

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

«Допущено до захисту»
Гарант ОПП

Світлана ГУРКОВСЬКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

**на тему «Модернізація процесу огрудкування сирих обкотишів у
технологічній лінії випалювальної машини Lurgi-552 з метою
покращення їх якості»**

Керівник роботи

Олег Бундза

Консультант від
бази практики

Андрій Гавеля

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

Здобувач

Артем Нікітін

Підсумкова оцінка за атестацію			
--------------------------------	--	--	--

Голова ЕК

Микола Петряков

Запоріжжя 2024



ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем
Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
ОПП Комп'ютерне конструювання мехатронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»

Світлана ГУРКОВСЬКА

(прізвище та ініціали)

(підпис)

«12» липня 2024 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Нікітіна Артема Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи (проєкту) Модернізація процесу огрудкування сирих обкотишів у технологічній лінії випалювальної машини Lurgi-552 з метою покращення їх якості

керівник роботи (проєкту) Бундза Олег Зіновійович, кандидат технічних наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 01.07.2024 №162/01.07.2024

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з галузевого машинобудування, автоматизації; методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи за тематикою досліджень; літературні джерела, технологічні інструкції, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області (1.1 Технологія виробництва залізо-рудних обкотишів в умовах ЦВО-2 ГЗК; 1.2 Показники якості сирих обкотишів та чинники, що на неї впливають; 1.3 Основне технологічне обладнання ділянки огрудкування ЦВО-2 ГЗК). 2. Теоретичні дослідження (2.1 Чинники, які впливають на гранулометричний склад сирих обкотишів при їх формуванні на чашовому огрудковувачі; 2.2 Міжнародний досвід регулювання гранулометричного складу сирих залізородних обкотишів при їх виробництві на чашовому огрудковувачі; 2.3 Аналіз можливостей поточної технології виробництва сирих обкотишів в умовах ЦВО-2 ГЗК; 2.4 Обґрунтування необхідності та пропозиція модернізації чашових огрудковувачів ЦВО-2 ГЗК). 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень (3.1 Мета та методи експериментальних досліджень; 3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання; 3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів; висновки). 4. Економічне обґрунтування доцільності впровадження запропонованої системи управління чашовими огрудковувачами. Висновки. Додатки

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу: _____

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх.

Розділ	Консультант (прізвище, ініціали та посада)
1-4	Бундза О.З., доцент кафедри АВЕРС

7. Дата видачі завдання 05 липня 2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи (проєкту)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз предметної області	09.09.2024 – 03.11.2024	
2	Розділ 2. Теоретичні дослідження	04.11.2024 – 10.11.2024	
3	Розділ 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	11.11.2024 – 17.11.2024	
4	Розділ 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	18.11.2024 – 20.11.2024	
5	Висновки, перелік посилань, вступ, зміст, реферат	21.11.2024 – 24.11.2024	
6	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	25.11.2024 – 27.11.2024	
7	Остаточне оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	25.11.2024 – 27.11.2024	
8	Рецензування завершеної роботи.	28.11.2024 – 01.12.2024	
8	Захист	02.12.2024 – 07.12.2024	

Здобувач

(підпис)

Нікітін Артем Анатолійович

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бундза Олег Зіновійович

(прізвище та ініціали)



АНОТАЦІЯ

Нікітін Артем Анатолійович. Модернізація процесу огрудкування сирих обкотишів у технологічній лінії випалювальної машини Lurgi-552 з метою покращення їх якості. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, 2024.

Об'єктом дослідження є процес огрудкування сирих обкотишів з залізородної сировини в умовах ЦВО-2 одного з ГЗК України (далі - ГЗК).

Предметом дослідження є закономірності впливу таких параметрів роботи чашового огрудковувача як швидкість обертання та кут нахилу чаші на гранулометричний склад сирих залізородних обкотишів.

Основною метою дослідження є впровадження автоматизованих систем керування параметрами чашового огрудковувача, що дозволяє забезпечити стабільний гранулометричний склад сирих окатишів, підвищуючи їх механічну міцність та відповідність металургійним стандартам.

У першому розділі проведено детальний аналіз предметної області, зокрема розглянуто технологічні аспекти виробництва окатишів в умовах ЦВО-2 ГЗК.

У другому розділі визначені чинники, які впливають на якість і однорідність гранулометричного складу, а також сучасні методи контролю та регулювання технологічних параметрів огрудковувачів. Значну увагу приділено міжнародному досвіду та інноваційним технологіям у сфері автоматизованого управління процесом огрудкування, включаючи застосування датчиків вологості, механізмів регулювання нахилу та швидкості обертання чашових огрудковувачів.

У третьому розділі наведено методику експериментальних досліджень, наведено опис засобів та принципів обробки результатів експерименту.

У четвертому розділі відповідними розрахунками підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої модернізації чашових огрудковувачів.

ЧАШОВИЙ ОГРУДКОВУВАЧ, ОБКОТИШ, ГРАНУЛОМЕТРИЧНИЙ СКЛАД, ШИХТА, ВОЛОГА, ШВИДКІСТЬ ОБЕРТАННЯ, КУТ НАХИЛУ



ЗМІСТ

1	АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	9
1.1	Технологія виробництва залізо-рудних обкотишів в умовах ЦВО-2 ГЗК	9
1.1.1	Дільниця приймання та складування шихтових матеріалів	9
1.1.2	Дільниця подрібнення вапняку, бентоніту та продукту повертання	11
1.1.3	Дільниця дозування компонентів шихти	13
1.1.4	Дільниця огрудкування	15
1.1.5	Випалювальна машина.....	16
1.1.6	Дільниця класифікації, транспортування, складування та відвантаження готової продукції.....	17
1.2	Показники якості сирих обкотишів та чинники, що на неї впливають	18
1.3	Основне технологічне обладнання ділянки огрудкування ЦВО-2 ПРАТ ГЗК.....	20
2	ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	22
2.1	Чинники, які впливають на гранулометричний склад сирих обкотишів при їх формуванні на чашовому огрудковувачі	22
2.2	Міжнародний досвід регулювання гранулометричного складу сирих залізорудних обкотишів при їх виробництві на чашовому огрудковувачі	23
2.3	Аналіз можливостей поточної технології виробництва сирих обкотишів в умовах ЦВО-2 ГЗК.....	25
2.4	Обґрунтування необхідності та пропозиція модернізації чашових огрудковувачів ЦВО-2 ГЗК	26
3	ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
3.1	Мета та методи експериментальних досліджень	32
3.2	Перелік використаної апаратури, обладнання	33
3.3	Результати досліджень із аналізом отриманих результатів	33
3.4	Висновки та практичні аспекти модернізації чашового огрудковувача	40
3.4.1	Вимірювання вологості шихти	40



3.4.2	Регулювання швидкості обертання чаші огрудковувача.....	43
3.4.3	Зміна кута нахилу чаші огрудковувача.....	45
3.4.4	Система контролю гранулометричного складу сирих обкотишів на основі машинного зору	46
4	ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЧАШОВИМИ ОГРУДКОВУВАЧАМИ.....	48
	ВИСНОВКИ	52
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53



ВСТУП

Безперервне зростання обсягу виробництва чорних металів, що супроводжується зростанням частки окускованої сировини в шихті доменних печей, неможливе без інтенсифікації виробництва та підвищення якості окускованого продукту. Збільшення обсягу виробництва обкотишів досягається шляхом введення в експлуатацію нових потужностей, а також за рахунок підвищення питомої продуктивності чинного обладнання і, зокрема, випалювальних конвеєрних машин.

Зростання питомої продуктивності випалювальних машин можливе як за рахунок інтенсифікації нагрівання шару, так і за рахунок підвищення якості вихідних обкотишів, а, отже, і збільшення виходу придатного продукту [1].

Раніше кускові руди були основним джерелом заліза у виробничому процесі. Однак через активну гірничодобувну діяльність багатьох корпорацій запаси високоякісної кускової руди з часом швидко скорочуються. Металургійна промисловість стурбована обмеженістю доступності високоякісної кускової руди, оскільки стає все важче знайти достатню кількість кускової руди для безпосереднього використання в доменних печах.


Крім того, процес агломерації, який застосовується при використанні кускової руди, виробляє більше забруднень, ніж процес огрудкування, тому великі сталеліварні компанії вважають за краще використовувати залізородні обкотиші в якості сировини для доменної печі, а не кускову руду. Внаслідок цих причин попит на залізородні обкотиші розширюється.

Крім того, прогнозується, що попит на сталь зростатиме у всьому світі, оскільки будівельна галузь зростає одночасно із зростанням індустріалізації. Прогнозується, що світовий ринок залізородних обкотишів зростатиме одночасно зі зростанням сталеліварного сектора [2].

Також постійне зростання попиту на залізну руду призводить до необхідності розробки навіть неякісних родовищ. Це, в свою чергу, висуває особливі умови до процесу збагачення таких руд. Виробництво обкотишів є одним з ключових етапів цього процесу, також воно є проміжною ланкою між етапом збагачення залізних руд та металургійним виробництвом.

Також, сьогодні застосування технологій з виробництва заліза прямого відновлення (ЗПВ) в основному у вигляді металізованих обкотишів (DRI) або гарячебрикетованого заліза (HBI), вважається одним з найперспективніших напрямів для ефективного розвитку світової металургії.

Використання DRI або HBI при виплавці сталі в електродугових печах дозволяє виробляти найбільш високоякісний, чистий по шкідливих домішках метал, придатний для використання не тільки в стандартних



галузях промисловості, але і в областях, де застосовуються високі технології.

Поточний попит на DRI або HBI невпинно зростає, незважаючи на нестабільність цін, поставок та якість сировини.

Метод прямого відновлення заліза знаходить дедалі більше прибічників у світі. Цей процес дозволяє виключити дорогий доменний переділ, тим самим знизивши сировинні та енергетичні витрати на тлі зростання світових цін на кокс, металобрухт та залізну руду.

Але цей процес накладає особливі, жорсткі вимоги до якості вихідної сировини - залізорудних обкотишів. Тому виробництво обкотишів займає ключову роль у гірничозбагачувальному переділі, а процес сирого огрудкування, як частина технології виробництва обкотишів DR класу, стає одним з найважливіших процесів такого виробництва [1].

Апробація роботи

Результати роботи було апробовано на наступних конференціях:

1. Нікітін А.А., Бундза О.З., Голотюк М.В. Модернізація процесу огрудкування сирих обкотишів у технологічній лінії випалювальної машини LURGI-552 з метою покращення їх якості. *Гірничо-металургійний комплекс: інтеграція бізнесу, технологій та освіти* : тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції MININGMETALTECH 2024, м. Запоріжжя, 28–29 листопада 2024 року. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-135>

2.



1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Технологія виробництва залізо-рудних обкотишів в умовах ЦВО-2 ГЗК

Огрудкування – це процес створення обкотишів із залізної руди. Його мета – отримати частинки потрібної форми й розміру з концентрацією заліза, яка відповідає вимогам для подальшої обробки у доменній печі. Процес включає такі етапи:

- отримання залізорудного концентрату;
- змішування з в'язкими речовинами (наприклад бентонітом) для покращення пластичності і здатності до гранулювання;
- формування обкотишів в спеціальних установках, які створюють округлі гранули (обкотиші);
- після огрудкування обкотиші піддають випалюванню для отримання високої міцності.

Процес випалювання включає:

- сушіння обкотишів, що видаляє зайву вологу;
- нагрівання в печах до високих температур (близько 1200-1300°С) для часткового плавлення та з'єднання частинок руди;
- охолодження, щоб забезпечити кінцеву міцність і стійкість до механічних навантажень.

Мета випалювання – надання обкотишам високої механічної міцності, що важливо для транспортування і завантаження в доменну піч, де обкотиші слугуватимуть основним джерелом заліза для подальшого виробництва сталі.

Ці два процеси мають велике значення для забезпечення якості сировини в сталеливарній промисловості та ефективного використання ресурсів.

1.1.1 Дільниця приймання та складування шихтових матеріалів

Технологічна схема дільниці представлена на рисунку 1.1.

Вапняк і бентоніт в залізничних вагонах подаються на роторний вагоноперекидач ВРС–125, призначений для розвантаження вагонів вантажопідйомністю 60, 93 и 125т (продуктивністю – 1800, 2800, 3125 т/годину). З вагоноперекидача матеріал потрапляє в бункер ємністю 380 м³, звідки пластинчастим живильником ПП-2400 подається на конвеєр КД-1 і транспортується в корпус подрібнення вапняку та бентоніту.

Потім вапняк (бентоніт) через конвеєр КД-3 направляється на конвеєр СИ-1. Вапняк перевантажується на відвальний конвеєр штабелеформуєчої машини, за допомогою якого формується в штабель об'ємом 42200 м³, бентоніт перевантажується в штабель об'ємом 2620 м³ (відкритий склад).

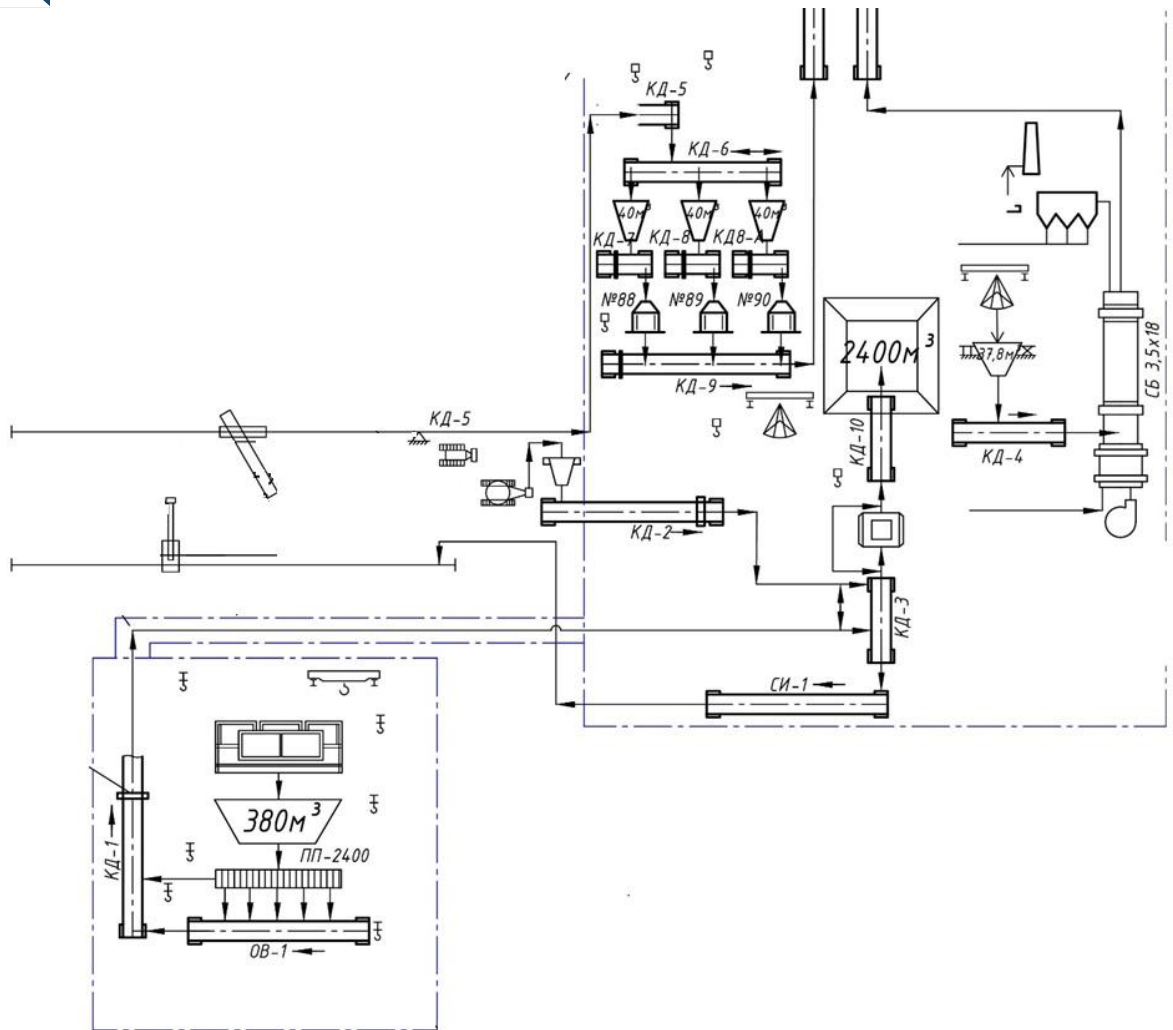


Рисунок 1.1 – Технологічна схема ділянки приймання та складування шихтових матеріалів

Відвантаження вапняку та бентоніту з відкритого складу виконується роторним екскаватором, який переміщується вздовж складу, та подає вапняк на конвеєр КД-5. Потім вапняк перевантажується на реверсивний конвеєр КД-6. При крупності вхідного матеріалу крупністю 0-10 мм вапняк перевантажується по обвідному жолобу на конвеєр КД-9 або реверсується на конвеєр КД-7 та перевантажується на збірний конвеєр КД-9. При крупності вапняку більш ніж 0-10 мм стрічковим живильником КД-8 заповнюють вихідний бункер (об'ємом 40 м^3). З бункеру вапняк надходить на дробарку ДМР 14,5x13. Після молоткової дробарки, подрібнений до крупності 0-10 мм вапняк, розвантажується на збірний конвеєр КД-9 та системою конвеєрів (ПУ-3-1, И-1, И-2) транспортується у вихідні бункера млинових трактів М2, М3, М4, які розташовані в корпусі подрібнення об'ємом $52,4\text{ м}^3$ кожний.

З закритого складу подрібнений бентоніт грейферним краном (об'єм ковша – 5 м^3) подається в бункер (об'єм $57,8\text{ м}^3$) з якого стрічковим конвеєром-живильником КД-4 подається у загрузку сушильного барабана СБ 3,8x18 і сушиться до вологості 10-12%.



1.1.2 Дільниця подрібнення вапняку, бентоніту та продукту повертання.

Технологічна схема дільниці представлена на рисунку 1.2.

Вапняк/бентоніт, крупністю до 10 мм, подається конвеєрним транспортом з корпусу подрібнення вапняку і бентоніту в корпус подрібнення вапняку, бентоніту та продукту повертання, де конвеєрами И-2/Б-2 завантажуються у вихідні бункера 1, 2, 3, 4 млинових трактів М1, М2, М3, М4 (об'ємом 52,4 м³). Процес подрібнення матеріалу в кульових вентиляльованих млинах типу Ш-50А поєднується з процесом сушіння цих матеріалів. Для отримання сушильного агенту на кожен млиновий тракт встановлені топкові газові агрегати.

Транспортування матеріалу з витратних млинових бункерів №1, 2, 3, 4 в витратні бункера відділення дозування здійснюється самостійними системами пневмотранспорту.

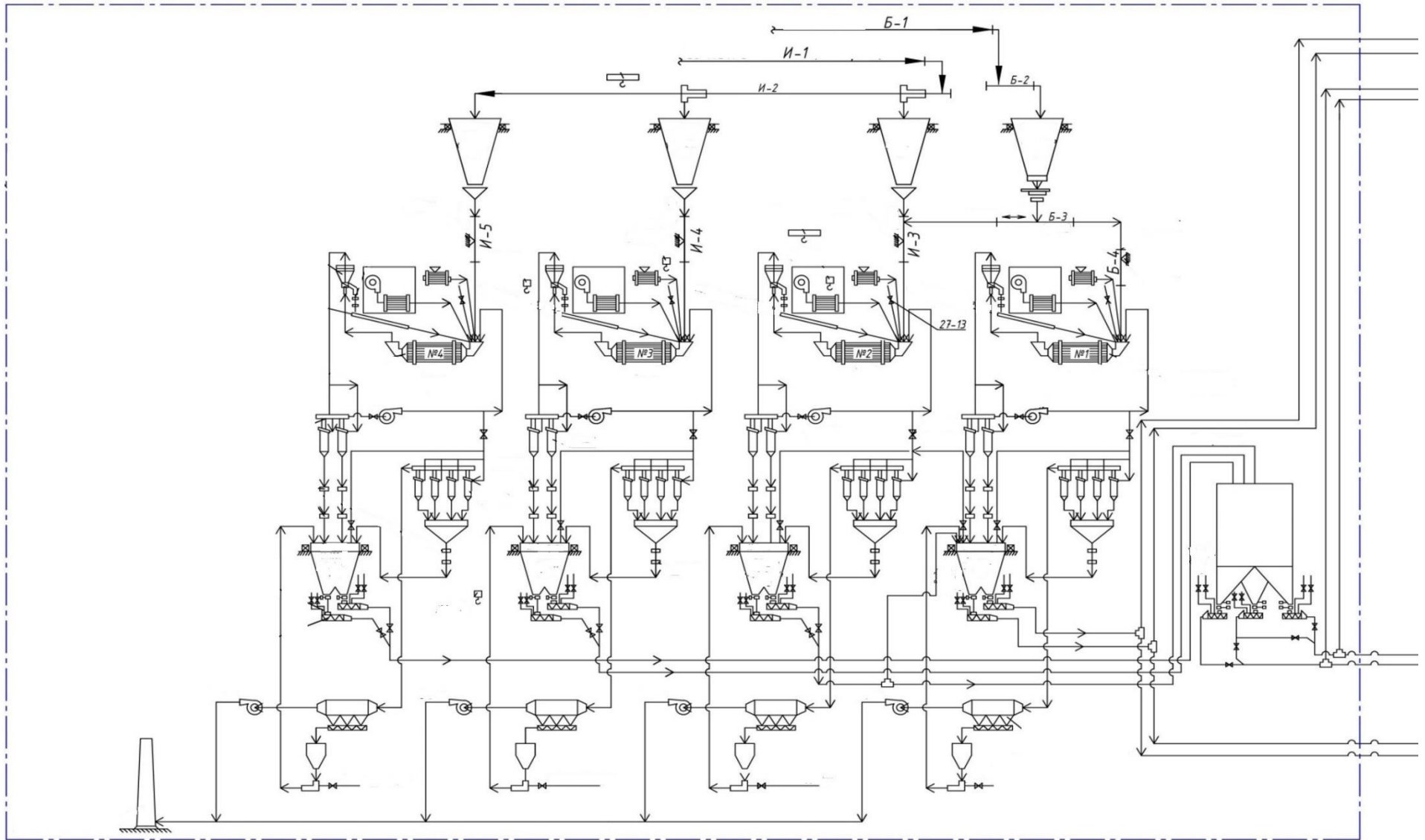


Рисунок 1.2 – Технологічна схема дільниці подрібнення вапняку, бентоніту та продукту повертання



1.1.3 Дільниця дозування компонентів шихти

Технологічна схема дільниці представлена на рисунку 1.3.

Основним призначенням дозування є забезпечення отримання обкотишів заданої якості з постійними фізико-хімічними властивостями, яке досягається правильним розрахунком компонентів шихти, суровим дотриманням цього співвідношення при дозуванні та ефективному змішуванні компонентів. Точність дозування шихтових матеріалів та однорідність шихти залежить від якості концентрату, вапняку та бентоніту, а також від технічного стану дозувального обладнання, систем автоматичного регулювання та контрольно-вимірювальних приладів.

Магнетитовий концентрат з РЗФ-2 подається конвеєрами ОК-1, ОК-2. За допомогою реверсивного конвеєра АГ1.002 концентрат вибірково подається в один з двох бункерів концентрату, об'ємом 400 м³ кожен. З бункерів концентрат видається тарілчастими живильниками.

Кожен живильник має два скидача та завантажує два паралельно розташованих конвеєра, відповідно, по лініям, АГ1.013, АГ1.014 та ВГ1.013, ВГ1.014.

Далі концентрат транспортується на конвеєра АГ1.017(ВГ1.017) і АГ1.018 (ВГ1.018). На кожному з цих конвеєрів встановлені однороликові стрічкові ваги, призначені для зважування концентрату. В залежності від ваги концентрату додається бентоніт і вапняк в заданому співвідношенні системою автоматичного дозування.

Подрібнений вапняк подається пневмотранспортом в бункера вапняку АГ1.007 (ВГ1.007) та АГ1.030 (ВГ1.030). Бункера мають два випуска, під кожним встановлені вагодозатори.

Подрібнений бентоніт пневмотранспортом подається в бункера АГ1.010 (ВГ1.010), АГ1.033(ВГ1.033), АГ1.007(ВГ1.007) та АГ1.030 (ВГ1.030). Бункера мають два випуска, під кожним встановлені вагодозатори.

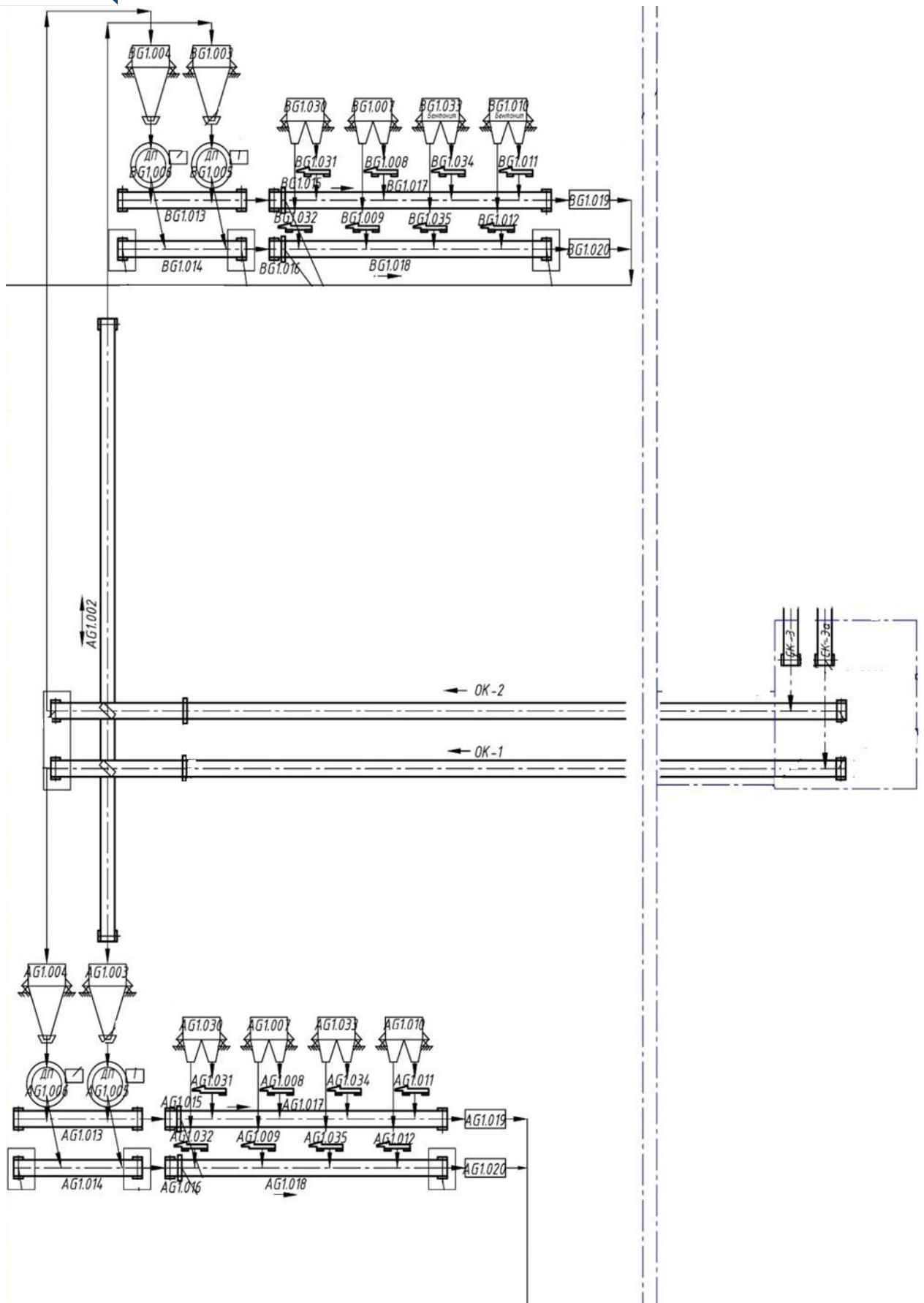


Рисунок 1.3 - Технологічна схема ділянки дозування компонентів ШИХТИ

Подрібнений продукт повертання подається пневмотранспортом в бункера AG1.007(BG1.007) и AG1.030 (BG1.030). При спільному подрібненні продукту повертання та бентоніту матеріал подається пневмотранспортом в бункера AG1.030 (BG1.030).

Шихта з відділення дозування шихтових матеріалів надходить на конвеєр AG(BG)1.021, а потім послідовно перевантажується на конвеєр AG(BG)1.022, 1.023, 1.024. Конвеєр AG(BG)1.024 оснащений шістьма автоматичними плужковими скидачами AG(BG)1.025, 1.026, 1.027, 1.028, 1.029, 1.036, за допомогою яких та через головну станцію цього конвеєра, завантажуються шихтою 7 бункерів AG(BG)2.001, 2.006, 2.011, 2.016, 2.021, 2.026, 2.045 об'ємом 45м³ кожен.

1.1.4 Дільниця огрудкування

Технологічна схема дільниці представлена на рисунку 1.4.

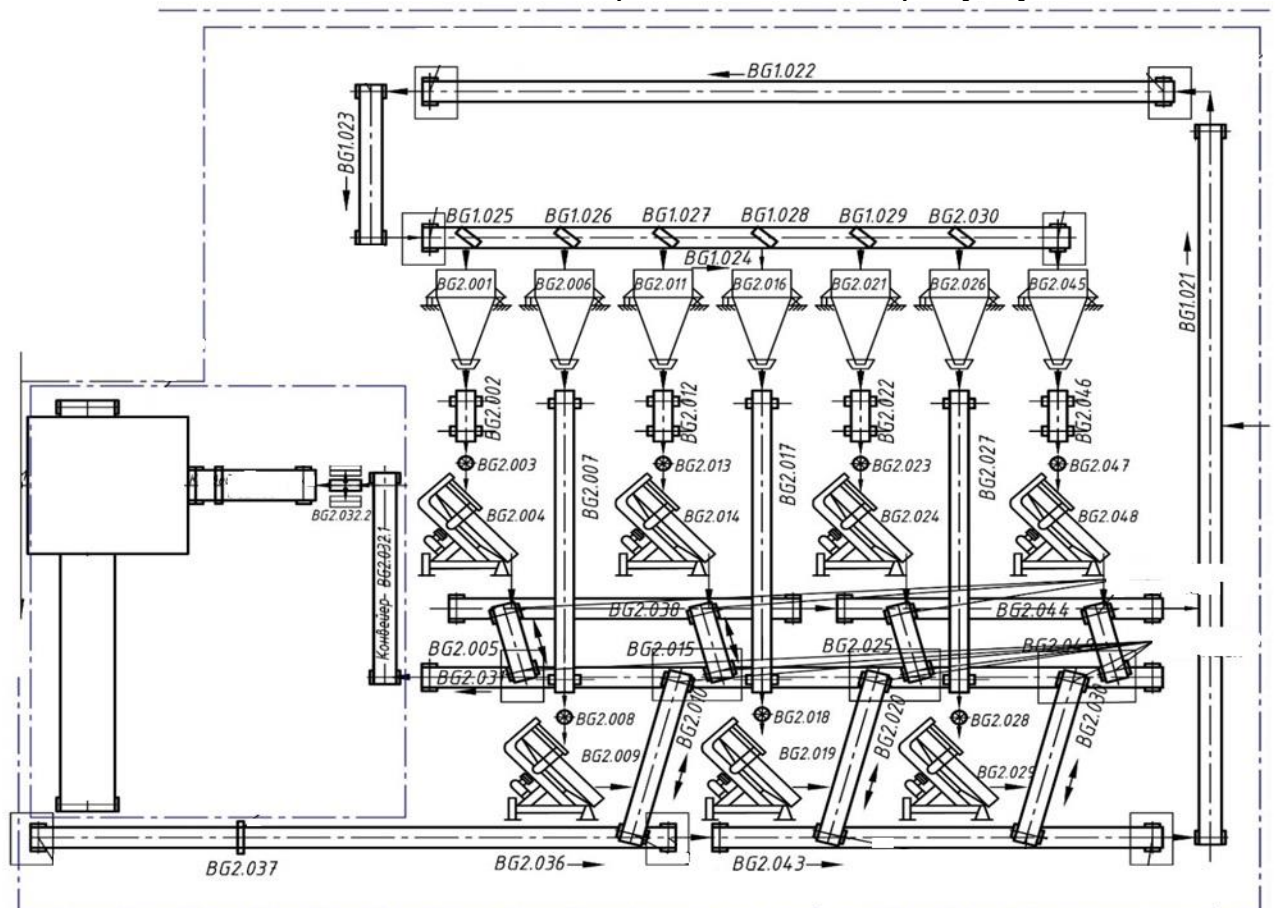



Рисунок 1.4 - Технологічна схема дільниці огрудкування

Виробництво сирих обкотишів здійснюється 7-ма чашевими огрудковувачами AG/BG2.004, 2.009, 2.014, 2.019, 2.024, 2.029, 2.048. з бункерами шихти. Номінальна продуктивність чашевого огрудковувача 91 т/год. Допускається підвищення продуктивності чашевого огрудковувача до 113 т/год за умови, що в роботі знаходяться 6 чашевих огрудковувачів, а один в резерві. Мінімально допустиме навантаження на



чашевий огрудковувач допускається у виключних випадках для стабілізації гранулометричного складу, але не менше 71 т/год.

Шихта з бункеру (наприклад AG(BG)2.001) за допомогою стрічкового дозатору AG(BG)2.002 завантажується в чашевий огрудковувач AG(BG)2.004.

Сирі обкотиші виробляються за рахунок обертання огрудковувача. Отримані сирі обкотиші через реверсивний конвеєр AG(BG)2.005 розвантажуються на збірковий конвеєр AG(BG)2.031. При наладці чашевого огрудковувача, а також при виробництві сирих обкотишів незадовільної якості, конвеєр AG(BG)2.005 дає можливість шляхом його реверсу повертати некондиційні обкотиші по конвеєрам AG(BG)2.038, 2.044 на конвеєр AG(BG)1.021 та далі в шихтові бункера. Сирі обкотиші з збірного конвеєра AG(BG)2.031 надходять на конвеєр AG(BG) 2.032 та далі через челноковий укладальник сирі обкотиші рівномірно укладаються по всій ширині конвеєра AG(BG)2.033. На конвеєрі AG(BG)2.033 встановлені однороликові стрічкові ваги AG(BG)2.034, за допомогою яких реєструється загальна кількість сирих обкотишів, відбувається управління швидкістю випалювальної машини. Далі сирі обкотиші транспортуються на 2-х дечний роликовий грохот-укладальник AG(BG)3.005, на якому відбувається відсіювання сирих обкотишів розміром -9 мм. та 16+ мм. Крім цього, роликовий грохот забезпечує подачу обкотишів на випалювальну машину. Відсіяний на роликовому грохоті продукт по конвеєрам AG(BG)2.035, 2.036, 2.043 направляється на конвеєр AG(BG)1.021 та далі в шихтові бункера чашевих огрудковувачів.

1.1.5 Випалювальна машина

Схематично випалювальна машина зображена на рисунку 1.5.

Випалювальна машина є безперервним цепним конвеєром, який складається з 208 випалювальних візків шириною 4 метри. Випалювальна машина має корисну площу спікання 552 м². Корисна площа випалювальної машини розподілена на окремі технологічні зони, в яких створюються певні температурні та газо-повітряні режими, що забезпечують фізико-хімічні перетворення в обкотишах.

Сирі обкотиші на випалювальній машині піддаються сушінню (продувом і прососом), нагріванню, випалюванню, охолодженню. В процесі їх теплової обробки в обкотишах відбуваються наступні фізико-хімічні процеси:

- видалення вологи;
- дисоціація карбонатів;
- твердофазне спікання рудних зерен;
- утворення феритів кальцію та магнію, плавлення силікатів і феритів, залучення в розплав кварцу;
- часткова рекристалізація дрібних рудних зерен, охолодження шлакового розплаву з формуванням кінцевих продуктів нового фазового складу та структури.

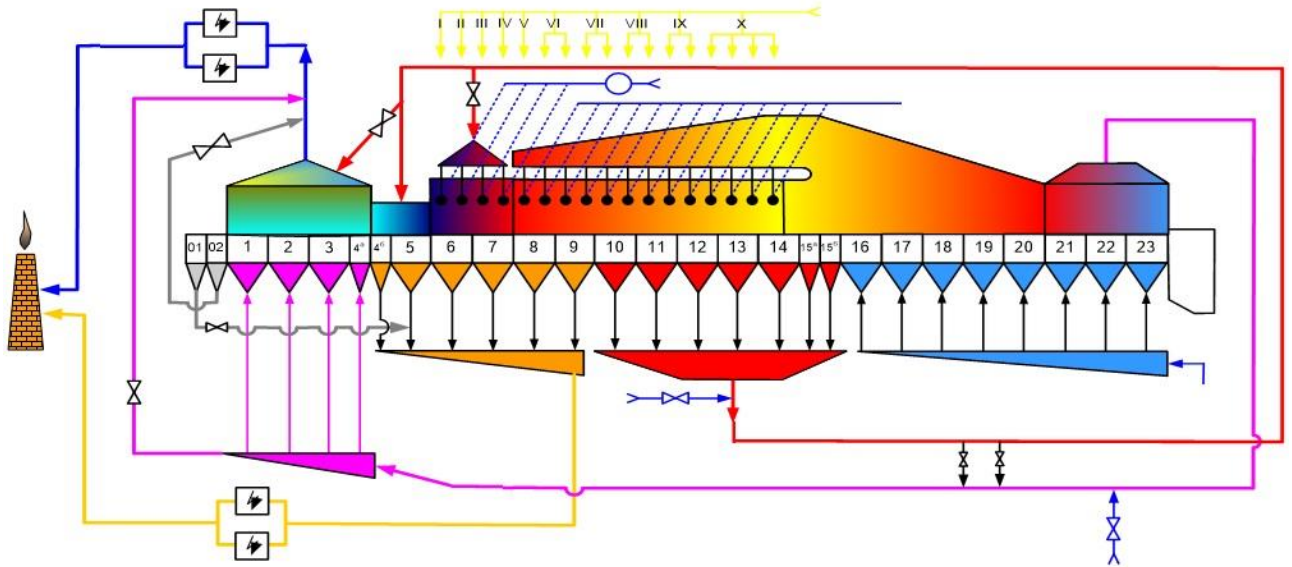


Рисунок 1.5 – Випалювальна машина

В результаті спікання рудних зерен і формування шлакової зв'язки відбувається ущільнення обкотиша та його усадка. В результаті перерахованих вище прикладів при термообробці обкотиші набувають необхідних металургійних властивостей.

1.1.6 Дільниця класифікації, транспортування, складування та відвантаження готової продукції.

Технологічна схема дільниці представлена на рисунку 1.6.

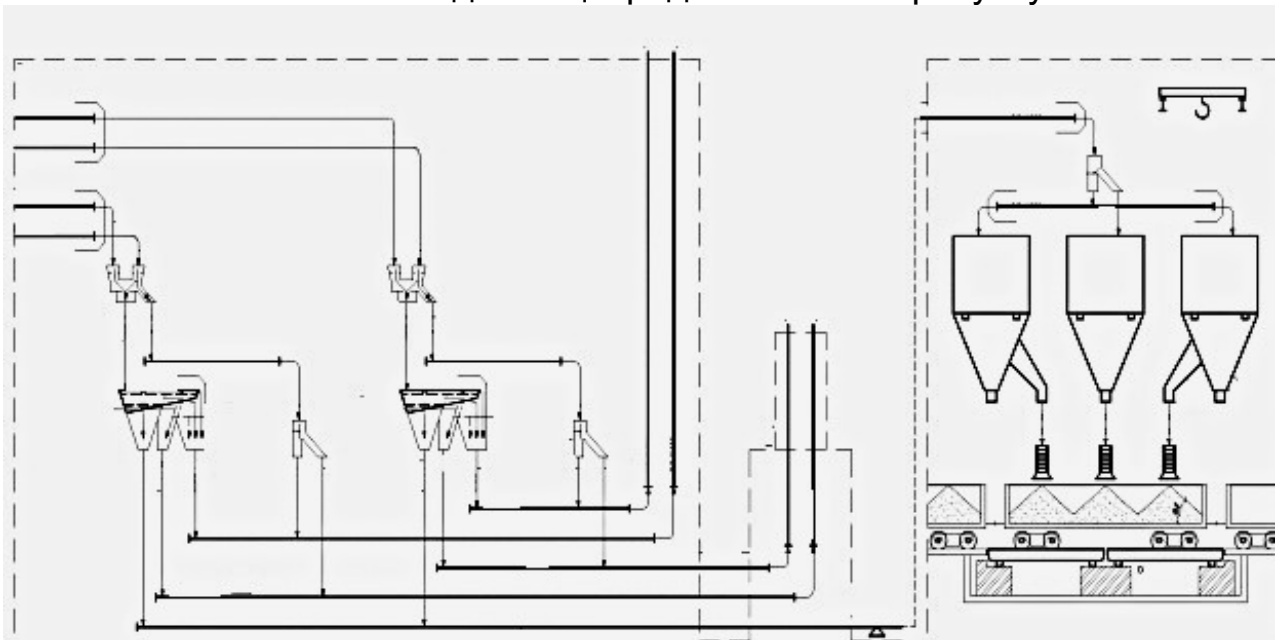


Рисунок 1.6 - Технологічна схема дільниці класифікації, транспортування, складування та відвантаження готової продукції

Система транспортування готового продукту складається з одного розвантажувального бункера AG(BG)3.008 (бункер вирівнювання температур) з двома розвантажувальними шиберами, що



переставляються вручну, та двома розвантажувальними воронками AG(BG)6.008 і AG(BG)6.007.

При нормальній роботі розвантаження матеріалу виконується на один з конвеєрів AG(BG)6.003 або 6.004 по одній з двох розвантажувальних воронок. Далі при роботі по основному тракту випалений обкотиш надходить на трьохпродуктовий двудечний вібраційний грохот AG(BG)6.005 на якому відбувається розподілення обкотишів на ситах по класам крупності на три потоки: обкотиш готового класу (10-16 мм), обкотиш для постілі та бокового захисту випалювальних машин (+6,3 – 25 мм.) та дріб'язок обкотишів (0-6,3 мм).

Обкотиші для постілі та бокового захисту випалювальних машин надходять на конвеєр AG(BG)7.001 та по ланці стрічкових конвеєрів AG(BG)7.002, AG(BG)7.003, в бункер для зберігання обкотишів для донної та бортової постелі AG(BG)7.004.

Дріб'язок обкотишів після відсіву, по розвантажувальним вузлам транспортується по конвеєрам CG7.005, CG7.009. Контроль обсягу транспортованого дріб'язку обкотишів здійснюється конвеєрними вагами CG7.006.

Обкотиші готового класу надходять на конвеєра AG(BG)8.001, 8.003, 8.005. Конвеєр AG(BG)8.005 є реверсивним для транспортування обкотишів на конвеєр CG 8.006 та CG8.007 на склад готової продукції чи по конвеєрам CG8.014 та CG8.012 безпосередньо в вагони через бункер відвантаження. Зі складу готової продукції обкотиші завантажуються роторним забірником CG8.008 та конвеєрами CG8.010 і CG8.011, CG8.014 і CG8.012 направляються в бункер відвантаження.

1.2 Показники якості сирих обкотишів та чинники, що на неї впливають

Основні показники якості сирих залізородних обкотишів, що впливають на їхню придатність для подальшої металургійної переробки, включають такі характеристики [4]:

- механічна міцність (визначає здатність сирих обкотишів витримувати механічні навантаження при транспортуванні);
- хімічний склад (чим вищий вміст заліза, тим цінніші обкотиші для металургії);
- вміст шкідливих домішок, таких як сірка і фосфор, які негативно впливають на якість сталі. Їхня концентрація повинна бути мінімальною;
- вологість (важливий показник, оскільки надмірна вологість може ускладнювати транспортування сирих обкотишів і впливати на процеси сушіння та випалу у випалювальній машині);
- щільність та пористість (висока щільність і низька пористість обкотишів забезпечують ефективне використання об'єму доменної печі і сприяють кращому проходженню відновлювальних газів у процесі виплавки);



- гранулометричний склад (розмір обкотишів має бути однорідним, що забезпечує рівномірне прогрівання та відновлення заліза в доменних печах. Оптимальний розмір обкотишів варіюється в межах 10 – 16 мм).

Ці показники дозволяють оцінити якість сирих залізорудних обкотишів для забезпечення ефективності металургійного виробництва, зниження витрат на переробку та підвищення якості кінцевої продукції.

На якість сирих залізорудних обкотишів впливає низка важливих чинників, від яких залежить міцність, рівномірність і склад продукту. Вони визначають якість кінцевих обкотишів та їхню придатність для подальших технологічних процесів.

Основні чинники можна поділити на три групи [5]:

1) сировинні чинники:

- якість залізорудного концентрату. Рівень вмісту заліза у вихідному матеріалі суттєво впливає на якість обкотишів;

- розмір частинок концентрату. Дрібний концентрат дозволяє створювати щільніші обкотиші;

- хімічний склад. Домішки (наприклад, кремнезем, фосфор, сірка) можуть впливати на якість обкотишів, знижуючи міцність або погіршуючи їхню плавкість;

- вологість. Оптимальний рівень вологості концентрату сприяє формуванню якісних обкотишів. Занадто висока або занадто низька вологість може негативно вплинути на процес агломерації.

2) технологічні чинники:

- співвідношення компонентів. Використання зв'язувальних речовин (наприклад, бентоніту або вапняку) забезпечує формування і міцність обкотишів. Правильний вибір і дозування цих компонентів впливає на загальну якість;

- методи змішування. Рівномірне змішування компонентів забезпечує однорідний склад обкотишів, що важливо для їх міцності та стійкості під час транспортування;

- Швидкість формування. Надто швидке формування може призводити до нерівномірності обкотишів. Оптимальна швидкість забезпечує однорідний розмір і форму гранул.

3) параметри обладнання:

- конструкція та налаштування огрудковувачів. Характеристики устаткування, як-от діаметр і швидкість обертання диска або барабана, впливають на розмір і однорідність обкотишів;

- стабільність параметрів процесу. Точне регулювання швидкості подачі сировини, вологості та швидкості формування дозволяє отримати продукт високої якості без зайвих витрат.

Контроль цих чинників допомагає покращити якість сирих залізорудних обкотишів та забезпечити їхню відповідність вимогам металургійної промисловості.



1.3 Основне технологічне обладнання ділянки огрудкування ЦВО-2 ГЗК

На ділянці огрудкування встановлено сім чашових огрудковувачів діаметром 7500 мм., за допомогою яких відбувається огрудкування залізорудної шихти.

На рисунку 1.7 представлений загальний вид встановлених огрудковувачів.

Встановлені чашові огрудковувачі мають наступні технічні характеристики:

- діаметр чаші - 7500 мм;
- продуктивність - 91-113 т/год;
- потужність електродвигуна - 132кВт;
- висота борту чашевого огрудковувача - 650 мм;
- кут нахилу чаші- 45-55° (можливість регулювання тільки при технічному обслуговуванні);
- частота обертів чаші- 7об/хв (можливість регулювання тільки при технічному обслуговуванні шляхом зміни шківа пасової передачі);
- маса - 56т.

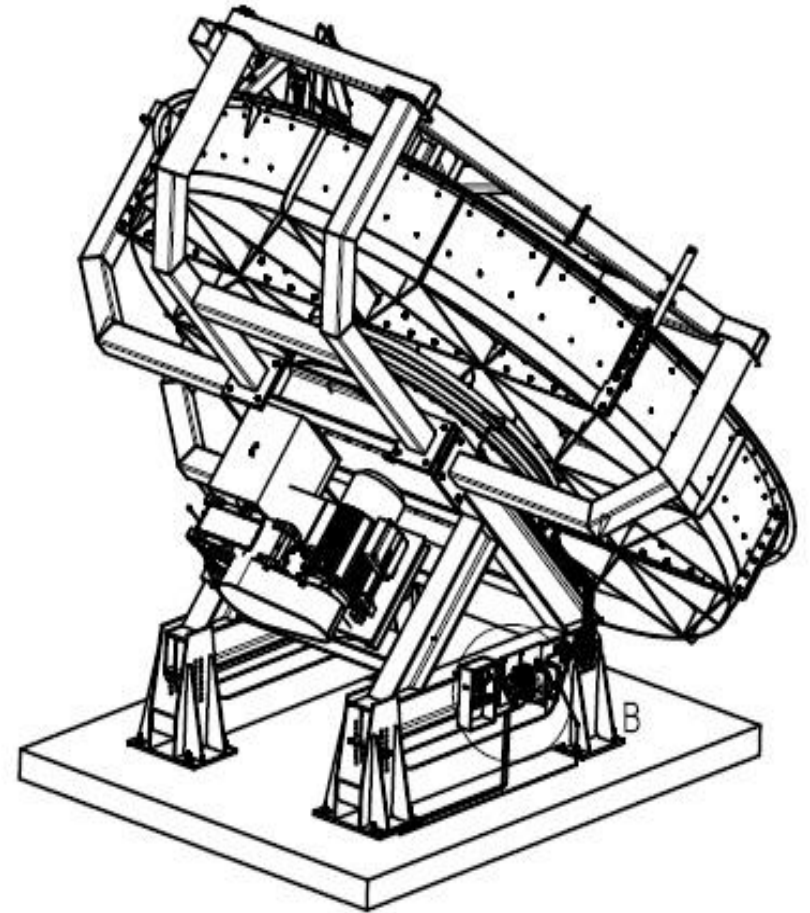
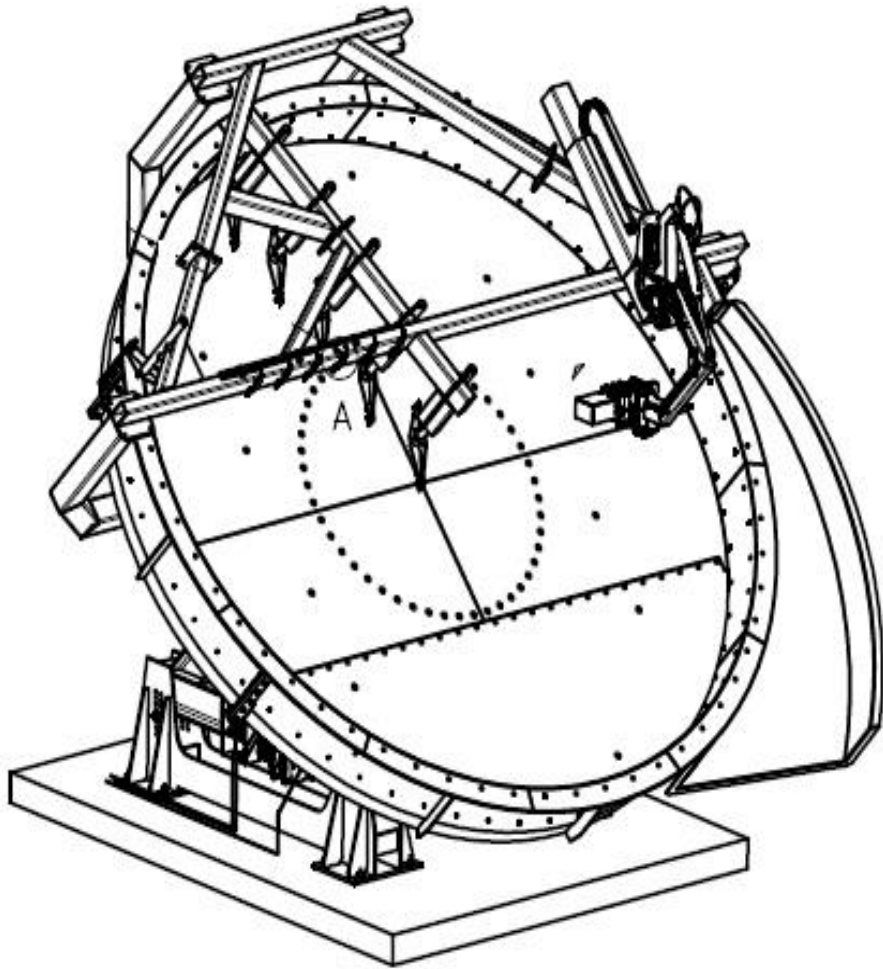


Рисунок 1.7 –Загального вид чашевого огрудковувача



2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Чинники, які впливають на гранулометричний склад сирих обкотишів при їх формуванні на чашовому огрудковувачі

Підготовка сировини, зокрема огрудкування руд та концентратів, має важливе значення для металургійного виробництва, оскільки суттєво покращує роботу доменних печей. Крім того, необхідність огрудкування сировини обумовлена тим, що при механізованому видобутку, дробленні та глибокому його збагаченні утворюється багато дрібниць. Безпосереднє використання тонкоподрібнених продуктів у промисловості ускладнює нормальну експлуатацію агрегатів [5].


З погляду подальшої обробки сирих обкотишів, надзвичайно важливим є їх гранулометричний склад. Як правило, кращими показниками є сферична форма обкотишів та вузький діапазон коливань розмірів. Як відомо, якість випалених обкотишів визначається насамперед якістю шару сирих обкотишів на випалювальній машині. Час перебігу фізико-хімічних процесів при термічній обробці обкотишів (а значить і механічні властивості) залежить від їх розміру. Шар, сформований з однорідних по гранулометричному складу обкотишів, має досить високу порізність, що забезпечує ефективну термічну обробку обкотишів і отримання високих показників якості готового продукту [5].

Таким чином, однією з найважливіших технологічних операцій при виробництві залізородних обкотишів є процес грануляції, який здійснюється на чашовому огрудковувачі. А головне завдання виробництва сирих обкотишів - оптимізація їх гранулометричного складу.

На гранулометричний склад сирих обкотишів при їх гранулюванні в чашовому огрудковувачі значний вплив мають наступні чинники [7]:

- подача води в чашу. При регулюванні процесу огрудкування подачею води в чашу, необхідно знати найбільш ефективні ділянки подачі води в чашевий огрудковувач для отримання обкотишів заданої крупності. Для отримання зародків обкотишів воду потрібно розпорошувати рівномірно, нижче місця подачі шихти у чашу. Для збільшення крупності обкотишів воду потрібно розпилювати на обкотиші в точці початку їх зкатування до низу;

- зміна куту нахилу чашевого огрудковувача. При малому куту нахилу зменшується рухомість огрудковуваного матеріалу, що призведе до появи безформних комків, мілких обкотишів та необкатаної шихти. Зі збільшенням куту нахилу, поліпшується рухомість матеріалу та якість видаваних з чашевого огрудковувача обкотишів, збільшується рівномірність гранулометричного складу та міцність. По мірі подальшого збільшення куту нахилу середній діаметр обкотишів буде менший. При надмірному збільшенні куту нахилу, рух матеріалу в чаші переходить з режиму перекачування в водоспадний режим та огрудкування не відбувається. Кут нахилу змінюється з метою зменшення чи збільшення



часу обкатування матеріалу з урахуванням забезпечення необхідної інтенсивності накатування шихти. Наприклад, якщо на огрудкування надходить шихта підвищеної вологості, і обкотиші швидко утворюються, потрібно зменшити час накатування шихти в чаші, для цього потрібно збільшити кут нахилу і навпаки, якщо на огрудкування надходить шихта з низькою вологістю - потрібно зменшити кут нахилу;

- зміна числа обертів. Кожному куту нахилу чашевого огрудковувача та вологості шихти відповідає оптимальне число обертів чаші. При малих обертах чаші шихта в ній здійснюється на невелику висоту та перекачується на меншій частині днища, при цьому ріст зародків уповільнюється і з чаші виходять дрібні обкотиші. При збільшенні числа обертів зростають відцентрові сили, що притискають матеріал до дна та борту, від чого він здійснюється на більшу висоту, перекачування відбувається на більшій частині днища, крупність та міцність обкотишів зростає.

2.2 Міжнародний досвід регулювання гранулометричного складу сирих залізородних обкотишів при їх виробництві на чашовому огрудковувачі

Забезпечення стабільності гранулометричного складу сирих залізородних обкотишів є ключовим фактором для підвищення ефективності подальших процесів обробки та якості кінцевого продукту. У світовій практиці застосовуються різні технологічні рішення та методи для контролю та регулювання гранулометричного складу під час виробництва на чашових огрудковувачах. Нижче наведено основні підходи та міжнародний досвід у цій галузі:

1) автоматизація та системи контролю процесу:

- онлайн-моніторинг. Використання сучасних датчиків та систем машинного зору дозволяє в режимі реального часу контролювати розмір та форму обкотишів;

- програмовані логічні контролери (PLC). Автоматизовані системи управління регулюють параметри процесу на основі даних від датчиків, забезпечуючи стабільність гранулометричного складу.

Приклад: компанія Vale (Бразилія) впровадила систему онлайн-моніторингу, яка дозволила зменшити відхилення в гранулометричному складі на 15% [8].

2) оптимізація технологічних параметрів:

- регулювання швидкості обертання чаші. Зміна швидкості впливає на час перебування матеріалу в зоні агломерації та на формування обкотишів потрібного розміру;

- контроль вологості сировини. Оптимальний рівень вологості сприяє кращому злипанню часток та формуванню однорідних обкотишів.

Приклад: шведська компанія LKAB успішно застосувала оптимізацію вологості сировини, що призвело до покращення якості обкотишів і зниження енергоспоживання [9].



3) використання в'язучих матеріалів та добавок:

- бентоніт та органічні в'язучі. Додавання в'язучих речовин покращує агломерацію дрібних часток, сприяючи формуванню міцних обкотишів.

- добавки для регулювання поверхневого натягу. Допомагають у рівномірному розподілі часток та стабілізації гранулометричного складу.

Приклад: японські виробники застосовують спеціальні органічні добавки, які покращують міцність сирих обкотишів і зменшують кількість відходів.

4) модернізація обладнання:

- поліпшення конструкції чашових огрудковувачів. Використання сучасних матеріалів та оптимізованих геометричних форм для покращення процесу огрудкування.

- додаткові пристрої. Встановлення лопаток, дефлекторів або розпилювачів для рівномірного розподілу сировини та води.

Приклад: австралійська компанія ВНР модернізувала свої огрудковувачі, що дозволило підвищити продуктивність на 10% та покращити контроль гранулометричного складу [10].

5) використання комп'ютерного моделювання та симуляцій:

- симуляція процесів. Моделювання динаміки часток у чашовому огрудковувачі для оптимізації параметрів виробництва.

- аналіз даних. Застосування алгоритмів машинного навчання для прогнозування та регулювання гранулометричного складу.

Приклад: компанія Rio Tinto використовує штучний інтелект для аналізу даних виробництва, що дозволило знизити варіацію в розмірі обкотишів на 20% [11].

6) навчання та підвищення кваліфікації персоналу:

- регулярні тренінги. Підготовка персоналу до роботи з новітніми технологіями та методами контролю якості.

- обмін досвідом. Участь у міжнародних конференціях та співпраця з іншими компаніями для впровадження передових практик.

Приклад: європейські виробники часто організують спільні семінари та тренінги для обміну знаннями щодо оптимізації процесів огрудкування.

7) попередня обробка сировини:

- класифікація та сортування. Видалення надто дрібних або великих часток перед огрудкуванням для забезпечення однорідності сировини.

- дроблення та подрібнення. Регулювання розміру часток сировини для досягнення оптимального гранулометричного складу.

Приклад: китайські підприємства активно впроваджують системи попередньої класифікації сировини, що підвищує ефективність огрудкування.

Гірничодобувні підприємства Австралії, відомі своїми передовими технологіями в галузі металургії та мінеральної обробки, активно



впроваджують автоматизовані системи управління та сенсорні технології для контролю гранулометричного складу.

Велика металургійна промисловість Китаю використовує комбіновані методи дроблення та класифікації разом із сучасними алгоритмами управління для підтримки стабільності обкотишів.


Підприємства Бразилії впроваджують інноваційні матеріали та добавки для покращення дисперсії руди, а також активно використовують комп'ютерне моделювання для оптимізації процесів.

Міжнародний досвід демонструє, що комплексний підхід до регулювання гранулометричного складу сирих залізородних обкотишів, який включає технологічні інновації, автоматизацію, модернізацію обладнання та підвищення кваліфікації персоналу, є найефективнішим. Впровадження цих методів дозволяє забезпечити стабільність якості продукції, підвищити продуктивність та знизити витрати на виробництво.

2.3 Аналіз можливостей поточної технології виробництва сирих обкотишів в умовах ЦВО-2 ГЗК

Шихта різної вологості має різну ступінь комкуємості. При низькій вологості шихти будуть утворюватися дрібні обкотиші, а при підвищеній вологості, навпаки, будуть скоріше утворюватися великі обкотиші. В обох випадках обкотиші виходять не якісними. При оптимальній вологості та відповідному часу огрудкування будуть отримуватися обкотиші потрібної фракції та якості. Від часу накатування шихтового матеріалу в чаші залежить крупність обкотишів, їх міцність та рівномірність гранулометричного складу. При малому часу огрудкування - обкотиші виходять дрібні, а при занадто великому часу накатування, навпаки крупні. В обох випадках не якісні. Тому, потрібно підібрати оптимальний час огрудкування для даної вологості, при якій обкотиші матимуть задовільні показники міцності та гранулометричного складу. Час огрудкування та час перебування матеріалу в чаші визначається відношенням ваги матеріалу, що знаходиться одночасно в чаші, до її продуктивності. Так як продуктивність залежить від навантаження на чашу та від числа обертів, а кількість матеріалу від кута нахилу чаші, то потрібно знати, як користуватися цими параметрами в процесі регулювання отримання сирих обкотишів [7].

При низькій якості бентоніту та вапняку, їх в шихту необхідно додавати в більшій кількості, щоб отримати необхідний модуль основності та задану міцність обкотишів, що порушує вже підібраний режим роботи чашевого огрудковувача. Дуже велике значення для процесу огрудкування має клас крупності помолу вапняку та бентоніту. При використанні добавок більш тонкого помолу, вихід придатної фракції обкотишів за інших рівних умов збільшується. З огляду на перераховані вище фактори, які впливають на отримання сирих обкотишів, необхідно підібрати основні оптимальні параметри роботи чашевого огрудковувача (кут нахилу, швидкість обертання, навантаження), щоб вихід придатної



фракції був найбільшим із забезпеченням показників міцності на розчавлення та скидання.

Зі всіх описаних вище способів регулювання гранулометричного складу сирих обкотишів в умовах ЦВО-2 ГЗК є можливість регулювати тільки два параметри, які можуть впливати на цей процес. Перший параметр — це вологість шихти безпосередньо на чашових огрудковувачах, яка регулюється за допомогою встановлених розпилювачів води. Завдяки цьому обладнанню можна забезпечити оптимальну вологість шихти, яка є критично важливою для формування необхідних розмірів обкотишів, але тільки у разі якщо вологість замала. Другий параметр — навантаження чашового огрудковувача, яке контролюється за допомогою стрічкових вагодозаторів, встановлених перед кожним огрудковувачем. Вагодозатори забезпечують точну подачу шихти, що дозволяє регулювати об'єм матеріалу на кожному огрудковувачі, впливаючи на ефективність гранулоутворення і кінцеву якість обкотишів. Але регулювання тільки навантаження чашового огрудковувача в більшості випадків недостатньо для врахування впливу різноманітних змінних факторів, таких як вологість, якість домішок і самого концентрату.

З вищесказаного можна зробити висновок, що сьогодні на ЦВО-2 немає можливості оперативно впливати на якість сирих обкотишів в умовах, коли на ділянку огрудкування поступає сировина з нестабільними властивостями (вологість, якість домішок і самого концентрату). Тобто, проблема оперативної автоматичної зміни параметрів роботи чашового огрудковувача досить актуальна.

2.4 Обґрунтування необхідності та пропозиція модернізації чашових огрудковувачів ЦВО-2 ГЗК

На рисунку 2.1 представлений скріншот з системи моніторингу в режимі реального часу за технологічними параметрами процесу виготовлення обкотишів. На цьому скріншоті видно, що на роликовий грохот перед випалювальною машиною з ділянки огрудкування поступає 749,2 т/год сирих обкотишів. Роликовий грохот в свою чергу повертає назад в технологічний процес 168,3 т/год. некондиційних обкотишів (через невідповідність гранулометричного складу).

Тобто, 22,5% сирих обкотишів мають неналежну якість. Цей процес значно підвищує собівартість кінцевої продукції через додаткові енергетичні витрати. Зворотне переміщення обкотишів до початкових стадій виробництва вимагає повторної обробки, що потребує додаткової енергії для повторного огрудкування, транспортування та сортування матеріалу. Крім того, це впливає на завантаження обладнання, зменшуючи загальну ефективність виробничого процесу та збільшуючи знос техніки.

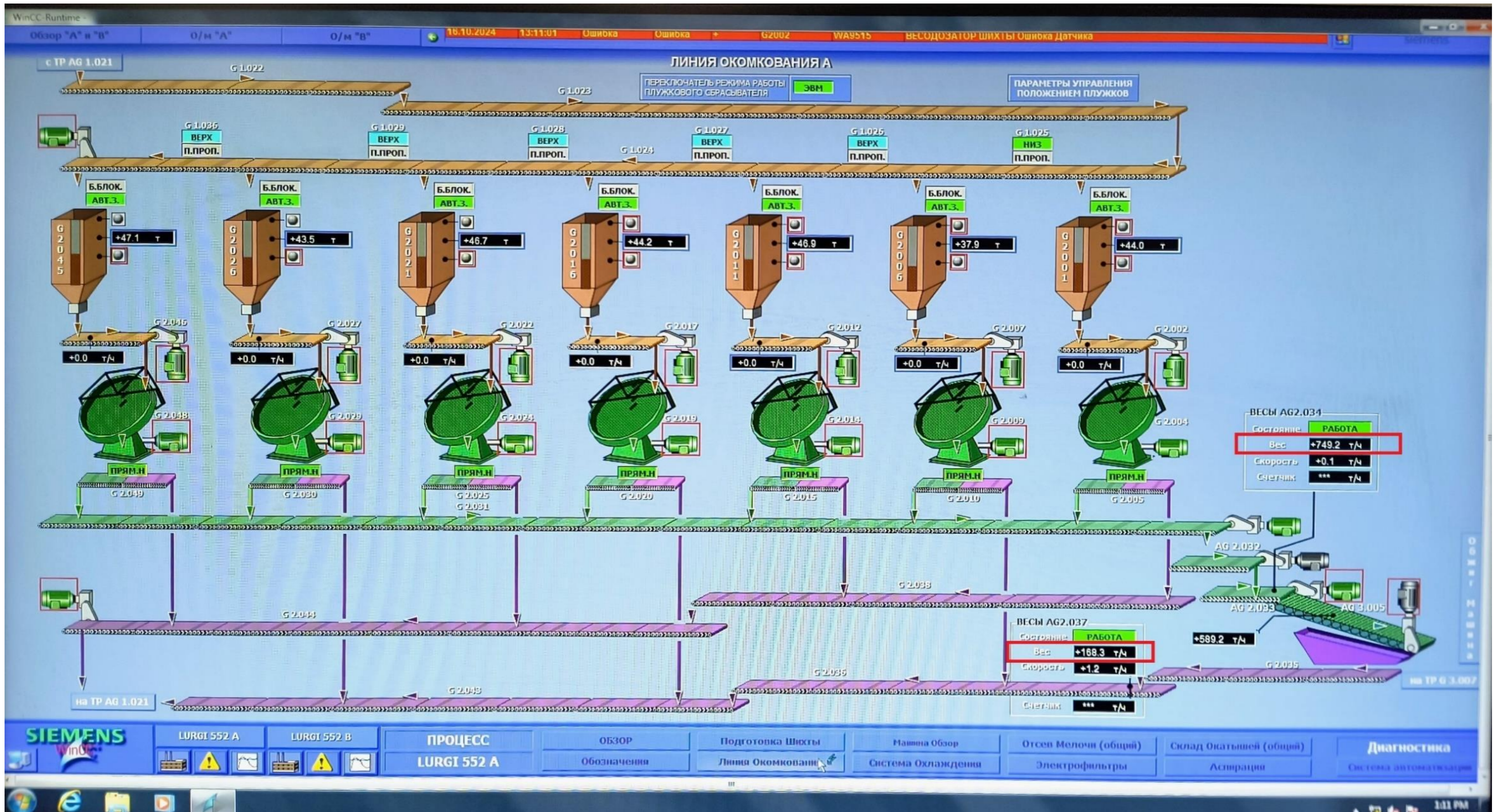


Рисунок 2.1 - Скриншот з системи моніторингу в режимі реального часу за технологічними параметрами процесу виготовлення обкотишів



Чашові огрудковувачі є важливим елементом у технологічному процесі виробництва обкотишів. Основна функція цього обладнання — формування обкотишів необхідного розміру та міцності, що досягається шляхом ущільнення та гранулоутворення шихти. Одним із найважливіших факторів, які впливають на якість обкотишів, є вибір правильного числа обертів чаші в залежності від таких параметрів, як кут нахилу чашового огрудковувача та вологість шихти. Оптимізація цих параметрів дозволяє не тільки досягати стабільного гранулометричного складу, а й зменшувати енергетичні витрати, підвищуючи ефективність виробничого процесу

Кут нахилу чаші огрудковувача є ключовим параметром, який визначає траєкторію руху шихти та швидкість її пересування по поверхні чаші. Від кута нахилу залежить, яким чином матеріал буде накопичуватись і формуватись у сферичні гранули — обкотиші.

При невеликому нахилі чаші матеріал повільно переміщується, що дає змогу збільшити тривалість перебування шихти в зоні формування обкотишів. Такий режим підходить для утворення великих і щільних гранул, але за умови, що швидкість обертання чаші буде достатньо високою для досягнення необхідної кінетичної енергії матеріалу.

Збільшення кута нахилу прискорює переміщення шихти по чаші, зменшуючи час, який гранули перебувають у процесі формування. Це може призвести до утворення менш щільних обкотишів меншого розміру. Для компенсації цього ефекту необхідно збільшити число обертів чаші, щоб забезпечити достатній рівень ущільнення шихти.

Вологість шихти є критично важливим фактором у процесі гранулоутворення, оскільки вона безпосередньо впливає на зв'язність частинок матеріалу. Вода сприяє утворенню тонких плівок між частинками, що полегшує їхнє об'єднання в більш крупні гранули.

Якщо рівень вологості занадто низький, шихта буде сухою, що знижує здатність частинок об'єднуватися в щільні та міцні гранули. У цьому випадку число обертів чаші та кут нахилу повинні бути зменшені, щоб запобігти руйнуванню слабких гранул. Оптимальне рішення для таких умов — знижена швидкість обертання та збільшення часу перебування матеріалу на чаші для кращого ущільнення.

Якщо вологість перевищує оптимальні показники, шихта стає надмірно липкою, що ускладнює рівномірне гранулоутворення та призводить до налипання шихти на стінки чаші. У такому випадку рекомендується збільшити кут нахилу та зменшити число обертів, щоб уникнути надмірного прилипання та забезпечити належне ущільнення гранул.

Таким чином, кожному куту нахилу чашового огрудковувача та рівню вологості шихти відповідає оптимальне число обертів чаші, що забезпечує ефективне гранулоутворення та досягнення потрібного гранулометричного складу обкотишів.

На рисунку 2.2 представлено алгоритм регулювання параметрів роботи чашових огрудковувачів в умовах ЦВО-2 ГЗК на сьогодні.

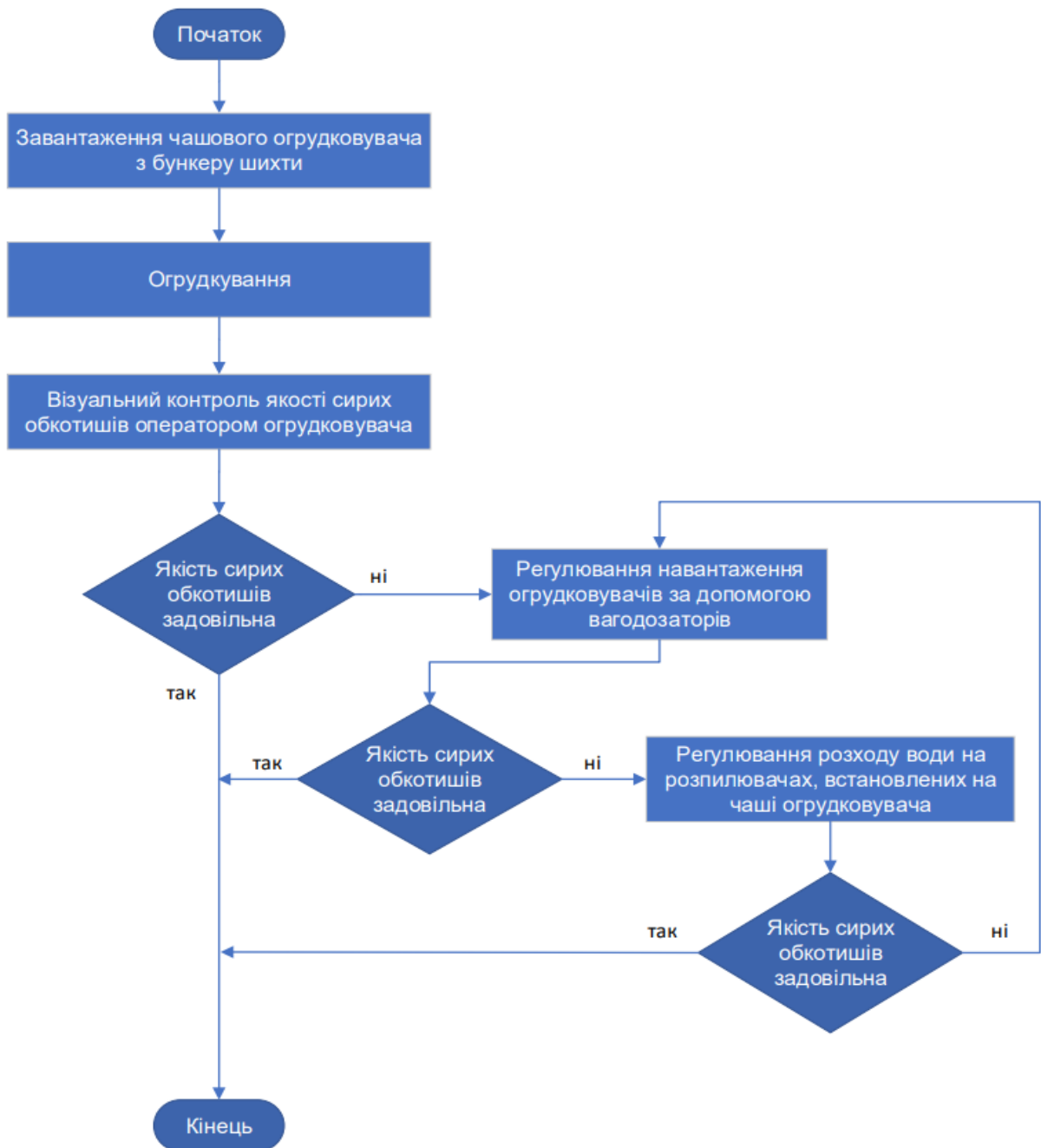



Рисунок 2.2 - Алгоритм регулювання параметрів роботи чашових огрудковувачів в умовах ЦВО-2 ГЗК на теперішній час

Як видно з рисунку 2.2 сьогодні обладнання ділянки огрудкування не має досить інструментів впливу на стабільність гранулометричного складу обкотишів, що виробляються. Також контроль якості сирих обкотишів виконується лише візуальним шляхом, що не дозволяє оперативно впливати на нестабільні властивості шихти, яка надходить на ділянку огрудкування, та якість такого контролю в значній мірі залежить від досвіду оператора огрудковувача.

Для вирішення цієї проблеми необхідно виконати модернізацію чашового огрудковувача з встановленням мехатронних систем зміни кута нахилу чаші та регулювання числа обертів чашового огрудковувача.



Впровадження даних автоматичних систем курування дасть можливість оперативно реагувати на фізичні властивості сировини, яка потрапляє на ділянку огрудкування, та значно поліпшити показники вихідної продукції ділянки, такі як гранулометричний склад сирих обкотишів.

Для контролю вологості шихти, яка поступає на ділянку огрудкування (від цього параметру залежать режими роботи чашового огрудковувача), необхідно встановити вимірювачі вологи на вагодозаторах перед завантаженням огрудковувачів.

Для підвищення якості контролю сирих обкотишів можливо встановити автоматичну систему контролю гранулометричного складу сирих обкотишів на основі машинного зору.

На рисунку 2.3 представлено алгоритм регулювання параметрів роботи чашових огрудковувачів після впровадження запропонованих систем керування.

Запропонована система має можливість в on-line режимі змінювати швидкість обертання чашового огрудковувача в залежності від наявного кута нахилу огрудковувача та вологості шихти, яка поступає в кожен на огрудковувач. Якщо зміни швидкості обертання для отримання заданого гранулометричного складу обкотишів недостатньо – система керування дає команду на зміну кута нахилу чаші огрудковувача в ту чи іншу сторону в залежності від поточного гранулометричного складу, який вимірюється постійно за допомогою системи вимірювання на основі машинного зору.

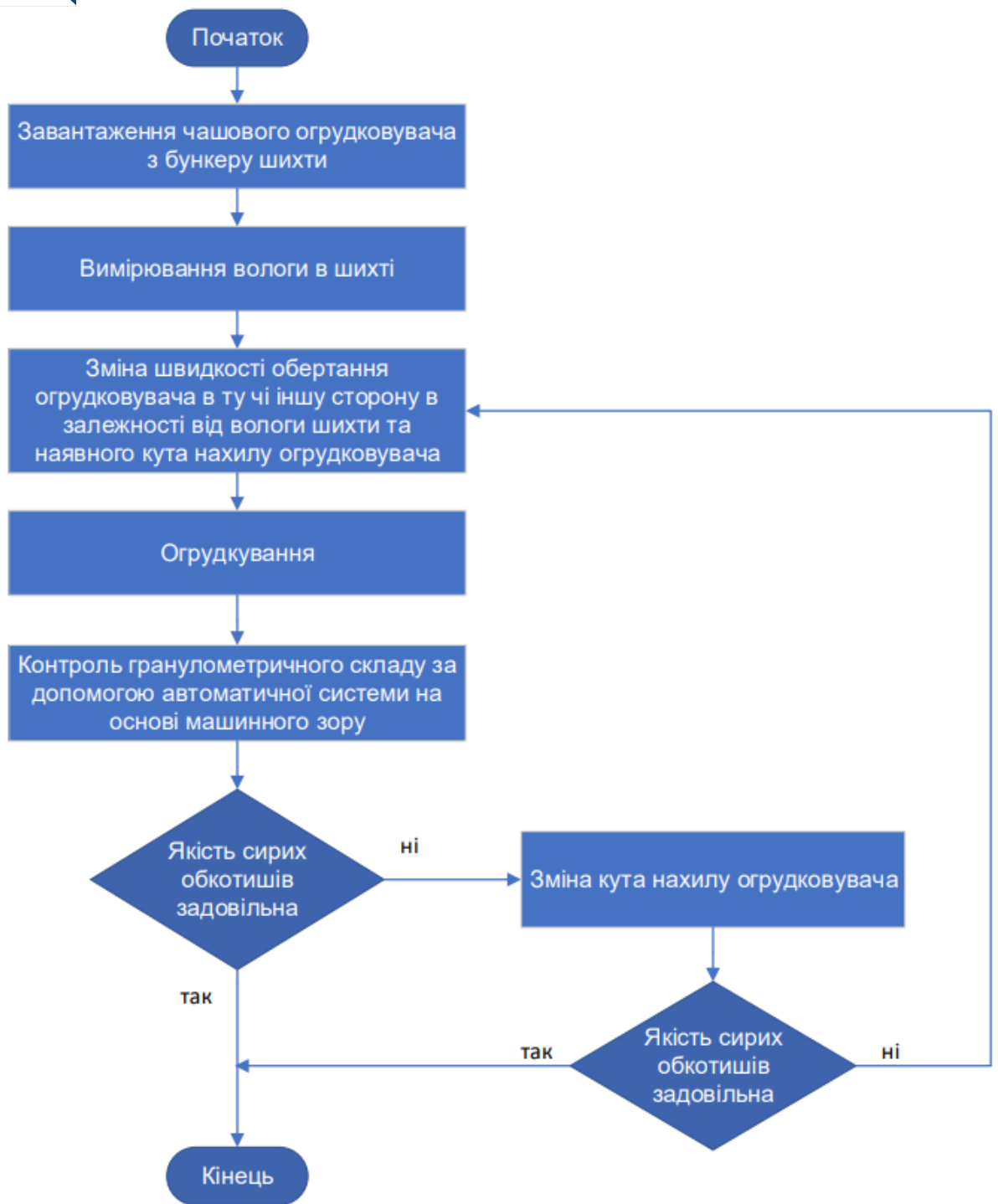


Рисунок 2.3 - Алгоритм регулювання параметрів роботи чашових огрудковувачів після впровадження запропонованих систем керування



3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Мета та методи експериментальних досліджень

Оптимальні параметри роботи чашового огрудковувача в залежності від вологості шихти можна визначити шляхом експериментальних спостережень та підбором оптимальних налаштувань для кожного значення вологості сировини та вимог до кінцевого продукту. Тобто, для дослідження закономірності впливу нестабільних фізичних властивостей сировини на процес формування сирих обкотишів при їх виробництві на чашовому огрудковувачі найбільш доцільно обрати статистичний метод дослідження.

Перевагами статистичного методу дослідження є можливість одержання узагальнених результатів із статистичною достовірністю, а також можливість порівняння та вимірювання отриманих даних. Наочність результатів також є значною перевагою цього методу


В основі статистичного дослідження лежить принцип наукової організації та комплексного застосування статистичної методології збору та обробки даних.

Зразками для дослідження закономірності впливу нестабільних фізичних властивостей сировини на процес формування сирих обкотишів при їх виробництві на чашовому огрудковувачі є інформація щодо практики застосування технологій і методів, яка міститься в відкритому доступу, що дозволить провести повноцінне дослідження, в тому числі проаналізувати отримані дані.

Статистичний метод дослідження дозволить якісно дослідити закономірності впливу нестабільних фізичних властивостей сировини на процес формування сирих обкотишів при їх виробництві на чашовому огрудковувачі, та обрати такі технологічні параметри обладнання, які дозволять отримувати якісний сирий обкотиш зі стабільним грунулометричним складом в заданому діапазоні, що в свою чергу призведе до збільшення економічної ефективності виробництва обкотишів.

Але, як відомо, залізо-рудна сировина, яка застосовується для огрудкування, може значно відрізнятись за своїми фізичними, хімічними та механічними характеристиками. Це включає склад заліза, наявність домішок, розмір частинок, вологість, здатність до окислення, та інші параметри, які є критичними для кінцевого процесу огрудкування. Через різноманітність цих характеристик одні види залізної руди можуть краще піддаватися огрудкуванню при тих чи інших параметрах роботи чашового огрудковувача, тоді як інші будуть вимагати зовсім інших параметрів.

Застосування загальних результатів статистичних досліджень може бути неефективним, адже ці дослідження часто не враховують



індивідуальні відмінності рудної сировини в кожному випадку. Приклади статистичних моделей, які передбачають універсальні підходи, можуть не врахувати певні унікальні властивості конкретних типів руди, що призведе до відхилень у кінцевих результатах та зниження якості продукції.

3.2 Перелік використаної апаратури, обладнання

Для забезпечення ефективності процесу огрудкування важливо проводити індивідуальні дослідження властивостей конкретної залізо-рудної сировини. На жаль, у поточних умовах на ЦВО-2 ГЗК провести статистичний експеримент для визначення впливу технологічних параметрів на процес огрудкування неможливо. Основні обмеження пов'язані з відсутністю можливості регулювати кут нахилу чаші огрудкувача та змінювати швидкість обертання на цей час.

Відтак, для моделювання та обробки експериментальних результатів на даному етапі доведеться використати гіпотетичні дані, що базуються на існуючих знаннях. Це дозволить визначити приблизні тенденції та потенційний вплив технологічних параметрів на ефективність огрудкування, але не замінить реальних експериментальних даних.

Проте, після модернізації огрудкувачів, яка дозволить здійснювати регулювання кута нахилу та швидкості обертання, можна буде в стислі терміни провести повноцінний експеримент у реальних умовах ЦВО-2. Такий підхід забезпечить отримання точних результатів та дозволить вибрати оптимальну модель керування чашовими огрудкувачами, що може підвищити якість і стабільність продукції.

3.3 Результати досліджень із аналізом отриманих результатів

Для обробки результатів дослідження доцільно використовувати метод нечіткої логіки (Fuzzy Logic) [12].

Метод нечіткої логіки (Fuzzy Logic) — це математичний підхід до моделювання та обробки інформації, що базується на принципах нечітких множин. Він дозволяє працювати з неповною, неточною або невизначеною інформацією, що особливо корисно для складних і нелінійних систем, де традиційні методи аналізу можуть бути малоефективними.

Fuzzy Logic базується на правилах типу «якщо-то» (if-then), що використовуються для опису логіки поведінки системи. Наприклад, «якщо кут нахилу великий і вологість низька, то треба збільшити швидкість обертання». Такі правила дозволяють описати поведінку системи навіть при неповному знанні точних параметрів. Fuzzy Logic є дуже корисним методом для систем, де потрібна гнучкість, а точні математичні моделі складні або недоступні.

Обробку результатів експерименту проведено за допомогою програмного продукту MATLAB. Операції з нечіткою логікою у пакеті MATLAB дозволяє виконувати модуль Fuzzy Logic Toolbox. Він дозволяє



створювати системи нечіткого логічного виведення і нечіткої класифікації в рамках середовища MATLAB.

Результати гіпотетичного статистичного дослідження представлено в таблиці EXCEL (див. рисунок 3.1).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	0	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
2	8	7,5	7,4	7,3	7,2	7,1	7	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6
3	8,4	7,3	7,2	7,1	7	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6	5,9	5,8
4	8,8	7,1	7	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6	5,9	5,8	5,7	5,6
5	9,2	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4
6	9,6	6,7	6,6	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2
7	10	6,5	6,4	6,3	6,2	6,1	6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5
8	10,4	6,3	6,2	6,1	6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5	5	5
9	10,8	6,1	6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5	5	5	5	5
10	11,2	6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5	5	5	5	5	5
11	11,6	5,9	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5	5	5	5	5	5	5
12	12	5,8	5,7	5,6	5,5	5,4	5,3	5,2	5,1	5	5	5	5	5	5	5	5

Рисунок 3.1 – Таблиця результатів статистичного дослідження

На цій таблиці представлено матрицю залежності вихідного параметра y (швидкість обертання чаші) від двох вхідних параметрів x_1 (вологість шихти) та x_2 (кут нахилу чаші) які розташовано у стовбці «А» та строчці «1» відповідно.

Імпортуємо базу даних (файл data1.xls) у MATLAB як цифрову матрицю (Numerical Matrix) (див. рис. 3.2)

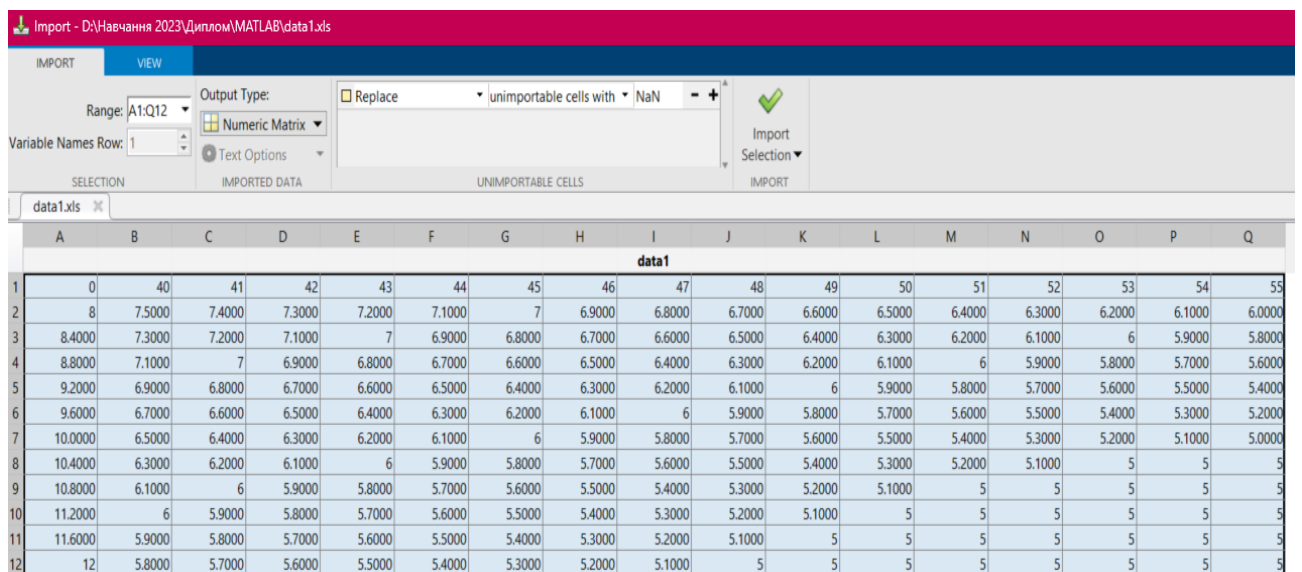


Рисунок 3.2 – Вікно імпорту бази даних у цифрову матрицю

Далі перетворюємо базу даних у 3 стовбця масиву даних, де 1 стовбець відповідає вхідному параметру x_1 (вологість шихти), 2 стовбець вхідному параметру x_2 (кут нахилу чаші), а 3 – вихідному значенню y (швидкість обертання чаші) за допомогою програмного продукту MATLAB.

Результатом є формування перетвореної бази даних з ім'ям xxT (див. рис. 3.3).

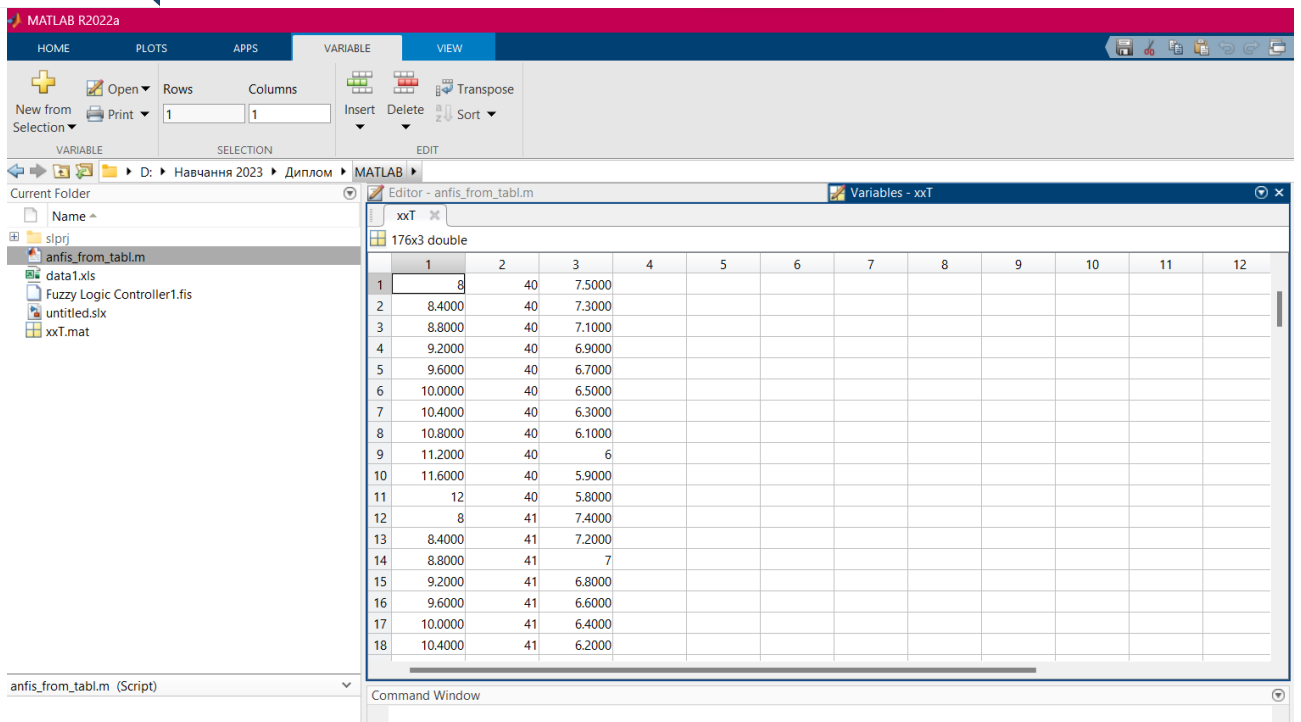


Рисунок 3.3 – Вікно бази даних з ім'ям xxT

Завантажуємо базу даних xxT у модуль ANFIS. Результат зображено на рисунку 3.4.

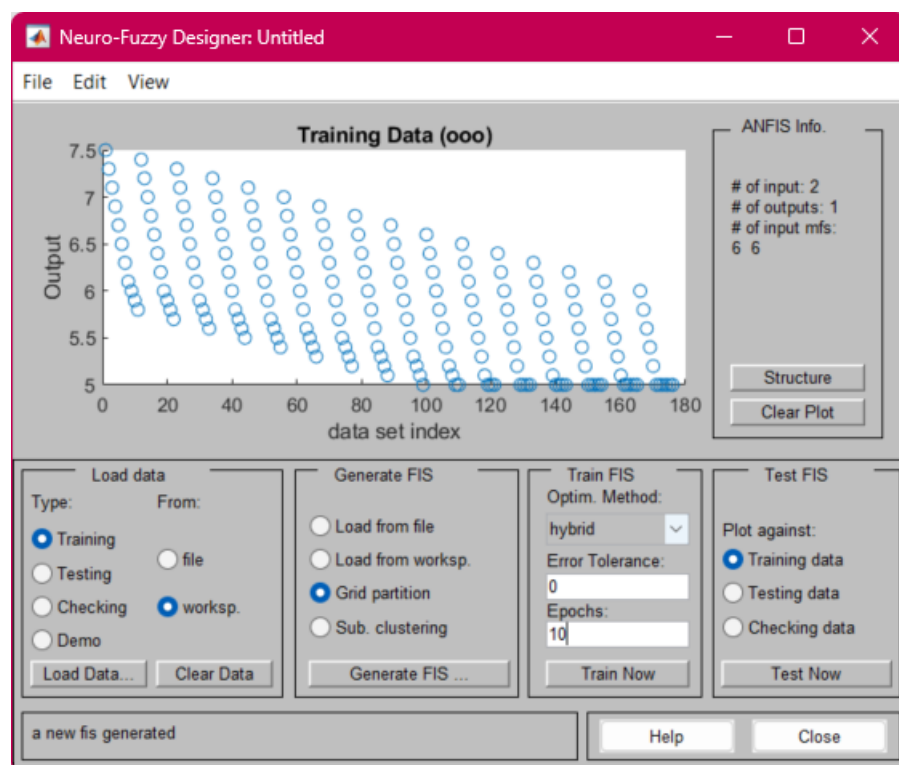


Рисунок 3.4 - Результат завантаження бази даних до модуля ANFIS



Після завантаження даних у меню побудови системи нечіткого логічного висновку Generate FIS генеруємо опис вхідних змінних за методом решітки - Grid partition (див. рисунок 3.4).

У вікні модуля *ANFIS* є можливість згенерувати та переглянути структуру системи нечіткого логічного виводу, яка представляється у вигляді нейро-нечіткої мережі (рис. 3.5). Для даного випадку кількість входів мережі дорівнює 2 - кількості стовпців навчальної вибірки. Кількість нейронів відповідає кількості правил яка дорівнює 36.

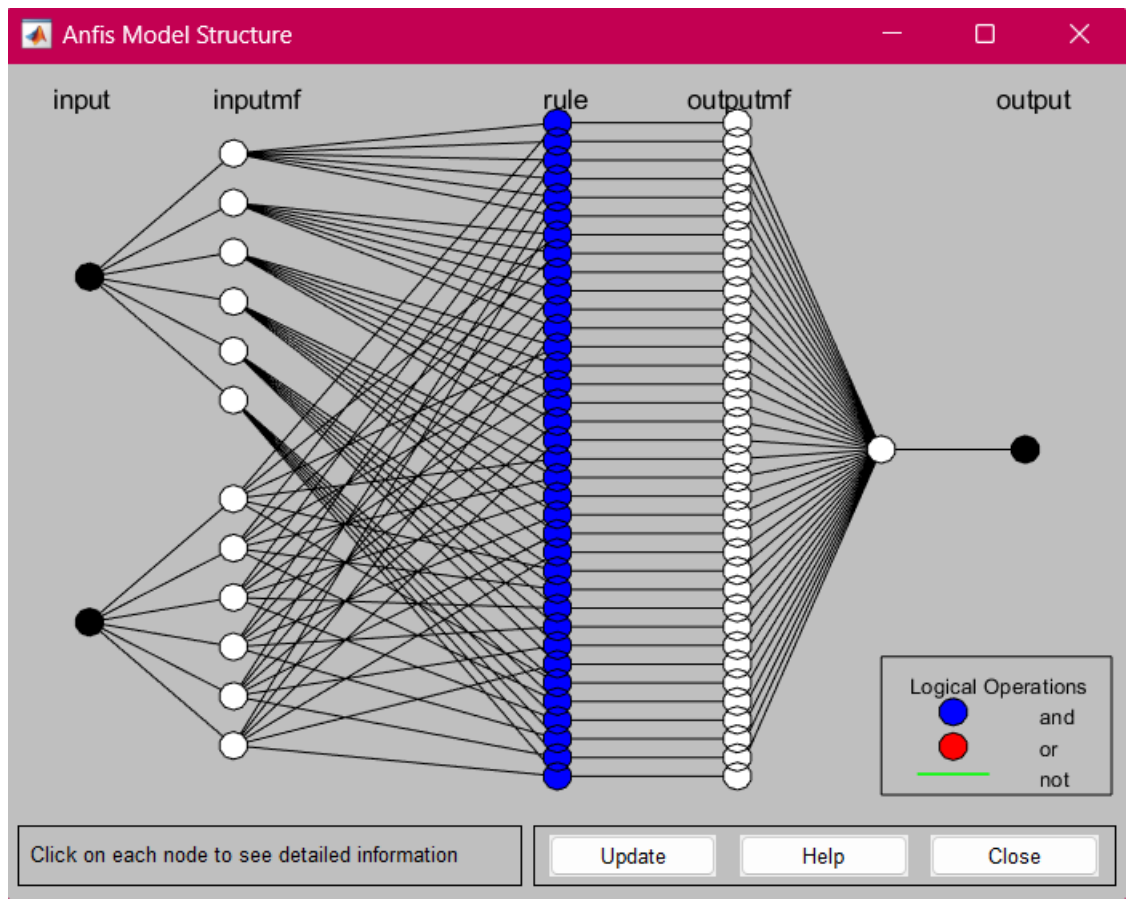


Рисунок 3.5 – Згенерована нейронечітка структура

Далі необхідно провести навчання побудованої нейронечіткої моделі. В область навчання (Train FIS) обраємо гібридний метод оптимізації (Optim. Method - Hybrid) (див. рисунок 3.4).

Проводимо навчання натисканням кнопки Train Now. Проміжні результати навчання наведені на рисунку 3.6.

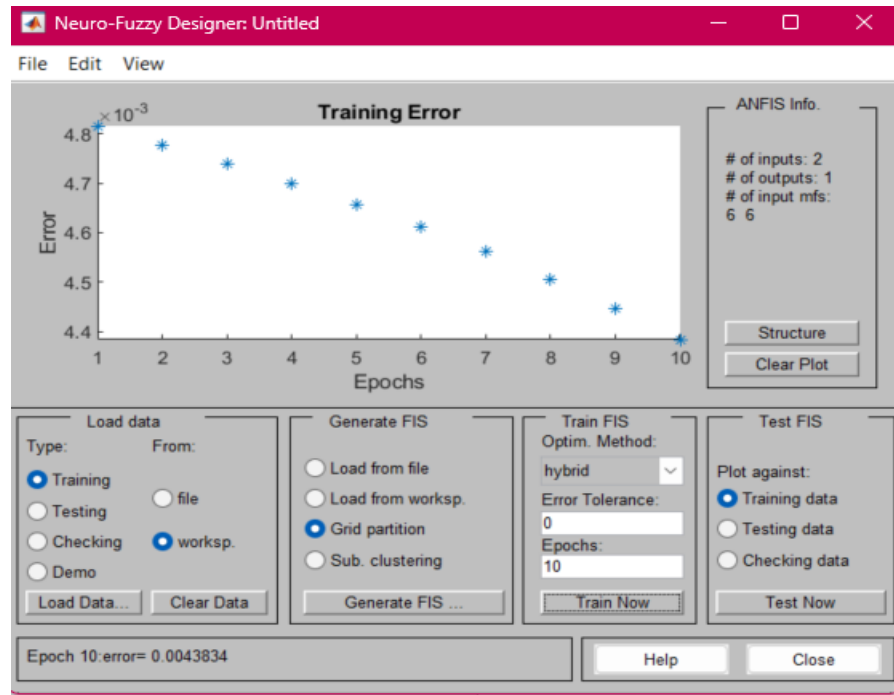


Рисунок 3.6 - Проміжні результати навчання нейронечіткої моделі

По завершенню навчання проводимо тестування нейронечіткої системи (Test FIS). Натисканням кнопки Test Now, запускаємо тестування нечіткої системи з виведенням результатів у область візуалізації. Результати тестування наведені на рисунку 3.7.

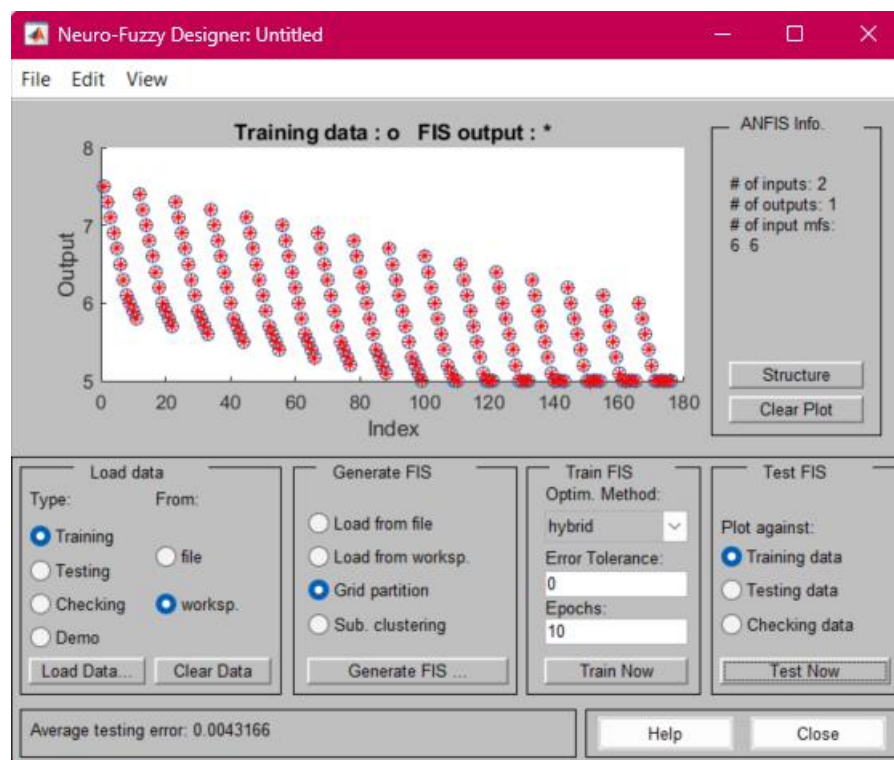


Рисунок 3.7 – Результати тестування нечіткої системи



З порівняння рисунку 3.4 (завантажена база даних) та рисунку 3.7 (результати тестування згенерованої системи) можна зробити висновок, що точність роботи згенерованої системи цілком задовільна (результат порівняння представлено на рисунку 3.8).

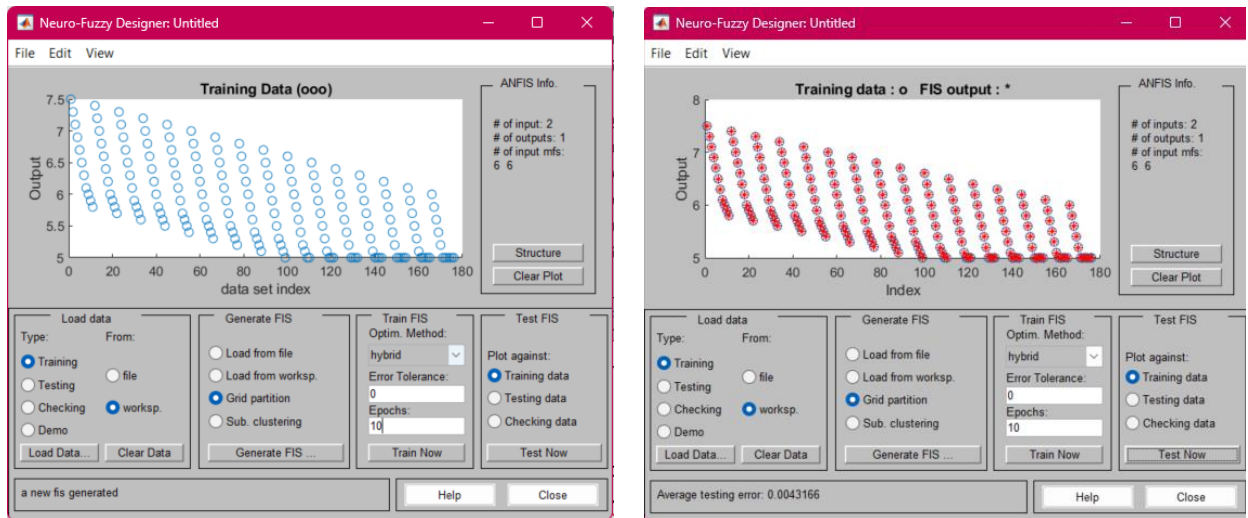


Рисунок 3.8 – порівняння результатів згенерованої системи с завантаженою базою даних

Сформульовані управляючі правила можна переглянути за допомогою:

- інтерфейсу Rule Viewer (див. рисунок 3.9);

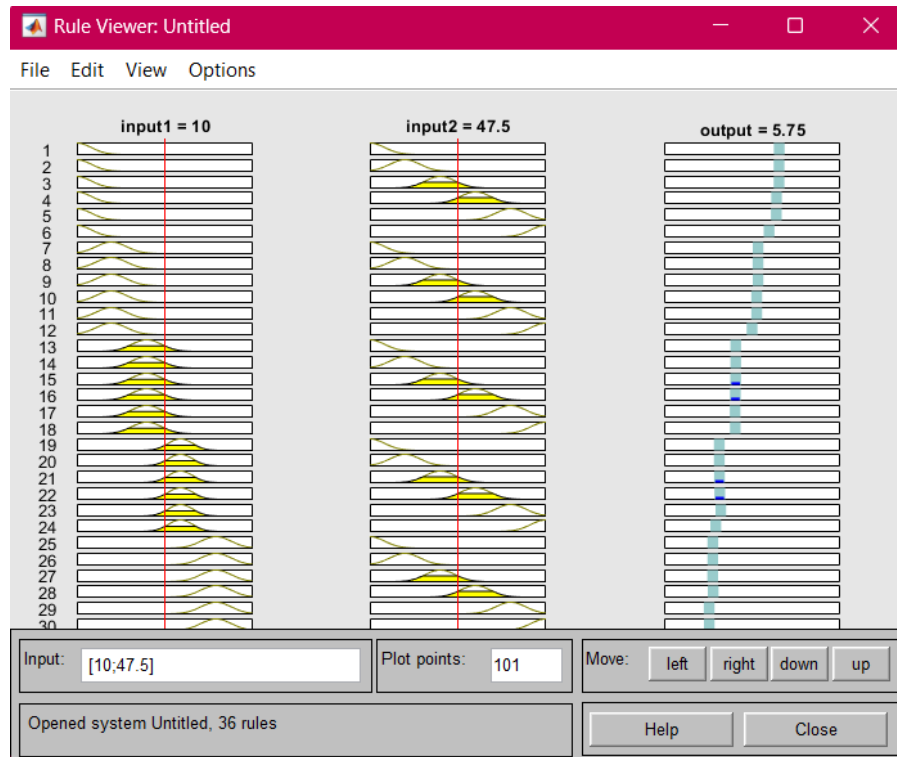


Рисунок 3.9 - Робота системи нечіткого висновку



– інтерфейсу Surface Viewer - графічне подання закону управління (див. рисунок 3.10).

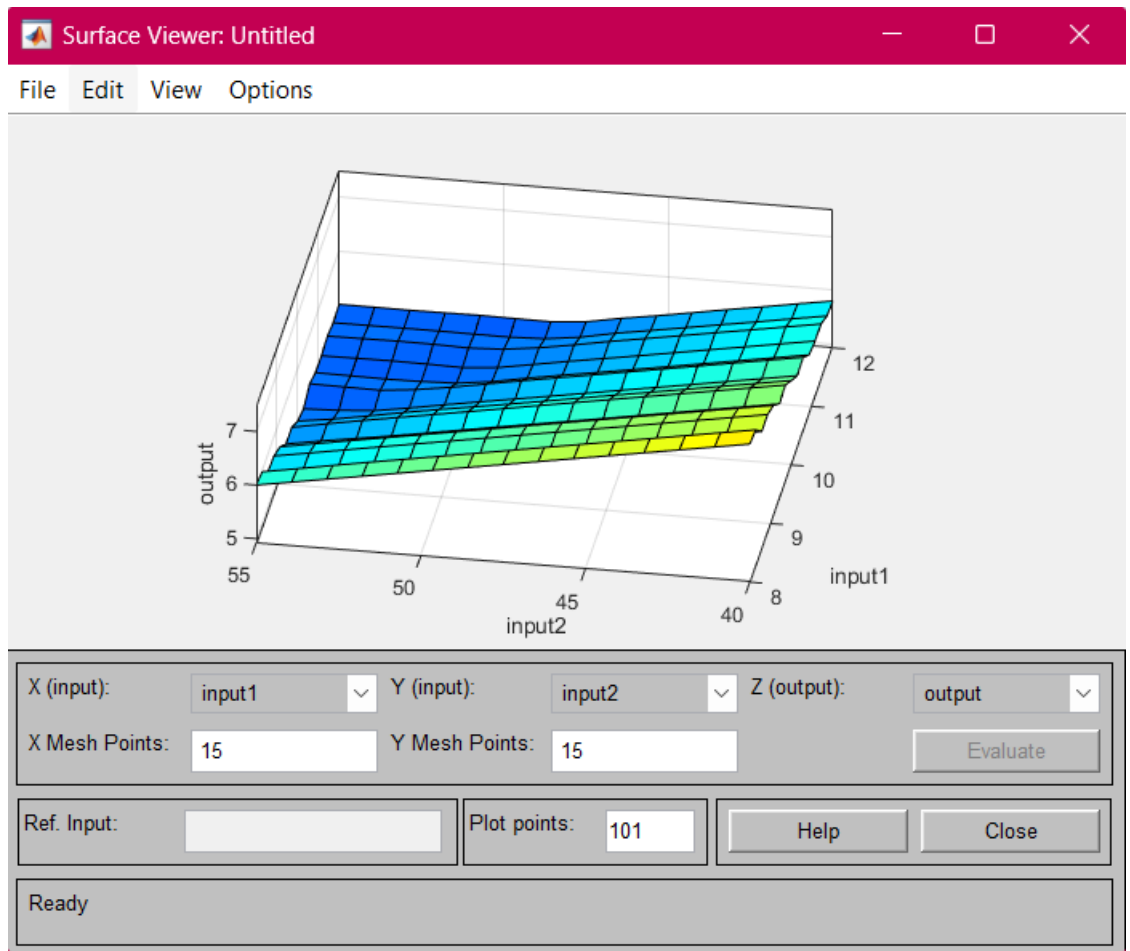


Рисунок 3.10- Графічне подання закону управління

За допомогою модуля Simulink можливо побудувати графічне зображення побудованої математичної моделі системи управління параметрами роботи чашового огрудковувача (див. рисунок 3.11).

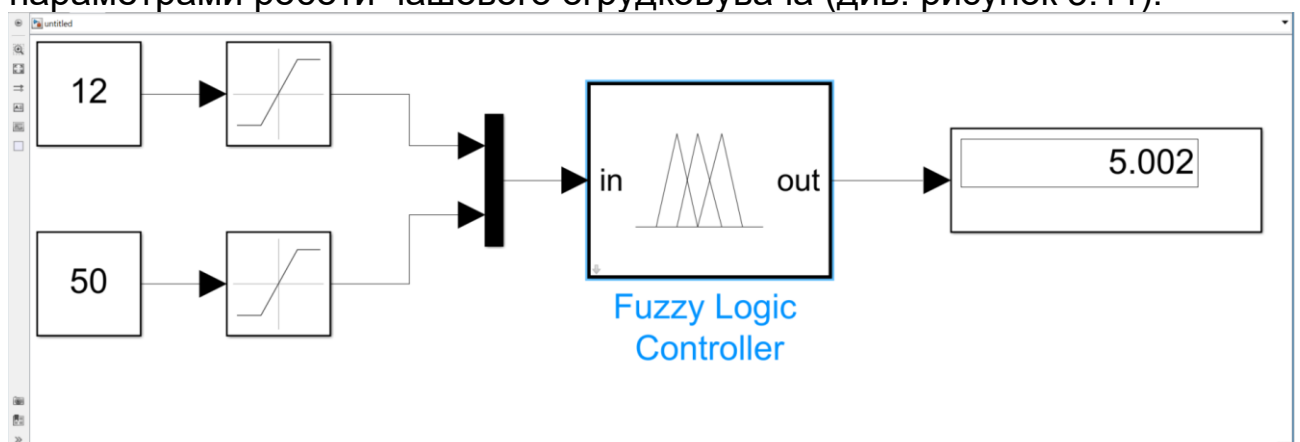



Рисунок 3.11 - Графічне зображення побудованої математичної моделі системи управління параметрами роботи чашового огрудковувача



Як видно на рисунку 3.11, система керування має два вхідних параметри (вологість шихти та кут нахилу чаші огрудковувача) та один вихідний параметр (швидкість обертання чаші). Контролер використовує управляючі правила, які були сформовані методами нечіткої логіки (Fuzzy Logic) за допомогою програмного продукту MATLAB.

3.4 Висновки та практичні аспекти модернізації чашового огрудковувача

3.4.1 Вимірювання вологості шихти

Вимірювання вологості шихти — це важливий процес у промисловому виробництві, особливо для огрудкування залізородної сировини, оскільки вологість впливає на формування гранул, їх міцність і якість. В даному випадку вологість шихти є одним з вхідних параметрів для систему управління чашовим огрудковувачем.

Існує декілька методів вимірювання вологи [13]:

1) гравіметричний метод - один із найточніших лабораторних методів, що базується на зважуванні зразка перед і після висушування. Зразок шихти нагрівається до певної температури, доки вся волога не випарується, і порівнюється його вага до та після сушіння. Різниця у вазі дозволяє обчислити вміст вологи. Перевагою цього методу є висока точність. Недоліком – те, що він вимагає часу і не підходить для безперервного вимірювання у промислових умовах.

2) інфрачервоний метод - вимірює вологість шляхом інфрачервоного опромінення зразка. Інфрачервоне випромінювання нагріває вологу в зразку, і при цьому визначається її вміст за допомогою спеціальних датчиків, що вимірюють енергію, яка поглинається водяними молекулами. Перевагами цього методу є швидкість вимірювань, можливість використовувати безпосередньо на виробництві. Недоліки методу – він менш точний порівняно з гравіметричним методом, чутливий до наявності пилу та інших домішок у шихті.

3) ємнісний метод - вимірює вологість шляхом визначення зміни діелектричної проникності матеріалу. Волога, наявна у шихті, змінює діелектричні властивості матеріалу, що дозволяє визначити її концентрацію. Переваги методу - може бути використаний для безперервного вимірювання, не потребує контакту з шихтою. Недоліки - менша точність у порівнянні з іншими методами, вимагає періодичного калібрування.

4) мікрохвильовий метод - заснований на вимірюванні зміни мікрохвильового сигналу, який проходить через зразок шихти. Вода має високу здатність поглинати мікрохвилі, що дозволяє оцінити вміст вологи за величиною поглинання сигналу. Перевагами методу є можливість використовувати для безперервного моніторингу, висока точність. Недоліки методу – велика вартість, чутливість до неоднорідності матеріалу, складність в обслуговуванні.



5) оптичний метод - вимірює вологість за допомогою спектрального аналізу світла, відбитого від поверхні шихти. Кожен компонент матеріалу, включаючи воду, відбиває світло по-своєму, що дозволяє визначити вміст вологи. Переваги методу – швидкість вимірювання, може бути використаний для контролю якості без контакту з шихтою. Недоліки - вимірює лише поверхневу вологість, що може бути недостатньо точним для нерівномірно зволоженої шихти.

6) резистивний метод - заснований на вимірюванні електричного опору зразка. Вологий матеріал має нижчий опір порівняно з сухим. Цей метод застосовується рідше, але є простим у використанні для шихти, якщо волога рівномірно розподілена. Перевагами методу є простота і низька вартість. Недоліки методу - підходить лише для шихти з рівномірним розподілом вологи, менша точність.

Для точного і постійного контролю вологості шихти в умовах виробництва найбільш оптимальним варіантом буде застосування інфрачервоного метода вимірювання вологи, оскільки він дозволяє отримувати швидкі результати та може працювати в режимі реального часу. Також він є оптимальним з точки зору необхідної точності вимірювання та вартості обладнання.

Пропонується використати Інфрачервоні датчики вологості Kett KJT330 (виробництво США). Kett KJT330 — це онлайн-датчик вологості, призначений для миттєвого, безконтактного та неруйнівного вимірювання вологості в рідинах і твердих матеріалах. Він оснащений виходом 4-20 мА для автоматичного керування процесом та вбудованим дисплеєм для локального моніторингу.

Інфрачервоні датчики вологості Kett призначені для точного та швидкого вимірювання вологості в різних матеріалах, включаючи залізорудну шихту. Ці датчики використовують інфрачервону технологію, що забезпечує безконтактний, оперативний аналіз вологості, ідеальний для промислових застосувань, де важливий безперервний моніторинг.

Основні характеристики:

1) датчик використовує інфрачервону технологію для вимірювання вологості, аналізуючи поглинання, характерне для молекул води в матеріалі;

2) використовується безконтактний спосіб вимірювання, тобто вимірювання відбувається без фізичного контакту з матеріалом, що дозволяє уникнути забруднення та зносу датчика;

3) датчик забезпечує вимірювання вологості в режимі реального часу, що дозволяє вчасно регулювати процеси виробництва для підтримки оптимальних умов;

4) датчик можна застосовувати для різних матеріалів, таких як порошки, гранули та тверді частки, що робить його універсальним для застосування в різних галузях;

5) датчик має міцну та герметичну конструкцію, що дозволяє його використання в промислових умовах, забезпечує його довговічність і надійність.

На рисунку 3.12 надано зображення датчику вологості Kett KJT330



Рисунок 3.12 – датчик вологості Kett KJT330

На рисунку 3.13 вказано рекомендоване місце встановлення датчиків вологості, а саме - вагодозатори перед чашовими огрудковувачами. Таке місце розташування датчиків вологості дозволить вимірювати вологість шихти безпосередньо перед її завантаженням на кожний огрудковувач. А це в свою чергу дозволить оперативно змінювати режими роботи кожного огрудковувача окремо, що дасть максимальний позитивний ефект на якість та стабільність гранулометричного складу сирих обкотишів.

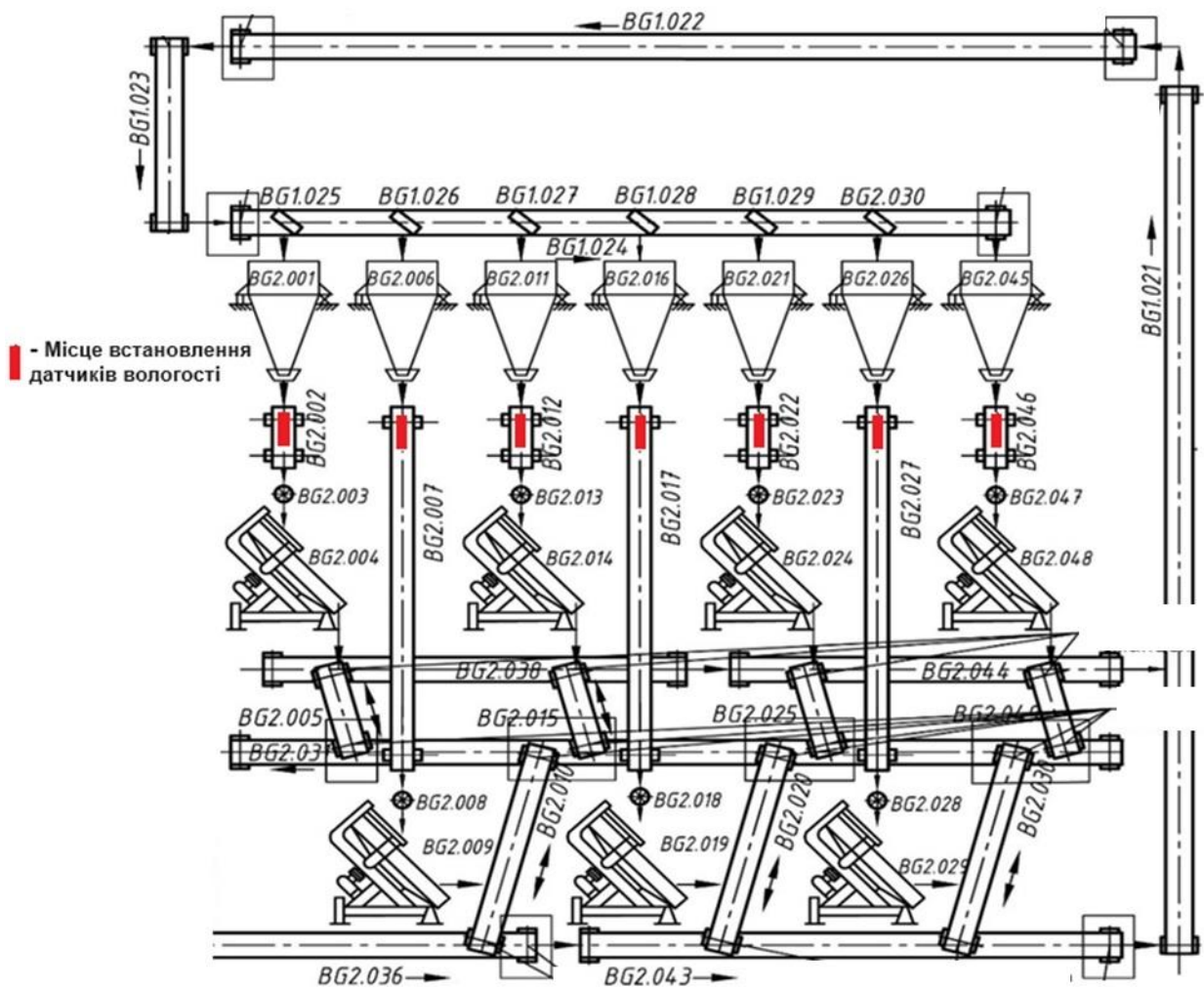


Рисунок 3.13 – Рекомендоване місце встановлення датчиків вологості

3.4.2 Регулювання швидкості обертання чаші огрудковувача

Регулювання швидкості обертання чаші огрудковувача є важливим етапом для оптимізації процесу огрудкування залізорудної шихти, оскільки швидкість обертання впливає на розмір, щільність і якість утворених гранул.

Вибір методу регулювання швидкості залежить від потреб у точності регулювання, бюджету, умов роботи та наявного обладнання. Для великих промислових установок, де потрібен точний і надійний контроль, найчастіше використовуються частотні перетворювачі. Регулювання швидкості обертання за допомогою частотних перетворювачів є одним із найбільш ефективних методів, який дозволяє точно і плавно змінювати швидкість електродвигуна. Це особливо актуально при огрудкуванні залізорудної шихти, щоб забезпечити оптимальні умови для формування гранул.



Частотний перетворювач змінює частоту та амплітуду струму, що подається на електродвигун. Оскільки швидкість обертання асинхронного або синхронного двигуна прямо пропорційна частоті струму, зміна частоти дозволяє плавно керувати швидкістю обертання.

Переваги використання частотних перетворювачів:

1) частотні перетворювачі дозволяють змінювати швидкість обертання плавно та без поштовхів, що особливо важливо для процесів з високими вимогами до якості кінцевого продукту;

2) частотні перетворювачі дозволяють економити електроспоживання завдяки тому, що двигун працює тільки на потрібній швидкості. У деяких випадках економія може сягати 30-50%;

3) частотні перетворювачі дозволяють збільшити довговічності двигуна за рахунок впровадження плавного старту і зупинки, знижуючи механічне навантаження на двигун і обладнання;

4) частотні перетворювачі мають гнучкість управління. За їх допомогою можна легко налаштувати частоту для різних умов виробництва, забезпечуючи оптимальні параметри для кожного процесу. Це особливо корисно в процесах, де вимоги до швидкості змінюються під час роботи;

5) частотні перетворювачі мають вбудовані функції захисту від перевантажень, перегріву, короткого замикання тощо, що підвищує безпеку експлуатації двигунів.

Чашові огрудковувачі, встановлені на ділянці огрудкування ЦВО-2 ГЗК оснащені електродвигунами АМУ315S4 з потужністю 132 кВт, номінальною напругою 380 В, частотою обертів 1500 об/хв. Для двигуна такого типу оптимальним вибором є частотний перетворювач Siemens SINAMICS G120. Ця серія пропонує модульні перетворювачі частоти з діапазоном потужності від 0,55 до 250 кВт, що дозволяє підібрати пристрій, який відповідає нашим вимогам.

Рекомендована конфігурація:

- модуль перетворювача: SINAMICS G120 Power Module PM240-2 з номінальною потужністю 132 кВт;

- контролер: Control Unit CU250S-2.

Переваги вибору SINAMICS G120:

- модульна конструкція: Дозволяє гнучко налаштовувати систему під конкретні потреби;

- вбудовані функції безпеки: Забезпечують захист обладнання та персоналу;

- енергоефективність: Знижує споживання енергії та експлуатаційні витрати.

3.4.3 Зміна кута нахилу чаші огрудковувача

Для модернізації існуючого чашового огрудковувача для можливості зміни кута нахилу можна розглянути електро - механічний регульовальний механізм. Це можна реалізувати з використанням гвинтової передачі та черв'ячного механізму. Цей метод дозволяє легко і надійно регулювати кут нахилу, забезпечуючи точність і стабільність положення.

Складові частини механізму:

1) основа з шарнірним механізмом. Рама, на якій розташований огрудковувач, закріплюється за допомогою шарніра. Шарнірна конструкція забезпечує одну фіксовану точку обертання платформи. Це дозволяє піднімати або опускати одну сторону платформи без зміщення самого огрудковувача з точки опори.

2) гвинтова передача. Гвинтова передача складається з гвинта і гайки, що переміщуються по ньому. Один кінець гвинта закріплений до рами огрудковувача, а інший — до фундаменту. При обертанні гвинта гайка переміщається вздовж його осі, піднімаючи або опускаючи платформу огрудковувача, тим самим змінюючи кут нахилу. Гвинтова передача має високу точність і надійність, що робить її оптимальною для регулювання кута нахилу, особливо для важких або великих конструкцій.

3) механізм для передачі руху. Зазвичай мотор-редуктор відповідної потужності. Доцільно використовувати черв'ячний редуктор, завдяки тому, що черв'ячний механізм забезпечує більшу точність і дозволяє зафіксувати нахил під великим кутом, оскільки має властивість самогальмування.

4) датчик кута нахилу. Необхідний для забезпечення точного управління. Це дозволить системі контролю отримувати зворотний зв'язок і точно контролювати кут нахилу. Інформація з датчика буде передаватися на контролер, який регулюватиме положення приводу залежно від зворотного сигналу.

На рисунку 3.14 зображено можливий варіант встановлення механізму зміни кута нахилу чаші огрудковувача.

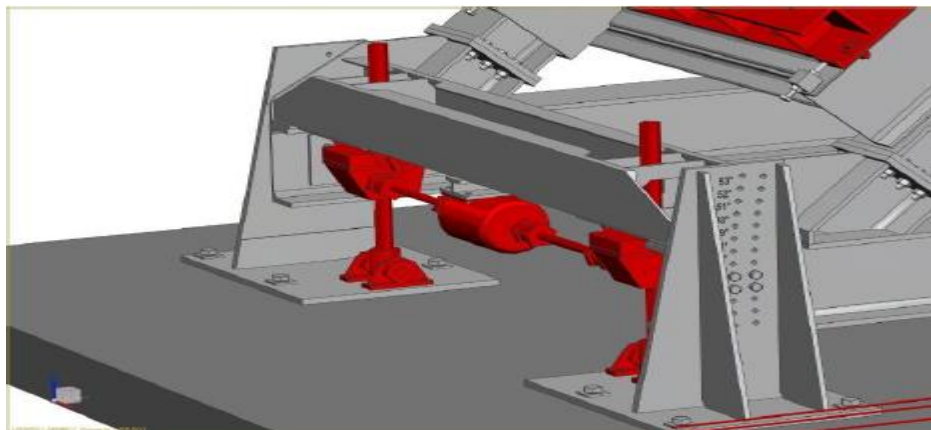


Рисунок 3.14 - Варіант встановлення механізму зміни кута нахилу



3.4.4 Система контролю гранулометричного складу сирих обкотишів на основі машинного зору

Як було сказано в розділі 2.4 сьогодні контроль якості сирих обкотишів виконується лише візуальним шляхом, що не дозволяє оперативно впливати на нестабільні властивості шихти, яка надходить на ділянку огрудкування, та якість такого контролю в значній мірі залежить від досвіду оператора огрудковувача.

Для підвищення якості контролю сирих обкотишів пропонується встановити автоматичну систему контролю гранулометричного складу сирих обкотишів на основі машинного зору, яка буде інтегрована в систему управління параметрами роботи чашових огрудковувачів, та виконувати роль зворотного зв'язку.

Система машинного зору для аналізу гранулометричного складу обкотишів базується на застосуванні алгоритмів комп'ютерного зору та машинного навчання. Її принцип роботи включає кілька основних етапів:

- 1) захоплення зображення:
 - камера (цифрова) - реєстрація зображення обкотишів, що рухаються стрічковим конвеєром або знаходяться у визначеній області;
 - освітлення - створення умов із мінімальними відблисками та тінями, для покращення якості зображень.
- 2) попередня обробка зображень:
 - фільтрація шумів - використовуються спеціальні алгоритми для усунування шумів зображення;
 - бінаризація - зображення перетворюється у двовимірне представлення для розпізнавання об'єктів.
- 3) виділення гранул:
 - сегментація - розділення зображення на окремі сегменти за спеціальним алгоритмом;
 - розпізнавання контурів - система знаходить контури гранул, ідентифікуючи межі між ними.
- 4) аналіз геометричних характеристик:
 - розмір гранул - вимірювання діаметру або площі кожної розпізнаної гранули;
 - форма гранул - визначення геометричних параметрів гранул;
 - класифікація за розміром - система розподіляє гранули на групи відповідно до розмірів.
- 5) формування гранулометричного складу:
 - розподіл - розраховується кількість та пропорція гранул різних розмірів у загальному обсязі;
 - гістограма або таблиця - будується візуалізація розподілу гранулометричного складу;
 - статистичний аналіз - проводиться розрахунок середнього розміру за потреби.



б) передача результатів:

- інтеграція з АСУТП - результати аналізу передаються в систему управління для корекції технологічного процесу (зміни параметрів роботи чашового огрудковувача);

- зберігання даних - результати зберігаються в архіві для довгострокового аналізу та контролю якості.

Структурно автоматизована система контролю гранулометричного складу сирих окатишів складається з двох ієрархічних рівнів.

До нижнього рівня належить таке обладнання:

- 14 LED освітлювачів (по 2 на кожний огрудковувач)

- 7 цифрових камер у захисному корпусі (по 1 на кожний огрудковувач).

Це обладнання розташоване безпосередньо над огрудковувачами та призначене для отримання візуальної інформації про розміри окатишів.

До середнього рівня належать контролери технічного зору, встановлені всередині шаф, розташованих у безпосередній близькості від первинних датчиків. Це дозволяє мінімізувати перешкоди та спотворення інформації.

До середнього рівня також належить програмований логічний контролер, який керує роботою всього вимірювального комплексу.

Після обробки вимірювальних даних, система вимірювання видає інформацію системі управління огрудковувачами для регулювання технологічного процесу.

Принцип роботи системи вимірювання наступний. За командою контролера система технічного зору виконує фіксацію зображення окатишів. Зображення, отримане від цифрової камери, передається до контролера технічного зору, де воно піддається цифровій обробці. Обробка здійснюється відповідно до завдань, запрограмованих у контролері технічного зору.

В результаті обробки отримується кількість об'єктів, що належать до кожної групи крупності всього вимірюваного діапазону. Отримані дані передаються до логічного контролера, де здійснюється перехід від площі до об'єму, пропорційної ваги, і обчислюється процентний вміст за класами крупності. Логічний контролер проводить статистичну обробку отриманих даних. Аналізуючи розподіл даних за встановленою кількістю вимірювань, обчислюється процентний вміст кожного класу крупності. Ця інформація наводиться в заданому вигляді, що дозволяє відобразити графічно – у вигляді гістограми чи графіка.

4 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЧАШОВИМИ ОГРУДКОВУВАЧАМИ

Як було вказано в розділі 2.4 через невідповідність гранулометричного складу сирих обкотишів назад в технологічний процес повертається в середньому 160 т/год. (або 22,5%) некондиційних обкотишів.

Впровадження запропонованої системи прогнозуємо дозволить скоротити кількість некондиційних обкотишів на 25% або до 15% від усього об'єму виробництва. Тобто, абсолютне скорочення об'єму некондиційних сирих обкотишів становитиме 40 т/год.

Згідно звітних даних питомий показник витрати електроенергії по ЦВО-2 ГЗК складає 42 кВт год/т готової продукції. Близько 20% (або 8,5 кВт год/т) від цього показника займають енергозатрати ділянки огрудкування.

Розрахуємо кількість електроенергії, необхідна для виготовлення 40 т. готової продукції:

$$K_e = CH * PP * 0,2 \quad (4.1)$$

В цій формулі:

- CH – абсолютне скорочення об'єму некондиційних сирих обкотишів, т/год;
- PP – питомий показник витрати електроенергії по ЦВО-2 ГЗК, кВт год/т.

$$K_e = 40 \frac{\text{т}}{\text{год}} * 42 \frac{\text{кВт}}{\text{т}} * 0,2 = (336 \frac{\text{кВт}}{\text{год}})$$

Розрахуємо кількість електроенергії, заощадженої за рік при річному фонді роботи випалювальної машини 6210 годин:

$$E_p = K_e * \Phi \quad (4.2)$$

де Φ - річний фонд роботи випалювальної машини - 6210 годин.

$$E_p = 336 \text{ кВт год} * 6210 \text{ год} = 2086,5 \text{ (МВт)}$$

Грошове вираження економії енергоресурсів:

$$E_{gr} = E_p * V_e \quad (4.3)$$

де V_e – вартість електроенергії – 8,25 грн/кВт год.

$$E_{gr} = 2086,5 \text{ МВт} * 8250 = 17213,6 \text{ (тис. грн.)}$$

Тобто, впровадження запропонованої модернізації чашових огрудковувачів дозволить заощаджувати 17213,6 тис. грн за рік.

Для визначення економічного ефекту та строку окупності проекту треба виконати прорахунок капітальних витрат для впровадження запропонованої модернізації чашових огрудковувачів.

Капітальні витрати на впровадження системи вимірювання вологості шихти представлено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Капітальні витрати на впровадження системи вимірювання вологості шихти

Перелік обладнання	Кількість, шт	Ціна за одиницю, тис. грн	Вартість, тис. грн
Датчик вологості Kett KJT330	7	24,6	172,2
Система стислого (інструментального) повітря	1 (на 7 датчиків)	350,0	350,0
Будівельно-монтажні та пуско-налагоджувальні роботи по встановленню обладнання	1 компл.	200,0	200,0
Інтеграція в систему АСУТП	1 компл.	500,0	500,0
ЗАГАЛОМ			1222,2 тис. грн.

Капітальні витрати на впровадження системи регулювання швидкості обертання чаші огрудковувача представлено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Капітальні витрати на впровадження системи регулювання швидкості обертання чаші огрудковувача

Перелік обладнання	Кількість, шт	Ціна за одиницю, тис. грн	Вартість, тис. грн
Модуль перетворювача SINAMICS G120 Power Module PM240-2	7	750,0	5250,0
Контролер: Control Unit CU250S-2	7	60,0	420,0
Будівельно-монтажні та пуско-налагоджувальні роботи по встановленню обладнання	7	250,0	1750,0
Інтеграція в систему АСУТП	1 компл.	500,0	500,0
ЗАГАЛОМ			7920,0 тис. грн.

Капітальні витрати на впровадження системи зміни кута нахилу чаші огрудковувача представлено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Капітальні витрати на впровадження системи зміни кута нахилу чаші огрудковувача

Перелік обладнання	Кількість, шт	Ціна за одиницю, тис. грн	Вартість, тис. грн
Металоконструкції для встановлення додаткового обладнання	7	350,0	2450,0
Силова передача (гвинтова)	14	180,0	2520,0
Привідний мотор-редуктор (черв'ячний)	7	550,0	3850,0
Датчик кута нахилу	7	50,0	350,0
Будівельно-монтажні та пуско-налагоджувальні роботи по встановленню обладнання	7	500,0	3500,0
Інтеграція в систему АСУТП	1 компл.	500,0	500,0
ЗАГАЛОМ			13170,0 тис. грн.

Капітальні витрати на впровадження системи контролю гранулометричного складу сирих обкотишів представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Капітальні витрати на впровадження системи контролю гранулометричного складу сирих обкотишів

Перелік обладнання	Кількість, шт	Ціна за одиницю, тис. грн	Вартість, тис. грн
Придбання обладнання (камери, контролери та ін.)	7 компл.	1200,0	8400,0
Придбання та наладка програмного забезпечення	1 компл.	800,0	800,0
Будівельно-монтажні та пуско-налагоджувальні роботи по встановленню обладнання	7 компл.	300,0	2100,0
Інтеграція в систему АСУТП	1 компл.	500,0	500,0
ЗАГАЛОМ			11800,0 тис. грн.

Зведені капітальні затрати на впровадження модернізації чашових огрудковувачів представлено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Зведені капітальні затрати

№ п/п	Етап модернізації	Капітальні затрати, тис. грн
1	Впровадження системи вимірювання вологості шихт	1222,2
2	Впровадження системи регулювання швидкості обертання чаші огрудковувача	7920,0
3	Впровадження системи зміни кута нахилу чаші огрудковувача	13170,0
4	Впровадження системи контролю гранулометричного складу сирих обкотишів	11800,0
	ЗАГАЛОМ	34112,2

Визначимо економічні показники проекту [14].

Визначення економічних показників проекту проведено виходячи з припущення, що строк реалізації проекту становить 3 роки (надалі встановлене обладнання буде потребувати ремонтного втручання).

Грошовий потік за 3 роки складе:

$$\text{ГП} = \text{Егр} * 3 \quad (4.4)$$

$$\text{ГП} = 17213,6 * 3 = 51640,8 \text{ (тис. грн.)}$$

Інвестиційні кошти складають ІК = 34112,2 грн.

Розрахунок чистої поточної вартості (NPV) проекту:

$$\text{NPV} = \text{ГП} - \text{ІК} \quad (4.5)$$

$$\text{NPV} = 51640,8 - 34112,2 = 17528,6 \text{ (тис. грн.)}$$

Розрахунок індексу прибутковості (IP) проекту:

$$\text{IP} = \text{ГП} / \text{ІК} \quad (4.6)$$

$$\text{IP} = 51640,8 / 34112,2 = 1,51$$

Розрахунок періоду окупності (PP) проекту:

$$\text{PP} = \text{ІК} / (\text{ГП}/3) \quad (4.7)$$

$$\text{PP} = 34112,2 / (51640,8/3) = 1,98 \text{ (роки)}$$

Висновки: реалізація проекту доцільна, так як маємо позитивний NPV, та період окупності менший за період реалізації проекту.



ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської роботи проведено комплексне дослідження процесу огрудкування сирих залізородних окатишів на випалювальній лінії машини Lurgi-552, визначено основні фактори, що впливають на якість кінцевого продукту, та розроблено рекомендації з модернізації процесу для підвищення стабільності та якості виробництва.

Запропонована модернізація чашових огрудковувачів передбачає впровадження автоматизованих систем керування кутом нахилу та швидкістю обертання, що дозволяє гнучко адаптувати технологічний процес до змін фізичних властивостей сировини. Це забезпечує стабільність гранулометричного складу сирих обкотишів, підвищує їх міцність і рівномірність, що є важливими показниками для подальшої металургійної обробки.

Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність запропонованих рішень. Застосування машинного зору для оцінки гранулометричного складу в реальному часі значно спрощує контроль якості і зменшує залежність від людського фактору.

Економічний аналіз показав, що запропонована система модернізації є рентабельною, оскільки дозволяє знизити витрати на енергоресурси, підвищити продуктивність та забезпечити стабільну якість продукції. Впровадження автоматизованих систем керування в огрудкуванні сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства та дозволяє зменшити технічні простой і витрати на ремонт обладнання.

Отже, модернізація процесу огрудкування сирих обкотишів шляхом автоматизації керування чашовими огрудковувачами та впровадження системи машинного зору є ефективним рішенням для досягнення стабільних показників якості продукції, оптимізації витрат та підвищення економічної ефективності виробничих процесів на гірничо-збагачувальному комбінаті.



СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М. Р. Руденко, Н. Д. Ванюкова, Є. М. Сігарьов, В. М. Самохвал. *Металургія чорних металів: конспект лекцій / за ред. М. Р. Руденко*. Кам'янське: ДДТУ 2019. 76 с.
2. Світовий ринок залізородних обкотишів – тенденції галузі та прогноз до 2029 року. URL: <https://www.databridgemarketresearch.com/de/reports/global-iron-ore-pellets-market> (дата звернення: 02.11.2024).
3. Л. А. Цибулько. Конспект лекцій по дисципліні «Технологія використання корисних копалин». Дніпро: НМетАУ, 2006 р. 117 с.
4. М. Р. Руденко. Конспект лекцій з дисципліні «Металургія чорних металів». Кам'янське: ДДТУ, 2019. 76 с.
5. Д. А. Ковальов, Н. Д. Ванюкова, В. П. Іващенко, Б. П. Крикунов. *Теоретичні основи виробництва окускованої сировини: Навчальний посібник для вищих учбових закладів*. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2011. 476 с.
6. Єфіменко Г.Г., Гімельфарб А.А., Шевченко В.Є. *Металургія чавуну*. Київ: Вища школа, 1993, 350 с.
7. Виробництво обкотишів. Випалювальна машина LURGI 552-A, LURGI 552-B. Цех з виробництва обкотишів №2 (ЦВО-2). технологічна інструкція ТІ 277-02-2021. Кривий Ріг: 2021 р. 51 с.
8. Компанія VALE: офіційний сайт. URL: <https://vale.com/zh/brazil> (дата звернення: 05.11.2024).
9. Компанія LKAB: офіційний сайт. URL: <https://lkab.com/en/> (дата звернення: 07.11.2024).
10. Компанія BHP: офіційний сайт. URL: <https://www.bhp.com/> (дата звернення: 09.11.2024).
11. Компанія RIO TINTO: офіційний сайт. URL: <https://www.riotinto.com/> (дата звернення: 09.11.2024).
12. Разживін О.В., Суботін О.В. Синтез нечітких регуляторів в системах автоматичного керування. Краматорськ: Друкарський дім, 2021 р., 211 с.
13. В. В. Кухарчук, В. В. Богачук, і В. Ф. Граняк. Аналіз та класифікація відомих методів неруйнівного контролю вологості порошкоподібних матеріалів. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. вип. 18, с. 13–21, лист. 2013.
URL: <https://oeipt.vntu.edu.ua/index.php/oeipt/article/view/111>. (дата звернення: 10.11.2024).
14. Рижиков В.С., Яковенко М.М., Латишева О. В., Дегтярьова Ю. В., Щелкова А.Л., Коваленко О.О. Проектний аналіз. Навчальний посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2017 рік – 384 с.