповаленко В. В. Стан та перспективи автоматизації процесу забезпечення шихтою приймальних бункерів агломашин. У кн. : Теоретичні основи та технологія підготовки металургійної сировини до доменної плавки. Дніпро, 2000. С. 34-36

4. Астахов О. Г., Федоровський М. В., Кирилов В. І. Про ліквідацію сегрегації при розподілі шихти по бункерах. *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 1971. № 1(67). С. 8-10.

5. Пазюк М. Ю., Полещук О. О. Управління потоково-транспортними системами залізорудних матеріалів. Запоріжжя : ЗДІА, 1995. 120 с.

6. Теорія масового обслуговування. URL: https://pidru4niki.com/14821111/ekonomika/teoriya_masovogo_obslugovuvannya#google_vignette (дата звернення 20.11.2024 р.)

7. Кочо В. С., Гранковський В. І., Найдек В. Л. Балансові методи у дослідженні та автоматизації мартенівських печей. Київ : Техніка, 1996. 243 с.

8. Пазюк М. Ю., Башлій С. В., Єременко Д. В., Пазюк Ю. М. *Металургія : праці Запорізької державної інженерної академії*. Запоріжжя : ЗДІА, 1999. Т.1. С. 23-28.

9. Гранковський В. І., Пазюк М. Ю., Сиромясський В. О. Керування агломераційним процесом. Київ : Техніка, 1990. 145 с.

10. Гнєденко Б. В. Курс теорії ймовірностей : підручник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2010. 464 с.

11. Єременко Д. В., Пазюк М. Ю. Закономірності розподілу сипких матеріалів між бункерами при послідовному режимі роботи розподільчого пристрою. *Металургія : праці Запорізької державної інженерної академії*. Запоріжжя : ЗДІА, 2002. Т.6. С. 9-14.

12. Калініченко П. Г., Сорока В. В., Дримбо О. В., Шаповаленко В. В. Автоматичне керування плужковими скидачами при завантаженні бункерів сипкими матеріалами. Інформаційний листок. Запоріжжя : ЗЦНТЕІ, 1975. №2. 18 с.

13. Єременко Д. В., Пазюк М. Ю. Моделювання особливостей руху шихти у потоково-транспортних системах фабрик окомкування. *Металургія : праці Запорізької державної інженерної академії*. Запоріжжя : ЗДІА, 2001. №4. С. 18-22.

14. Регресійний аналіз. URL: https://mindthegraph.com/blog/uk/%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%B9-%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7/ (дата звернення 20.11.2024 р.)

15. Brian S. Everitt. A Handbook of Statistical Analyses using S-Plus. Second Edition. Chapman & Hall, 2001. 256 p.

16. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проєктування інформаційних систем : навч. посіб. Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

17. Кравець І.О. Імітаційне моделювання : Навч. Посібник. ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. 107 с.

18. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: довідник / за заг. ред. Б. Б. Тимофеева ; уклад. Н. Г. Скрипаненко. Київ : Техника, 2003. 351 с.

19. Ананьєв В. П. Синтез і налагодження квазіоптимальних систем підпорядкованого регулювання в металургії: навч. посіб. Київ : Просвіта, 2007. 344 с.

20. Анзимиров Л. В. SCADA TRACE MODE – нові технології для сучасних АСУТП : навч. посіб. Київ : *Автоматизація в промисловості*. №2. 2007. 113 с.

21. Арбузов В. В., Лакиза А. М., Войцицкий В. В., Недельчев П. А., Литвиненко И. А. Створення інтегрованої розподіленої АСУТП енергопостачальної компанії із застосуванням системи TRACE MODE : стаття. Київ : *Промислові АСУ і контролери.* № 7. 2005. 45 с.

22. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: http://wikipage.com.ua/1x400f.html (дата звернення: 13.11.2023).

23. Вимоги до системи. URL: https://mydocx.ru/2-120435.html (дата звернення: 13.11.2023).

24. Кустов К. І., Шершевер М. А. Автоматичне регулювання і регулятори. Київ : Металургія, 2007. 180 с.

25. Манько О. О. Основи проєктування систем автоматизації : методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи. Рівне, 2012. 40 с.

26. Манько О. О., Кутя В. М. Основи проектування систем автоматизації : методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи. Рівне, 2010. 31 с.

27. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади : методичні вказівки до вик. курс. проєкту // уклад.: К. С. Архангельська, О. Й. Рішан. Київ : НУХТ, 2005. 223 с.

28. Ковалевський В. М. Технічні засоби автоматизації – 2 : методичні вказівки до практичних занять з кредитного модуля «Електричні системи керування». Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. 60 с.

29. Ніколаєнко А. М. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації : методичні вказівки до курсового проекту. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 34 с.

30. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем автоматичного управління з використанням ПЕОМ : навч. посіб. Київ : КГІІ, 2005. 178 с.

31. Трегуб В. Г. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР : метод. вказівки до практичних занять. Київ : НУХТ, 2008. 67 с.

32. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

33. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

34. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об’єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. Київ Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

35. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

36. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. Київ : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).