

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 вибракування та заміни палет на
випалювальній машині Lurgi 552»

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

Олексій ЩЕРБИНА

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

Голова ЕК

Володимир ОЖЕНКО

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»

Факультет	<u>автоматизації виробництва та цифрових технологій</u>
Кафедра	<u>автоматизації, електро- та робототехнічних систем</u>
Ступінь вищої освіти	<u>магістр</u>
Спеціальність	<u>133 Галузеве машинобудування</u>
ОПП	<u>Комп'ютерне конструювання мехатронних систем</u>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант ОПП

_____ Світлана ГУРКОВСЬКА

«03» листопада 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Щербині Олексієві Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Модернізація процесу вибракування та заміни палет на випалювальній машині Lurgi 552»

керівник роботи Бундза Олег Зіновійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету від 29.08.2023 р. №137.1/29.08.2023

2. Термін подання роботи 10.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи Навчальна література, державні стандарти з автоматизації, методична література з спеціальних дисциплін та дипломування, науково-дослідницькі роботи з тематики автоматичного регулювання та управління, літературні джерела, технологічні інструкції, дані ГЗК, результати власних експериментів та досліджень тощо

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань) Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз предметної області. 2. Теоретичні дослідження. 3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень; 4. Економічне обґрунтування запропонованих змін. Загальні висновки по роботі. Перелік використаних джерел. Додатки

5. Перелік графічного (демонстраційного) матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): презентація

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта

7. Дата видачі завдання 03.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи
1	Реферат, зміст, вступ	25.12.2023 – 28.12.2023
2	Розділ 1.	25.12.2023 – 28.12.2023
3	Розділ 2.	28.12.2023 – 02.01.2024
4	Розділ 3.	03.01.2024 – 07.01.2024
5	Розділ 4.	03.01.2024 – 07.01.2024
6	Висновки, перелік посилань	07.01.2024 – 08.01.2024
7	Оформлення роботи, презентаційного матеріалу, автореферату	08.01.2024 – 10.01.2024
8	Подання завершеної роботи. Перевірка на академічний плагіат	10.01.2024 – 16.01.2024

Здобувач

(Щербина О.В.)

Керівник роботи

(Бундза О.З.)

Анотація

Щербина Олексій Васильович. Модернізація процесу вибракування та заміни палет на випалювальній машині Lurgi 552. - Кваліфікаційна робота 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», Кривий Ріг, 2024.

Об'єкт дослідження: процес вибракування та заміни палет на випалювальній машині Lurgi 552.

Предмет дослідження: методи оптимізації вибракування та заміни палет.

Мета роботи: розробка та аналіз методів для підвищення ефективності процесу вибракування та заміни палет у випалювальній машині.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- провести детальний аналіз сучасних агрегаційних технологій виробництва розробок компанії "Lurgi";
- розглянута проблематика використання випалювальних палет;
- проаналізувати сучасні технології у розпізнаванні об'єктів;
- провести теоретичні дослідження з метою встановлення можливостей застосування сучасних технологій розпізнавання об'єктів;
- виконати економічне обґрунтування проєкту.

У процесі виконання дослідження було використано наступні методи: тепловізійний замір, системний аналіз, математичне моделювання, методи оптимізації.

Основні результати, отримані в роботі:

- виявлено обмеження ефективності використання UHF міток для моніторингу стану візків через високі температури.
- запропоновано використовувати сталеві пластини з номерами для ідентифікації візків.

Виконано розрахунки вартості науково-дослідної роботи (НДР), метою якої було доведення доцільності модернізації системи діагностики обпалювальних візків. Виявлена потенційна економічна вигода та можливість значного зниження річних втрат, покращення ефективності роботи системи.

Ключові слова: огрудкування, вибракування, випалювальний візок, випалювальна машина Lurgi 552, оптимізація процесів.

Зміст

Вступ.....	7
1. Аналіз предметної області	8
1.1. Огляд розвитку огрудкування	8
1.2. Аналіз роботи існуючого огрудкувального обладнання.....	9
1.3. Технологічні процеси цеху огрудкування	29
1.4. Нові напрямки розвитку технології та виробництва обкотишів	38
1.5. Висновки по першому розділу	46
2. Теоретичні дослідження.....	48
2.1. Огляд розвитку технологій розпізнавання об'єктів	48
2.2. Технічні основи розпізнавання об'єктів	48
2.3. Аналіз методів розпізнавання об'єктів	49
2.4. Передові дослідження та інновації в розпізнаванні об'єктів та приклади їх застосування	50
2.5. Висновки по другому розділу	53
3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень	54
3.1. Дослідження розподілу температурних зон візка.....	54
3.2. Модернізація процесу вибракування та заміни візків на випалювальній машині Lurgi 552	59
3.3. Висновки по третьому розділу	64
4. Економічне обґрунтування запропонованих змін	66
4.1. Розрахунок економічного ефекту	67
4.2. Висновки по четвертому розділу	70
Загальні висновки по роботі	72

Перелік використаних джерел	74
Додаток 1.....	76

Вступ

У зв'язку із сучасним становищем в українській економіці, металургійним підприємствам необхідно активно впроваджувати заходи з ефективної економії енергоресурсів, при цьому забезпечуючи високий стандарт якості готової продукції.

Складність агрегатів та технологій металургійної промисловості створює значні труднощі у вирішенні зазначених завдань, особливо враховуючи високу енергоємність процесів. Один із таких важких технічних агрегатів - обпалювальна конвеєрна машина (ОМ), використовується для термообробки залізородних обкотишів у металургійній галузі.

Техніко-економічні показники роботи різних обпалювальних конвеєрів, що зараз у використанні, відрізняються у витратах палива та електроенергії в 2-2,5 рази, а продуктивність - на 20-30%. Це вказує на наявність неефективних рішень та конструкційних параметрів, призводячи до економічних втрат. Тому важливо вирішити завдання підвищення продуктивності та зниження витрат під час термообробки залізородних обкотишів.

Актуальність.

Актуальність даної дипломної роботи полягає у необхідності вдосконалення процесів у металургійній промисловості з метою економії енергоресурсів та підвищення якості продукції.

Робота апробована на міжнародній науковій конференції «MININGMETALTECH 2023 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION» November 29–30, 2023.

Щербина О.В., Бундза О.З.. Вдосконалення методів контролю стану обпалювальних візків на обпалювальній машині LURGI. Матеріали міжн. наук. конф. The mining and metals sector: integration of business, technology and education». Riga, the Republic of Latvia. November 29–30, 2023. Volume 2. PP. 83-85. DOI

<https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-107>

1. Аналіз предметної області

1.1. Огляд розвитку огрудкування

Виробництво чавуну і сталі у світовому масштабі, згідно з прогнозами, продовжуватиме зростати, використовуючи поряд з багатими також бідні руди, що потребують збагачення. Цей процес неминуче веде до подрібнення породи, внаслідок чого значно зростає важливість огрудкування залізних руд - процесу, який стає важливим зв'язуючим елементом між збагаченням та металургійною обробкою [1][2].

Розвиток огрудкування залізородних концентратів можна розділити на три основні етапи. Перший етап починається з патенту шведського інженера Андерсона [1]. Цікаво, що багато сучасних методів огрудкування зберегли схожість з первісним методом Андерсона. Вже у наступному році, у Німеччині Браккельсберг запатентував метод, що закладав основу для сучасного процесу агломерації [2].

Експериментальні роботи з огрудкування різних руд у Радянському Союзі та обширні дослідження у США, особливо з огрудкування таконітового концентрату, свідчать про глобальне розширення та інновації у цій галузі [3][4].

Починаючи з введенням першого промислового обладнання для виробництва обкотишів у США, розпочинається новий етап у розвитку огрудкування, що характеризується швидким зростанням виробництва та використання обкотишів [5]. Цей період вирізнявся значними технологічними змінами, включаючи розвиток та впровадження нових методів та обладнання для огрудкування, що підвищило ефективність процесу та зменшило його екологічний вплив [5][6].

Третій етап характерний використанням конвеєрних машин та комбінованих установок, що забезпечило вищу якість продукції, економію ресурсів та зменшення впливу на довкілля [6][7]. Сучасні методи огрудкування знайшли застосування не тільки в металургії заліза, але й у виробництві гранул для металургії кольорових металів, а також у цементній, силікатній, фармацевтичній та харчовій промисловості, демонструючи універсальність та значні переваги цих технологій [7].

Четвертий етап у розвитку огрудкування залізних руд йде вже в сьогоденні та характеризується значними інноваціями та адаптацією до сучасних вимог. Цей період включає інтеграцію цифрових технологій та автоматизацію, використовуючи машинне навчання та Інтернет речей для оптимізації виробничих процесів, підвищення ефективності та зниження витрат. Велика увага приділяється екологічним інноваціям та стійкості, з акцентом на розвиток менш забруднюючих технологій, зменшення викидів вуглецю та використання вторинної сировини. Розвиваються також нові матеріали та процеси, спрямовані на покращення якості кінцевих

продуктів та підвищення енергетичної ефективності. Міжнародна співпраця та адаптація до глобальних регулятивних стандартів також відіграють ключову роль, допомагаючи індустрії залишатися конкурентоспроможною та відповідати міжнародним вимогам. Нарешті, індустрія огрудкування адаптується до змінних ринкових умов, реагуючи на коливання попиту, нові торгові угоди та вплив глобальних економічних криз, забезпечуючи стабільність та відповідність до сучасних викликів.

1.2. Аналіз роботи існуючого огрудкувального обладнання

Конвеєрні обпалювальні машини, призначені для випалювання залізородних обкотишів у сирому стані, функціонують як неперервні агрегати. Процес обпалювання на цих колосникових машинах відбувається за допомогою висококалорійних газів (таких як природний газ або пропан) або рідкого палива (наприклад, мазуту), які спалюються з прососом повітря знизу, або за допомогою твердого палива, розміщеного безпосередньо на поверхні обкотишів. Структура та принцип роботи газоповітряних потоків у цих машинах для обпалювання обкотишів ілюстровані на рисунку 1.1[17].

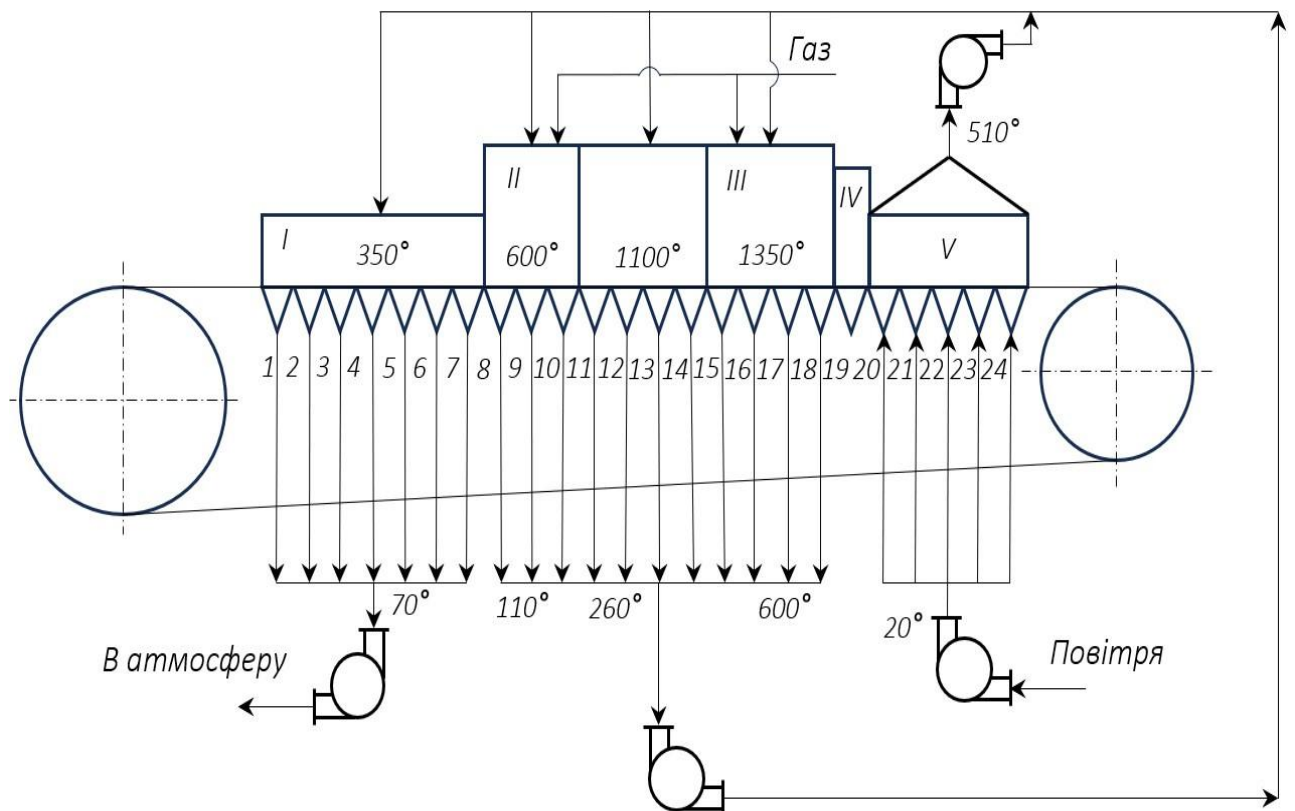


Рисунок 1.1 - Схема газоповітряних потоків конвеєрної машини для випалу обкотишів спалюванням палива над шаром

Підвищення числа зон у обпалювальних машинах покращує ефективність використання тепла, однак це також призводить до певних технічних складнощів у експлуатації. Особливо це стосується необхідності використання більшої кількості вентиляторів, які мають працювати при

високих температурах, щоб забезпечити подачу газів з потрібною температурою в кожну зону. У первісній конструкції обпалювальної машини виробництва компанії «Lurgi», загальна довжина машини розподілялася наступним чином: 29,2% припадало на зону сушіння, 45,8% - на зону нагрівання та випалення, 4,2% - на зону томління, і 20,8% - на зону охолодження. Згідно з новою схемою випалу обкотишів, також розробленою компанією «Lurgi» (рисунок 1.2), технологічні зони розподілені наступним чином: 13% для сушіння продувом, 5,5% для сушіння прососом, 33,3% для нагрівання та випалу, 7,5% для рекуперації, 29,6% для першого етапу охолодження та 11,1% для другого етапу охолодження.

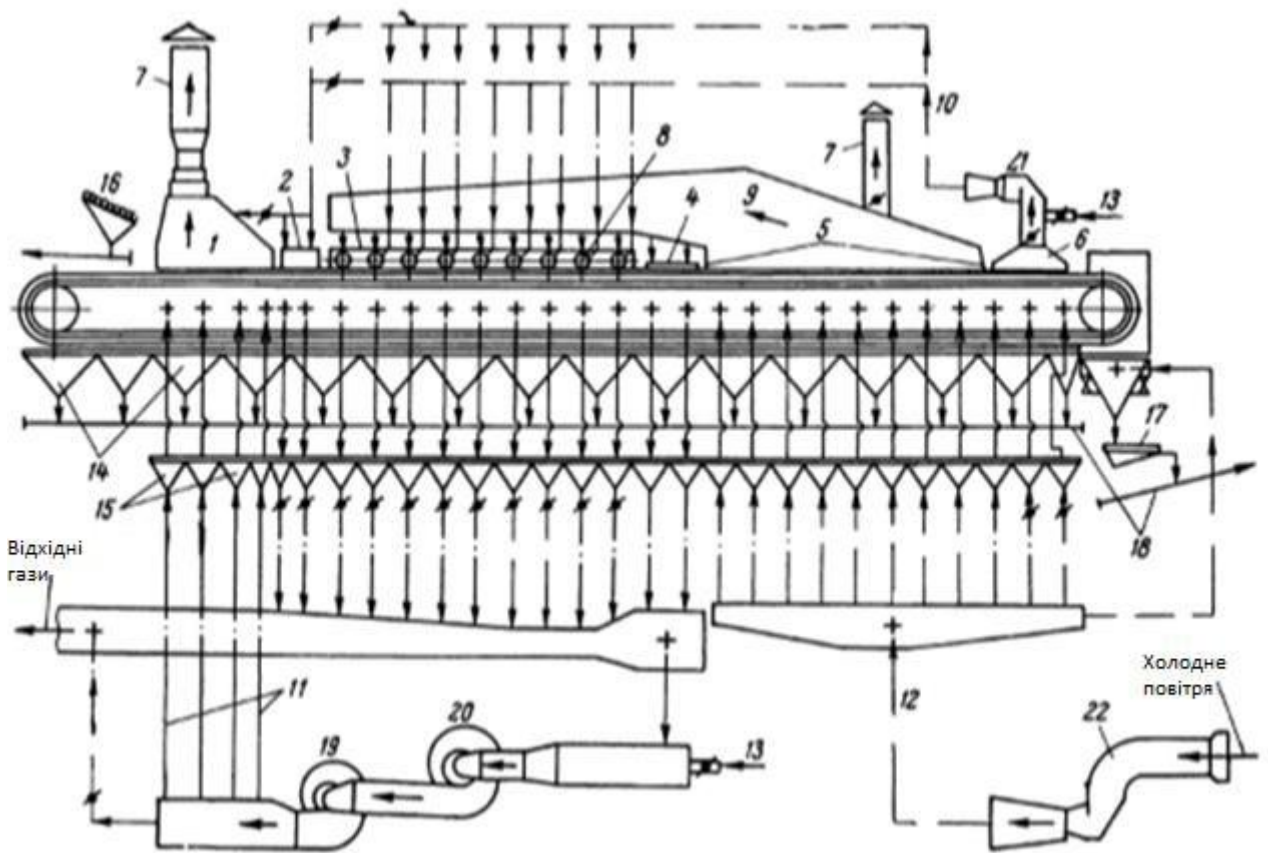


Рисунок 1.2 - Схема конвеєрної машини «Lurgi»: 1 - зона сушіння продуванням; 2- зона сушіння прососом; 3 - зона підігріву та обпалу; 4 - зона рекуперації; 5 - зона охолодження 1; 6 - зона охолодження 2; 7 - викид у атмосферу; 8 – горілки; 9 - перетік гарячого повітря з зони охолодження 1 в зони підігріву, обпалу та рекуперації; 10 - гаряче повітря з зони охолодження 2 на горілки зон підігріву та обпалу та в зону сушіння прососом; 11 - відхідні гази в зону сушіння продуванням знизу; 12 - холодне повітря на охолодження окатишів; 13 - підсос холодного повітря для регулювання температури газу чи повітря перед вентилятором; 14 - пилові мішки; 15 - камери для подачі або відсмоктування газів чи повітря; 16 - роликівий грохот для завантаження сирих обкотишів; 17 - грохот готових обкотишів; 18 – конвеєри; 19, 20, 21 - високотемпературні вентилятори (350-450° С); 22 - вентилятор для подачі холодного повітря на охолодження обкотишів.

Зони нагрівання та випалу в обпалювальній машині інтегровані в один спільний пічний простір, де встановлені пальники. Ці пальники дозволяють точно регулювати температуру над шаром обкотишів уздовж всієї довжини машини. Вихлопні гази з зон сушіння прососом та зони нагрівання, а також з двох третин зони випалу відводяться через вентилятор Д1 та випускаються у атмосферу. Ті гази, що виходять з останньої третини зони випалу та зони рекуперації, відсмоктуються двома послідовно з'єднаними вентиляторами Д2 і Д3 та пропускаються через шар сирих обкотишів у першій зоні сушіння. Надлишкові гази спрямовуються у колектор вентилятора Д1.

Процес охолодження обкотишів відбувається за допомогою продування холодним повітрям знизу вгору. Повітря, що нагрівається в першій зоні охолодження, перетікає в зони рекуперації, випалу та нагрівання. Повітря з другої зони охолодження, маючи нижчу температуру, направляється вентилятором до пальників зон випалу та нагріву, а також у другу зону сушіння.

Для запобігання перегріву візків обпалювальної машини використовуються бокове та донне ліжко з обпалених обкотишів. Максимальна висота шару обкотишів у машині складає 400 мм, з яких 50-100 мм припадає на висоту ліжка. Машина обладнана 25 камерами та 129 обпалювальними візками. Корпус кожного візка сконструйований модульним, складається з трьох частин, при цьому центральна частина відлита з легованої сталі. На кожному візку встановлено 375 кованих колосників з легованої сталі. Зварені камери виготовлені зі сталевих листів та облицьовані вогнетривким матеріалом товщиною 80-100 мм.

На цій удосконаленій машині було збільшено кількість пальників у печі. Додатково була введена система для контролю потоку продуктів горіння та газів, які видаляються під час охолодження обкотишів. Це здійснюється за допомогою спеціальних засувок вакуумних камер (деталі можна бачити на рисунку 1.2).

У конструкції машини зони сушіння, нагрівання та обпалювання розташовані над 15 камерами, що охоплюють площу 75 м². Ці зони фізично відокремлені від зони охолодження за допомогою розділювальної стінки, виготовленої з чавунного лиття. Зона охолодження, яка займає 10 камер з площею 50 м², також обмежена литою чавунною стінкою на своєму кінці.

На новому обпалювальному заводі компанії «Ханна Майнинг» встановлена випалювальна конвеєрна машина розміром 3,01 × 68 метрів, що складається з 34 камер та 112 литих обпалювальних візків. Уздовж усієї довжини машини розташований футерований горн розміром 68 x 3 метри, поділений на сім зон (подробиці цих зон зазначені у таблиці 1.1).

Таблиця 1.1 - Температурні режими зон горна у процесі виробництва окатишів

№ n/n	Зона	Кількість камер	Робоча температура, °С
	Сушіння:		
1	• з верхньою тягою	5	93
2	• з нижньою тягою	2	370
3	Нагрівання:	2	980
	Обпалювання:		
4	• перша	10	1315
5	• друга	3	1315
	Охолодження:		
6	• з подачею повітря знизу вгору	9	1200
7	• з верхньою тягою	3	540

Процес обпалювання обкотишів з використанням твердого палива, яке наноситься безпосередньо на їх поверхню, виявився більш ефективним порівняно з методом спалювання палива над шаром обкотишів. Цей підхід вперше було успішно застосовано на заводі «Ризерв Майнинг Ко» в США, де була впроваджена технологія випалу обкотишів на конвеєрній колосниковій машині з використанням твердого палива. Для детальнішого розуміння характеристик процесу, хімічний склад руди, продуктів збагачення та самих обкотишів, вироблених на цьому заводі, можна знайти в таблиці 1.2[17].

Таблиця 1.2 - Хімічний склад руди, концентрат та обкотиші фабрики

№ n/n	Продукт	Зміст, %									
		$Fe_{зар.}$	FeO	Fe_3O_4	SiO_2	P	Mn	Al_2O_3	CaO	MgO	S
1	Руда	34,8	16,2	26,4	45,5	0,034	0,47	0,70	1,8	2,51	0,1
2	Кон-трат	65,6	21,9	63,5	7,6	0,087	0,67	0,54	0,54	0,64	0,003
3	Обкотиш	63,6	2,0	-	7,6	0,022	0,53	0,40	0,59	0,20	0,004

Корпус огрудкування на заводі сконструйовано з шести окремих секцій. У кожній секції розташовано три технологічні лінії, де кожна з них обладнана бункером силосного типу для концентрату з місткістю 450 тонн,

а також бункерами для зберігання бентоніту та вугілля. В цих секціях також розміщені барабанні огрудковувачі розміром 2,7 x 9 метрів, які оснащені залізобетонною футеровкою.

Після проходження через барабанні огрудковувачі, матеріал потрапляє на вібраційні грохоти. Ці грохоти відділяють обкотиші, що мають розмір більше 10 мм. Фракція, розмір якої менше 10 мм, повертається назад у огрудковувачі для подальшої обробки. Обкотиші фракції 10 - 20 мм направляють у барабани розміром 2,4 x 3,6 метри, де згідно з первинною схемою на поверхню обкотишів накочується антрацит крупністю від 0,5 до 0 мм. Норма витрати антрациту для цього процесу становить 3 - 3,5 кг на тону обкотишів.

Процес обпалювання обкотишів виконується на конвеєрній колосниковій машині, яка має розміри 1,83 на 51,24 метра і здатна обробляти до 2440 тонн продукції на добу. Ця машина складається з 28 вакуум-камер і розділена на три основні зони: зону сушіння, зону випалу та зону охолодження, деталі яких можна побачити на рисунку 1.3.

Обкотиші подаються на машину за допомогою електровібраційного живильника. Шар обкотишів на машині утримується на висоті від 300 до 350 мм, забезпечуючи оптимальні умови для ефективного проходження кожного етапу обробки.

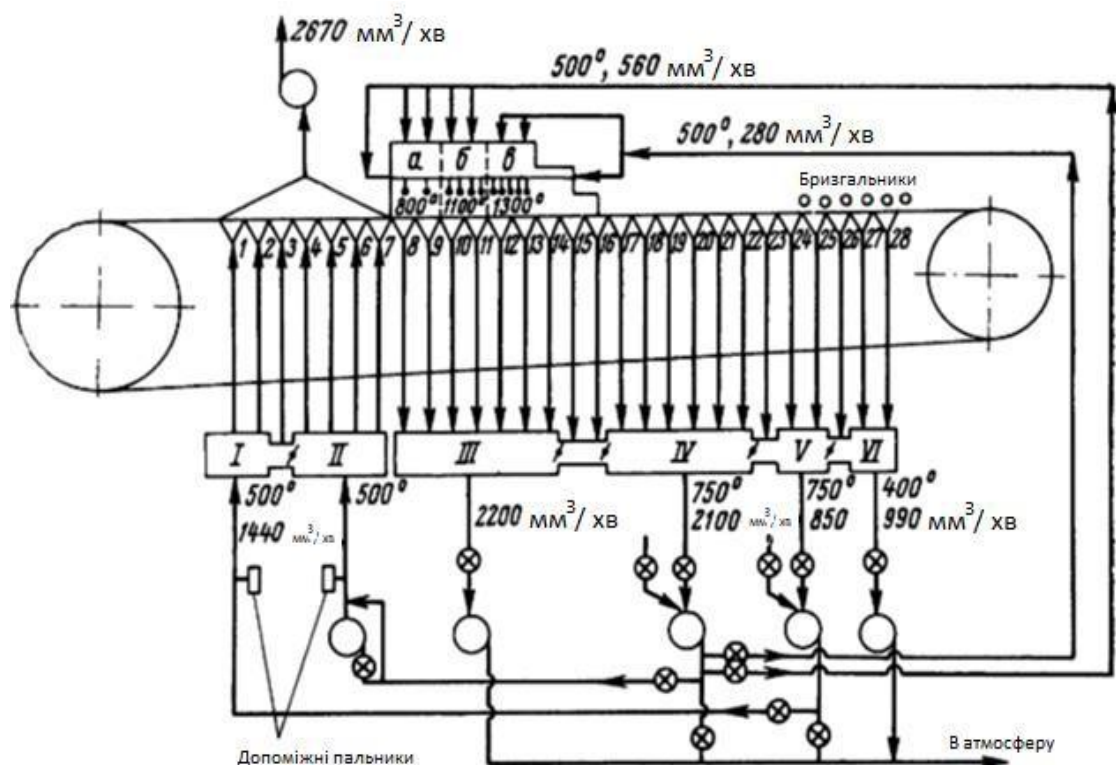


Рисунок 1.3 - Схема газоповітряних потоків конвеєрної машини для випалу обкотишів твердим паливом

Перші сім вакуум-камер на цій машині, які функціонують за принципом верхньої тяги, використовуються для попереднього сушіння

обкотишів. Для цього використовується газ з температурою від 430 до 480°C, що подається вентилятором з продуктивністю 1480 м³/хв із зон випалу та охолодження. У процесі сушіння вологість обкотишів знижується з 10% до 2%. Крім того, під час запуску машини використовуються допоміжні пальники для підігріву газів, які надходять у зону сушіння.

Ця зона сушіння закрита зверху кожухом, з-під якого відходящі гази відсмоктуються димососом з продуктивністю 2670 м³/хв. Наступні сім вакуум-камер, обладнані системою нижньої тяги, перекриті горном з секціями для сушіння, підігріву та запалювання. У процесі спалювання рідкого палива температура у секції сушіння підтримується на рівні 800°C, у секції підігріву – 1100°C, а в секції запалювання досягає 1300°C. До кінця зони запалювання верхній шар обкотишів, на глибину 75-100 мм, нагрівається до високої температури, що сприяє розвитку процесу горіння твердого палива в нижній частині шару. Для обслуговування горна використовується вентилятор з продуктивністю 2200 м³/хв, і під горном автоматично підтримується невеликий позитивний тиск.

У зоні сушіння конвеєрної колосникової машини, де гази продуваються догори, відбувається зниження вологості обкотишів з 10% до 5%. Решта вологи повністю видаляється в процесі прососу газів вниз.

Останні 14 вакуум-камер машини працюють на основі прососу вниз і обслуговуються трьома вентиляторами. Продуктивність цих вентиляторів різна: в зоні випалу (9 камер) - 2100 м³/хв, у першому ступені охолодження (3 камери) - 850 м³/хв, а в другому ступені охолодження (3 камери) - 990 м³/хв. У зонах випалу та першого ступеня охолодження температура газів досягає 750°C. Завдяки підсмоктуванню холодного повітря через спеціальні клапани, температура газів перед вентиляторами знижується до 430-480°C.

У другому ступені охолодження обпалені обкотиші додатково охолоджуються за допомогою зрошення водою. Вологе повітря, що відсмоктується вентиляторами з цієї зони, має температуру близько 400°C і викидається в атмосферу.

Час перебування обкотишів і швидкість газів у кожній зоні конвеєрної колосникової машини детально описані в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Режим роботи конвеєрної колосникової машини

№ n/n	Зона	Час перебування, хв	Швидкість газів, нм³/м²сек
1	2	3	4
	Сушіння:		

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
1	з нижньою тягою	7,8	1,03
2	прососом зверху вниз	2,2	1,82
3	Підігріву:	2,2	1,82
4	Запалювання палива:	2,2	1,82
5	Випалення:	10,0	1,16
	Охолодження:		
6	• I стадія	3,35	1,40
7	• II стадія	3,35	1,63

Після проходження процесу обпалювання, обкотиші з температурою між 320 - 370°C розвантажуються з машини на стаціонарний грохот, оснащений щілиною розміром 100 мм. Верхня фракція, яка проходить через грохот, подалі дробиться за допомогою одновалкової дробарки. Нижня фракція піддається мокрому грохотінню на одnodечному вібраційному грохоті, що має дві секції з отворами розміром 5 і 38 мм.

Фракція 5 - 0 мм подалі розділяється на мокрому класифікаторі на два класи: клас 5 - 0,6 мм направляється до готового продукту, тоді як клас 0,6 - 0 мм відправляється на повторне використання. Готові обкотиші розміром більше 38 мм охолоджуються водою у барабанному охолоджувачі та додаються до готового продукту, який має крупність в діапазоні 100 - 0,6 мм. Загальний обсяг матеріалу, що повертається на повторне використання, складає близько 2-3% від загальної кількості. Витрата тепла на випал із застосуванням твердого палива на конвеєрній машині становить 175 тис. ккал/т обкотишів, у тому числі 152 тис. ккал/т вносить рідке паливо та 23 тис. ккал/т тверде (антрацит). Близько 75 тис. ккал/т виділяється внаслідок окислення магнетиту гематит.

Під час експлуатації машин виникли значні труднощі через короткий термін служби звичайних колосників, які витримували навантаження не більше одного місяця. Це було пов'язано з впливом газів, що омивають колосники, з високою температурою до 1320°C. Спроби застосування ліжка з обпалених обкотишів не дали бажаного результату в плані збільшення терміну служби колосників[18].

Для вирішення цієї проблеми було проведено дослідження, в ході якого вибрано склад жароміцного лиття для колосників. Новий склад, що

містить 28% хрому (Cr) і 3% нікелю (Ni), значно підвищив їх термін служби, збільшивши його до 6 місяців.

На фабриці також вживали заходів для підвищення якості обкотишів. Зокрема, відмовилися від застосування твердого палива, збільшили довжину машин на 2.75 метри та перейшли на метод охолодження обкотишів у другому ступені за допомогою продування повітря знизу вгору. Використання повітря з зони охолодження у зонах сушіння та випалу дозволило знизити витрати тепла на 25 тис. ккал на тонну обкотишів, що є значним енергетичним заощадженням.

Фабрика огрудкування компанії «Клівленд Клиффс Айрон» слугує прикладом процесу обпалювання обкотишів за допомогою твердого палива, при цьому повітря подається знизу, а газу, що відходять, відсмоктуються зверху шару обкотишів (див. Рисунок 1.4).

На цій фабриці використовуються тарілчасті огрудковувачі діаметром 5,5 метрів, які розташовані поруч з випалювальною машиною. У цих огрудковувачах на кільцеві жолоби наноситься близько 4-5% антрациту на поверхню обкотишів. Процес обпалювання відбувається на конвеєрній машині розміром 1,83x67 метрів, яка поділена на три зони: запалення, випалу та охолодження.

Зона запалення складається з 5 камер, перекритих гірником з 6 пальниками, в яких використовується пропан як паливо. Під час роботи в цій зоні під візками підтримується розрідження на рівні 130 мм водяного стовпа. Перед запальним горном на колосники укладається шар ліжка товщиною 100 мм із дрібних обпалених обкотишів (5-11 мм), на який додатково наносять шар антрациту крупністю 5-10 мм заввишки 25 мм. Після гірника на розпечену поверхню антрациту завантажують перший шар сирих обкотишів з вологістю 9-9,5% і заввишки 200 мм за допомогою вібраційного живильника. На довжині машини послідовно розташовано чотири тарілчасті огрудковувача[19].

У процесі випалу обкотишів, коли повітря подається знизу вгору, в шарі обкотишів в одному напрямку з повітрям переміщується зона випалу. Після того, як повітря досягає верхньої частини першого шару обкотишів, на машину завантажують другий шар сирих обкотишів від другого огрудковувача. Подібним чином відбувається послідовне завантаження обкотишів з третього та четвертого огрудковувачів. Таким чином формується загальна висота шару обкотишів, що складає приблизно 900 мм.

Час, протягом якого перший шар обкотишів перебуває на випалювальному візку машини, становить близько 70 хвилин. Цей час є важливим для забезпечення рівномірного та повного випалу обкотишів у відповідності до встановлених технологічних параметрів.

Після завершення процесу випалу, обкотиші проходять через процес охолодження на останніх секціях колосникових ґрат. Це охолодження здійснюється за допомогою повітря, яке подається зверху вниз. Повітря, що нагрівається в зоні охолодження, згодом використовується у зоні випалу, сприяючи таким чином ефективнішому використанню тепла.

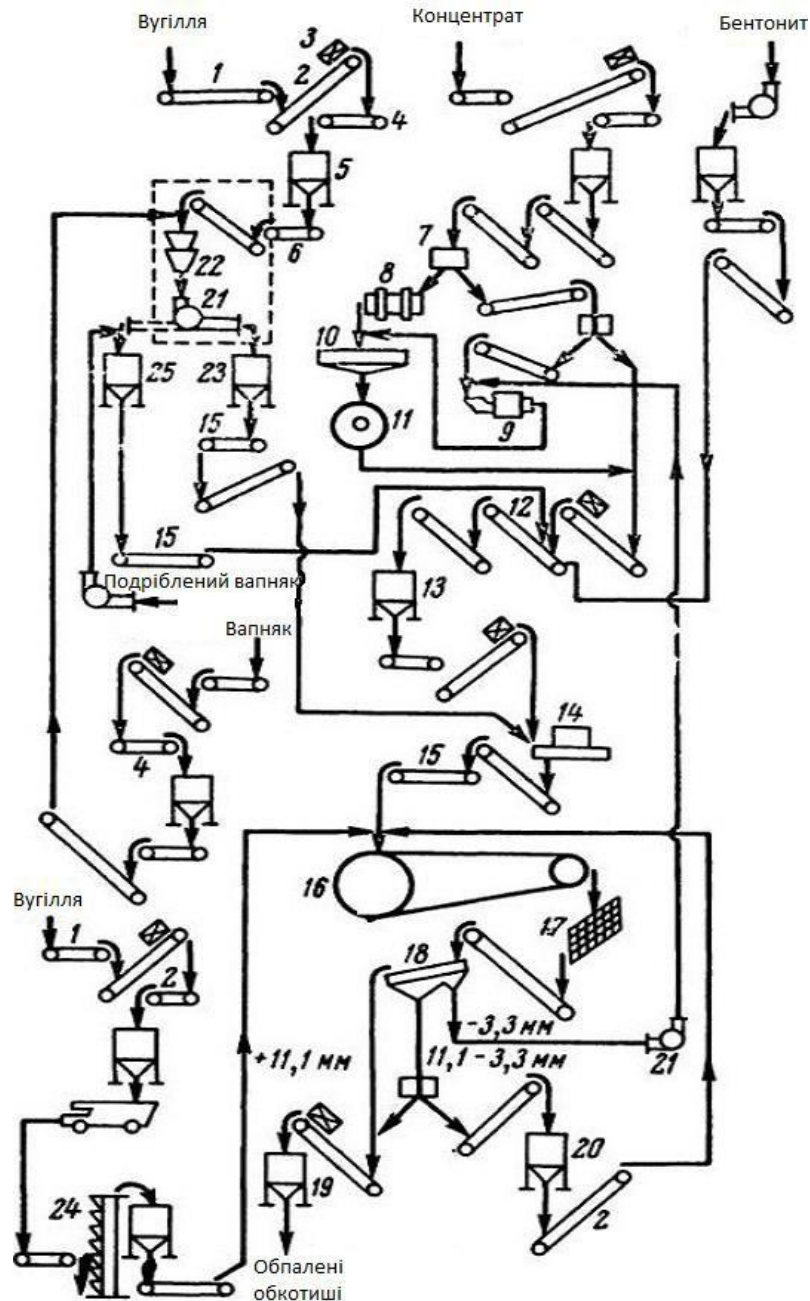


Рис.1.4. - Схема ланцюгів та апаратів фабрики «Клівленд Клиффс Айрон»: 1 - стрічковий вагодозувальник; 2 - стрічковий конвеєр; 3 - конвеєрні ваги; 4 - чолноковий конвеєр; 5 - бетонний бункер; 6 - тарільчастий живильник з конвеєром; 7 – шибер; 8 – репульпація; 9 - кульовий млин; 10 - згущувач Дорра; 11 - семидисковий фільтр (два); 12 – міксер; 13 - бункер ємністю 100 т (чотири); 14 - тарільчасті огрудковувачі; 15 - вібраційний живильник; 16 - обпалювальна машина; 17 - колосниковий гуркіт; 18 - двохдечний колосниковий гуркіт; 19 - бункер для випалених обкотишів; 20 - бункер

для постілі; 21 – пневмонасос; 22 – млин; 23 - бункер для вугілля; 24 - ковшовий елеватор - бункер для вапняку.

Після того, як обкотиші розвантажуються з машини, вони піддаються грохотінню на дводечному грохоті, обладнаному отворами розміром 11 мм та 5 мм. Обкотиші, що мають крупність понад 11 мм, потім транспортуються до бункерів або на склад. Обкотиші розміром між 11 та 5 мм використовуються як ліжко для наступних партій обкотишів, а дрібниця розміром від 5 до 0 мм подрібнюється та повертається назад у процес для виготовлення нових обкотишів. Загальний відсоток такого повторного використання (повернення) становить близько 10% від загальної кількості оброблених обкотишів.

Перші проекти огрудковувальних фабрик у Радянському Союзі, що були спрямовані на виробництво офлюсованих залізорудних обкотишів, передбачали використання комбінованого палива - як твердого, так і газоподібного (рідкого). Цей підхід був обумовлений бажанням оптимізувати процес виробництва та забезпечити більш ефективне використання ресурсів[17].

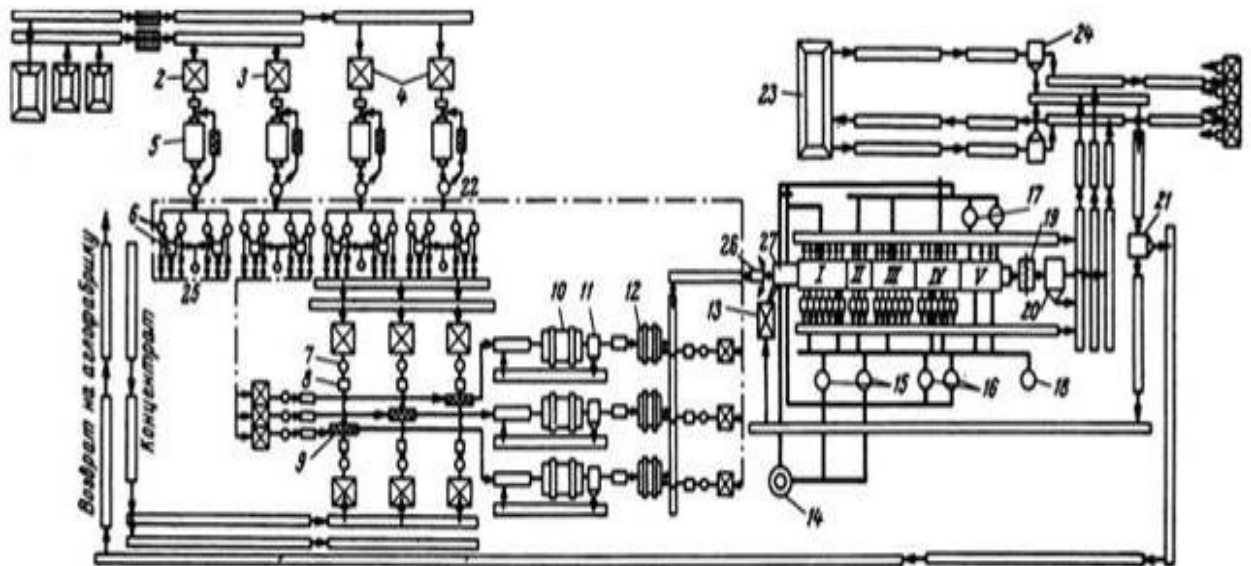


Рис.1.5. - Схема ланцюгів та апаратів огрудковувальної фабрики ССГОКу: 1 – дробарка молоткова 1300×1600; 2 – бункер антрациту; 3 – бункер бентоніту; 4 – бункер вапняку; 5 – кульовий млин ШБМ/600; 6 - циклони; 7 – живильник тарільчастий; 8 - ваги стрічкові; 9 – змішувач шнековий двоваловий; 10 – огрудковувач барабанний 2,8×11 м; 11 – гуркіт 1750×4250; 12 – барабан для накатування палива 2,2×4м; 13 – бункер донної та бортової постілі; 14 – димова труба; 15 – димосос; 16,17, 25 - вентилятори; 18 – вентилятор млиновий; 19 – дробарка одновалкова; 20 – гуркіт самобалансуючий; 21, 24 – гуркіт інерційний; 22 – сепаратор; 23 – склад обкотишів; 26 – маятниковий живильник; 27 – роликовий гуркіт-укладальник; I - зона сушіння; II – зона підігріву; III, IV – зона випалу; V – зона охолодження

Одним з таких прикладів була огрудковувальна фабрика Соколовсько-Сарбайського гірничозбагачувального комбінату. Ця фабрика була спроектована з річною продуктивністю 8,4 мільйони тонн

офлюсованих обкотишів і складалася з 12 секцій (як показано на Рисунку 1.5). Такий великий обсяг продукції та розмір фабрики свідчили про амбітність проекту та важливість цього виробництва в радянській промисловості того часу.

Використання комбінованого палива дозволяло більш гнучко управляти процесом обпалювання, адаптуючись до різних типів руд та забезпечуючи високу якість кінцевого продукту.

У кожній з 12 секцій огрудковувальної фабрики гірничозбагачувального комбінату розміщена обпалювальна машина моделі ОК-2-108 разом з повним комплектом відповідного обладнання. Також, кожна секція оснащена трьома технологічними гілками, призначеними для виготовлення сирого обкотишу з подальшим нанесенням на його поверхню твердого палива[17].

Кожна технологічна гілка для отримання сирого обкотишу містить наступне обладнання:

1) Бункери для концентрату, вапняку та бентоніту, обладнані тарілчатими живильниками діаметром 2 метри та ваговими дозаторами стрічкового типу.

2) Двовісний гвинтовий мішалка розміром 0,6 x 4,8 метри.

3) Барабан-огрудковувач розміром 2,8 x 11 метрів.

4) Вібраційний грохот для просіювання сирого обкотишу.

5) Барабан розміром 2,8 x 4 метри для нанесення палива.

6) Система конвеєрів для транспортування матеріалів.

Завантаження обкотишів на обпалювальну машину здійснюється за допомогою качаючого живильника та роликового грохоту-укладача. Це забезпечує ефективне та рівномірне розподілення обкотишів на машині для подальшого обпалювання.

Обпал сирих обкотишів проводиться на конвеєрній машині ОК-2-108. Вся площа машини поділена на п'ять зон. Загальна робоча площа машини 108 м², під зону сушіння зайнято 28 м². Сушіння окатишів проводиться прососом газів зверху вниз при температурі 300 - 3500 С і швидкості теплоносія 1 - 1,1 м/сек, при розрідженні у вакуум-камерах 400 мм вод. ст. Зона підігріву займає 12 м². Окатиші у цій зоні підігріваються до температури 900 - 1000 С при швидкості теплоносія 0,6 - 0,8 м/сек і розрідженні під колосниками машини 470 мм вод. ст. Зона обпалу займає площу 24 м². Температура газу в цій зоні 1300 - 1350 С, швидкість газоподібного теплоносія - 0,5 - 0,6 м/сек, розрідження - 450 мм вод. ст. Зона рекуперації займає таку ж площу як і до зони обпалу. У цій зоні температура у шарі окатишів досягає 1300 - 1350 С при швидкості прососуваних газів 0,5 - 0,6 м/сек і розрідженні у вакуум-камерах 450 мм вод. ст. Зона охолодження займає площу 20 м². Охолодження окатишів

проводиться атмосферним повітрям, продуваючим через шар окатишів знизу вгору зі швидкістю 1- 2 м/сек, під тиском 900 мм вод. ст. [17].

Після завершення процесу обпалювання, обкотиші направляються через одновальцеву зубчасту дробарку. Метою цього етапу є руйнування спіків, що утворилися в процесі обпалювання. Після дроблення обкотиші подаються на самобалансуючий грохот, де вони розділяються на два класи: фракція понад 12 мм та фракція від 12 до 0 мм.

Обкотиші з фракції понад 12 мм направляються до вагонів або на склад для подальшого використання або реалізації. Клас від 12 до 0 мм поділяється на дві частини: постіль (фракція від 6 до 12 мм) та повернення (фракція від 6 до 0 мм). Матеріал з фракції повернення відправляється на аглофабрики для повторного використання.

Для отримання обкотишів задовільної якості використовується концентрат, який містить більше 92% фракції дрібніше 0,074 мм і менше 9,5% вологи. Під час запуску та досвідної експлуатації першої черги фабрики були здійснені спроби дренувати вологу з концентрату на складі, який містить близько 80% фракції дрібніше 0,074 мм і певну кількість води. Однак ці спроби не дали позитивних результатів, що свідчить про важливість відповідного вмісту вологи та розміру фракції для якісного виробництва обкотишів.

Процес огрудкування на фабриці включає використання як вологих концентратів (з вмістом води), так і підсушених концентратів (3-4% води), а також використання підсушеного (6-7% води) та усередненого на закритому складі концентрату. Дослідження показало, що властивості обкотишів, отриманих у обох випадках, є практично однаковими. Однак, важливо відзначити, що умови та якість дозування вологого концентрату виявилися гіршими, ніж у випадку підсушеного концентрату.

Для покращення умов дозування вологого концентрату були вжиті такі заходи:

На кожен бункер було встановлено по три вібратори, які працюють автоматично згідно з заданою програмою.

Телескопи дискових живильників діаметром 1,2 м з радіальним розвантаженням були замінені на телескопи діаметром 1,8 м з осьовим розвантаженням матеріалу.

Крім того, дозування дрібномеленого сухого вапняку було визнано найбільш ефективним при використанні вібраційних живильників. Для збільшення продуктивності шнекових двовалових змішувачів шихти до 45 т/год, зниження потужності двигунів приводу та подовження терміну служби лопаток, на ріжучі кромки лопаток були закріплені по два різці з твердого сплаву, що також сприяло зниженню потужності двигунів та підвищенню надійності роботи обладнання.

Для поліпшення якості гарнісажу в барабанних огрудковувачах продольні куточки розміром 60 x 60мм були зрізані врівень зі стінкою барабанів та торкретовані їх робочі поверхні бетоном. Це дозволило зменшити радіальне биття внутрішньої поверхні барабанів з 50 до 6 - 20 мм, наблизити очисні пристрої до стінок і запобігти місцевим обривам гарнітура з утворенням в ньому виїмок. Для усунення поломок та зниження амплітуди вібрацій очисних пристроїв (що рухаються возвратно-поступально) штангу підсилили продольною фермою, а на очисні пластини шириною 130 мм встановили по два різця прямокутного (17 мм) або шестигранного перетину (передній кут 90°, задній кут 30°). Випробування обертового очисного пристрою у вигляді труби з розташованими по спіралі різцями дало позитивні результати. Гарнісаж виходить щільним з поперечними канавками глибиною 10 - 15 мм на робочій поверхні. Для кращого розподілу матеріалу по ширині вібраційних грохотів типу ПІСА, підвищення їх продуктивності та ефективності грохочення розвантажувальні насадки барабанів-огрудковувачів подовжили, прорізали в них спіральні щілини шириною 110 мм з кутом нахилу спіралі 14°30', а також збільшили амплітуду коливань рам грохотів з 3 до 4 мм (збільшили вагу дебалансів до 10 кг) та кут їх нахилу (з 15° до 17°30'). Сітку грохотів почали кріпити до рами поперечною розтяжкою з продольним кріпленням прутами, оскільки метод бічного кріплення сітки клинами ненадійний і не забезпечує її достатнього натягу.

На фабриці було вжито заходів для оптимізації процесу огрудкування, що включали заміну жолобів на конвеєрах циркулюючого навантаження огрудковувачів на стрічкові конвеєри. Така заміна була виконана через проблему налипання шихти на жолобах. Використання стрічкових конвеєрів сприяло стабілізації процесу огрудкування, оскільки вони забезпечують більш рівномірне та безперебійне транспортування матеріалу.

Крім того, було вирішено збільшити кут нахилу барабанів-огрудковувачів до 7 градусів. Цей захід має на меті підвищити ефективність перемішування і руху шихти всередині барабанів, що, в свою чергу, сприяє кращому формуванню та якості обкотишів. Збільшення кута нахилу допомагає забезпечити оптимальний час перебування шихти у барабані, що є ключовим для досягнення потрібних параметрів огрудкованих продуктів.

Оновлення конструкції обладнання та покращення якості вихідного матеріалу, включаючи зниження рівня вологи в концентраті до 9,5%, підвищення частки дрібних частинок (розміром до 0,074 мм) у концентраті до 92 - 95%, а також використання бентоніту, забезпечили виробництво сирих обкотишів з міцністю на розтиск до 1,5 кг на обкотиш. Також ці зміни допомогли збільшити ефективність огрудковувачів, досягнувши продуктивності до 40 тонн на годину.

Під час розробки процесу обпалювання обкотишів було внесено зміни у розподіл площі різних зон конвеєрних машин. Спочатку площу зони охолодження збільшили до 25,9%, що вимагало зменшення площі зони рекуперації. Пізніше на деяких машинах площа зони охолодження була збільшена ще більше, до 33,3%, при цьому площа зон рекуперації зменшилася до 14,8%, а зона сушіння - до 18,6%.

Відмовившись від використання твердого палива, барабани для його нанесення на поверхню обкотишів були демонтовані. Спочатку як паливо використовували мазут марок М40, М60, М80 та М100 з вмістом сірки до 3,5%, але згодом перейшли на використання природного газу з Бухарського родовища.

На фабриці були випробувані два типи укладачів сирих обкотишів на обпалювальну машину: роликовий та качаючийся стрічковий із гідроприводом (12 качань/хв) або механічним приводом (25 качань/хв). Роликовий укладач, обладнаний 36-42 роликami діаметром 102 мм та довжиною 1950 мм, виготовленими з нержавіючої сталі, обертається зі швидкістю 30-70 об/хв. Довжина укладача становить 3500 мм, кут нахилу – 6°, і продуктивність досягає 130 т/год.

Наразі на всіх обпалювальних машинах встановлені роликові укладачі, які найкраще відповідають технологічним вимогам завантаження обкотишів. Роликові укладачі забезпечують більш рівномірне завантаження машини по ширині та довжині, особливо у комбінації з качаючимися укладачами.

В процесі оптимізації роботи обпалювальних машин відбулись значні зміни. Спочатку вібраційний живильник для завантаження донної постелі, що працював нерівномірно, був замінений на новий живильник, який функціонує за принципом стрічкового дозатора, використовуючи обпалювальні візки машини як дозуючі органи. Для рівномірного розподілу донної постелі застосовували рівняльний ніж.

У процесі налагодження гірничо-обпалювальних машин їх було реконструйовано. Динасову кладку замінили шамотною, закріпивши її на корпусі, товщину футеровки горна збільшили з 430 до 480 мм за рахунок звуження його робочого простору, форсунки в зоні рекуперації демонтували, а в зоні обпалювання зменшили їх кількість з 20 до 12. Для сушіння футеровки горна в зоні охолодження встановили додатково дві форсунки і здійснили безвентиляторний перетік гарячого повітря з зони охолодження в зону рекуперації. На всіх обпалювальних візках колосники прямокутної форми замінили клиноподібними товщиною 30 мм зі щільною між ними 6 мм, які менше забиваються дрібницею. На обпалювальних візках встановили нахилений борт, а на вакуум-камерах теплові компенсатори.

При переході на використання природного газу мазутні форсунки замінили турбулентними горілками, при цьому в зоні підігріву встановили 6 горілок продуктивністю по 130 м³/год, а в зоні обпалювання - 12 горілок продуктивністю по 300 м³/год. Зону сушіння обладнали 22 інжекційними горілками продуктивністю по 25 м³/год. На природному газі продуктивність обпалювальних машин стала на 3 - 4% вищою, ніж на мазуті, а питома витрата палива знизилася на 8 - 10%. Питома витрата тепла склала близько 300 тис. ккал/т обпалених обкотишів[17].

Показники роботи заводу та якість товарної продукції до та після модернізації наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні показники роботи фабрики огрудкування ССГОКу

№ n/n	Показники	До модернізації	Після модернізації
1	2	3	4
1	Питома продуктивність обпалювальних машин, т/м ² год	0,51	0,75
2	Вихід повернення від окатишів, %	5,0	2,8
	Витрата палива:		
3	• мазуту, кг/т	46,6	-
4	• природного газу, м ³ /т	-	38,0
5	Вологість сирих обкотишів, %	8,7	8,7
6	Міцність сирих обкотишів на розтиск, кГ/обкотиш	1,42	1,36
	Вміст фракції у сирих обкотишах:		
7	• - 5 мм	1,0	0,7
8	• + 20 мм	5,3	4,2
	Вміст у товарних окатишах, %		
9	• Fe	60,95	62,7
10	• FeO	3,51	3,9
11	• S	0,15	0,057
12	Основність	1,14	1,14
13	Вміст дрібниці 5 - 0 мм у товарних обкотишах, %	7,7	5,4

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4
14	Барабанний тест товарних обкотишів, %	7,37	3,2
15	Міцність товарних обкотишів на розтиск, кГ/обкотиш	191	235

Огрудкувальна фабрика гірничо-збагачувального комбінату розроблена з метою виробництва 6,8 мільйонів тонн офлюсованих обкотишів щорічно. В корпусі підготовки шихти розміщено обладнання, необхідне для подрібнення компонентів шихти, зону змішування, а також бункери для зберігання готової шихти з дозуючими механізмами[17].

Враховуючи відносно високий рівень вологи в концентраті (10-11%), що подається на огрудкування, а також потенційне збільшення вологості у зв'язку з переходом збагачувальної фабрики на виробництво високосортного концентрату з вмістом заліза 65-66%, подрібнення вапняку та бентоніту здійснюється сухим способом. Також передбачено включення в шихту сухих повернень обпалених обкотишів.

Компонування обладнання в корпусі огрудкування, включаючи тарілчасті огрудковувачі діаметром 5,5 метрів, можна побачити на рисунку 1.6. Ця конфігурація обладнання сприяє ефективному та раціональному процесу огрудкування, враховуючи специфічні умови та вимоги, що ставляться до якості кінцевого продукту.

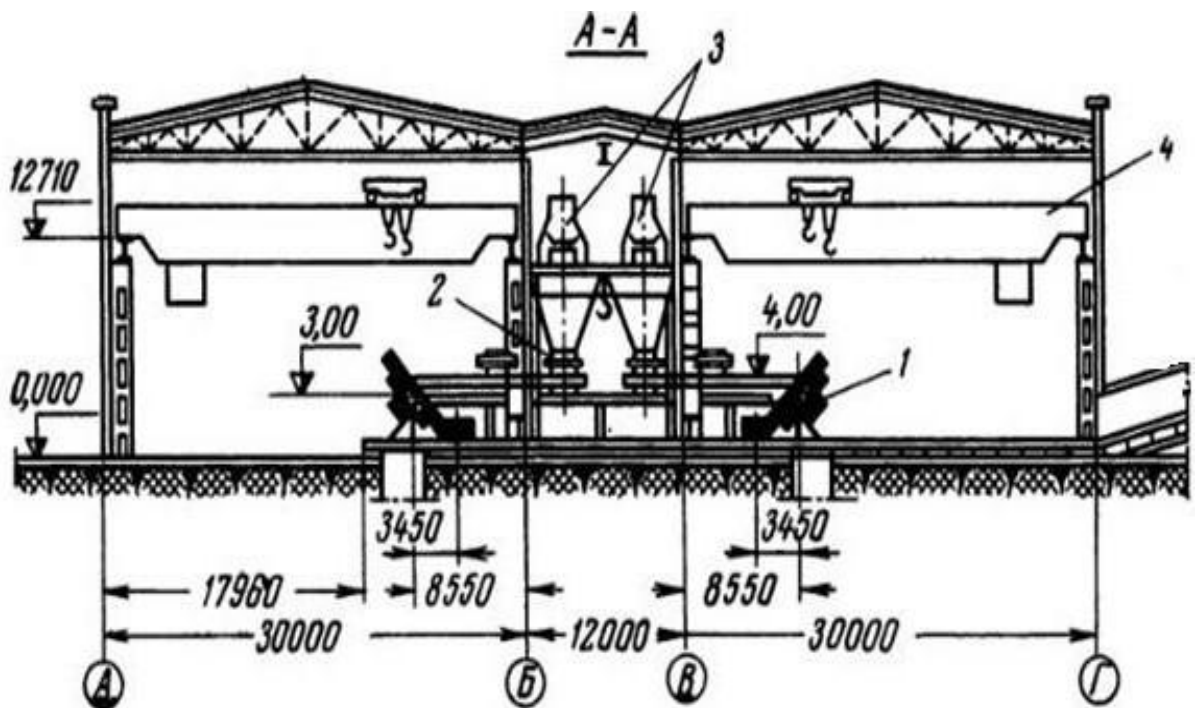


Рис.1.6 – Корпус огрудкування ГЗК: 1 – тарільчасті огрудковувачі діаметром 5,5м; 2 – бункери шихти з дисковим живильником; 3 – самохідні розвантажувальні візки шихти; 4 - крани

На промисловій огрудкувальній фабриці у корпусі обпалювання розміщено важливе обладнання, включаючи обпалювальні машини типу ОК-5-108. Деталізація цих машин наведена в таблиці 1.5. Крім обпалювальних машин, у цьому корпусі також встановлені газоочисні установки, які забезпечують очищення відпрацьованих газів, та тягодувне обладнання, необхідне для створення необхідного тиску та руху повітря і газів в процесі обпалювання.

Це обладнання є ключовим для ефективної роботи обпалювального процесу, дозволяючи не тільки забезпечувати якісний обпал обкотишів, але й відповідати екологічним стандартам завдяки очищенню викидів. Таке комплексне технічне оснащення сприяє підвищенню продуктивності та ефективності роботи фабрики.

Таблиця 1.5 – Характеристики конвеєрної машини типу ОК-5-108

№ n/n	Показники	Зона					
		Сушіння	Підігріву	Обпалювання I	Обпалювання II	Рекуперації	Охолодження
1	Продуктивність, т/год			90	110		
2	Довжина, м			54			
3	Ширина, м			2			
4	Площа, м ²	28,9	11,1	7,0	15,0	23,0	19,1
5	Температура, °С	350	1000	1350	1200	1200	-
6	Швидкість візків, м/хв			0,5	3		
7	Максимальна висота шару, мм			250			
8	Кількість горілок	25	6	4	8	12	2
9	Продуктивність 1-го пальника, м ³ /год	25	130	300	130	130	130
10	Потужність приводу, кВт			20			
11	Вага машини, тонн			1246			

Корпус павільйонного типу на огрудковувальній фабриці має унікальну конструкцію, що складається з трьох прольотів по 30 метрів кожен. З них два прольоти повністю закриті, тоді як третій прольот, який використовується для розвантажування частини обпалювальних машин, залишається відкритим. Таке рішення дозволяє оптимізувати процес обпалювання і забезпечує легкий доступ до обладнання для обслуговування та ремонтних робіт.

Обпалювальні машини встановлені на окремих опорах, забезпечуючи стабільність та надійність у роботі. Для зручності обслуговування обладнання на фабриці передбачені металеві площадки. Відстань між осями обпалювальних машин становить 24 метри, що забезпечує достатньо простору для ефективної роботи і технічного обслуговування[17].

Перед тим, як сирі обкотиші надходять на візки обпалювальних машин, вони проходять контрольне грохочення на роликовому укладачі, де відбувається відсів дрібниці фракції 5-0 мм. Обпалювання обкотишів здійснюється з використанням природного газу, який спалюється над шаром обкотишів. Це дозволяє ефективно та рівномірно нагрівати обкотиші, забезпечуючи високу якість кінцевого продукту.

У зоні сушіння обпалювальних машин використовуються допоміжні пальники, які відіграють важливу роль у підтримці необхідної температури. Ці пальники забезпечують сталу температуру, що є критично важливим для якісного сушіння обкотишів, незалежно від коливань температури рециркулюючих газів, які повертаються з більш високотемпературних зон машини. Така система дозволяє забезпечити рівномірне сушіння і попереджає можливість недосушування або пересушування обкотишів, що могло б негативно вплинути на якість кінцевого продукту.

У зв'язку з недостатнім охолодженням обкотишів прямо на обпалювальних машинах, їх розвантаження виконується у металеві залізничні вагони. Це дозволяє обкотишам додатково охолодитися перед відправкою. Готові обкотиші можна направляти безпосередньо на металургійні заводи для подальшого використання або зберігати на відкритих складах, де вони будуть додатково охолоджуватися природним шляхом.

Обпалені обкотиші характеризуються високою міцністю на розтиск, яка варіюється від 190 до 230 кг на обкотиш. Стандартний барабанний тест для обкотишів показує відсоток розтиснення в межах 13-15%, в той час як вміст дрібниці розміром від 3 до 0 мм становить від 8 до 12%. Ці показники свідчать про високу якість обкотишів, що важливо для ефективності подальших металургійних процесів.

Фабрика огрудкування "Гумбольдт" компанії "Клівленд Кліффс Ко" служить яскравим прикладом використання комбінованої установки для обпалювання обкотишів, яка включає решітку та трубчасту піч. Цей інноваційний підхід дозволяє ефективно обробляти обкотиші, використовуючи переваги обох видів обладнання[17].

Решіткова частина установки використовується для первинного обпалювання або сушіння обкотишів, в той час як трубчаста піч забезпечує подальше інтенсивне обпалювання. Така комбінація дозволяє досягти високої однорідності обпалювання та ефективного використання енергії.

На фабриці, що має продуктивність 800 тисяч тонн на рік, обробляються гематитові концентрати. Огрудкування цих концентратів здійснюється у барабанних огрудковувачах розміром 2,75 на 9,15 метрів. У процесі огрудкування використовуються бентоніт та вапняк як зміцнювальні добавки, що сприяють формуванню міцних та однорідних обкотишів.

Перед тим, як сирі обкотиші потрапляють на етап обпалювання, вони проходять через контрольне грохочення. Це дозволяє відокремити дрібні частинки та забезпечити однорідність розмірів обкотишів перед їх подальшою обробкою.

На фабриці функціонують дві установки "решітка - трубчаста піч", і для кожної з них передбачено два барабани-огрудковувача. Таким чином, загальна кількість барабанів-огрудковувачів на фабриці становить чотири. Ця конфігурація обладнання забезпечує ефективність виробничого процесу, дозволяючи оптимально використовувати ресурси та досягати високої продуктивності[14].

Конвеєрна колосникова решітка, яка функціонує як підлога горна на фабриці, має довжину 21,65 м та ширину 2,85 м, та може переміщатися зі швидкістю від 0,25 до 1,5 м/хв. Ця решітка розділена перегородкою на дві основні зони – зону сушіння та зону підігріву, під якими розміщені три та чотири вакуум-камери відповідно.

Обкотиші розміром 9,5 - 12,5 мм завантажуються на решітку шаром висотою 200 мм. Процес сушіння обкотишів здійснюється за допомогою прососу газів зверху вниз при температурі 260 - 315°C. Експаустер, відповідальний за відсмоктування газів з камер зони сушіння, має продуктивність 2265 м³/хв при температурі газу 200°C і створює розрідження близько 180 мм вод. ст. Гази після зони сушіння, які мають температуру 120 - 175°C, розводяться підсмоктаним повітрям і викидаються в атмосферу[17].

У зоні підігріву обкотиші нагріваються до температури 1000 - 1100°C за допомогою відхідних газів з печі, що просасуються через шар зверху вниз. Вентилятор з продуктивністю 2830 м³/хв при температурі 400°C і

розрідженні близько 250 мм вод. ст. відповідає за цей процес. Відхідні гази зони підігріву, перед проходженням через вентилятор, очищаються від пилу в циклонах і направляються назад в зону сушіння.

Таблиця 1.6 – Розмір промислових комбінованих установок різної продуктивності

№ n/n	Агрегати установки	Продуктивність т/добу		
		1070	3020	4000
		Розміри, м		
1	Конвеєрна машина	2,85 x 21,65	3,75 x 38,5	4,5 x 40
2	Трубчаста піч	3,04 x 36,6	4,57 x 34,7	6 x 52
3	Охолоджувач (діаметр)	7,7	12,2	16,8

На решітці обпалювальної установки обкотиші набувають міцності в межах 7-14 кг на обкотиш в результаті рекристалізації гематитових зерен. Після цього вони безпосередньо завантажуються у обертову трубчасту піч розміром 3,05 x 36,6 метрів, яка здатна обертатися зі швидкістю від 30 до 150 обертів на годину. Така конструкція печі дозволяє ефективно обпалювати обкотиші, забезпечуючи рівномірний нагрів.

Піч має шамотну футеровку товщиною 152 мм на першій половині (18 метрів) і 230 мм на другій половині (18,6 метрів). Обидва кінці печі оснащені системою охолодження, що складається з подвійних стінок, куди повітря подається вентиляторами продуктивністю 3600 м³/год та тиском 375 мм водяного стовпа.

Торцевий пальник, встановлений на розвантажувальному кінці печі, підтримує температуру в зоні обпалювання на рівні 1340 - 1370°C з коефіцієнтом надлишку повітря близько 2. Таке регулювання температури є важливим для якісного обпалювання обкотишів.

Охолодження обпалених обкотишів відбувається в кільцевому охолоджувачі, який обертається зі швидкістю від 0,5 до 2,5 обертів на годину. Охолоджувач складається з двох стаціонарних секцій (верхньої та нижньої) та однієї обертової середньої секції, з футеровкою з вогнетривкої цегли в верхній та середній секціях. Дно середньої секції складається з решітчастих блоків, які на кінці циклу охолодження перекидаються над розвантажувальним жолобом.

Повітря для охолодження подається двома вентиляторами з продуктивністю 6225 м³/хв при тиску 250 мм вод. ст. Повітря з зони попереднього охолодження, що має температуру 870 - 930°C, використовується у трубчастій печі для спалювання палива, тоді як

повітря з зони остаточного охолодження з температурою 300°C викидається в атмосферу.

Такий процес дозволяє не лише ефективно обпалювати обкотиші, але й забезпечувати економію енергії та зниження викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище[17].

1.3. Технологічні процеси цеху огрудкування

Цех з виробництва обкотишів являє собою комплексну промислову установку, яка інтегрує різноманітні технологічні процеси і етапи для ефективного виробництва. В цьому комплексі знаходяться різні відділення, включаючи обладнання для перевертання вагонів, місця зберігання бентоніту та вапняку, зони для подрібнення та змішування добавок, приміщення для підготовки шихти, а також відділення для огрудкування, випалу та грохочення. Також є спеціальні пристрої для навантаження та системи для очищення газів. Вся ця система працює синхронно, аби забезпечити безперервний і якісний процес виробництва обкотишів.

Сам процес виготовлення обкотишів включає ряд послідовних технологічних операцій, починаючи від огрудкування концентрату з додаванням необхідних флюсуючих і зміцнюючих матеріалів, і закінчуючи термічним обпалюванням сирого продукту. Цей процес є типовим для більшості заводів, спрямований на створення залізородних обкотишів, готових до подальшої переробки в металургійній промисловості, тому важливо розуміти кожен з етапів цього процесу для повного осягнення всіх його аспектів[8]. Технологічна схема цеху огрудкування (Рисунок 1.7).

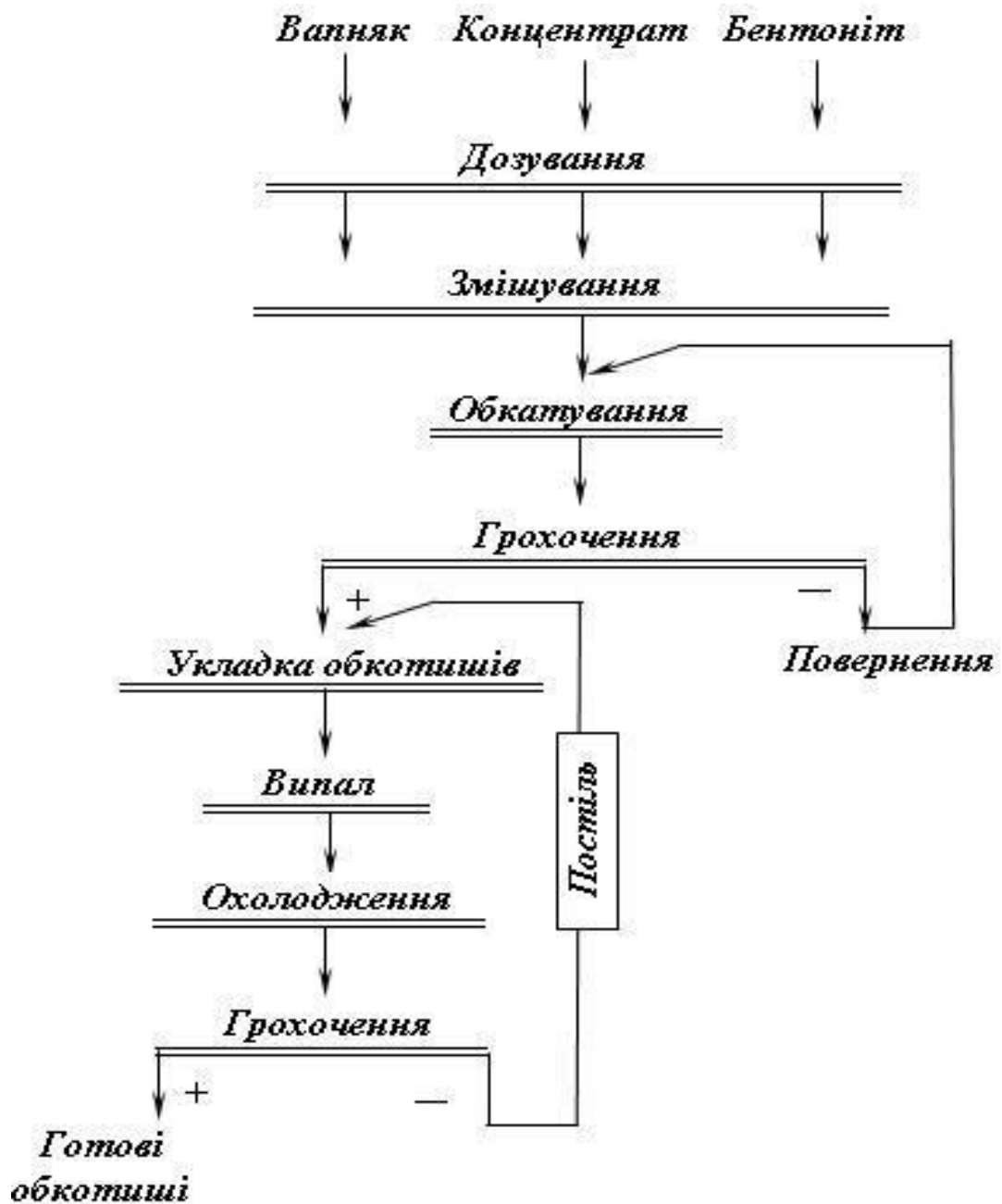


Рисунок 1.7 – Технологічна схема цеху з виробництва обкотушів

Необхідні компоненти, які знаходяться у залізничних вагонах, передаються на вагоноперекидач, розроблений для ефективного розвантаження вагонів різної маси з урахуванням ваги компонентів (Рисунок 1.8). Наступний етап включає подачу матеріалу в бункер та його транспортування до корпусу для подрібнення.

Керування вагоноперекидачем під час вивантаження через естакаду відбувається за допомогою пульта керування, який розміщений у кабіні машиніста вагоноперекидача. Це включає регулювання роботи пластинчатого живильника, керування конвеєрами, а також взаємодію з приточними та аспіраційними системами. Додатково, керування включає ефективне використання дренажних насосів для оптимізації управління водою під час процесу[8].

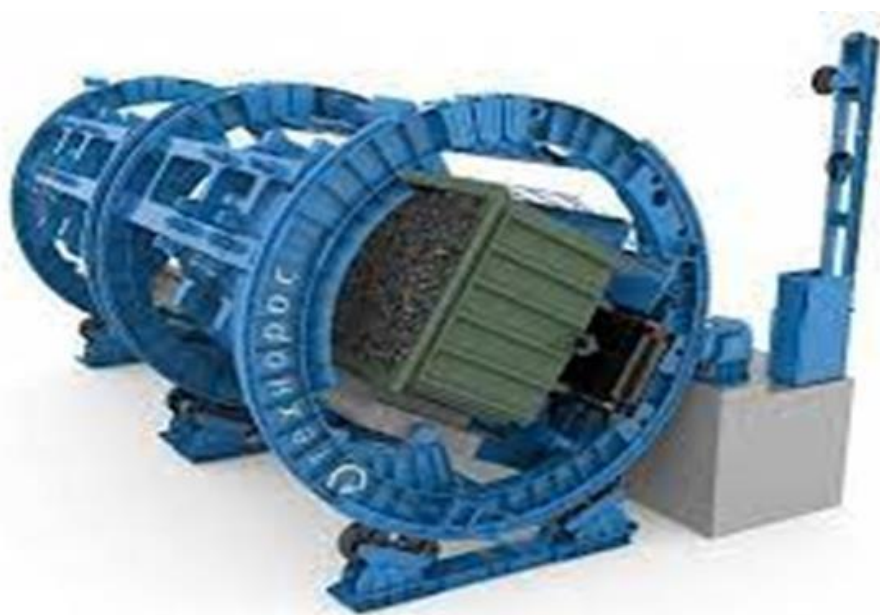


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд вагоперекидача

Ділянка дроблення сировини та підготовки шихти є ключовою частиною процесу виробництва обкотишів, де відбувається підготовка необхідних шихтових матеріалів, як-то бентоніт та вапняк, до їх подальшого оброблення. Процес на цій ділянці включає кілька технологічних етапів:

Першим етапом є дроблення, яке здійснюється в молоткових дробарках за допомогою багаторазових ударів обертових молотків по матеріалу. Ефективність подрібнення залежить від багатьох факторів, таких як розміри ротора, швидкість його обертання, маса та форма молотків, вихідні розміри матеріалу, його фізико-механічні властивості, стан відбійних плит та решітки, а також методи регулювання подрібненого продукту.

Другим етапом є сушіння, де дроблений матеріал сушиться в барабанах до необхідного вмісту вологи. Після сушки матеріал транспортується до бункерів млинів, де відбувається змішування компонентів та додаткове дроблення до потрібного розміру фракцій.

Третім етапом є змішування, важливим завданням якого є досягнення бажаної якості обкотишів з однорідними фізико-хімічними властивостями. Це включає точний розрахунок компонентів шихти, дотримання їх пропорцій та ефективне змішування. Якість змішування залежить від стану сировини та обладнання, систем автоматичного контролю та регулювання.

Ці процеси сприяють створенню однорідної маси з концентрату, вапняку та бентоніту, яка в подальшому використовується для виготовлення обкотишів[8].

Ділянка огрудкування та випалу обкотишів відіграє важливу роль у процесі виробництва та включає ряд критичних технологічних етапів:

Початковим етапом є огрудкування, де шихта з бункеру подається в тарілчастий огрудковувач (Рисунок 1.9) через стрічковий дозатор. Процес огрудкування відбувається за рахунок обертання огрудковувача. Утримання гарнісажу на днищі чаші забезпечується за допомогою пористих ґрат, а донні та бортові ножі з наплавленими зносостійкими пластинками регулюють товщину шару гарнісажу. На тарілчастому огрудковувачі встановлені форсунки для зволоження шихти, забезпечуючи рівномірне розпорощення води. Сирі обкотиші, що виробляються, мають відповідати нормам за гранулометричним складом та вологістю.

Для завантаження сирих обкотишів на обпалювальну машину використовують маятниковий укладальник та роликові живильники. Також застосовуються стаціонарні конвеєри з човниковою головною частиною, короткі пересувні розподільні конвеєри та широкі стрічкові живильники. Весь цей комплекс обладнання забезпечує ефективне та якісне виробництво обкотишів, готових до подальшого термічного випалу.

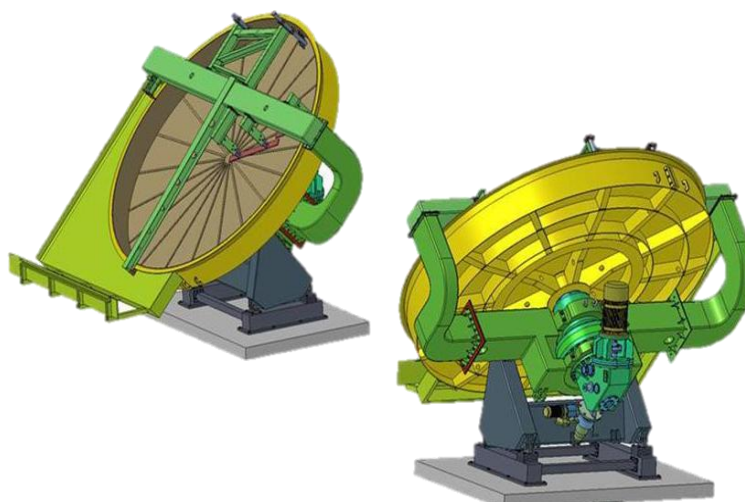


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд тарілчастого огрудковувача

- Випалювання. Обпалювальні конвеєрні машини - це складний в конструктивному виконанні агрегат, що налічує понад 1000 деталей і вузлів. Робочі органи машини працюють у важких експлуатаційних умовах: циклічний високотемпературний режим (вплив температур від 1300-1350 °С до 20 °С), абразивне зношування деталей, цілодобовий безперервний режим роботи, вплив агресивного середовища і т.д.[8].

Метою випалу обкотишів є надання їм міцності, що забезпечує мінімальне утворення дрібниці при транспортуванні обкотишів від фабрики до споживача.

Випалювання поділяється на кілька етапів:

- 1) сушіння, $t = 250\text{...}300\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 2) випал, $t = 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$, сюди входять: нагрівання, випал, рекуперація;
- 3) охолодження з допомогою дуття холодного повітря [8].

На обпалювальній машині «LURGI» (Рисунок 1.10) сирі обкотиші зміцнюють, випалюючи при температурі $1260\text{--}1280\text{ }^{\circ}\text{C}$, і охолоджують до температури $120\text{--}160\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для цього сирі обкотиші, укладені на колосникові решітки обпалювальних візків 1 за допомогою укладача і роликів живильника 2 послідовно проходять зони сушіння 4, підігріву 5, високотемпературного випалу 6 і рекуперації 7, охолодження 8 і 9. Сумарний час перебування обкотишів на стрічці машини 20-30 хв. На стрічку спочатку укладається донна та бортова постіль. Випалювання обкотишів проводиться продуктами згоряння газу, спалюваного за допомогою пальників, що встановлюються в укриттях - камерах зон підігріву та випалення [8].

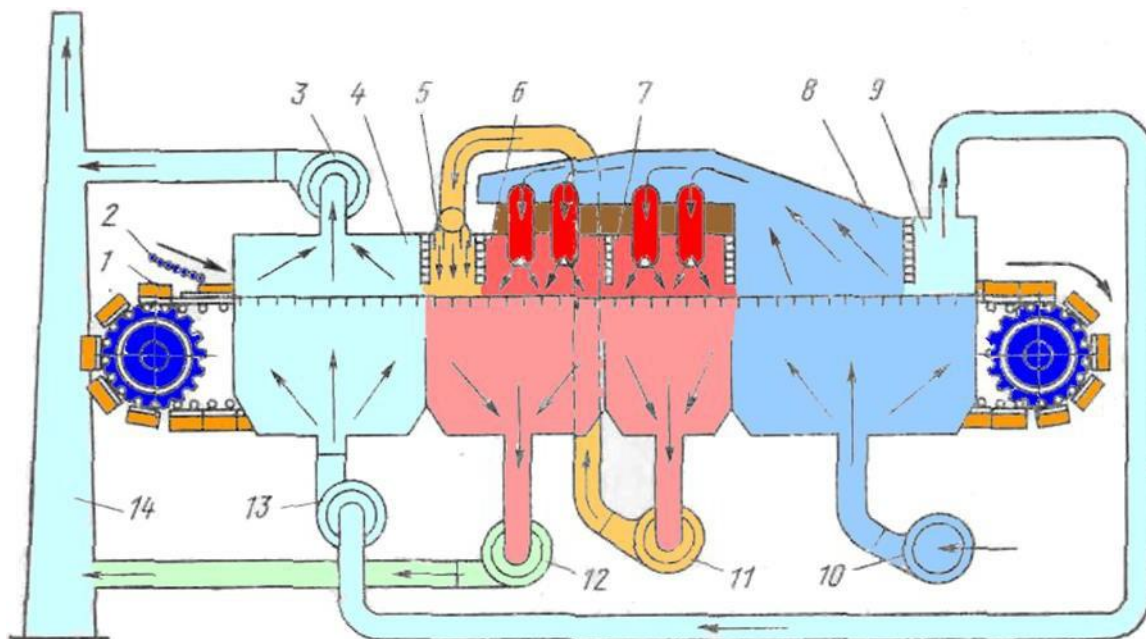


Рисунок 1.10 – Загальний схематичний вигляд конвеєрної машини для випалу обкотишів

На відміну від агломераційних машин випалювальні машини мають нижчий вакуум під решіткою через високу газопроникність шару обкотишів, що дозволяє замість ексгаустерів використовувати високотемпературні вентилятори 3, 10 - 13. Продукти згоряння відводяться в трубу 14 [8].

Готові обкотиші розвантажуються з машини в бункер вирівнювання температур. У процесі випалу обкотишів відбувається ряд фізико-хімічних перетворень: видалення вологи; розкладання карбонатів; окиснення магнетиту; часткове утворення рідкої фази; рекристалізація;

охолодження. В результаті цих перетворень обкотиші набувають необхідну міцність та інші металургійні властивості [8].

Також слід відмітити, що всі випалювальні машини обладнані автоматизованою системою керування технологічним процесом. АСУТП дозволяє здійснювати контроль технологічних параметрів процесу випалу обкотишів та роботи основного обладнання [8].

Продукція фабрик огрудкування відправляється на металургійні заводи для виробництва чавуну з подальшою переробкою та одержанням сталі та металопрокату різного сортаменту, та користується попитом як на внутрішньому ринку України так і за кордоном.

Також слід відзначити, що випалювальний візок (Рисунок 1.11) є основним, найбільш відповідальним робочим органом випалювальної машини і призначений для переміщення шару обкотишів, що піддаються тепловій обробці газами різної температури [20].

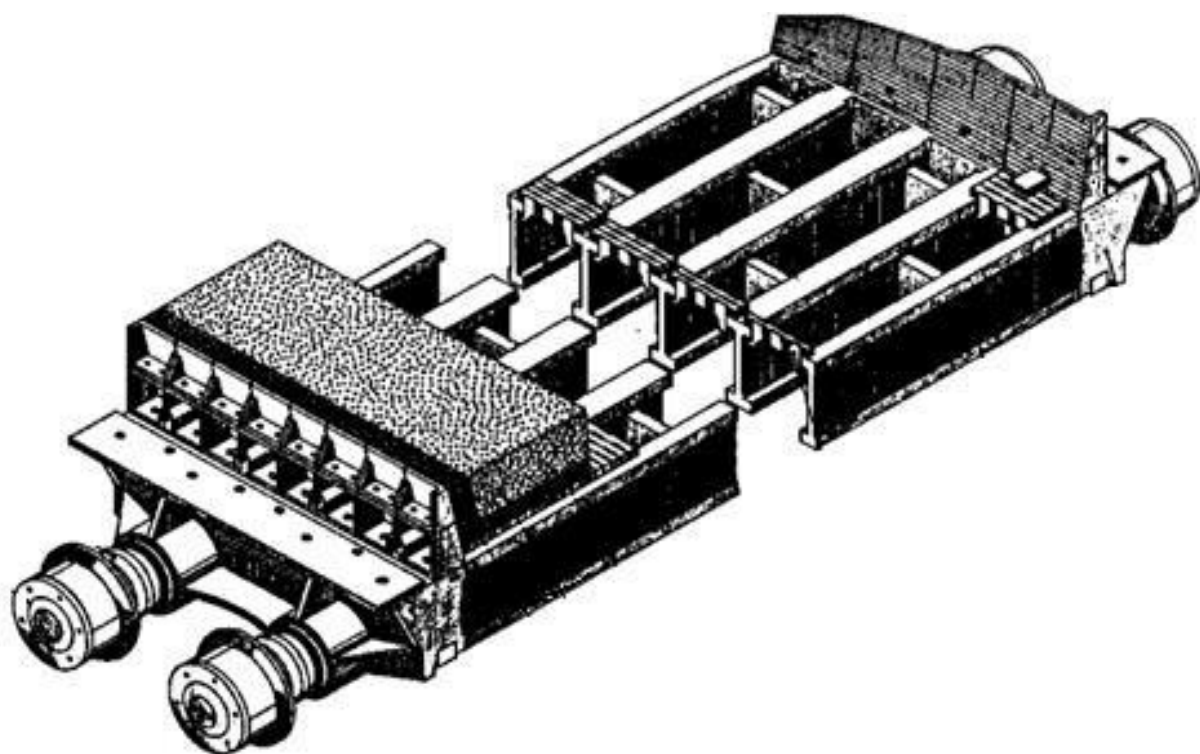


Рисунок 1.11 – Загальний вигляд обпалювального візка

Незважаючи на зовнішню подібність випалювальних візків за призначенням та конструкцією з агломераційними візками, перші мають декілька істотних конструктивних особливостей, що відповідають специфічним умовам роботи, головним чином принципово відмінним впливам теплових навантажень. Порівняно з агломераційними, випалювальні візки піддаються більш високій температурі нагріву, неоднаковій за площею і перерізом візка, з більш різкими перепадами її при нагріванні та охолодженні [17].

На спікальний візок агломераційної машини, наприклад, впливає температура тепловипромінювання запального горна на відносно невеликій ділянці її довжини, а нагрівання корпусу візка за рахунок згорання палива шихти відбувається порівняно повільно і при нижчій температурі, досягаючи короткочасного (близько 0,5 - 1 хв) максимуму, що рідко перевищує 800°C і тільки в кінці процесу.

На випалювальній машині нагрівання випалювальних візків відбувається майже по всій її довжині, за винятком зони охолодження, як за рахунок тепловипромінювання факела пальників, так і безпосереднього контакту високотемпературних газів горна, що просмоктуються через шар обкотишів і колосників візка. У зв'язку з цим колосники і корпуси випалювальних візків схильні до більш високого нагрівання з більш різкими перепадами температур. У зоні випалу з температурою газів у горні 1350°C температура нагрівання колосників та корпусів візків досягає 1000°C. Час перебування випалювальних візків у зонах дії високих температур у 2-3 рази більше, ніж спікальних візків агломераційних машин[21].

Для забезпечення необхідної теплостійкості колосники, а часто і корпуси візків, виготовляють із високолегованих жароміцних сталей.

Наступна дуже важлива відмінність теплових впливів на випалювальні візки полягає в тому, що на випалювальних машинах відразу після зони рекуперації на візки знизу вгору подається велика кількість атмосферного (холодного) повітря. Корпуси випалювальних візків схильні до інтенсивного охолодження, у той час як агломераційні візки охолоджуються поступово протягом усього руху їх по холостому шляху агломераційної машини за рахунок навколишнього атмосферного повітря без примусової його подачі.

У зв'язку з вкрай несприятливими умовами роботи, термін служби випалювальних візків у кілька разів нижче за термін служби агломераційного візка, внаслідок чого витрати на поточний ремонт дуже високі в порівнянні з аналогічними витратами на агломераційних фабриках.

Усі візки мають бути пронумеровані, зареєстровані у спеціальному журналі із зазначенням дати встановлення, причини заміни, обсягу та характеру виконаного ремонту.

Особливе ретельне спостереження має бути за роботою випалювальних візків під час експлуатації. Поломка, прогин візків понад допустимою інструкцією величини або гальмування візків через поломку і заклинювання роликів, може спричинити важкі аварії, якщо вчасно не зупинити машину. Краще замінити дефектний візок резервним, ніж продовжувати роботу, допускаючи ризик. Слід вжити найекстремішніх заходів до скорочення подачі тепла при раптовій зупинці випалювальної

машини, так як короткочасний вплив високотемпературних газів протягом навіть 5-6 хв може викликати перегрів і вихід з ладу обпалювальних візків.

При виявленні навіть невеликих дефектів у вигляді тріщин у корпусі візка, порушення болтових кріплень, несправності ходових або вантажних роликів необхідно зупинити машину для заміни візка. Час на заміну одного візка складає приблизно 7-15 хвилин, що вважається безпечним для візків, котрі в цей час знаходяться в зоні обпалювання. Демонтувати візки необхідно також і під час ремонту поздовжніх та поперечних ущільнень, ремонту газоповітряних камер, вивіряння шляхів руху візків, металоконструкцій каркасу[17].

Для механізації трудомістких операцій та скорочення часу простою випалювальних машин у ремонті до її каркаса прикріплено пристрій, необхідний для пересування випалювальних візків.

Іноді лебідки для тих же цілей встановлюються окремо, не пов'язуючи їх з каркасом випалювальної машини.

Пристрій для пересування випалювальних візків (Рисунок 1.12) складається з двох лебідок, за допомогою яких можна пересувати випалювальні візки для видалення з верхнього шляху та встановлення назад на нього.

Одна з лебідок монтується в хвостовій частині машини стаціонарно, інша встановлюється на каркасі головної частини машини тимчасово (тільки для ремонту) і забирається при пуску машини в роботу.

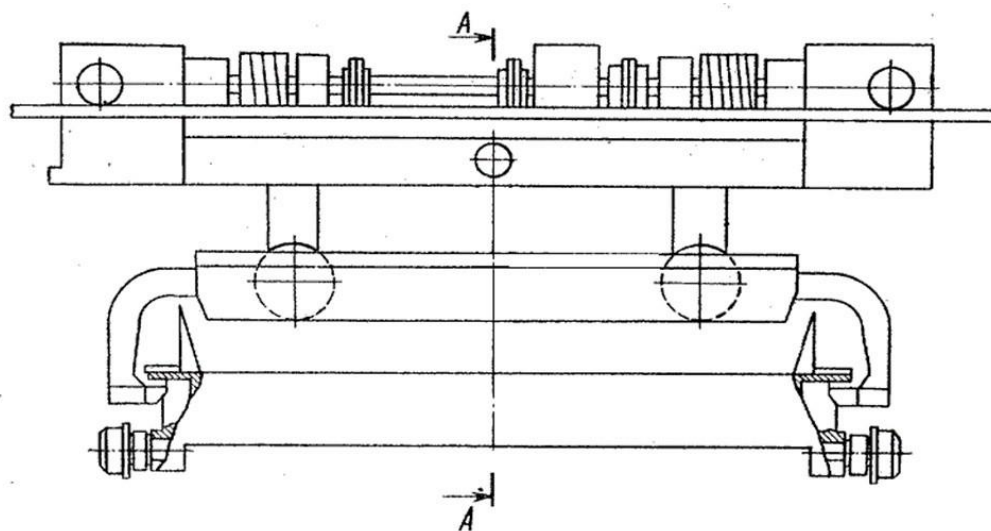


Рисунок 1.12 – Загальний вигляд пристрою для встановлення та заміни візків

Пристрій для встановлення та знімання візків виконано у вигляді траверси вантажопідйомністю 10 т, що складається з балки, на кінцях якої змонтовані захоплення важільного типу. При підйомі випалювальних візків гаком крана або іншого вантажопідйомного засобу за вантажні ролики захвати працюють у розпір, що забезпечує надійність їх роботи.

Заміна візків може бути здійснена на робочій гілці в проміжку між місцем завантаження сирих обкотишів і початком горна або в хвостовій частині машини.

Для цього на деяких машинах дугоподібні шляхи руху візків у хвостовій частині машини робляться роз'ємними.

Зазначений спосіб заміни візків на робочій гілці випалювальної машини має той недолік, що замінений візок доводиться звільняти від шару обкотишів, що лежить на його решітці. Крім того, вона защемлена, як правило, між сусідніми візками і її потрібно попередньо звільнити, розштовхуючи тим чи іншим способом сусідні візки. Всі ці операції забирають багато часу, а обкотиші, зняті з візка, доводиться знову завантажувати на машину.

Більш досконалим є спосіб заміни візків у головній частині машини за допомогою спеціального тельфера та відкидної роз'ємної частини верхньої рейки криволінійної колії.

Етапи заміни випалювальних візків виконують наступним чином:

1. Підготувати новий візок
2. Зупинити ланцюговий гуркіт, коли візок прийде в положення, що замінюється
3. Точне положення для зміни візка можна встановити за допомогою стаціонарного перемикача, пересуванням вперед або назад
4. Запобіжники верхніх напрямних рейок знімаються в сторони (відкидний радіус відкривається)
5. Візок знімається підйомним механізмом і ставиться на передбачене місце
6. Новий візок вставляється підйомним механізмом
7. Провідні рейки знову наводяться у початкове положення, запобіжники встановлюються на передбачені місця (відкидний радіус закривається)
8. Ланцюговий гуркіт блокується та пускається в хід з диспетчерського пункту вручну
9. Обслуговуючий оператор регулює швидкість відповідно до кількості сирих обкотишів поки висота шару не досягає 40 см. Після цього швидкість руху ланцюгового гуркоту регулюється з диспетчерського пункту автоматично.

Періодично, не рідше 2 разів на рік, рекомендується промивання підшипників роликів візків із заміною мастила. За наявності достатньої кількості випалювальних візків у резерві краще цю операцію виконувати, не зупиняючи спеціально для цього машину або використовуючи зупинку

її на ремонт, замінюючи дефектні візки партіями відремонтованих та змащених як під час ремонту, так і при випадкових короткочасних зупинках протягом зміни.

Найчастішими проблемами під час експлуатації машини є перекид візків і заклинювання ходових роликів, які відбуваються на закругленнях шляху в хвостовій частині машини, внаслідок перекосів і непаралельності металоконструкцій бічних стінок каркасу машини, завалів хвостової частини та шляхів руху просипом, виходу з ладу підшипників одного або двох ходових роликів з одного боку візка та випередження руху справною стороною візка відносно несправної.

Підшипники роликів виходять з ладу внаслідок неправильного встановлення та регулювання їх під час монтажу, несвоєчасної заміни, зносу або відсутності мастила.

Особливо надійно повинні працювати поперечні, поздовжні та бортові ущільнення машини. При значних підсмоктуваннях повітря з атмосфери (що перевищують 20%) або наявності перетікання газів і повітря між газоповітряними камерами різних за призначенням зон машина повинна бути зупинена на позачерговий ремонт. Експлуатація машини з несправним ущільненням призводить до зниження якості обкотишів і продуктивності машини, до перевитрати електричної та теплової енергії.

Необхідно не рідше одного разу на зміну, оглядати всі частини приводу, звертаючи увагу на правильність зачеплення зубів приводних зірочок з вантажними роликами, рухи випалювальних візків без перекосів по всьому шляху; перевіряти температуру нагрівання підшипників, яка не повинна перевищувати більш ніж на 25° С за температуру навколишнього середовища.

1.4. Нові напрямки розвитку технології та виробництва обкотишів

Останнім часом при обпалюванні обкотишів на конвеєрних машинах тверде паливо замінюють газоподібним, оскільки це покращує якість готової продукції та відпадає необхідність витрат на підготовку та накатування твердого палива [13, 15]. Однак при спалюванні рідкого або газоподібного палива над шаром протягом усього часу обпалювання відбувається сильне перегрівання обпалювальних візків, в результаті чого знижується їх стійкість. Продуктивність обпалювальних машин при такому способі обпалювання також значно зменшується (особливо на офлюсованих окатишах) і збільшується питомий витрата тепла.

При частковій заміні твердого палива газом, тобто при обпалюванні комбінованим паливом (газоподібним і твердим) зменшуються нагрівання обпалювальних візків і витрата тепла, а також полегшується управління технологічним процесом, але одночасно зберігається складна схема

підготовки сирих обкотишів і якість готової продукції виходить нижчою (вміст FeO 8 - 15%, ступінь вигорання S всього близько 50%).

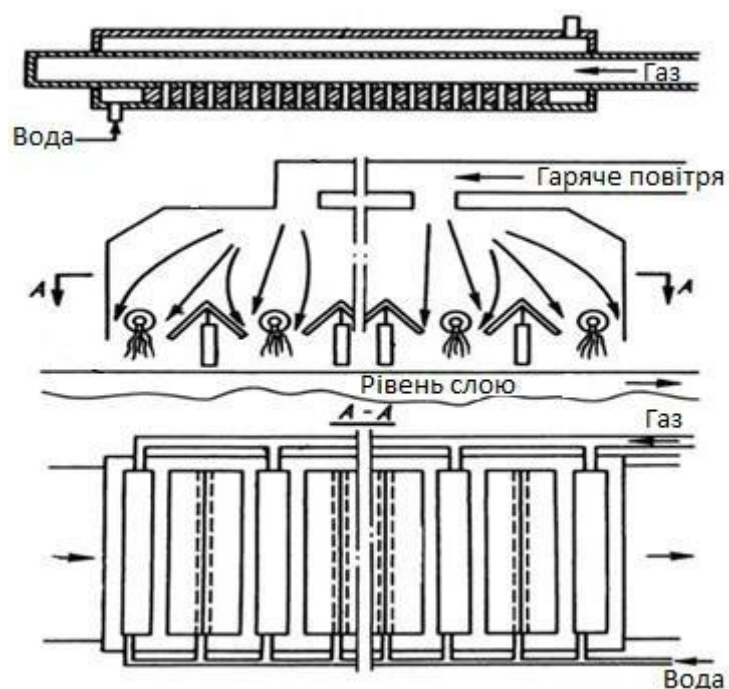


Рисунок 1.13 - Пристрій для подачі та безполум'яного згоряння газу у шарі обкотишів

Встановлено, що при обпалюванні комбінованим спалюванням газу над шаром та безполум'яно у шарі отримуються обкотиші вищої якості. Продуктивність установки та питомий витрата тепла близькі до аналогічних показників при обпалюванні твердим паливом, але при цьому ускладнюється управління процесом та підвищуються вимоги до якості сирих обкотишів. Тому необхідно було розробити спеціальний пристрій для спалювання газу у шарі[17].

У 1965 році на дослідній огрудковувальній фабриці гірничо-збагачувального комбінату освоєно виробництво офлюсованих обкотишів на тарілчастому огрудковувачі з обпалюванням їх на конвеєрній колосниковій машині з комбінованим спалюванням природного газу над шаром та безполум'яно у шарі. Для подачі та безполум'яного спалювання природного газу у шарі обкотишів використовували трубчасті водоохолоджувані змішувачі-розподільники, встановлені над обпалювальними візками поперек машини (рисунок 1.14). Розподіл обпалювальної машини за зонами та параметри роботи горна показані в таблиці 1.7.

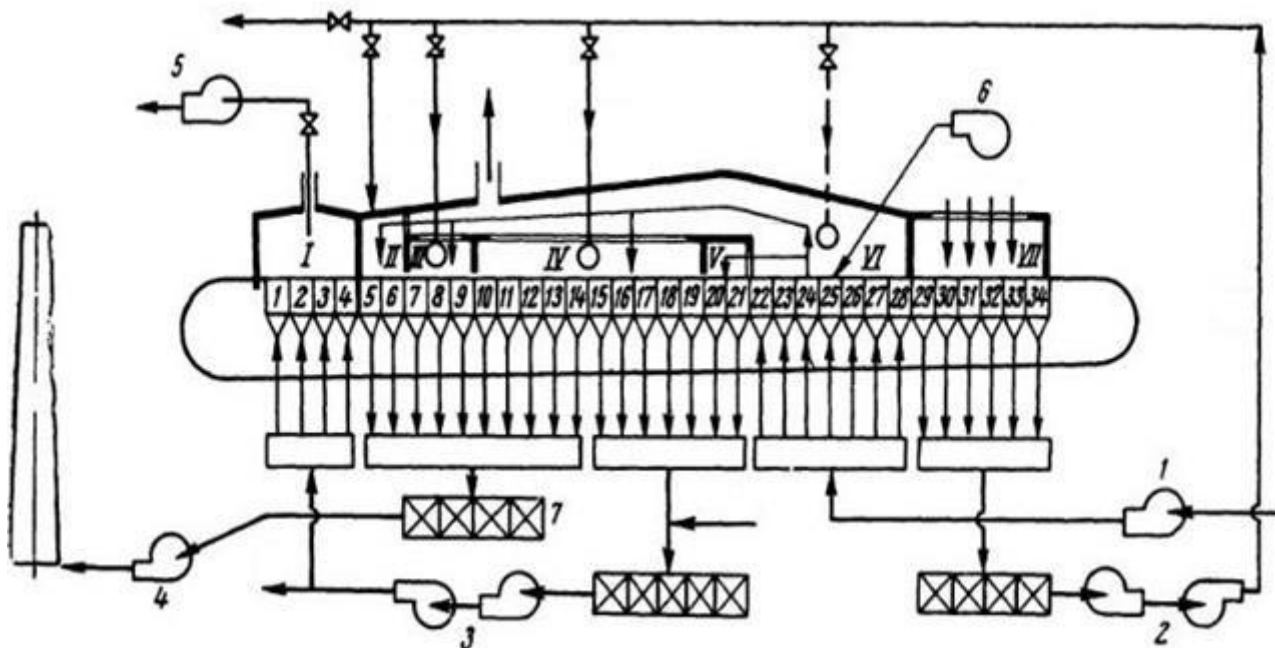


Рисунок 1.14 – Схема конвеєрної машини для випалу обкотишів ОК-306:
 1 - нагнітаючий вентилятор зони охолодження; 2 - рекупераційні вентилятори;
 3 - нагнітаючі вентилятори зони сушіння; 4 - вентилятори відхідних газів;
 5 - вентилятор відхідних газів зони сушіння I; 6 - вентилятор для ущільнюючого повітря; 7 – газоочиснення; I - зона сушіння продуванням; II - зона сушіння прососом;
 III - зона підігріву; IV - зона випалу; V - зона рекуперації; VI - зона охолодження продуванням; VII - зона охолодження всмоктуванням

Таблиця 1.7 – Характеристика зон обпалювальної машини

№ n/n	Зона	Показники		
		Довжина, %	Витрата природного газу	Температура над шаром, °C
1	Сушіння	16,7	100-120	500
2	Підігріву	11,8	140-180	860-880
3	Обпалювання при горінні газу над шаром	11,6	290-340	1210-1240
4	Охолодження поверхні шару	10,0	-	180-200
5	Обпалювання при горінні газу у шарі	16,7	100-130	100-140
6	Охолодження окатишів	33,4	-	120

Техніко-економічні показники комбінованого газового обпалювання близькі до відповідних показників обпалювання комбінованим паливом (таблиця 1.8), але якість обпалених обкотишів у першому випадку вища.

Ступінь вигорання при газовому обпалюванні приблизно удвічі вищий, ніж при обпалюванні комбінованим паливом[17].

Дальше вдосконалення обпалювання обкотишів газом, спалюваним над шаром, досягається застосуванням безвентиляторної подачі нагрітого повітря з зони охолодження в зони підігріву та обпалювання (прямий перетік) та збільшенням одиничної потужності агрегатів. В Радянському Союзі була спроектована та виготовлялась обпалювальна конвеєрна машина площею 306 м² (ширина 3 м, довжина 102 м) для обпалювання окатишів газом, спалюваним над шаром. На цій машині повітря в зоні охолодження продувається знизу вгору через шар окатишів і направляється безпосередньо в зони підігріву та обпалювання (рис. 1.14) [17].

Таблиця 1.8 – Характеристика роботи обпалювальної машини ОКМ-1-18 на комбінованому паливі вугілля—природний газ (А) та на газовому паливі, спалюваному над шаром і в шарі (Б).

№ n/n	Показники	А	Б
1	Продуктивність, т/м ² ч	1,0	0,9
2	Швидкість стрічки машини, м/хв	0,37	0,34
3	Висота шару окатишів, мм	225	275
	Витрата палива на 1 т:		
4	• природного газу, м ³	49,5	55,7
5	• антрациту, кг	25,0	-
6	Витрата тепла, тис. ккал/т.	584	474
	Вміст у обпалених окатишах, %:		
7	• Fe	55,5	56,4-57,1
8	• FeO	8,15	4,8-8,0
9	Основність	0,7	0,7
10	Міцність на розтиск, кг/обкотиш	90-120	130-150

11	Барабанна проба, %.	12,8-17,3	13,3-17,2
----	---------------------	-----------	-----------

У Сполучених Штатах Америки було розроблено та успішно випробувано новий метод обпалювання обкотишів, який включає в себе послідовне нагрівання в трьох різних агрегатах: на колосниковій решітці, в кільцевій печі з рухомим дном та в шахтній печі. Цей метод є інноваційним підходом до процесу обпалювання, оскільки він дозволяє більш ефективно контролювати температурні режими та час обробки, забезпечуючи більшу якість обкотишів[17].

Схема такої установки для обпалювання, яка демонструє розташування та послідовність роботи різних агрегатів у процесі, представлена на рисунку 1.15. Ця технологія є прикладом використання сучасних інженерних рішень у металургійній промисловості, що сприяє покращенню якості кінцевого продукту та ефективності виробництва[16].

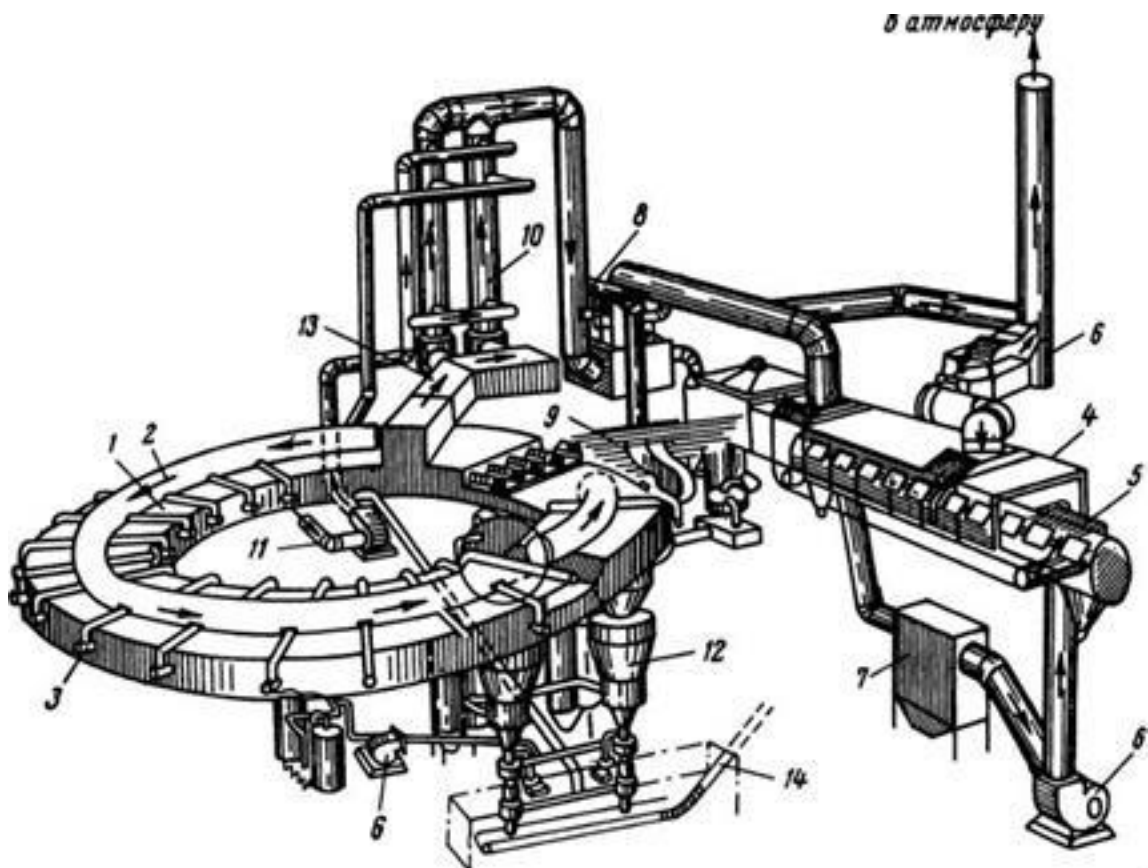


Рисунок 1.15 – Установка для обпалювання обкотишів: 1 - кільцева піч з обертаним дном; 2 - напрямок обертання; 3 – пальник; 4 – кожух; 5 - конвеєрна машина для сушки обкотишів; 6 – вентилятори; 7 – пиловловлювач; 8 – теплообмінник; 9 - вібраційний конвеєр; 10 – рекуператор; 11 – аспіраційна установка; 12 - шахтні печі для охолодження та обпалу обкотишів; 13 - відхідні газы; 14 - склад обкотишів

Сирі магнетитові обкотиші спочатку проходять процес сушіння та підігріву на колосниковій решітці, де їх нагрівають до температури 315°C за допомогою нагрітого повітря. На цій стадії магнетит ще не піддається

окисленню, що дозволяє обкотишам зберігати свої первісні властивості. Водночас, цей процес нагрівання надає обкотишам достатньої міцності для їх подальшого транспортування та завантаження в наступний агрегат - кільцеву піч з обертовим дном.

У кільцевій печі обкотиші розміщуються в один шар на дні, що забезпечує їх рівномірний та поступовий нагрів. Тут вони піддаються впливу випромінювання, яке забезпечує нагрів до температури приблизно 650°C. Тривалість цього процесу нагріву становить від 4 до 6 хвилин.

Нагрів обкотишів здійснюється в умовах контрольованої атмосфери, що сприяє частковому окисленню магнетиту. Останній етап процесу обпалювання відбувається в шахтній печі, де основним джерелом нагріву обкотишів є тепло, що вивільняється під час окислення магнетиту. Для досягнення цього ефекту у шар обкотишів, що знаходяться у нижній частині шахтної печі, подається повітря. Воно нагрівається у зоні охолодження печі і сприяє ефективному обпалюванню.

Після завершення процесу обпалювання, обкотиші охолоджуються до приблизно 120 °C, після чого їх вивантажують з печі. Щоб зібрати необхідні дані для проектування промислової фабрики з річною продуктивністю 2,4 мільйона тонн, була побудована і випробувана дослідна установка з продуктивністю близько 8 тонн на годину. Конвеєрна машина, яка використовується для сушіння обкотишів на цій установці, має довжину 6,1 метра та ширину 2,22 метра.

Кільцева піч, яка має зовнішній діаметр 6,1 метра та внутрішній діаметр 3,65 метра, є унікальною у своїй конструкції та функціональності. Ця піч поділяється на чотири окремі зони, в яких можливе точне регулювання температури та атмосфери. Така гнучкість у керуванні процесом дозволяє оптимізувати умови обпалювання відповідно до потреб конкретного типу обкотишів.

Шахтна піч, яка є частиною цієї установки, характеризується діаметром 1,3 метра та корисною висотою 6,1 метра, розміщеною від рівня завантаження до розвантажувальної труби. Ця конструкція дозволяє ефективно проводити процес обпалювання обкотишів, підтримуючи необхідні умови протягом усього виробничого циклу[17].

На дослідній установці, яка включає в себе ці обпалювальні печі, було успішно вироблено понад 4000 тонн обкотишів. Це свідчить про високу продуктивність та ефективність такого типу обладнання у виробництві якісних обкотишів, які використовуються у металургійній промисловості.

На зазначеній дослідній установці, після завершення експериментальних робіт із виробництва окислених обкотишів, було розпочато процес виготовлення металізованих обкотишів. Для цього використовувалися залізорудні концентрати, які огрудковувалися разом з дрібно подрібненим вугіллям та зв'язуючими добавками.

Процес сушіння обкотишів відбувався на конвеєрній машині, де температура підтримувалась на рівні 150 °С, і це все відбувалося в умовах контрольованої атмосфери. Після завершення процесу сушіння, обкотиші додатково зміцнювалися та відновлювалися на обертовому дні кільцевої печі. У процесі обробки використовувалося пряме нагрівання випромінюванням, при цьому шар обкотишів у печі був висотою в один обкотиш.

По завершенню процесу в печі, металізовані обкотиші транспортувались до вертикального охолоджувача. У цій частині установки відбувалося зниження температури обкотишів до 120 °С в нейтральній атмосфері, що є фінальним етапом їх обробки перед вивантаженням або подальшим транспортуванням[16].

У першій зоні кільцевої печі видаляються летючі речовини з вугілля і відбувається незначне відновлення. Температура обкотишів у цій зоні підвищується з 150 до 980 °С. У другій зоні відбувається основне відновлення заліза твердим вуглецем. Вивільнюючись при цьому окис вуглецю утворює захисну оболонку навколо кожного обкотиша. Температура в цій зоні печі близько 1370 °С, вміст горючих компонентів у атмосфері від 5 до 20%. Температура обкотишів досягає 1090 - 1150 °С. Тривалість перебування обкотишів у другій зоні становить 5 хвилин. У третій зоні печі температура 1370 °С і вміст горючих компонентів у атмосфері 25%. У цій зоні завершується процес відновлення окатишів вуглецем. Температура обкотишів підвищується до 1260 °С і відбувається спікання зерен металічного заліза, що призводить до ущільнення обкотишів, збільшення їх об'ємної ваги та робить їх пасивними до вторинного окислення. Загальний час перебування обкотишів у кільцевій печі становить 6 - 8 хвилин. На установці легко досягається ступінь металізації обкотишів рівна 90%. Однак для зменшення вмісту S у готовому продукті у шихту додається вуглець з розрахунком на отримання ступеня металізації рівною 70 - 85%. Далі металізація обкотишів проводиться в верхній частині шахтної печі конвертованим природним газом. Продукти повітряної конверсії містять 40% H_2 , 20% CO, близько 40% N і сліди H_2O , і CO_2 . У цьому випадку, використовуючи вугілля з відношенням вуглецю до сірки 100:1, при подвійному відновленні можна отримувати металізовані окатиші з вмістом S до 0,05%. При металізації окатишів у одній кільцевій печі у присутності підвищеного вмісту вуглецю вміст S у продукті досягає 0,14 - 0,15%. Загальне споживання тепла при такому комбінованому відновленні (у кільцевій та шахтній печі) збільшується майже на 250 тис. ккал/т, порівняно з металізацією лише у кільцевій печі.

Результати цих експериментів показують, що обладнання для отримання обкотишів новим способом можна використовувати як для окислювального обпалювання, так і для металізації обкотишів.

На основі результатів проведених експериментів був розроблений проект промислової фабрики у Ківатіні (США), що складається з двох секцій потужністю по 1,2 млн тонн/рік (150 т/год) окислених обкотишів розміром 9,7 - 12,7 мм. Кожна секція містить три барабани-огрудковувачі, одну конвеєрну машину, одну кільцеву піч та чотири шахтні печі.

Конвеєрна машина шириною 3,05 м і довжиною 32 м розділена на три зони. У першій зоні відбувається сушка обкотишів відходящими з кільцевої та шахтних печей газами при подачі їх знизу вгору, у другій та третій зонах здійснюється сушка та підігрів їх при подачі гарячих газів зверху шару.

Кільцева піч спроектована з зовнішнім і внутрішнім діаметрами відповідно 29,25 м та 19,5 м. Розрахункова температура в печі становить 1200°C. Підігріті на колосниковій машині обкотиші піддаються грохоченню та подаються у проміжний бункер, звідки електровібраційними живильниками завантажуються на керамічне дно кільцевої печі.

Шахтні печі розташовані як з зовнішньої, так і з внутрішньої сторони кільцевої печі. Для управління роботою фабрики спроектовані системи автоматичного регулювання швидкості конвеєрної машини в залежності від кількості завантажуваних обкотишів для забезпечення заданої висоти шару, витрати обкотишів із проміжного бункера в кільцеву піч, рівня завантаження у шахтних печах та подачі холодного повітря в кожен шахтну піч залежно від її продуктивності. Частина повітря, що виходить з шахтних печей, використовують у горілках кільцевої печі, а решту повітря направляють на конвеєрну машину.

Завдяки цьому витрати палива, як показали результати роботи дослідної установки, складають при обпалюванні магнетитових окатишів близько 15 тис. ккал/т. При обпалюванні гематитових окатишів витрата тепла має бути не вищою за 250 тис. ккал/т.

Схема газоповітряних потоків установки показана на рисунку 1.16.

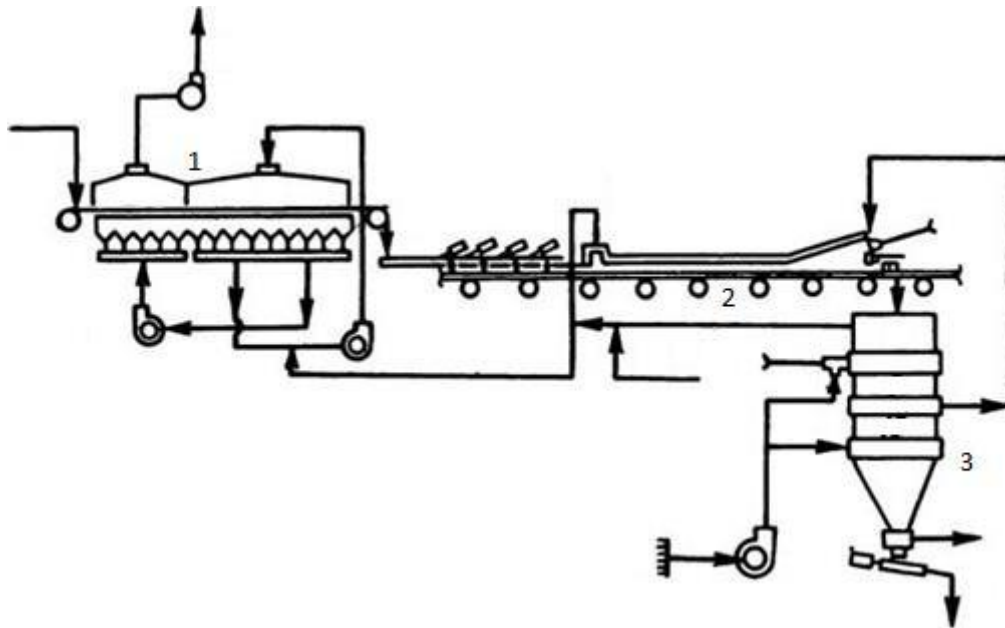


Рисунок 1.16 – Схема повітряно-газових потоків при обпалюванні окатишів на комбінованій установці: 1 – конвеєрна машина; 2 - кільцева піч; 3 - шахтна піч

Фірмою «Мак-Кі» (США) були розроблені проекти промислових установок великої потужності для виробництва обкотишів з обпалюванням на кільцевих машинах з колосниковою решіткою. Згідно з проектними даними, кільцева піч потужністю 6 млн. тонн/рік окатишів з магнетитового концентрату має середній діаметр 70 м, а печі потужністю 5 і 4,5 млн. тонн/рік обкотишів відповідно 61 і 52 м. Для виробництва 4,5 млн. тонн/рік обкотишів з лимонітових руд потрібна кільцева піч із середнім діаметром 91,5 м. Витрати тепла на обпалювання обкотишів з магнетитового концентрату повинні скласти 126 тис. ккал/т і на обпалювання обкотишів з гематитових руд - 226,8 тис. ккал/т. Витрати на будівництво установок з кільцевими печами очікуються на 10-25% нижчі, ніж на будівництво установок з конвеєрними машинами за умови однакової їх продуктивності[17].

1.5. Висновки по першому розділу

У першому розділі дипломної роботи були розглянуті сучасні агломераційні технології виробництва, зокрема конвеєрні обпалювальні машини. Проведений детальний аналіз сучасних агломераційні технології виробництва, зокрема конвеєрних обпалювальних машин фабрик "Ханна Майнинг", "Ризерв Майнинг Ко", "Клівленд Клиффс Айрон", а також огрудковувальні фабрика Соколовсько-Сарбайського, Центрального гірничозбагачувального комбінату, який розкрив важливі аспекти технологічних схем та процесів виробництва. Розглянуті розробки компаній у цій галузі, такі як "Lurgi" та фірми "Мак-Кі" (США). Розглянута проблематика, пов'язана з нестабільності роботи обпалювальної машини на виробничому комбінаті, зумовлена проблемами з випалювальними візками, які піддаються впливу різних факторів виникнення

несправностей. Тому ми вважаємо, що з метою підвищення ефективності виробництва та забезпечення більш економічного та безпечного процесу виробництва необхідне впровадження системи діагностики для виконання моніторингу стану обпалювальних візків.

2. Теоретичні дослідження

2.1. Огляд розвитку технологій розпізнавання об'єктів

Розпізнавання об'єктів - це процес ідентифікації та класифікації об'єктів у зображеннях або відео. Це ключова складова багатьох сучасних технологічних систем, включаючи автоматизоване відеоспостереження, системи автономного водіння, медичну візуалізацію, та робототехніку. Особливо важливим є його застосування в індустрії, де воно допомагає автоматизувати виробничі процеси та підвищувати ефективність, зокрема у випалювальних машинах, таких як Lurgi.

Практичні Застосування включають використання мікроконтролерів для розпізнавання цифр. Такі проекти реалізовані навіть з використанням Arduino Uno і оптичної миші. Вони демонструють інноваційний підхід у сфері обробки зображень. Використання простих та доступних компонентів дозволяє розробляти ефективні системи розпізнавання за обмежених ресурсів. Однак, обмежена обчислювальна потужність мікроконтролерів ставить певні виклики, які вимагають інноваційних рішень для їх подолання.

Розвиток технологій розпізнавання об'єктів почався з ранніх досліджень у галузі комп'ютерного зору. На цьому етапі, системи були досить примітивними та обмежені у своїх можливостях. Основною метою було створення алгоритмів, здатних виявляти прості форми та шаблони на зображеннях. З появою машинного навчання та збільшенням обчислювальної потужності, почали з'являтися більш складні та ефективні системи розпізнавання. Було розроблено нові алгоритми, здатні аналізувати більш складні зображення та виявляти різноманітні об'єкти.

Сучасний етап характеризується використанням глибокого навчання та нейронних мереж. Ці технології дозволили значно підвищити точність та швидкість розпізнавання, завдяки здатності систем самостійно навчатися на великих наборах даних. Глибоке навчання забезпечило прорив у таких областях, як визначення обличчя, обробка природної мови, та автономне водіння. Завдяки цим розвиткам, розпізнавання об'єктів стало основою для багатьох інноваційних технологій та застосувань, відкриваючи нові горизонти в автоматизації, медицині, безпеці, та багатьох інших сферах.

2.2. Технічні основи розпізнавання об'єктів

Розпізнавання об'єктів - це комплексний процес, що включає кілька ключових етапів. Він починається зі збору та попередньої обробки даних, яка передбачає корекцію освітленості та фільтрацію шумів для підвищення якості даних, наступним слідує етап детекції об'єктів, де визначається їх місцезнаходження за допомогою різних алгоритмів. Далі

йде крок класифікації та розпізнавання, яке здійснюється за допомогою алгоритмів машинного та глибокого навчання. Завершальний етап - пост-обробка, що включає аналіз та корекцію результатів.

Важливу роль в цьому процесі відіграють мікроконтролери та вбудовані системи, забезпечуючи швидку та надійну обробку даних на місці, енергоефективність, гнучкість інтеграції з різними системами та інтелектуальну автоматизацію. Це сприяє ефективному розпізнаванню об'єктів у реальному часі в таких областях, як промислова автоматизація та медична діагностика, відкриваючи нові можливості для технологічного прогресу.

2.3. Аналіз методів розпізнавання об'єктів

В сучасному світі технологій, розпізнавання об'єктів є ключовим елементом у багатьох застосуваннях, від автоматизованого відеонагляду до розвитку інтелектуальних систем. Існують три основні методи, які широко використовуються для цієї мети: машинне навчання, комп'ютерний зір і штучний інтелект. Кожен з цих методів має свої унікальні характеристики та способи впровадження в різних сферах технологій.

Отже розглянемо основні останні передові розробки в металургійному виробництві, що використовують машинне навчання, комп'ютерний зір та штучний інтелект:

Машинне навчання – один з методів функціонування штучного інтелекту, а саме – практичної реалізації його можливостей шляхом створення алгоритмів для виявлення закономірностей під час аналізу великих даних, та їх подальше використання для самонавчання. Оно використовує математичний та статистичний аналіз, а також оптимізацію для автоматизації та оптимізації рутинних задач у сферах від метеорології до комунікацій. Наприклад, в Україні технології машинного навчання були використані для підвищення ефективності роботи кол-центру банку ПУМБ. Важливо, що машинне навчання також сприяє створенню нових професій та адаптації до змін сучасного світу, що є ключовим аспектом у розвитку сучасних технологій[9].

Комп'ютерний зір (Computer Vision) – одна з областей штучного інтелекту, яка дає змогу комп'ютерам і системам отримувати корисну інформацію з цифрових зображень, відео, візуальних даних та виконувати дії або давати рекомендації на основі отриманої інформації. Комп'ютерний зір дозволяє машинам бачити, спостерігати й розуміти. Комплексні рішення на базі Computer Vision вже активно використовуються у різних сферах бізнесу та виробництва[22].

Штучний інтелект (ШІ) — це відгалуження комп'ютерних наук, що зосереджено на створенні машин і систем, які можуть виконувати

завдання, традиційно вимагаючи людського інтелекту, такі як навчання, розв'язання проблем, і прийняття рішень. Основна ідея ШІ полягає у створенні машин, які можуть мислити, міркувати, і вчитися на власному досвіді, здатних з часом покращувати свою продуктивність. ШІ охоплює вищезазначені типи технологій - машинне навчання та комп'ютерний зір. Ці технології використовуються для навчання машин розпізнавати закономірності в даних, робити прогнози чи приймати рішення на основі цих даних, і взаємодіяти з людьми природним способом, наприклад, через мову або текст[23].

Ці передові технології, як машинне навчання, комп'ютерний зір, та штучний інтелект, демонструють їх значну важливість для інтеграції у різноманітні галузі сучасного світу. Особливо вони були б ефективні у металургійному виробництві, де їх використання надало б нові підходи до оптимізації процесів та значно підвищили загальну продуктивність.

2.4. Передові дослідження та інновації в розпізнаванні об'єктів та приклади їх застосування

Мікроконтролери та вбудовані системи знайшли широке застосування в різних сферах, таких як автомобільна промисловість, медицина, системи безпеки, промисловість, смарт домашні системи, де вони відіграють ключову роль у процесах розпізнавання об'єктів.

В останні роки сфера розпізнавання об'єктів свідчить про значні досягнення, особливо завдяки розвитку глибокого навчання та штучного інтелекту. Сучасні дослідження фокусуються на розробці глибоких нейронних мереж, які здатні аналізувати складні зображення з підвищеною точністю та швидкістю. Це включає розробку алгоритмів для обробки зображень в реальному часі, що дозволяє швидко обробляти великі обсяги даних без втрати якості.

Серед сучасних інновацій у цій галузі можна виділити такі розробки:

Алгоритми виявлення об'єктів - ці алгоритми включають Faster R-CNN, відомий своєю точністю та ефективністю; YOLOv5, який славиться швидкістю та точністю та RetinaNet, який вирішує проблему дисбалансу класів завдяки унікальній функції фокальної втрати (Рисунок 2.1)[10].

Їх практичне застосування охоплює широкий спектр галузей і важливих сфер діяльності серед яких:

Автономні транспортні засоби: вони використовують технологію розпізнавання об'єктів для безпечного навігування, виявлення перешкод, пішоходів, інших транспортних засобів та дорожніх знаків (Рисунок 2.2).

Системи спостереження: розпізнавання об'єктів застосовується у системах безпеки для ідентифікації людей, транспортних засобів або інших об'єктів у реальному часі.



Рисунок 2.1 – Загальний вигляд роботи алгоритмів виявлення об'єктів

Медична візуалізація: технологія використовується для аналізу медичних зображень, таких як рентгенівські знімки, МРТ або УЗД.

Робототехніка: роботи використовують технологію розпізнавання об'єктів для інтерпретації свого оточення, маніпуляції об'єктами, автоматизації виробничих процесів і навіть для взаємодії з людьми.

Розпізнавання облич та доповнена реальність: використовується для ідентифікації осіб у системах безпеки або для персоналізації користувацького досвіду[10].

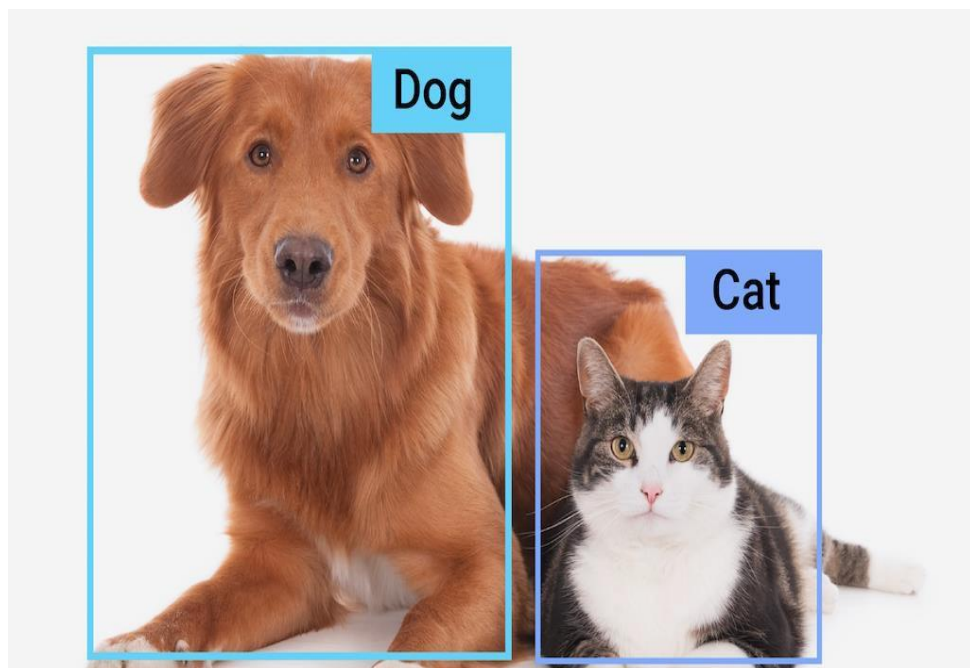


Рисунок 2.2– Загальний вигляд роботи алгоритмів виявлення перешкод

Виявлення об'єктів у реальному часі. Ця область є особливо важливою для застосувань у автономних транспортних засобах і системах спостереження (Рисунок 2.3)[10].

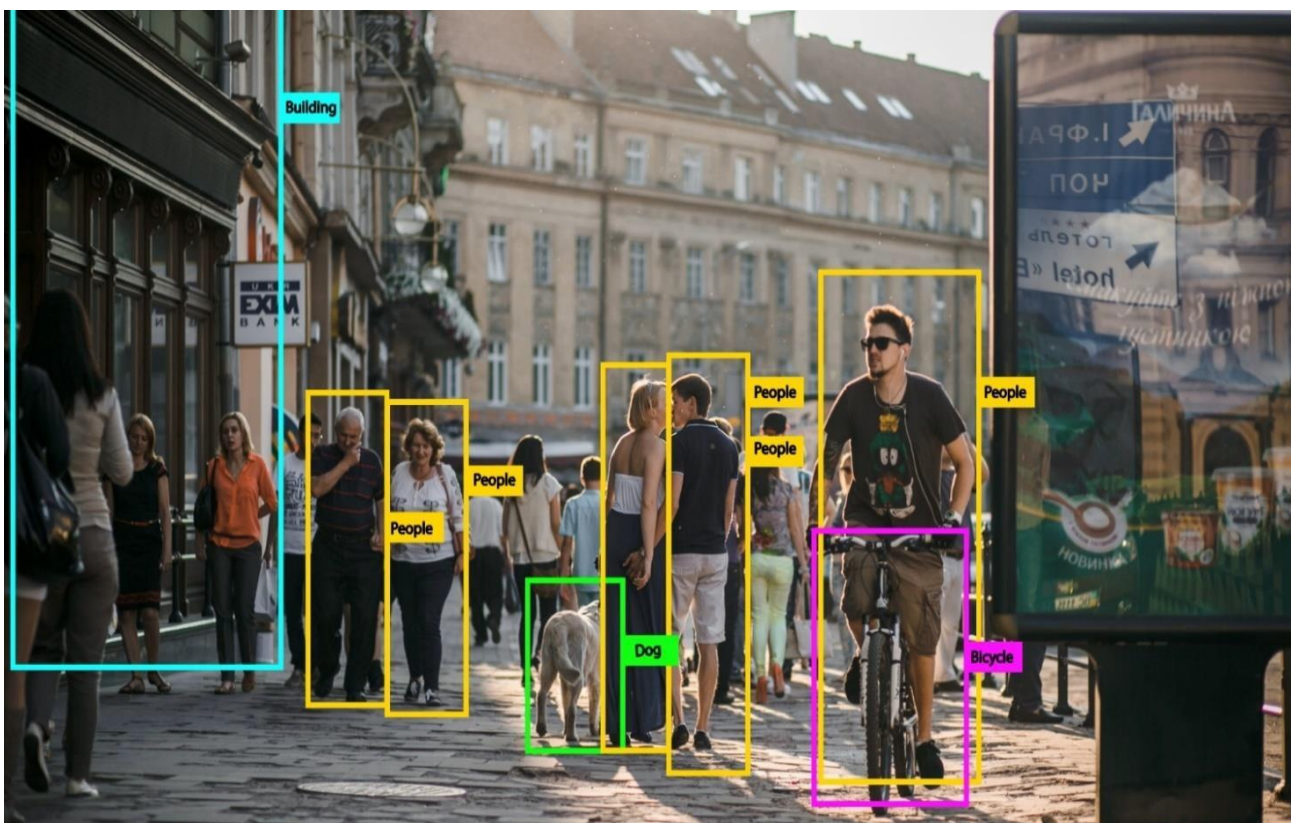


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд роботи алгоритмів у автономних транспортних засобах і системах спостереження

Огляд інноваційних стартапів[11]:

Стартапи, такі як Tusker AI, Polysurance, FirstStep.ai, Reveal AI, ml4vision, DeepLobe, і VisualCortex, вносять інновації у сферу штучного інтелекту та комп'ютерного зору. Tusker AI розробляє платформу комп'ютерного зору для автоматизації таких завдань, як інспекція дефектів у будівництві, виробництві, та логістиці. Polysurance спеціалізується на аналізі даних з автомобільних відеореєстраторів для покращення страхових оцінок ризиків. FirstStep.ai розробляє веб-платформу для моніторингу об'єктів і людей у реальному часі, що застосовується у виробництві та охороні здоров'я. Reveal AI пропонує рішення для роздрібної торгівлі та виробництва, що допомагає в аналізі трафіку та управлінні заторами. ml4vision розробляє автоматизовану платформу для аналізу зображень у логістиці та спортивних заходах. DeepLobe створює API для медичної діагностики та лічби ракових клітин, а VisualCortex розробляє платформу відеоінтелекту для різних застосувань, включаючи електронну комерцію та самокеровані системи.

Ці дослідження та інновації вказують на стрімкий розвиток технологій розпізнавання об'єктів та їхній великий потенціал у

майбутньому. Вони впливають на створення більш інтелектуальних та ефективних систем, здатних вирішувати складні завдання в різних галузях[11].

2.5. Висновки по другому розділу

У цьому розділі був проведений детальний аналіз різних видів розпізнавання об'єктів, демонструючи їх застосування у різних сферах. Впровадження сучасних механізмів розпізнавання об'єктів суттєво впливає на ефективність, точність та автоматизацію процесів у різних галузях промисловості. Це особливо важливо в гірничорудній промисловості, де використання мікроконтролерів та інших сучасних технологій може значно підвищити продуктивність та безпеку.

3. Програма, методика та результати експериментальних досліджень

Інтенсифікація та ускладнення процесів у промисловості, зокрема зі збільшенням потужності виробничих агрегатів і високими вимогами до якості кінцевої продукції, потребують безперервного вдосконалення та модернізації. Ефективне управління цими процесами неможливе без використання складних багаторівневих систем автоматизації, які включають засоби обчислювальної техніки. Це забезпечується за допомогою автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП), які є ключовим елементом для оптимізації виробництва і підвищення якості продукції.

Використання новітніх розробок у галузі електронно-обчислювальної техніки та програмного забезпечення є критичним для функціонування будь-якого сучасного підприємства, особливо у гірничорудній галузі, де випуск продукції вимагає точного контролю над технологічними процесами. Системи автоматичного контролю та управління відіграють ключову роль у підвищенні продуктивності праці, поліпшенні якості продукції та скороченні виробничих витрат. Вони також сприяють звільненню людини від важкої та монотонної фізичної праці, особливо у шкідливих та небезпечних умовах. Ефективне застосування сучасних засобів автоматизації та контролю є необхідністю для успішної діяльності будь-якого підприємства.

З огляду на те, що зупинка випалювальної машини призводить до зниження її продуктивності, а обпалювальні візки є ключовою складовою, яка безпосередньо впливає на технологічний процес, впровадження системи діагностики виглядає виправдано з точки зору економії палива та електроенергії. Такий підхід дозволить не тільки виявляти та усувати потенційні несправності більш ефективно, але й забезпечити стабільність роботи обладнання, попереджаючи його позапланові зупинки. Це, в свою чергу, сприятиме підвищенню ефективності виробничого процесу та оптимізації витрат на його підтримку. В систему діагностики можна включити застосування авангардних технологій, таких як сенсори, машинне навчання та аналіз даних, для забезпечення більш точного та швидкого виявлення проблем.

3.1. Дослідження розподілу температурних зон візка

Теоретичне дослідження виробничих процесів є важливим інструментом для ідентифікації та оцінки проблемних зон, які можуть уповільнювати або знижувати ефективність виробництва, включаючи технічні збої та недоліки в системі обслуговування. Воно дозволяє не лише виявити ці проблеми, але й кількісно оцінити їх вплив, що є критично важливим для планування бюджету на модернізацію та впровадження нововведень. Такий аналіз сприяє підвищенню сталого розвитку

підприємства, адаптації процесів до сучасних екологічних вимог, зменшенню витрат ресурсів та впливу на довкілля. Крім того, він забезпечує підприємству конкурентну перевагу у світі, де технології постійно змінюються, допомагаючи оперативної ідентифікувати та впроваджувати ефективні рішення. В цілому, теоретичне дослідження є ключовим елементом стратегічного планування та удосконалення виробничих процесів.

Дослідження, яке ми проводимо, є частиною комплексного аналізу процесів у виробничій діяльності, зокрема в контексті оптимізації роботи обпалювальної машини. Воно спрямоване на виявлення та оцінку втрат – часових та матеріальних – які виникають через технічні недоліки у зв'язку з відсутністю системи діагностики та обслуговування. Головна мета дослідження полягає у виявленні слабких місць у виробничому процесі, які потребують модернізації, а також у розробці стратегій щодо їх усунення або мінімізації.

Це дослідження є особливо актуальним у контексті постійно зростаючих вимог до ефективності та продуктивності виробництва, а також у світлі підвищеної уваги до витрат і оптимізації ресурсів. Оцінка поточного стану процесів, виявлення причин втрат та їх кількісна оцінка дозволить визначити оптимальні шляхи модернізації та впровадження нових технологій.

В даному дослідженні пропонується наступна компоновка для модернізації системи діагностики, а саме обладнання, котре необхідне для моніторингу та ідентифікації обпалювальних візків:

- 1) UHF зчитувач ALIEN F800;
- 2) UHF мітка OPP4215;

Для того, щоб система діагностики почала функціонувати та оператор мав змогу бачити аналітику по всьому потоку в повному обсязі, спочатку пропонується встановлення UHF міток OPP4215 на обпалювальні візки (Рисунок 3.1).

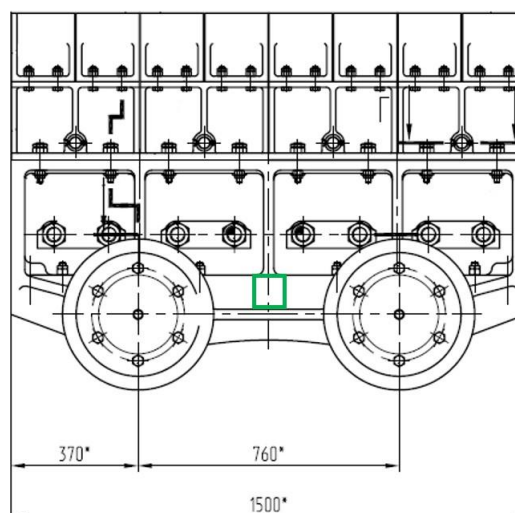


Рисунок 3.1 – Місце монтажна мітки для ідентифікації обпалювальних візків

Даний вид міток ORP4215 спеціально розроблений для роботи на металевих поверхнях в умовах екстремально високих температур (мітка може витримати температуру 280° С протягом 50 хвилин, а температуру 250° С протягом 150 хвилин. При своїх невеликих розмірах, мітка дуже продуктивна та забезпечує надійний процес передачі даних на зчитувач.

Дана аналітика, яку буде надавати система, дозволяє не просто стежити за технічним станом обпалювальних візків в режимі реального часу або періодично, залежно від потреби, а й робити більш масштабні висновки, наприклад оцінювати та класифікувати візки від якогось постачальника які є найбільш витривалі, або підказувати, які візки найближчим часом доведеться замінити - навіть якщо вони поки що не мають суттєвих пошкоджень.

Наступним етапом потрібно встановити зчитувач марки ALIEN F800, який буде використовуватись для зчитування інформації з встановлених міток ORP4215.

Даний зчитувач представляє собою високопродуктивний зчитувач корпоративного класу з функцією самонавчання, який є ідеальним рішенням для використання на великих підприємствах та підходить для зчитування інформації з RFID-міток в даних умовах. Таке застосування дозволить здійснювати ефективне керування системою діагностики.

Також слід відзначити, що його великою перевагою є те, що він працює на основі операційної системи Linux, яка забезпечує швидку установку та конфігурацію необхідних програм і систем. Дану систему легко адаптувати під дану систему АСУТП підприємства. Також однією з ключових переваг даного зчитувача є його здатність одночасно ідентифікувати велику кількість RFID-міток за допомогою того, що він використовує інноваційну архітектуру п'ятого покоління, яка дає змогу йому швидко адаптуватися і налаштовуватися в будь-яких умовах використання.

Після зчитування зчитувачем RFID-мітки отримані дані з міток передаються через передавач до системи автоматизації, яка буде ідентифікувати обпалювальний візок та за допомогою отриманих даних від датчиків діагностики, з використанням розроблених алгоритмів буде обробляти і аналізувати інформацію, надаючи оператору можливість відстежувати стан об'єктів, на яких встановлені мітки, і звітує про їх поточний технічний стан.

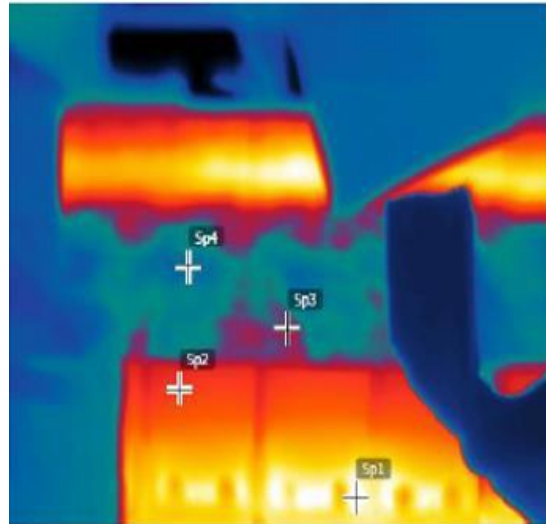
Задля того, щоб визначити чи можуть мітки витримати умови експлуатації без втрати своїх властивостей та функціональності, і чи є вони ефективним рішенням для даного застосування виконався тепловізійний контроль нагріву рами та бортів обпалювальних візків у різних технологічних зонах обпалювальної машини. Це є дуже важливим

кроком у визначенні придатності використання цих міток, за результатами цього контролю можна оцінити, чи температури в різних зонах машини перевищують максимально допустимі температурні режими для цих міток чи ні.

Виконаний замір температури обпалювального візка після зони охолодження по робочій гілці (Рисунок 3.2):

Sp1, Sp2 – температура верхнього бортика обпалювального візка з права по ходу ОМ;

Sp3, Sp4 – температура обкотиша;



Sp1	331°C
Sp2	244°C
Sp3	180°C
Sp4	105°C

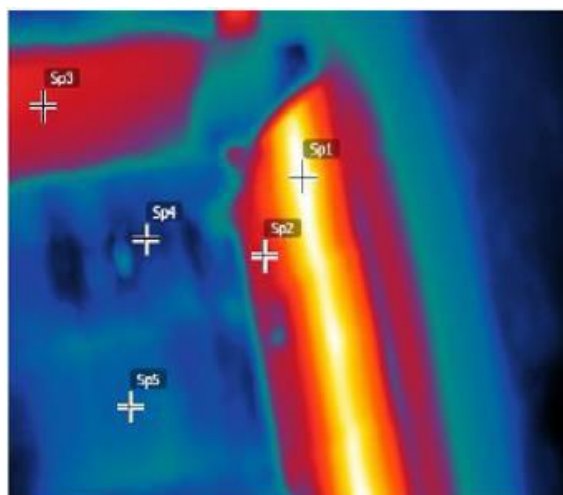
Рисунок 3.2 – Місце замір температури бортиків обпалювального візка після зони охолодження по робочій гілці

Виконаний замір температури обпалювального візка в районі бункера вирівнювання температури по робочій гілці (Рисунок 3.3):

Sp1, Sp2 – температура верхнього бортика обпалювального візка з ліва по ходу ОМ;

Sp3 – температура рами обпалювального візка;

Sp4, Sp5 – температура колосникового поля;



Sp1	314°C
Sp2	191°C
Sp3	191°C
Sp4	92°C
Sp5	105°C

Рисунок 3.3 – Місце замір температури бортиків та рами обпалювального візка в районі бункера вирівнювання температури по робочій гілці

Виконаний замір температури обпалювального візка в голові ОМ по робочій гілці (Рисунок 3.4):

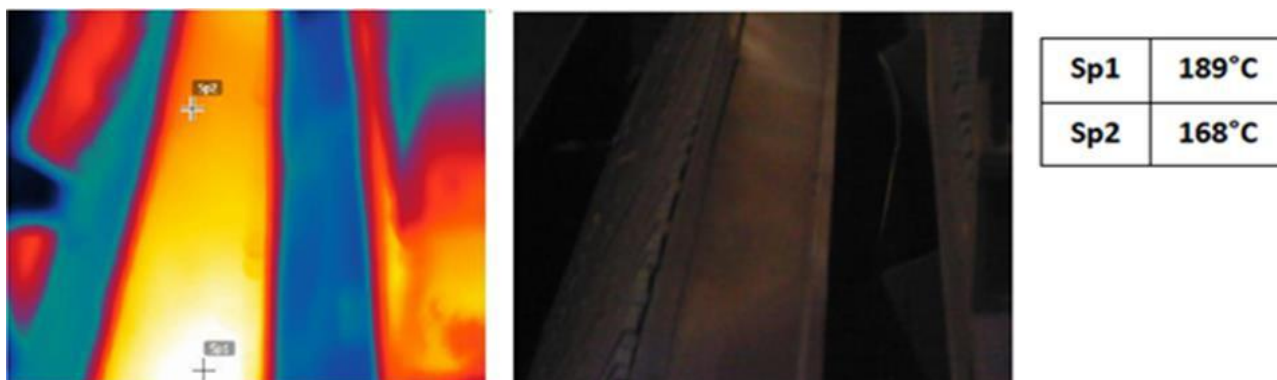


Рисунок 3.4 – Місце замір температури рами обпалювального візка в голові ОМ

Виконаний замір температури обпалювального візка в голові ОМ по робочій гілці (Рисунок 3.5):

Sp1 – температура верхнього бортика обпалювального візка з ліва по ходу ОМ;

Sp2, Sp3, Sp4 – температура колосникового поля;

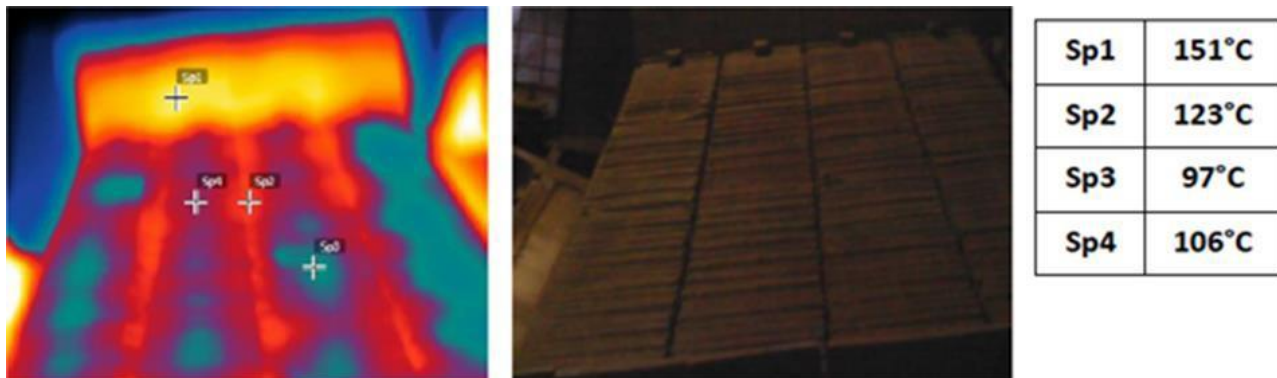


Рисунок 3.5 – Місце замір температури бортиків обпалювального візка в голові ОМ

Відповідно до виконаних замірів, максимальна температура виявлена на рисунку 3.3 складає 314°C по верхньому бортику обпалювального візка з ліва по ходу ОМ. Місце монтажу мітки знаходиться під бортиком обпалювального візка, температура в місці монтажу мітки буде не на багато меншою від температури бортика, вона буде дорівнювати максимально допустимій температурі для міток ОРР4215 UHF, яка становить 280°C. Враховуючи те, що таку температуру мітки витримують протягом 50 хвилин і 250°C протягом 150 хвилин (заявлено виробником), можна зробити висновок, що в таких умовах, ефективно використання цих міток є недоцільним, оскільки робота на максимально

допустимій високій температурі може спричинити їх швидке пошкодження, втрату магнітних властивостей та неможливість передачі даних.

В результаті виконаного дослідження ми можемо зробити висновок, що ходимість мітки в даних експлуатаційних умовах значно менше від ходимості обпалювального візка. Існує великий ризик не функціонування системи діагностики з причини виходу з ладу UHF міток. Зупиняти обладнання для їх заміни є не доцільним з точки зору високих економічних втрати, пов'язані з частою заміною міток (втрат по виробництву) та можливих перебоїв в роботі системи діагностики. Також слід відмітити, що дана заміна можлива тільки під час проведення планового ремонту, за цей час система діагностики буде давати не повну картину технічного стану обпалювальних візків в навісці, а також не буде коректно вестись напрацювання кожного візка, що негативно вплине на довгострокове планування ремонтів.

Рекомендується розглянути альтернативні рішення або технології, які можуть ефективно працювати при такій високій температурі. Я вважаю, що однією з ефективних альтернатив експлуатації в умовах високих температур буде використання сталевих пластин із нанесеними на них номерами обпалювальних візків, які ідентифікуються за допомогою камер.

Цей метод може бути дуже надійним у високотемпературних умовах, де традиційні RFID мітки та інші електронні системи можуть виходити з ладу. Однак, важливо врахувати, що для ефективної роботи такої системи необхідно мати точні та високоякісні камери та програмне забезпечення для розпізнавання.

3.2. Модернізація процесу вибракування та заміни візків на випалювальній машині Lurgi 552

Усі випалювальні машини комбінату оснащені автоматизованою системою управління технологічним процесом (АСУТП), яка забезпечує моніторинг технологічних параметрів випалу обкотишів та функціонування основного обладнання. Під час моєї переддипломної практики було виявлено, що однією з ключових проблем є нестабільність роботи обпалювальної машини, зумовлена проблемами з випалювальними візками. У зв'язку з цим був проведений аналіз системи діагностики та контролю технічного стану цих візків[8].

Сирі обкотиші поступають до обпалювальної машини на спеціальних обпалювальних візках, яких в навісці 208 штук (відповідно до технічних характеристик та модифікації ОМ). Вони безперервно рухаються один за одним, утворюючи закільцьований конвеєр.

Кожен візок представляє собою багатотонну платформу. Поверхня візка не є монолітною, вона складається з безлічі колосників, тонких металевих пластин, розміщених паралельно один одному на відстані

кілька міліметрів. По суті, поверхня візка може бути охарактеризована як металева решітка, яка надає вільний доступ газоповітряному потоку для ефективної термообробки сирих обкотишів.

Ця металева решітка повинна мати строгу геометрію, з утриманням постійного зазору приблизно 4 мм між кожними колосниками протягом усього робочого періоду візка. У кожному візку міститься близько 400 таких колосників, і під час термічної обробки вони можуть виявити технічні неполадки, такі як просідання, зміщення відносно місця початкового встановлення або пошкодження (прогару) внаслідок впливу високих температур. Це може стати потенційним джерелом технологічних проблем, тому вкрай важливо систематично моніторити стан візків в реальному часі.

Піддаються сильному зовнішньому впливу і інші елементи візка. І якщо якийсь із них, наприклад, болтове з'єднання, який кріпить корпус візка до ходової частини, вийде з ладу, візок може нахилитися і зійти з рейок, а весь цей процес може призвести до виникнення, як не значної аварійної зупинки так і до дуже серйозних аварій зі значними наслідками. Недоліки такого простою можуть призвести до значних фінансових затрат, не виконання плану з виробництва та інше.

Зараз проблема вирішується "в ручному режимі". Під час планових зупинок або просто під час руху візків, агломератник оглядав полотна колосників та кріплення візків на предмет дефектів. Я вважаю, що це не надто ефективно, тому як, людське око, навіть досвідчене, не в змозі впоратися з навантаженням, тому ми пропонуємо впровадити в процес огляду візків рішення на основі машинного зору розглянувши дві компоновки.

Реалізувати це наступним чином: перед входом безпосередньо в обпалювальну машину встановити чотири камери: дві спрямовані на колосникове поле обпалювальних візків, а дві на праву та ліву сторони ходової частини візка, де розташовані болтові з'єднання, що скріплюють бортовину з рамою (Рисунку 3.6).

Дана система повинна вміти виявляти дефекти колосників, шляхом розмітки поверхні візка прямокутними областями. Для калібрування машинного зору пропонується створити масив даних (що включає і норму, і відхилення від неї) з фото дефектами, що дозволило б системі розуміти та сигналізувати про відхилення, якщо зображення, що надійшло з камери, після проведення аналізу, за допомогою спеціального алгоритму сильно відрізнялось від заздалегідь вибраних «нормальних зображень», система повідомляє оператора.

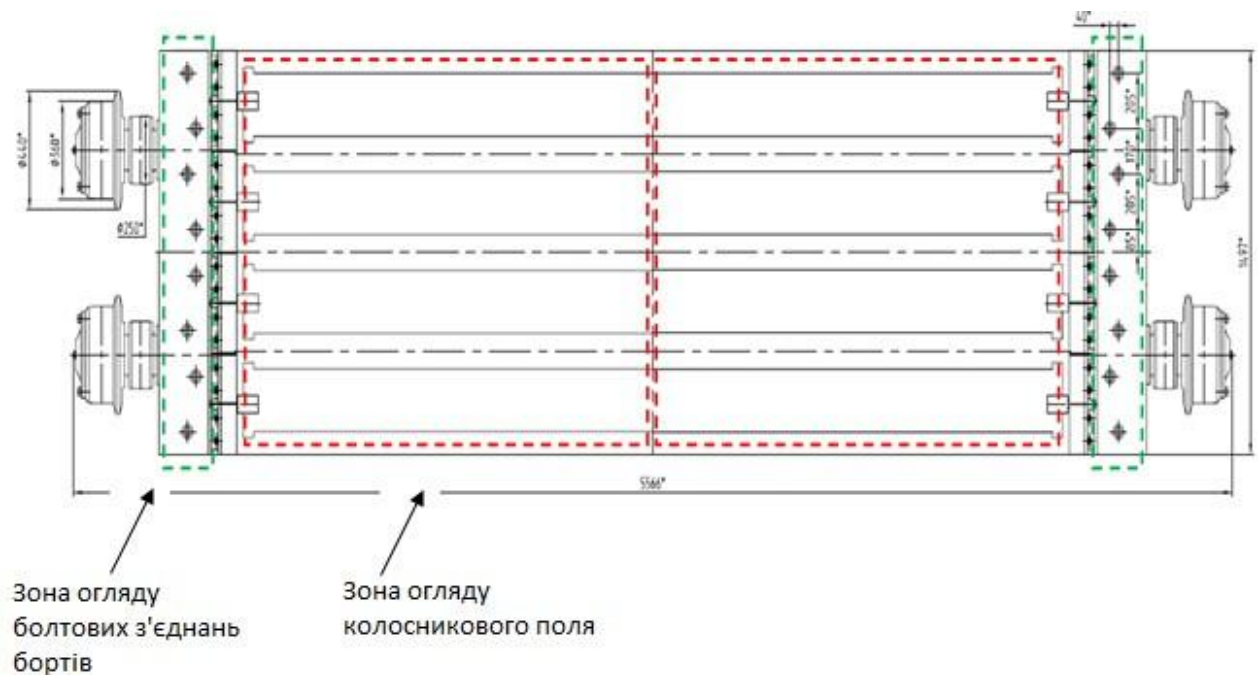


Рис. 3.6 – Загальний вигляд зони відповідальності встановлених камер

Картинки повинні надходити одночасно з двох камер, які розташовані ліворуч і праворуч від візка, оскільки по краях колосники через специфіку процесу випалу особливо схильні до пошкоджень. Дві камери необхідні тому, що через особливості оптики та технологічного процесу нормально визначити дефекти можна тільки по краях - розташовані по центру спотворюються.

Для функціонування даної ланки пропонується використовувати PMD 3D-датчики положення та переміщення марки O3D200.

Дана камера є сучасним електронно-оптичним пристроєм, який використовується для вимірювання і створення тривимірних зображень об'єктів. Цей прилад працює за допомогою освітлення об'єкта внутрішнім джерелом світла і подальшої обробки відбитого світла для створення точного тривимірного зображення. На основі цього зображення, датчик генерує програмні змінні, які можуть бути використані для вирішення завдань контролю рівня, відстані, об'єму та інших параметрів. Ці змінні можуть бути пов'язані з цифровими чи аналоговими виходами датчика, що дозволяє інтегрувати дані у широкий спектр систем управління та моніторингу. Також слід відмітити, що даний датчик використовується у різноманітних промислових та наукових сферах, особливо там, де потрібна висока точність вимірювань і здатність до автоматизації процесів контролю.

Після підключення до джерела електроживлення, пристрій автоматично активує робочий режим через 30 секунд. Він виконує завдання, які були налаштовані та збережені користувачем, виробляючи вихідні сигнали відповідно до заданих параметрів.

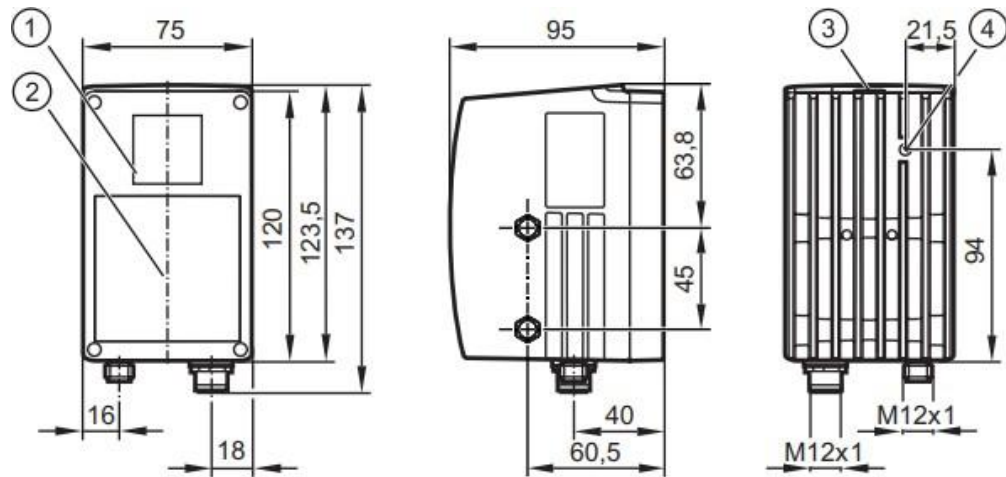


Рис. 3.7 – Загальний вигляд та типові розміри датчику

Дисплей відображає поточний результат оцінки, жовті світлодіоди сигналізують комутаційний стан виходів чи входів.

Але функціонування даної системи не можливе без ідентифікації обпалювальних візків, тому на основі проведених теоретичних досліджень, пропонується використовувати сталеві пластини із нанесеними на них номерами обпалювальних візків, які ідентифікуються за допомогою камер машинного зору. (Рис. 3.8).

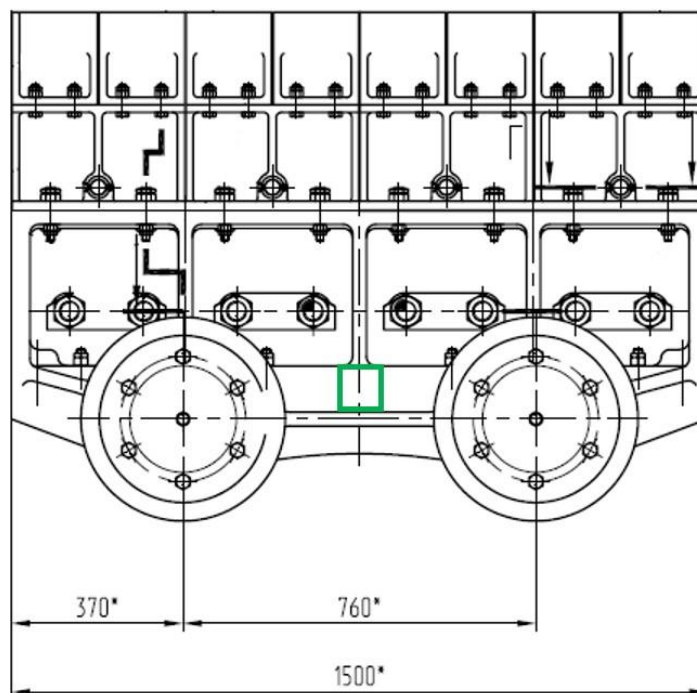


Рис. 3.8 – Місце монтажна сталевої пластини для ідентифікації обпалювальних візків

Пропонується модернізація системи діагностики з використання фотографічного розпізнавання для ідентифікації номерів обпалювальних візків. Така система, за умови використання високоякісних камери з високою роздільною здатністю, розміщені в стратегічних точках в голові машини ідентифікувала б кожен обпалювальний візок, який мав би

унікальну, чітко читабельну табличку з номером, виготовлену з жаростійкої високолігрованої сталі, що забезпечує тривалий строк служби в умовах високих температур.

Система фотографічного розпізнавання могла б автоматично сканувати і впізнавати номери візків, відправляючи дані на центральний сервер для подальшого аналізу та обробки.

Аналітика, яку надає система, є значно ширшою, ніж просте спостереження за станом колосників та болтів. Вона дозволяє вести облік напрацювання візків від різних постачальників, відстежувати динаміку та аналізувати дефекти, визначаючи найбільш витривалі компоненти. Також система може прогнозувати, які візки потребуватимуть заміни у найближчому майбутньому, навіть якщо вони ще не мають значних пошкоджень. Однією з особливостей системи є можливість оцінити, коли зазори між колосниками виходять за рамки нормативів.

У другому варіанті модернізації пропонується модернізація системи діагностики з використання фотографічного розпізнавання для ідентифікації номерів обпалювальних візків, замість RFID міток. Така система могла б використовувати високоякісні камери з високою роздільною здатністю, розміщені в стратегічних точках в голові машини. Кожен візок міг би мати унікальну, чітко читабельну табличку з номером, виготовлену з жаростійкої високолігрованої сталі, що забезпечує тривалий строк служби в умовах високих температур.

Система фотографічного розпізнавання могла б автоматично сканувати і впізнавати номери візків, відправляючи дані на центральний сервер для подальшого аналізу та обробки.

Дана компоновка дозволить виявляти та реєструвати дефекти, стежити за історією роботи кожного візка, а також планувати попереднє обслуговування та ремонт. Ця система могла б без перешкод інтегруватися з існуючою системою АСУТП, забезпечуючи операторам повну картину стану обладнання в режимі реального часу.

На основі вищезазначеної компоновки було створено алгоритм (рисунок 3.9), який використовує сучасні технології для моніторингу та діагностики обпалювальних візків. Цей алгоритм представлений у вигляді блок-схеми і включає в себе наступні елементи та процеси:

Інтеграція машинного зору: Використання високоякісних камер для фотографічного розпізнавання. Камери встановлюються в ключових місцях і сканують номери на візках. Це дозволяє точно ідентифікувати кожен візок і відстежувати його стан.

3D-датчики для детального сканування: Використання 3D-датчиків для створення точних тривимірних моделей візків. Це дає можливість виявляти фізичні дефекти або неправильні положення елементів візка.

Автоматизований контроль та моніторинг: Система автоматично обробляє дані, отримані від камер, 3D-датчиків. Це включає сканування, ідентифікацію, аналіз стану та виявлення дефектів.

Інтеграція з центральним сервером: Всі дані, отримані від різних компонентів системи, відправляються на центральний сервер. Тут вони аналізуються для виявлення можливих проблем та планування обслуговування.

Повідомлення та оповіщення: Система генерує повідомлення про стан візків, їх місцезнаходження та потребу в обслуговуванні або ремонті, які надсилаються операторам або технічному персоналу.

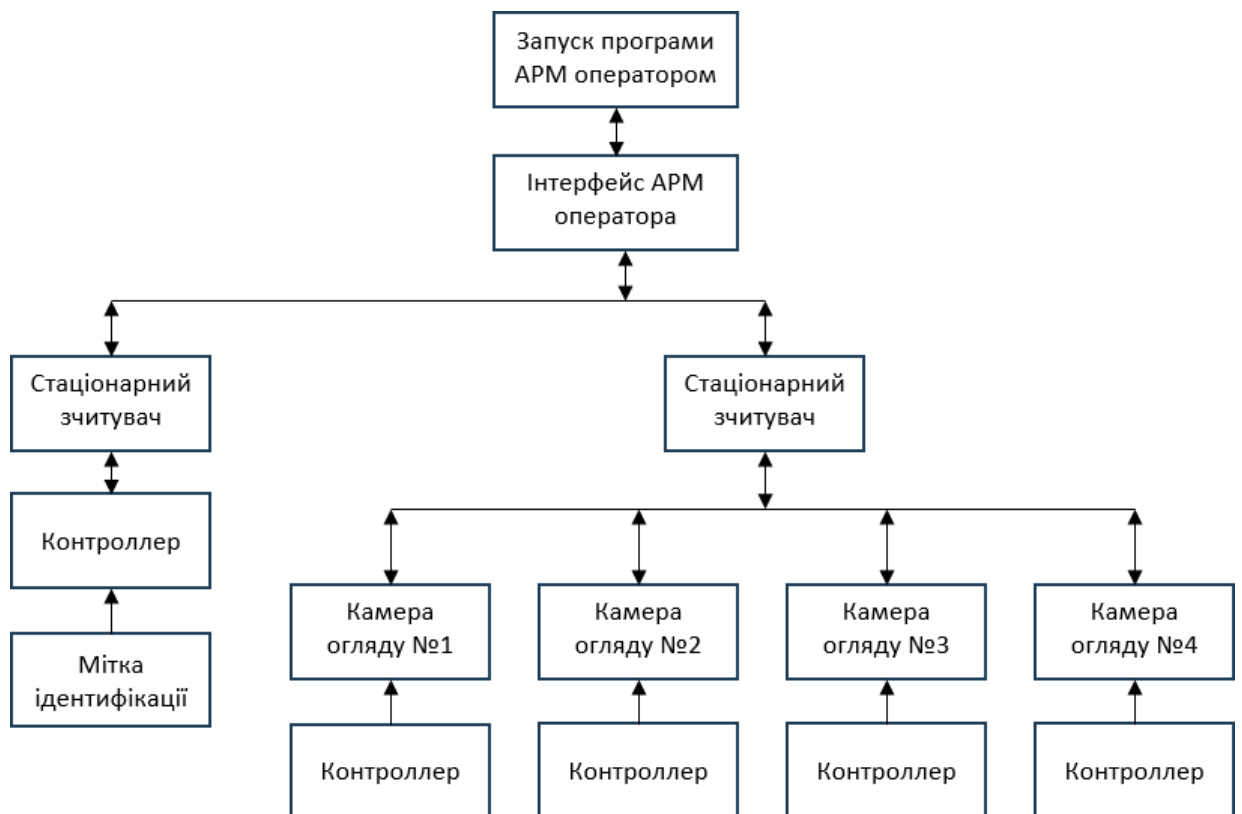


Рисунок 3.9 – Алгоритм функціонування системи

Цей інтегрований підхід до діагностики обладнання вводить новий рівень автоматизації та інформаційної прозорості на виробництво, зменшуючи витрати та підвищуючи безпеку та ефективність виробничих процесів.

3.3. Висновки по третьому розділу

В цьому розділі розглядаються проблема нестабільності роботи обпалювальної машини на виробничому комбінаті, зумовлена проблемами з випалювальними візками. Для вирішення цієї проблеми пропонується впровадити систему діагностики з використанням UHF міток.

Був проведений експеримент з метою оцінки ефективності використання UHF міток OPP4215 для моніторингу стану візків виявив обмеження через високі температури. Тому запропоновано використовувати сталеві пластини з номерами для ідентифікації візків. Також в даній системі діагностики будуть функціонувати камери для виявлення дефектів колосників. Дана система повинна виявляти відхилення від норми за допомогою спеціального алгоритму, повідомляючи оператора про дефекти.

4. Економічне обґрунтування запропонованих змін

Ефективне функціонування обпалювального візка є ключовим аспектом у робочих процесах промислового підприємства. Проте, виникає проблематика пов'язана з роботою цього обладнання, що може призвести до значних збоїв у виробництві. Серед таких проблем вирізняється ситуація, коли обпалювальний візок, роблячи круг, починає втрачати колосники. Якщо на початковій стадії візок може заїжджати без двох колосників, то без своєчасного втручання і зупинки, ця проблема може загостритися, внаслідок чого кількість втрачених колосників може зрости значної цифри (Рисунок 4.1).

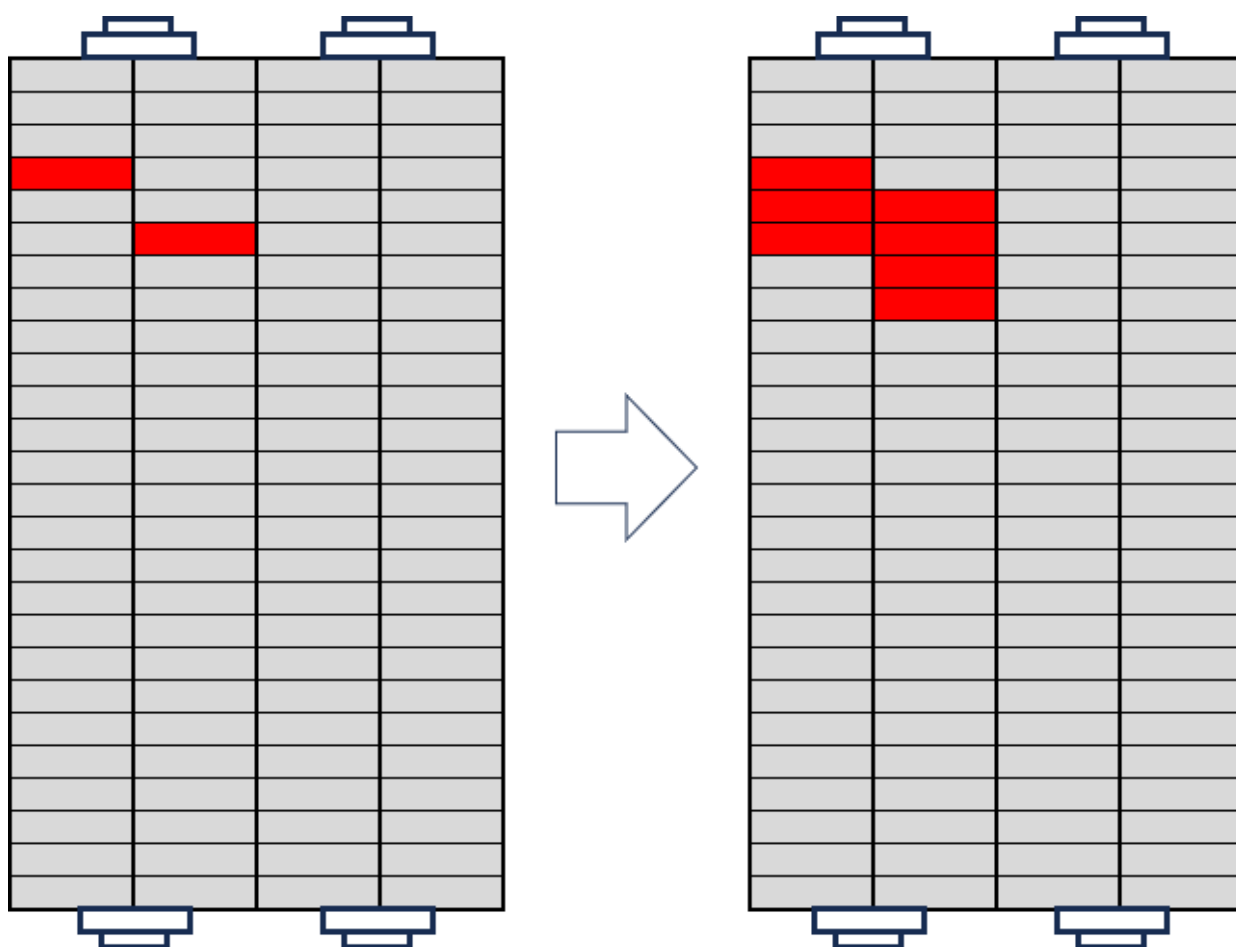


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд наслідків роботи без системи діагностики

Наслідки такої ситуації можуть бути значними: від зупинки виробничих ліній до великих фінансових втрат через ремонт обладнання та зниження продуктивності. Тому важливість своєчасної діагностики та попередження подібних проблем не може бути недооцінена. Система діагностики, інтегрована в обпалювальний візок, відіграє ключову роль у виявленні та попередженні розвитку таких технічних неполадок. Це не тільки забезпечує безперебійну роботу обладнання, але й значно знижує потенційні економічні ризики, пов'язані з його поломкою.

Таким чином, впровадження та використання системи діагностики є стратегічним рішенням, яке сприяє оптимізації роботи обпалювального візка та зменшує ризик виникнення фінансових збитків, пов'язаних з його несправністю.

4.1. Розрахунок економічного ефекту

З урахуванням вищенаведеної проблематики, наступним кроком є детальний аналіз вхідних даних, які лежать в основі цієї гіпотези. Аналіз потрібен для визначення потенційних причин та умов, за яких відбувається втрата колосників обпалювальним візком, та для оцінки впливу цієї проблеми на загальну продуктивність та ефективність виробничих процесів.

Врахуємо ключові показники, які впливають на втрати у виробництві: кількість колосників на візку, кількість візків в навісці, продуктивність обпалювальної машини, тривалість технологічної зміни та їх кількість в році, середню кількість прососів за зміну та тривалість їх усунення, втрати по колосник під час одного прососу у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1- Вхідні данні

№ n/n	Вхідні параметри	Одиниця виміру	Показники
1	Кількість колосника в візку	шт.	400
2	Кількість візків в навісці	шт.	208
3	Продуктивність обпалювальної машини	тонн/год.	460
4	Тривалість технологічної зміни	год.	12
5	Кількість змін на рік	шт.	730
6	Середня кількість прососів за зміну	шт.	1
7	Середня тривалість усунення прососу	хв.	5
8	Середні втрати по колоснику за 1 просос	шт.	7

Першим кроком розрахуємо річні втрати часу на усунення прососів.

Щоб визначити загальний час, витрачений на усунення прососів протягом року, ми множимо середню тривалість одного прососу на кількість змін у році. Оскільки результат потрібно виразити в годинах, ми ділимо загальну кількість на 60 хвилин.

Розрахунок: $5 \text{ хв} \times 730 / 60 = 3650 \text{ хв} / 60 = 60,8 \text{ год/рік}$.

Річний час, витрачений на усунення прососів, становить 60,8 годин.

Другим кроком розрахуємо втрати виробництва.

Для визначення втрат по виробництву внаслідок прососів, ми множимо річний час, витрачений на їх усунення, на продуктивність обпалювальної машини.

Розрахунок: $60,8 \text{ год/рік} \times 460 \text{ т/год} = 27\,983 \text{ т/рік}$.

Втрати виробництва внаслідок технологічних прососів склали 27 983 тонн на рік.

Третім кроком розрахуємо фінансові втрати від обсягу виробництва.

Для визначення фінансових втрат від виробництва множимо втрати виробництва на умовну вартість моржі обкотиша.

Розрахунок: $27\,983 \text{ т/рік} \times 50 \text{ \$/т} = 1\,399\,167 \text{ \$/рік}$.

Фінансові втрати від виробництва становлять приблизно 3 952 000 \$ на рік.

Четвертим кроком розрахуємо безповоротні втрати по колоснику під час одного прососу.

Для визначення загальної кількості втрачених колосників за рік множимо кількість змін на рік на середній розмір прососу.

Розрахунок: $730 \times 7 \text{ шт.} = 5110 \text{ шт.}$

Безповоротні втрати колосника становлять 5110 штук на рік.

П'ятим кроком розрахуємо річні фінансові втрати через колосник.

Множимо загальну кількість втрачених колосників на їхню умовну вартість (вартість вираховується через загальну вагу втрат).

Розрахунок: $((4,4 \text{ кг} \times 5110 \text{ шт.}) / 1000) \times 4000 \text{ \$/тн} = 89\,936 \text{ \$/рік}$.

Фінансові втрати через колосник становлять 89 936 \$ на рік.

Шостим кроком розраховуємо втрати по газу за один просос:

Споживання газу за годину роботи ОМ ділимо на одну годину та перемножуємо на тривалість одного прососу.

Розрахунок: $(4500 \text{ куб} / 60 \text{ хв.}) \times 5 \text{ хв.} = 375 \text{ куб.}$

Втрати по газу за один просос складають 375 куб.

Сьомим кроком вираховуємо фінансові втрати по газу за рік.

Розрахунок: $((400 \text{ \$/} 1000 \text{ тыс.м.куб}) * 375 \text{ куб}) * 60,8 \text{ год./рік} = 9125\text{\$}$

Втрати по газу склали 9125\$ за рік.

Останнім етапом розрахуємо загальні річні втрати підприємства.

Додаємо фінансові втрати від виробництва та фінансові втрати через колосник.

Розрахунок: $1\,399\,167 \$ + 89\,936 \$ + 9\,125 \$ = 1\,498\,228 \$/\text{рік}$.

Загальні втрати становлять приблизно $1\,498\,228 \$$ на рік.

Ці розрахунки підкреслюють важливість усунення прососів у роботі обпалювального візка, а також значення впровадження ефективних стратегій для зменшення фінансових втрат.

Тепер ми проведемо теоретичний розрахунок потенційних користей від модернізації системи діагностики, вхідні данні використаємо з таблиці 4.2. Теоретично зменшиться середня тривалість усунення прососу та середні втрати по колоснику за 1 просос.

Таблиця 4.2 - Вхідні дані після модернізації

№ n/n	Вхідні параметри	Одиниця виміру	Показники
1	Кількість колосника в візку	шт.	400
2	Кількість візків в навісці	шт.	208
3	Продуктивність обпалювальної машини,	тонн/год.	460
4	Тривалість технологічної зміни	год.	12
5	Кількість змін на рік	шт.	730
6	Середня кількість прососів за зміну	шт.	1
7	Середня тривалість усунення прососу	хв.	2
8	Середні втрати по колоснику за 1 просос	шт.	2

Першим кроком розрахуємо річні втрати часу на усунення прососів.

Щоб визначити загальний час, витрачений на усунення прососів протягом року, ми множимо середню тривалість одного прососу на кількість змін у році. Оскільки результат потрібно виразити в годинах, ми ділимо загальну кількість на 60 хвилин.

Розрахунок: $2 \text{ хв} \times 730 / 60 = 3650 \text{ хв} / 60 = 24,3 \text{ год/рік}$.

Річний час, витрачений на усунення прососів, становить 24,3 годин.

Другим кроком розрахуємо втрати виробництва.

Для визначення втрат по виробництву внаслідок прососів, ми множимо річний час, витрачений на їх усунення, на продуктивність обпалювальної машини.

Розрахунок: $24,3 \text{ год/рік} \times 460 \text{ т/год} = 11\,193 \text{ т/рік}$.

Втрати виробництва внаслідок технологічних прососів склали 11 193 тонн на рік.

Третім кроком розрахуємо фінансові втрати від обсягу виробництва.

Для визначення фінансових втрат від виробництва множимо втрати виробництва на умовну вартість моржі обкотиша.

Розрахунок: $11\ 193\ \text{т/рік} \times 50\ \text{\$/т} = 559\ 667\ \text{\$/рік}$.

Фінансові втрати від виробництва становлять приблизно 559 667 \$ на рік.

Четвертим кроком розрахуємо безповоротні втрати по колоснику під час одного прососу.

Для визначення загальної кількості втрачених колосників за рік множимо кількість змін на рік на середній розмір прососу.

Розрахунок: $730 \times 2\ \text{шт.} = 1460\ \text{шт.}$

Безповоротні втрати колосника становлять 1460 штук на рік.

П'ятим кроком розрахуємо річні фінансові втрати через колосник.

Множимо загальну кількість втрачених колосників на їхню умовну вартість (вартість вираховується через загальну вагу втрат).

Розрахунок: $((4,4\ \text{кг} \times 1460\ \text{шт.}) / 1000) \times 4000\ \text{\$/тн} = 25\ 696\ \text{\$/рік}$.

Фінансові втрати через колосник становлять 25 696 \$ на рік.

Шостим кроком розраховуємо втрати по газу за один просос:

Споживання газу за годину роботи ОМ ділимо на одну годину та перемножуємо на тривалість одного прососу.

Розрахунок: $(4500\ \text{куб} / 60\ \text{хв.}) \times 2\ \text{хв.} = 150\ \text{куб.}$

Втрати по газу за один просос складають 150 куб.

Сьомим кроком вираховуємо фінансові втрати по газу за рік.

Розрахунок: $((400\ \text{\$/} 1000\ \text{тыс.м.куб}) * 150\ \text{куб}) * 24,3\ \text{год./рік} = 1369\ \text{\$}$

Втрати по газу склали 1 369 \$ за рік.

Останнім етапом розрахуємо загальні річні втрати підприємства.

Додаємо фінансові втрати від виробництва, фінансові втрати через колосник та фінансові втрати по газу.

Розрахунок: $559\ 667\ \$ + 25\ 696\ \$ + 1\ 369\ \$ = 586\ 731\ \text{\$/рік}$.

4.2. Висновки по четвертому розділу

У четвертому розділі моєї дипломної роботи я здійснив теоретичне економічне обґрунтування модернізації системи діагностики

обпалювальних візків, можна зробити висновок, що така модернізація потенційно може принести значну економічну вигоду. Розрахунки показують, що річні теоретичні втрати можуть зменшитися з 1 498 228 доларів до 586 731 долара, що дає теоретичний ефект у розмірі 911 497 доларів на рік. Це вказує на можливість зниження витрат, покращення продуктивності та ефективності, а також на підвищення безпеки і тривалості служби обладнання, що є ключовими для довгострокового економічного успіху та сталого розвитку.

Загальні висновки по роботі

В дипломній роботі на тему "Модернізація процесу вибракування та заміни візків на обпалювальній машині Lurgi 552" ретельно розглядаються різні аспекти пов'язані з аналізом та вдосконаленням обпалювального обладнання.

У першому розділі дипломної роботи були розглянуті сучасні агломераційні технології виробництва, зокрема конвеєрні обпалювальні машини. Проведений детальний аналіз сучасних агломераційні технології виробництва, зокрема конвеєрних обпалювальних машин фабрик "Ханна Майнинг", "Ризерв Майнинг Ко", "Клівленд Клиффс Айрон", а також огрудковувальні фабрика Соколовсько-Сарбайського, Центрального та Північного гірничозбагачувального комбінату, який розкрив важливі аспекти технологічних схем та процесів виробництва. Розглянуті розробки компаній у цій галузі, такі як "Lurgi" та фірми "Мак-Кі" (США). Розглянута проблематика, пов'язана з нестабільності роботи обпалювальної машини на виробничому комбінаті, зумовлена проблемами з випалювальними візками, які піддаються впливу різних факторів виникнення несправностей. Тому ми вважаємо, що з метою підвищення ефективності виробництва та забезпечення більш економічного та безпечного процесу виробництва необхідне впровадження системи діагностики для виконання моніторингу стану обпалювальних візків.

У другому розділі моєї дипломної роботи був проведений детальний аналіз різних видів розпізнавання об'єктів, демонструючи їх застосування у різних сферах. Впровадження сучасних механізмів розпізнавання об'єктів суттєво впливає на ефективність, точність та автоматизацію процесів у різних галузях промисловості. Це особливо важливо в гірничорудній промисловості, де використання мікроконтролерів та інших сучасних технологій може значно підвищити продуктивність та безпеку.

У третьому розділі моєї дипломної роботи розглядається проблема нестабільності роботи обпалювальної машини на виробничому комбінаті, зумовлена проблемами з випалювальними візками. Для вирішення цієї проблеми пропонується впровадити систему діагностики з використанням UHF міток. Був проведений експеримент з метою оцінки ефективності використання UHF міток ОРР4215 для моніторингу стану візків виявив обмеження через високі температури. Тому запропоновано використовувати сталеві пластини з номерами для ідентифікації візків. Також в даній системі діагностики будуть функціонувати камери для виявлення дефектів колосників. Дана система повинна виявляти відхилення від норми за допомогою спеціального алгоритму, повідомляючи оператора про дефекти.

У четвертому розділі моєї дипломної роботи я здійснив теоретичне економічне обґрунтування модернізації системи діагностики

обпалювальних візків, можна зробити висновок, що така модернізація потенційно може принести значну економічну вигоду. Розрахунки показують, що річні теоретичні втрати можуть зменшитися з 1 498 228 доларів до 586 731 долара, що дає теоретичний ефект у розмірі 911 497 доларів на рік. Це вказує на можливість зниження витрат, покращення продуктивності та ефективності, а також на підвищення безпеки і тривалості служби обладнання, що є ключовими для довгострокового економічного успіху та сталого розвитку.

Загальним висновком моєї дипломної роботи є те, що було проведено всебічний аналіз та розглянуто ключові аспекти, що стосуються вдосконалення обпалювального обладнання. Детальний огляд сучасних агломераційних технологій виявив важливість стабільності роботи обпалювальних машин для підвищення ефективності виробництва. Проблеми, які виникають через нестабільність роботи обпалювальних візків, були визначені як ключові виклики, і в роботі було запропоновано впровадження системи діагностики як рішення для підвищення ефективності. Було проведено експериментальне дослідження та запропонована оптимальна компоновка для даної системи. Важливим аспектом роботи стало також економічне обґрунтування модернізації, яке демонструє потенційний економічний ефект у розмірі 911 497 доларів на рік, що вказує на важливість таких інвестицій для довгострокового успіху та сталого розвитку.

Перелік використаних джерел

1. Anderson, N. (1912). "Method for Agglomeration of Iron Ore." Patent No. 35124.
2. Brackelsberg, H. (1913). "Method for Agglomeration with Water and Binders." Patent No. 662021.
3. "Historical Overview of Iron Ore Agglomeration: From 1910s to the 1940s." Journal of Metallurgy.
4. "Development of Taconite Agglomeration Techniques in the USA." American Journal of Mining and Metallurgy.
5. "The Introduction of Industrial Pelletizing Equipment in the USA." Industrial Equipment Review.
6. "Modern Agglomeration Techniques in the Iron and Steel Industry." Global Metallurgy.
7. "Diversification of Agglomeration Methods: From Iron to Non-Ferrous Metals." International Journal of Mineral Processing.
8. Щербина, О. В. (2023). "Звіт з преддипломної (атестаційної) практики."
9. "Як працює машинне навчання?" (2023).
Режим доступу: <https://nachasi.com/tech/2019/01/31/yak-pratsyuue-machine-learning/>
10. Augmented Startups. (2023). "Object Detection in 2023: The Definitive Guide."
Режим доступу: <https://www.augmentedstartups.com/blog/object-detection-in-2023-the-definitive-guide>.
11. StartUs Insights. "Object Recognition Startups."
Режим доступу: <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/object-recognition-startups/>.
12. Єремєєва К. Н. (1964). "Дослідження якості офлюсованих котунів." Бюлетень ЦНДІ ЧС, № 7.
13. Зенд, А. (1963). "Виробництво залізорудних котунів у США та Канаді." Чорні метали, № 16.
14. Мейєр, К. (1962). "Стан та розвиток виробництва залізорудних котунів." Чорні метали, № 3.
15. Мейєр К. (1962). "Виробництво котунів із залізних руд і рудних сумішей." Чорні метали, № 22.
16. Smith L. W., Beggs D., Rinker F. G. A new process for oxide pellet production, «J. of Metals», 18, N 9, 1966.
17. Бережний Н. Н., Губін Г. В., Дрожилов Л. А. Окомковання дрібно подрібнених концентратів залізних руд. М.: вид-во «Недра», 1971. С. 128-163.
18. Dli, M. I., Vlasova, E. A., Sokolov, A. M., & Morgunova, E. V. (2021).

"Creation of a Chemical-Technological System Digital Twin Using the Python Language." Journal of Applied Informatics, Vol. 16, No. 1, pp. 22–31.

19. Kurilin S. P., Dli M. I., Rubin Y. B., Chernovalova M. V. Methods and means of increasing operation efficiency of the fleet of electric motors in non-ferrous metallurgy // Non-ferrous Metals. 2020. No. 2. P. 73–78.

20. Lobova, K. (2015). "Pellets Temperature Distribution on a Conveyor Roasting Machine." Metallurgical and Mining Industry, № 8, pp. 12-15.

21. Lobov, V., Lobova, K., & Koltiar, M. (2015). "Investigation of Temperature Distribution Along the Height of the Layer of Pellets on Conveyor Roasting Machine." Metallurgical and Mining Industry, № 4, pp. 22-29.

22. Metinvest Digital.

Режим доступу: <https://metinvest.digital/ua/page/1028>

23. "Штучний інтелект."

Режим доступу: <https://termin.in.ua/shtuchnyy-intelekt/>

контролер приїїпшш зав□ження СЮЮЮ "м.зПі і под" на ваговий індикагор сш:нал початку в:н:ванта.ження: (tart Discharge). ОтршЕаввши даний сшн.ац ваговий іщрусарор ЮОда1Е ю:::,манду :відкритг.я:заслш:ЮІ (Open Oiochmge Gate), мрпя чаро дооа склозма"ШИ в:ив:а.1ППа:м.-усгьс.я:□ :ко:нус, втсоаяний на :аготівці_

Таким чин:о:м, ЮО роблений авторами ваго:внміірюв.альний :пристрій дозво.іяє шд:вищити точність дозування склооі.13.3:к:и, тЮтП са.мим зментІ-тмн ймовірність бр-ак.у :під час :втс.ояання: операц]і експандув.авня.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-107>

CONTROL METHODS FOR PALLET CARS OF THE LURGI ROASTING MACHINE

ВДОСКОР.,\ІЕННЯ МЕТОД)В КОНТРОЛЮ СТАНУ ОБПАЛОВАЛЬНИХ МЗКМ НА ОБПАЛОВАЛЬНІЙ МІАШИНІ LURGI

SJ!J.che1·ь, на О.\.
stndmri (g;,eoi.ip 133'- -1. м,
UC "TecJm·ical unrvsity
"Metii□"lr'€51po{vtech,rl'c':,
Zapari'... fuhia. □• □i1il'e

Щербин.- О.В.
ст 'm зр. 13'1- -1 і,
ТОВ «Тм.,;гічн1ui уніііщрсмет
«1it.fesh.inбест nru1'ітехнтю:н;і,
м. Залорі , ; :.V;;рі:1іна

Bum.(lz .t1 O. Z.
P.J.rD (En_gl)il'eeri,l .,
Associate Pn:fusor,
Nahmal·Uni·□°si of Watel°
and Enrinmmenml·Enginee.rii'Жа
Ri е, l.Litmaine

Б□цз31 0.3.
іС ілі:'.ні., 001фелт,
Нац.іунw'льний у,нів'ера тет
ітмодп102го госпйаара11ва
та і!1рлрОООКоруGm mtH:li□
.!. Рівне,]/країна

Виробнич:і :поггу.лШосг.і щдприЕмств :м:,еталургійно'і та, гірничорудш:іі"
:промисловості у світі,ростаю,п, і црогноо,упп1сЯ!□що ця! -ге:нде:нція: б,уде
тр1-м.ати, а :мо,щершз.ація Dm'Юrio ге2гноло:гіч:но:го обтщнаиня пртпво,щ1-ль
до істот.в:их е,кономітшх. ефектів особтто в :гірти:орудтй сфері, де
:вщ:юфіНИЦ'ЕВо зуть10:влепе великими обсяга.ми□ ви,оо:кою енерго-
ефет:пш:іспо та склад;вимв фізмсо-гі\Пчв:ими про:цесама"

модернізація шляхом авторизованої системи діагностики і отримання своєї основної інформації. ШЗКШ – це допоміжна система спеціалізована. Асоціація КІТрошо з.з. технікою та станом візюв. (прогону, нагріву та інше). Така система надає можливість вивести об'єкт з ресурсів об'єктованих візюв. при поточному стані та необхідності заміни в майбутньому.

Перелік використаних джерел

1. П'єлі М. І. "Система автоматизованого контролю та управління процесом виготовлення пелет". *Журнал прикладної механіки та інженерії*. 2020. № 1. С. 2-31.
2. Kwillin S. P., Ollin M. I., Rijkman Y. B., Chermovalov M. V. Methods and means of increasing operation efficiency of the fleet of electric motor in non-ferrous metallurgy. *Journal of Metals*. 2020. No. 2. P. 73-78.
3. Lobova K. Pellets Temperature Distribution on a conveyor roasting machine / K. Lobova. *Mezhanizatsiya i Avtomatizatsiya Przemisl'noy Energetiki*. 2015. No. 4. P. 1-15.
4. Lobova K. Investigation of temperature distribution along the height of the layer of pellets on conveyor roasting machine / V. Lobo K., Lobova K., Kozlov M. *Mezhanizatsiya i Avtomatizatsiya Przemisl'noy Energetiki*. 2015. No. 4. P. 22-29.



ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СЕРТИФІКАТ

засвідчує, що

Олексій ЩЕРБИНА

брав (ла) участь

у Всеукраїнській науково-практичній конференції

**“СИНЕРГІЯ ОСВІТИ, НАУКИ, ВИРОБНИЦТВА В
УМОВАХ ГЛОБАЛЬНИХ ВИКЛИКІВ СЬОГОДЕННЯ”**

29 березня 2023 року

Ректор ЛНТУ,
д.е.н., професор



Ірина ВАХОВИЧ