

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

Кафедра металургії
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

на тему „Удосконалення технології епітаксії агломерату“

Виконав: студент 3 с курсу, групи 6.1389-тм-с

спеціальності 136 - Металургія
(код і назва спеціальності)

освітньої програми Металургія
(код і назва освітньої програми)

спеціалізації
(код і назва спеціалізації)

Олійник І.О.
(ініціали та прізвище)

Керівник канд. тех. наук, доцент Воденнікова О.С.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент канд. тех. наук, доцент Березина О.Р.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Металургії
Кафедра Металургії
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 136 - Металургія (код та назва)
Освітня програма Металургія (код та назва)
Спеціалізація _____ (код та назва)

- ЗАТВЕРДЖУЮ [Підпис]
- Завідувач кафедри [Підпис]
« _____ » _____ 20 _____ року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЄКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Олійнику Ірославу Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Удосконалення технології елісажне агломерату
керівник роботи Боденішкова Олександра Сергіївна, канд.тех.наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «17» січня 2022 року № 90-с
1 Строк подання студентом роботи 18.06.2022р.

Вихідні дані до роботи Нац.тех.літ.інформація, статті у фахових виданнях, тези доповідей на міжнародних та всесвітніх конференціях, патентах, ФСТУ, ГОСТи та РБН.

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ; Аналіз актуальної стану агломераційного виробства; Вибір матеріалів та обґрунтування методик дослідження; Удосконалення агломераційної фабрики №2 в умовах МАТ Дніпропетровський металургійний комбінат за рахунок використання енергозберігаючих засобів; Оптимізація та технологічна безпека, безпека

4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Титульний лист - 1; Вступ - 1; Розділ 1 - р.3; Розділ 2 - 2; Розділ 3 - 7; Розділ 4 - 0; Загальні висновки - 2.

5 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз сучасного стану актоматеріалу і його виробництва	Воденнікова О.С. доцент	17.02.2022 <i>О.С.В.</i>	17.02.2022 <i>О.С.В.</i>
2. Вибір матеріалів та обумовлення методики дослідження	Воденнікова О.С. доцент	17.02.2022 <i>О.С.В.</i>	17.02.2022 <i>О.С.В.</i>
3. Учасники акту виробництва в Україні ПАТ "Вікарієвський машинобудівний завод" та їхній досвід експлуатації засобів.	Воденнікова О.С. доцент	17.02.2022 <i>О.С.В.</i>	17.02.2022 <i>О.С.В.</i>
4. Строка праці та тематика безпеки.	Воденнікова О.С. доцент	17.02.2022 <i>О.С.В.</i>	17.02.2022 <i>О.С.В.</i>

6 Дата видачі завдання 17.02.2022р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ	02.05.2022р по 03.05.2022р	
2.	Розділ 1	03.05.2022р по 14.05.2022р	
3.	Розділ 2	15.05.2022р по 31.05.2022р	
4.	Розділ 3.	01.06.2022р по 07.06.2022р	
5.	Розділ 4	08.06.2022р по 13.06.2022р	
6.	Загальні висновки. Меренік джер коментар.	14.06.2022р по 15.06.2022р	
7.	Трагічний матеріал.	16.06.2022р по 17.06.2022р.	

Студент *[підпис]*
(підпис)

[ініціали та прізвище]
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту) *[підпис]*
(підпис)

Воденнікова О.С.
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *[підпис]*
(підпис)

Карченко О.С.
(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Розрахунково-пояснювальна записка: 86 с., 24 рис., 27 табл., 60 джерел посилання.

АГЛОМЕРАТ, АГЛОМЕРАЦІЙНА МАШИНА, ТЕХНОЛОГІЯ СПІКАННЯ АГЛОМЕРАТУ, ГАЗООЧИЩЕННЯ, ПИЛОВИДАЛЕННЯ

Тема кваліфікаційної роботи бакалавра: Удосконалення технології спікання агломерату.

Мета роботи – оцінити вплив удосконалення технології спікання агломерату в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» на підвищення якості агломерату для доменного виробництва.

У розділі 1 приведено конструкцію та технічну характеристику сучасних агломераційних машин, розглянуто технологічні особливості виробництва агломерату та основні вимоги до якості агломерату, визначено особливості газоочищення та пиловловлювання в агломераційному виробництві.

У розділі 2 розглянуто основні матеріали дослідження та приведено методику вдосконалення процесів агломерації при використанні енергозберігаючих засобів.

У розділі 3 приведено шляхи удосконалення технології спікання агломерату в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» та технологічного газоочищення та пиловидалення на аглофабриці.

У розділі 4 проаналізовано потенційно-небезпечні та шкідливі чинники аглодоменного виробництва, розглянуто електробезпеку, пожежну та техногенну безпеку в умовах агломераційного цеху.

Результати роботи можуть бути використані при викладанні спеціальних дисциплін для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 136 «Металургія».

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА.....	10
1.1 Конструкція та технічна характеристика сучасних агломераційних машин.....	11
1.2 Технологічні особливості виробництва агломерату.....	20
1.2.1 Технологічна схема виробництва агломерату.....	20
1.2.2 Розрахунок агломераційної шихти.....	22
1.3 Основні вимоги до якості агломерату	31
1.4 Особливості газоочищення та пиловловлювання в агломераційному виробництві.....	33
1.5 Висновки.....	36
2 ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	37
2.1 Вибір матеріалів дослідження.....	37
2.2 Вибір методики вдосконалення процесів агломерації при використанні енергозберігаючих засобів	43
2.3 Висновки.....	47
3 УДОСКОНАЛЕННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ФАБРИКИ №2 В УМОВАХ ПАТ «ДНІПРОВСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ» ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАСОБІВ.....	48
3.1 Удосконалення технології спікання агломерату.....	51
3.2 Удосконалення технологічного газоочищення та пиловидалення на аглофабриці.....	59
3.3 Техніко-економічне обґрунтування доцільності удосконалення агломераційного цеху в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат».....	68

3.3.1 Розрахунок зниження витрат на сировину.....	68
3.3.2 Розрахунок економічної ефективності аглофабрики.....	70
3.4 Висновки.....	71
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	73
4.1 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників аглодоменного виробництва.....	73
4.2 Електробезпека.....	75
4.3 Пожежна та техногенна безпека агломераційного цеху.....	76
4.4 Висновки.....	78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	79
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	81

ВСТУП

На сьогодні чорна металургія України є однією з найпотужніших галузей промислового виробництва. Враховуючи, що значна більшість виготовленого металу, близько 80 % [1], йде на експорт, особливу увагу слід приділяти якості готової продукції, яка безпосередньо залежить від споживчих показників сировини. В умовах конкуренції на світових ринках збуту металу, фактор якості та собівартості продукції відіграє домінуючу роль в утриманні замовників.

Аналіз сучасного стану агломератного виробництва [2]–[11] показує, що вдосконалення процесів агломерації при використанні енергозберігаючих ресурсів є вельми актуальною і своєчасною задачею для економіки України.

Відомо, що агломераційне виробництво і, відповідно, пов'язане з ним виробництво чавуну та сталі є основними забруднювачами навколишнього середовища. Так, наприклад, в м. Маріуполь на ПАТ «Металургійний комбінат імені Ілліча» та в м. Кривий Ріг на ПАТ «Криворіжсталь» питомі викиди пилу досягають від 5 кг/т сталі до 7 кг/т сталі, тоді як на аналогічних підприємствах країн Євросоюзу питомі викиди пилу складають в межах від 0,4 кг/т сталі до 0,5 кг/т сталі [12].

В сучасному агломераційному виробництві у якості сировини для виробництва агломерату з кожним роком все більше застосовують тонкоподрібнених матеріалів. Також зростає і частка залізорудного концентрату, який є основним компонентом залізорудної частини агломераційної шихти [13]. Поряд з цим, все більшого застосування знаходять побічні продукти виробництва: пил газоочищення, продукти переробки сталеплавильних шлаків та інші [14].

На сьогодні основну масу шихти для виробництва офлюсованого агломерату для доменного цеху в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» складають дрібнодисперсні матеріали: тонкоподрібнені залізні концентрати, колошниковий пил, шлаки та інші відходи металургійного виробництва, які суттєво впливають на його якість, а також знижують кількість

виробленого агломерату [15].

Існуюча на сьогодні технологія виробництва агломерату в агломераційному цеху №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» та технологічне обладнання не забезпечують вимоги виробництва за обсягом і якістю агломерату, що в свою чергу призводить до перевитрати коксу та зниження відповідно кількості чавуну, що виплавляється в доменному цеху. Тому на сьогодні гостро стоїть проблема пошуку технологічних рішень удосконалення процесів агломерації при використанні енергозберігаючих засобів.

Мета роботи – оцінити вплив удосконалення технології спікання агломерату в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» на підвищення якості агломерату для доменного виробництва.

Поставлена мета в роботі вирішується **наступними завданнями**:

- проаналізувати сучасний стан та шляхи удосконалення агломераційного виробництва;
- запропонувати шляхи удосконалення агломераційного цеху №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»;
- визначити оптимальну методіку удосконалення технології спікання агломерату та газоочищення і пилеулавлювання на аглофабриці;
- привести техніко-економічне обґрунтування доцільності удосконалення аглофабрики №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»;
- проаналізувати потенційно-небезпечні та шкідливі чинники в агломераційному цеху.

Об'єкт дослідження: процес спікання агломерату для доменного виробництва та процес газоочищення і пилеулавлювання в умовах аглофабриці.

Предмет дослідження: вплив додаткових енергоносіїв на підвищення якості агломерату для доменного виробництва.

Методи дослідження: дослідження хімічного складу компонентів шихти,

агломерату та чавуну проводили за допомогою хімічного аналізу; концентрацію пилу у повітрі визначали ваговим методом; застосовувалися загальні та спеціальні (методи наукових пізнань; при узагальненні та аналізі науково-технічної літератури з напрямку удосконалення агломераційного процесу використовувався комплексний підхід.

Наукова новизна:

1. Вперше запропоновано заходи удосконалення технології спікання агломерату в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат», які дозволяють підвищити продуктивність агломераційної машини №1 до 933 тис.т/рік, знизити вміст дрібниці в агломераті до 8 %, знизити витрату твердого палива до 20 % та збільшити термін експлуатації устаткування: роторів ексгаустера та спікальних візків з колосниками.

2. Запропоновано заходи для капітального ремонту агломераційної машини №1, які призведуть до збільшення терміну експлуатації роторів ексгаустера та спікальних візків з колосниками.

Практичне значення:

1. Запропоновано новий підхід удосконалення процесу спікання агломерату для доменного виробництва в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат».

2. Отримано нові підходи до газоочищення та пилавидалення в умовах агломераційного цеху, які дозволяють досягти вмісту пилу на викиді в атмосферу не більше 30 мг/м³, SO_x не більше 500 мг/м³ і знизити загальну запиленість на аглофабриці на 20 %.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ АГЛОМЕРАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Відомо, що агломерація – це спосіб огрудкування корисних мінералів шляхом спалювання палива в шарі руди, її наступного розплавлення, за рахунок тепла, що виділяється при горінні палива, й кристалізації розплаву.

Процес агломерації розрізняється:

1. За напрямом фільтрації повітря через шар шихти (зверху донизу або знизу вгору).

1. За процесом розсмоктування повітря під дією розрідження або продувом при позитивному тиску.

3. За апаратним оформленням:

- в апаратах періодичної дії (агломераційні чаші);
- у безперервно діючих апаратах (стрічкові, кільцеві або шахтні агломераційні установки).

До складу сучасної агломераційної фабрики входять наступні основні споруди, оснащені відповідним механічним обладнанням:

- відділення вагоноперекидачів;
- прийомні бункера;
- відділення розподілу сирих матеріалів;
- шихтові бункера;
- відділення дроблення і подрібнення флюсу і палива;
- відділення первинного змішування;
- відділення агломерації;
- відділення газоочисних споруд;
- відділення нагрівачів повітря (ексгаустерів);
- відділення охолодження і сортування агломерату;
- відділення сортування повернення [16].

На сьогодні на аглофабриках в основному виробляють офлюсований

агломерат, тобто в шихту вводять вапняк і вапно, щоб агломерат містив СаО. Це робиться для офлюсовання кислих окатишів, які вводять в доменну піч, так як продуктивність аглофабрики не може забезпечити роботу доменних печей на 100 % агломерату.

Основні переваги офлюсованого агломерату:

- виключення з доменної плавки ендотермічної реакції розкладання карбонатів;
- поліпшення відновлювальної здатності газів в самій доменній печі внаслідок зменшення розведення їх двоокисом вуглецю, одержуваної від розкладання карбонатів;
- поліпшення відновлюваності агломерату, так як вапно витісняє оксиди заліза з важковідновлюваних силікатів заліза;
- поліпшення процесу шлакоутворення, так як в офлюсовані агломерату оксиди щільно контактують один з одним;
- зменшення числа матеріалів, що завантажуються в доменну піч.

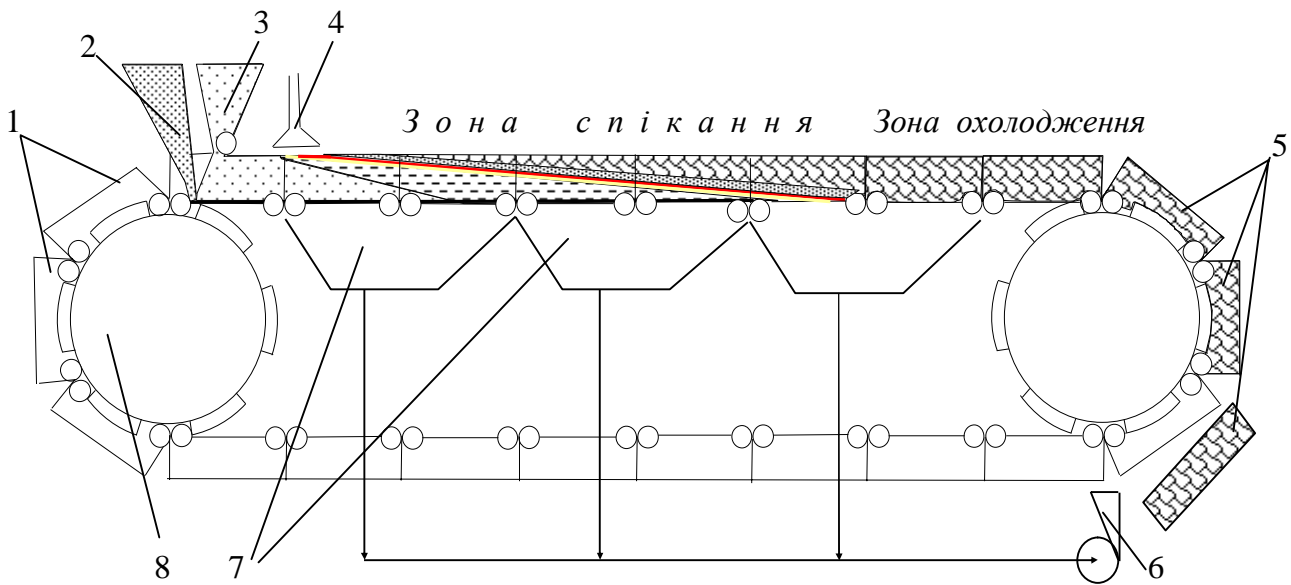
Тобто застосування офлюсованого агломерату дозволяє працювати без завантаження «сирого» вапняку в доменну піч, а також призводить до скорочення витрати дорогого коксу в межах від 6 % до 15 % [17].

1.1 Конструкція та технічна характеристика сучасних агломераційних машин

При агломерації залізних руд найбільше поширення одержала – стрічкова агломераційна машина, яка наведена на рис. 1.1.

Машини стрічкового типу представляють собою безперервний ряд візків (палет) (1), що шарнірно з'єднані між собою та мають в нижній частині колосникові решітки. Палети безупинно рухаються, та на них спочатку укладачем (2) розміщується тонкий шар постелі, що представляє собою готовий агломерат крупністю від 8 мм до 15 мм, або великі частинки шихти без додавання палива. Постіль охороняє колосникову решітку від впливу високих

температур, запобігає просипанню шихти через зазори решітки й полегшує схід



- 1 – візки (палети) для спікання шихти з колосниковими решітками;
 2 – укладач постелі; 3 – укладач шихти; 4 – запальний горн; 5 – готовий агломерат; 6 – екстаустер (витяжний вентилятор-газовсмоктувач); 7 – вакуум-камери; 8 – провідна зірочка привода агломераційної стрічки

Рисунок 1.1 – Схема стрічкової агломераційної машини

пирога готового агломерату. На шар постелі укладачем (3) завантажується основний шар шихти. Шихта це суміш частинок руди із частинками палива, але при виробництві офлюсованого агломерату додатково додається необхідна кількість флюсових компонентів у вигляді твердих частинок.

Частинки палива, що перебувають у верхньому шарі шихти, проходячи під запальним горном (4) запалюються. Через те, що через шар шихти постійно просмоктується повітря за допомогою витяжного вентилятора (6), зона горіння твердого палива поступово переміщається від верхнього шару до колосникової решітки. До моменту закінчення процесу агломерації палета досягає розвантажувальної частини машини, де перекидається й із неї вивантажується готовий агломерат (5).

Спікання агломерату відбувається на машинах конвеєрного типу за рахунок горіння твердого палива в шарі шихти, що спікається. Процес є

газодинамічних, так як здійснюється шляхом прососа значних обсягів повітря через шар при термообробці шихти і щілини колосникових грат. Для досягнення хорошого спікання, шихту необхідно завантажувати на візки шаром постійної висоти і не допускати її переущільнення, яке знижує газопроникність шару, вертикальну швидкість спікання і, відповідно, продуктивність агломераційної машини.

Для зменшення забивання щілин колосникового поля візків шихтою і запобігання колосників і підколосникових балок від перегріву перед завантаженням шихти на візок, укладається захисний шар донної ліжку крупністю від 5 мм до 15 мм, відсіяти з агломерату.

Основною частиною сучасних конвеєрних агломераційних машин (рис. 1.2) є візки-палети, переміщуються по рельсам. Вони визначають трудомісткість виготовлення агрегатів, їх надійність в роботі і витрати на обслуговування. Маса комплексу спікальних візків становить понад 50% від загальної маси агломераційної машини. Спікальних візок (рис. 1.3) складається з корпусу, ходового і вантажного роликів, ущільнювальної пластини, колосників, підколосникових балок і бортів. Конструкція і розміри візків залежать від параметрів агломераційної машини.

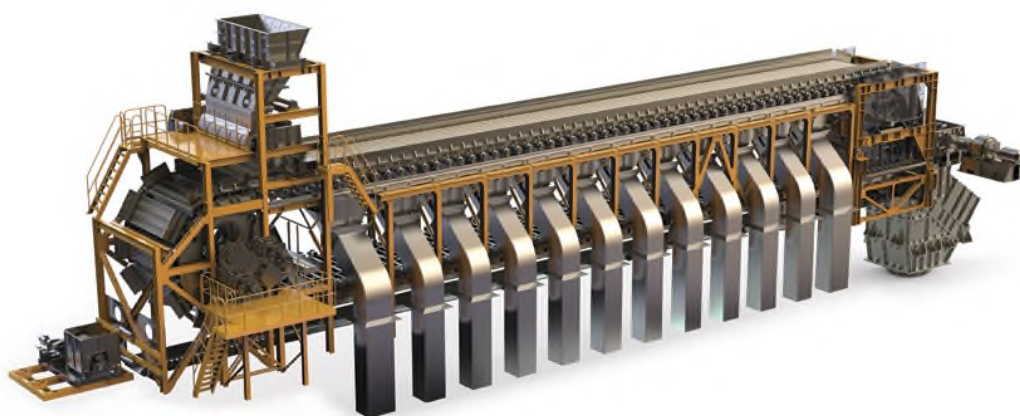


Рисунок 1.2 – Сучасна агломераційна машина

Привід агломераційної машини (рис. 1.4) складається з електродвигуна, редуктора, однієї або двох пар відкритих передач і двох зірочок. Одна з зірочок жорстко посаджена на головний вал машини, інша - жорстко закріплена на

барабані, до якого також жорстко зафіксована провідна зірочка. Така конструкція забезпечує одночасне захоплення палети двома зірочками. Регулювання швидкості можливо завдяки застосуванню двигуна постійного струму або воротарів при установці двигунів змінного струму. Разом з двигунами змінного струму використовується індукційна муфта ковзання ІМТ-7. На приводному валу встановлено гальмо. Привід монтується на рамі агломераційної машини [3] – [7], [16].

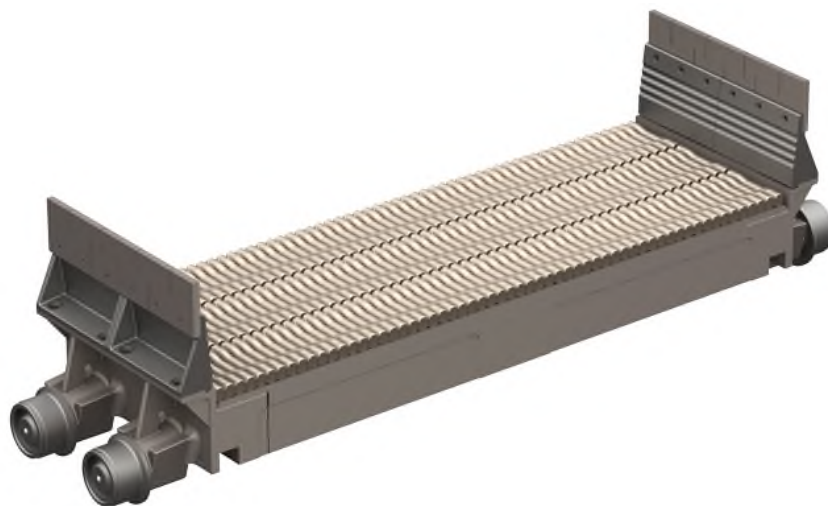


Рисунок 1.3 – Спікальний візок



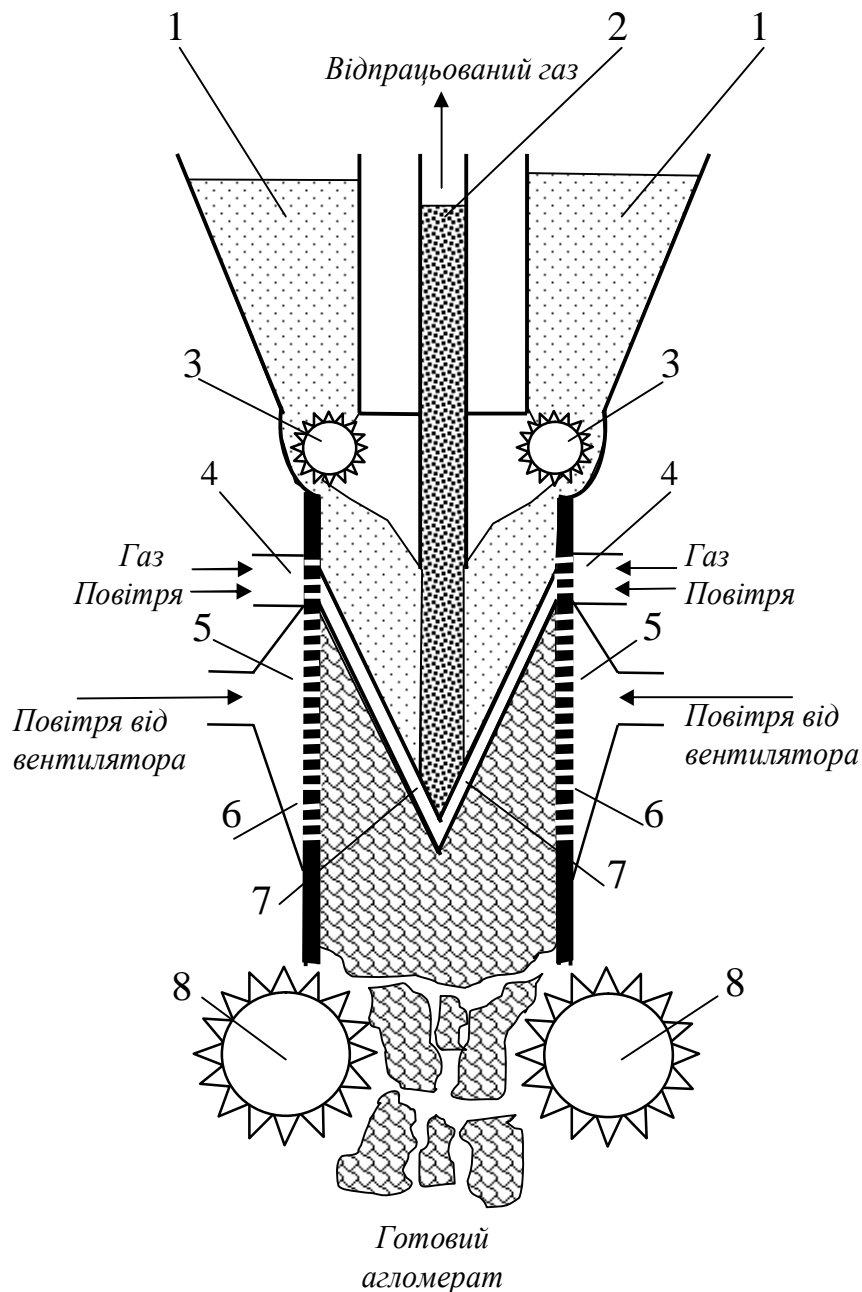
Рисунок 1.4 – Привід агломераційної машини

Технічні характеристики сучасних агломераційних машин [18] приведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики сучасних агломераційних машин

Технічна характеристика	К-50	К-75	АКМ-192	АКМ-200	АКМ-250	АКМ-312	АКМ-50	АКМ-62	АКМ-75	К-5,2	АКМ-18	АКМ-85/160	АКМ-100	АКМ-105	
Площа спікання, м ²	50	75	192	204	252	312	50	62	75	5,2	18	85	100	105	
Ширина шару, що спікається, м	2	2,5	3	4	4	4	2,02	2,5	2,5	0,75	1,5	2,5	2,5	2,5	
Товщина шару, що спікається, м	0,3	0,3	0,6	0,3	0,45	0,35	0,35	0,3	0,3	0,35	0,5	0,3	0,3	0,3	
Швидкість руху візку для спікання, м/хв.	4,36	4,5	4,5	6,0	6,0	8,0	4,36	4,0	4,0	0,45	0,5	4,0	4,0	4,0	
Продуктивність, т/год.	40-90	65-135	220-260	200-240	250-350	400-500	40-90	82	60-90	5,0	25-30	81,3	130	140	
Продукт	Fe-агломерат									Fe-окотиші		Mn-агломерат			

При агломерації руд кольорових металів найбільше поширення одержала шахтна агломераційна машина, яка відрізняється за конструктивним виконанням (рис. 1.5).



1 – бункер пилюватої руди; 2 – центральна шахта для завантаження шихти більшої крупності та відводу продуктів горіння; 3 – барабани живильники пилюватої шихти; 4 – запальний горн; 5 – повітряні камери; 6 – перфоровані стінки шахти; 7 – зона горіння; 8 – барабани з рифленою поверхнею для дроблення агломерату

Рисунок 1.5 – Схема шахтної агломераційної машини

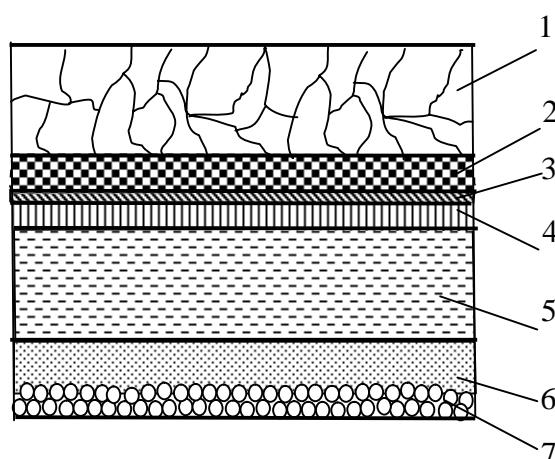
Зверху біля стінок шахти безупинно завантажується пилувата аглошихта (1), що змішана з коксовим дріб'язком. По осі шахти завантажується більш крупний матеріал (2) (наприклад, повернення або частинки крупної руди). Опускаючись в шахті, шихта спочатку проходить повз запальний горн (4), де вона через отвори запалюється полум'ям газових горілок. В камери (5) подається повітря під тиском (від $4,0 \text{ кН/м}^2$ до $5,0 \text{ кН/м}^2$), яке через отвори (6) проходить в шахту, завдяки чому формуються дві зони горіння твердого палива (7), які рухаються назустріч одна одній. Швидкість опускання шихти підбирається таким чином, щоб дві зони горіння займали постійне положення в робочому просторі машини. Продукти горіння твердого палива видаляються крізь центральний стовп матеріалу, який має підвищену газопроникливість. Непереривність процесу забезпечується постійним завантаженням шихти зверху та розвантаженням готового агломерату знизу. Машина не має рухомих частин, працює без ексгаустера й забезпечує спікання шару шихти до 1 м.

Не зважаючи на тип устаткування, що використовується, агломерація носить яскраво виражений зональний характер процесу горіння твердого палива і якщо взяти відносно малу ділянку шихти в деякий період часу, можливо, показати наступні зони (рис. 1.6):

- готовий агломерат (1);
- горіння твердого палива (2);
- інтенсивного нагрівання шихти (3);
- сушіння (5);
- перезволоження (6);
- початкової шихти (7);
- постелі (8).

У зоні горіння шихта проходить стадію плавлення, що супроводжується усадкою та утворенням пористої макроструктури агломерату. Внаслідок переміщення зони горіння вниз відбувається кристалізація та охолодження розплаву. Повітря, що проходить через шар готового агломерату, охолоджує його, нагріваючись до високих температур і надходить у зону горіння твердого

палива. Гази, що відходять із зони горіння, віддають своє тепло на дуже короткій відстані, підігріваючи наступний шар до температури запалення, а в зоні сушіння відбувається інтенсивне видалення вологи із шихти і її підігрів. Надалі в результаті різкого зниження температури газів, що відходять, з них конденсується волога та осідає на наступний шар холодної шихти, утворюючи зону перезволоження. Таким чином, зона горіння поступово переміщається до колосникової решітки, проходячи всю висоту шару шихти за відносно короткий проміжок часу (від 15 хв. до 20 хв.).



1 – готового агломерату; 2 – горіння твердого палива; 3 – інтенсивного нагрівання шихти; 4 – сушіння; 5 – перезволоження; 6 – початкової шихти;
7 – постіль

Рисунок 1.6 – Послідовність розміщення температурних зон у деякий період часу за висотою шихти

Температура газів, що відходять, внаслідок завершення процесу теплообміну, близько 70 % часу (від загального періоду спікання) становить від 50°C до 60°C і лише при підходженні зони горіння до колосникової решітки підвищується до максимального значення від 1200°C до 1500°C . Середня температура газів, що відходять, становить від 100°C до 150°C .

Необхідна кількість палива в шихті становить від 3% до 7% за вагою або від 7 % до 12 % за об'ємом.

Сильно розвинена питома поверхня дрібних частинок шихти, незначний

їхній тепловий опір і відносно велика теплоємність шихти утворюють сприятливі умови теплообміну між газом і твердим матеріалом. Внаслідок малих розмірів частинок палива й інтенсивного теплообміну висота зони горіння в шарі шихти має невелику довжину й становить, за експериментальними даними, від 20 мм до 30 мм.

Висоту зони горіння можна визначити з рівняння:

$$h = t_{\bar{a}} \times v_{\bar{a}}, \quad (1.1)$$

де $t_{\bar{a}}$ – середня тривалість горіння однієї частки палива, с;

$v_{\bar{a}}$ – швидкість просування зони запалення, м/с.

Швидкість руху фронту зони запалення також можна визначити з виразу:

$$v_{\bar{a}} = 1,35 \frac{w_{\bar{a}} c_{\bar{a}}}{r_{\phi} \tilde{n}_{\phi}}, \quad (1.2)$$

де w_2 – швидкість фільтрації газу, м/с;

c_2 і $c_{ш}$ – теплоємність, відповідно газу й матеріалу шихти, кДж/(кг·град);

$r_{ш}$ – насипна щільність шихти, кг/м³.

Швидкість спікання шихти v_c дорівнює відношенню товщини шару початкової шихти до загальної тривалості процесу агломерації, якщо приймати за закінчення процесу агломерації максимальне значення температури газів, що відходять:

$$v_c = \frac{h_{ш}}{t_a}. \quad (1.3)$$

Незважаючи на відносно низький вміст палива в шарі шихти температура в зоні запалення досягає у верхньому шарі від 1100 °С до 1200 °С та в наступних від 1400 °С до 1600 °С [16] – [19].

1.2 Технологічні особливості виробництва агломерату

1.2.1 Технологічна схема виробництва агломерату

Для отримання окускованого продукту високої якості з дрібних пилових руд і концентратів, а також добавок відходів металургійного виробництва та флюсів, на ВАТ «Запоріжсталь» передбачається наступний цикл операцій:

- прийом, розвантаження, складування і усереднення сировинних матеріалів;
- попередня механічна і теплотехнічна підготовка сировинних матеріалів, що надходять на агломерацію, яка полягає в дробленні і сортуванні твердого палива, подрібненні, сортуванні і випалюванні флюсів - звичайного і доломітизованого вапняків;
- дозування компонентів шихти (або сумішей компонентів) згідно з розрахунком шихти на заданий хімічний склад агломерату;
- змішування, зволоження і огрудкування шихти з попереднім підігрівом перед завантаженням, шляхом введення в її склад гарячого повернення і обпаленої вапна;
- завантаження шихти на палети агломераційної машини;
- запалювання шихти газовими сурмами;
- відсмоктування продуктів згоряння екстаустерів;
- розвантаження і механічна обробка агломерату з попередніми дробленням, грохоченням і виділенням повернення;
- транспортування готового агломерату в доменний цех залізничним транспортом в хоперах;
- випробування і контроль якості агломерату: міцності і хімічного складу безпосередньо на аглофабриці та в доменному цеху [20].

На сучасну агломераційну фабрику для приготування шихти поступають: рудні компоненти, колошниковий пил і паливо (рис. 1.7).

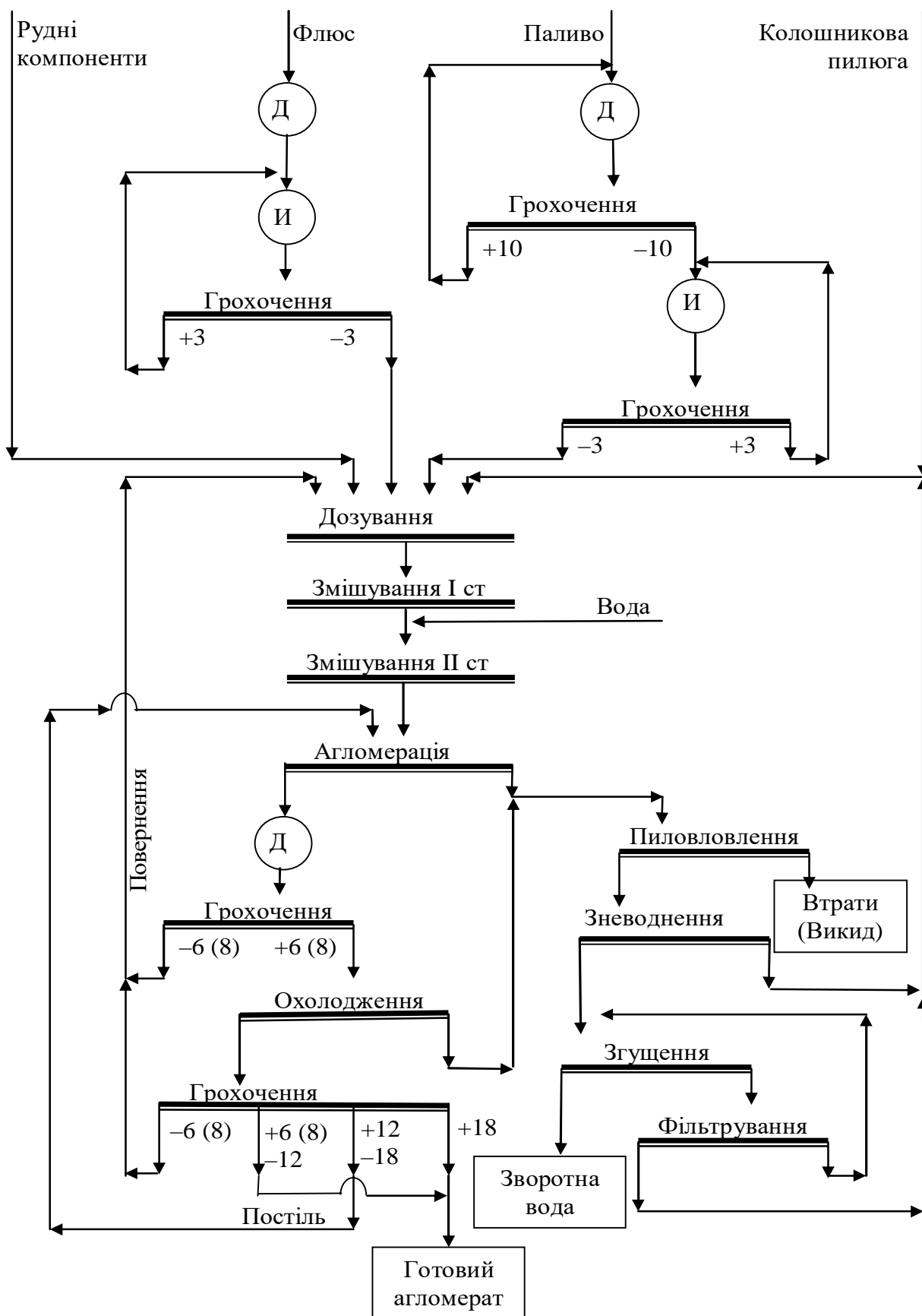


Рисунок 1.7 – Технологічна схема виробництва агломерату

При виробництві офлюсованого агломерату поступає додатково флюс у вигляді вапняку, доломіту або магнезиту. Часто рудні компоненти і шихта мають необхідну крупність. Паливо і флюс мають завищену крупність, а тому для їх підготовки до необхідної крупності застосовують операції дроблення, грохочення і подрібнення. Підготовлені компоненти до необхідної крупності поступають в спеціальні бункери - силоси, звідки дозуються в заданому співвідношенні для приготування шихти. Змішення відбувається залежно від крупності компонентів в одну або дві ступені. Після чого отримана шихта направляється на агломерацію.

Готовий агломерат піддається дробленню і грохоченню. Гаряче повернення застосовують для інтенсифікації процесу (підігріву шихти) і направляють в операцію змішення. Готовий же за крупністю агломерат охолоджують, повторно класифікують, де з нього виділяється постіль, що направляється на агломерацію, і новоутворений дріб'язок. Готовий за крупністю і охолоджений агломерат направляють на склад готової продукції, або безпосередньо в металургійний цех на плавку.

1.2.2 Розрахунок агломераційної шихти

Розрахунок полягає у визначенні співвідношення компонентів шихти, що забезпечує виробництво агломерату заданої основності. Необхідно визначити співвідношення витрату рудної суміші й вапняку при заданих витратах інших компонентів шихти.

Можливо, два варіанти розрахунку залежно від типу залізної руди.

Якщо спікається гематитова шихта, вміст магнетитового заліза у якій не перевищує звичайно від 3 % до 5 %, значний розвиток одержують процеси відновлення та термічної дисоціації. У цьому випадку вміст закису заліза в агломераті буде значно більше (від 10 % до 15 %), чим у шихті, тобто в процесі спікання такої руди кількість кисню, пов'язаного із залізом, зменшується, що необхідно враховувати при розрахунку, роблячи поправку на зменшення маси агломерату.

Навпаки, при спіканні магнетитової шихти розвиток одержують окисні

процеси. Отже, кількість кисню, пов'язаного із залізом, зростає, тобто зростає маса агломерату, що необхідно враховувати під час розрахунку.

Розглянемо на прикладі порядок розрахунку агломераційної шихти для випадку спікання гематитових руд і концентратів при заданій основності агломерату та вмісту в ньому окису заліза (FeO). Розрахунок ведеться за методом Ф.М. Базанова та І.Л. Малкіна [21].

Задано основність агломерату $(CaO + MgO)/(SiO_2 + Al_2O_3) = 1,2$; вміст окису заліза в агломераті – 12 %; витрати інших компонентів шихти на 100% (або 100 кг) агломерату наведені в табл. 1.2, а також їх хімічний склад.

Розрахунок повинен вестися на суху шихту. Сума усіх хімічних елементів у кожному стовпчику цієї таблиці обов'язково дорівнює 100 %. Якщо ця умова не дотримується точний розрахунок шихти стане неможливим.

На початку обчислюється загальна кількість заліза, марганцю, фосфору та сірки у компонентах шихти, які знаходяться у відповідних окислах.

Розрахунок вмісту загального заліза виконується за наступним виразом:

$$Fe_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^n \frac{M_{Fe}}{M_{\text{мінералу}}} \cdot g_{\text{мінералу}} \cdot \gamma_{\text{мінералу}} \quad (1.4)$$

де M_{Fe} – молярна маса заліза в мінералі (сполуці);

$M_{\text{мінералу}}$ – молярна маса мінералу (сполуки);

$\gamma_{\text{мінералу}}$ – вміст мінералу (сполуки) в компоненті шихти.

За аналогічними виразами виконується розрахунок загальної кількості марганцю, фосфору і сірки та заноситься в табл. 1.3.

За даними хімічного складу шихти обчислюються втрати маси кожного компонента при спіканні, які наведені в табл. 1.4.

Враховується повне вигорання вуглецю і видалення в газову суміш летючих речовин коксиду, повне розкладання карбонатів і видалення гідратної води $(H_2O)_{\text{гідр}}$, а також видалення 95% всієї сірки шихти. Крім цього в процесі агломерації під дією високих температур металічні залізо та марганець

окисляться до закисів відповідно заліза (FeO) і марганцю (MnO).

Таблиця 1.2 – Хімічний склад компонентів агломераційної шихти

Компонент шихти	Залізна руда	Колошниковий пил	Окалина	Вапно	Повернення	Марганцева руда	Чавунна стружка	Коксик
Fe _{мет}	-	-	-	-	-	-	90,5	-
FeO	0,4	12,3	3,9	0	12	-	-	-
Fe ₂ O ₃	81,6	51	94	0,38	55,8	5	-	7,7
Mn _{мет}	-	-	-	-	-	-	1	-
MnO	0,1	0,1	0,5	-	0,3	-	-	0,37
MnO ₂	-	-	-	-	-	60,2	-	-
SiO ₂	13,4	9,1	0,85	2,1	12,1	20	3	5,42
Al ₂ O ₃	2,2	3,5	0,15	0,82	2,2	6	1	2,17
CaO	0,3	14	0,4	42,9	13,9	2	1	0,44
MgO	0,18	2	0,1	10,3	3,4	0,2	-	0,26
FeS	-	-	-	0,04	0,02	-	-	0,71
FeS ₂	0,1	-	-	-	-	-	-	-
SO ₃	0,1	0,15	0,06	0,03	0	0,1	-	0,4
S _{орг}	-	-	-	-	-	-	-	1,44
P ₂ O ₅	0,12	0,15	0,04	0,03	0,11	0,5	-	0,02
C _{нелет}	-	7	-	0	0,17	0	3,5	78,79
CO ₂	-	0,7	-	42,3	-	-	-	-
V _{кокс}	-	-	-	-	-	-	-	2,28
W	1,5	-	-	1,1	-	6	-	-
Всього	100	100	100	100	100	100	100	100
Витрати, %		1,2	0,2		20	0,4	0,2	5

Втрата маси сірки визначається з виразу:

$$S_{\text{вд}} = 0,95 \frac{\dot{Q}}{\dot{I}} \frac{S}{FeS} g_{FeS} + \frac{\dot{I}}{\dot{I}} \frac{S_2}{FeS_2} g_{FeS_2} + g_{SO_3} + g_{S_{\text{вд}}} \quad (1.5)$$

Як видно з виразу (1.5), у мінералах піротину (FeS) та піриту (FeS_2) вигоряє лише сірка, а окис сірки (SO_3) та органічна сірка ($\text{S}_{\text{орг}}$) вигоряють повністю на 95%.

Таблиця 1.3 – Вміст заліза, марганцю, фосфору та сірки в компонентах шихти

Компонент шихти	Залізна руда	Колошниковий пил	Окалина	Вапно	Повернення	Марганцева руда	Чавунна стружка	Коксик
$\text{Fe}_{\text{заг}}$	57,4778	45,2667	68,8333	0,2915	48,4061	3,5	90,5	5,8418
$\text{Mn}_{\text{заг}}$	0,0775	0,0775	0,3873	0	0,2324	38,0575	1,0	0,2866
$\text{P}_{\text{заг}}$	0,0524	0,0656	0,0175	0,0131	0,0481	0,2185	0	0,0087
$\text{S}_{\text{заг}}$	0,0933	0,0600	0,0240	0,0265	0,0073	0,04	0	1,8582

Таблиця 1.4 – Втрати маси компонентів шихти при спіканні (без врахування окислювально-відновних процесів), %

Втрати маси	Залізна руда	Колошниковий пил	Окалина	Вапно	Повернення	Марганцева руда	Чавунна стружка	Коксик
$0,95(\text{S}_{\text{орг}}+\text{SO}_3+\text{SFe}+\text{SFe}_2)$	0,146	0,143	0,057	0,042	0,007	0,095	-	1,993
CO_2	-	0,70	-	42,30	-	-	-	-
$\text{C}_{\text{нелет}}$	-	7,00	-	-	0,17	-	3,50	78,79
$\text{W}, (\text{H}_2\text{O})_{\text{гідр}}$	1,50	-	-	1,10	-	6,00	-	-
V^{T}	-	-	-	-	-	-	-	2,28
$\text{Fe} \rightarrow \text{FeO}$	-	-	-	-	-	-	-25,857	-
$\text{Mn} \rightarrow \text{MnO}$	-	-	-	-	-	-	-0,291	-
Всього	1,646	7,843	0,057	43,442	0,177	6,095	-22,648	83,063

Складається рівняння матеріального балансу процесу, з врахуванням того, що при спіканні частина компонентів шихти втрачає деяку свою масу. Так наприклад, руда втрачає 1,646% маси (або 1,646 кг при отриманні 100 кг

агломерату), колошниковий пил – 7,843 % та так далі, але як видно з табл. 1.4 чавунна стружка не втрачає своєї маси, а навпаки збільшує на 22,648 %.

Загальне рівняння записується у вигляді:

$$\dot{A} = \dot{a} \frac{100 - a_i}{100} \gamma_i, \quad (1.6)$$

де a_i – втрата деякої маси шихти i -тим компонентом;

γ_i – витрати i -того компоненту шихти.

У дійсності агломерату буде трохи більше, тому що ще не враховані втрати кисню g_{O_2} при відновленні та термічній дисоціації шихти. Таким чином, щоб одержати 100% (або 100 кг) агломерату, треба взяти $g_{i_2} = \dot{A} - 100, \%$.

Отже, для складання остаточного рівняння матеріального балансу необхідно обчислити втрати кисню g_{O_2} . Кількість закису заліза в готовому агломераті задано в початкових умовах (12%) та відповідно реакції:



при утворенні 288 а.о. закису заліза (FeO) виділяється (або захоплюється відновником) 32 а.о. кисню. Отже, знаючи вміст закису заліза в агломераті, можна визначити кількість кисню, що виділилося, - воно в дев'ять разів менше маси закису заліза ($288/32 = 9$). При складанні рівняння втрати кисню необхідно враховувати кількість закису заліза, що знаходиться в початкових компонентах шихти, тому втрати кисню записуються у вигляді:

$$g_{i_2} = \frac{1}{9} \dot{a}^{FeO_{a_{i2}}} - \dot{a} \frac{a^{FeO_i}}{100} g_i \quad (1.8)$$

Рівняння матеріального балансу спікання в остаточному виді має вигляд:

$$\frac{1}{9} \frac{e}{e} FeO_{\text{аа}} - \frac{a}{a} \left(\frac{FeO_i}{100} g_i \right) = \frac{a}{a} \frac{a^{100} - a_i}{e} \frac{g_i}{100} - 100. \quad (1.9)$$

Підставимо тепер у це рівняння дані про величину втрат маси при спіканні з табл. 1.4 і вміст FeO компонентів шихти з табл. 1.2.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{9} \frac{e}{e} 1,2 - \frac{a}{e} \frac{0,4}{100} g_p + \frac{12,3}{100} 1,2 + \frac{3,9}{100} 0,2 + \frac{0}{100} g_e + \frac{12}{100} 20 + \frac{0}{100} 0,4 + \frac{0}{100} 0,2 + \frac{0}{100} 5,0 = \\ & = \frac{a}{e} \frac{100 - 1,646}{100} \frac{g_p}{100} + \frac{a}{e} \frac{100 - 7,843}{100} \frac{1,2}{100} + \frac{a}{e} \frac{100 - 0,057}{100} \frac{0,2}{100} + \frac{a}{e} \frac{100 - 43,442}{100} \frac{g_e}{100} + \\ & + \frac{a}{e} \frac{100 - 0,177}{100} \frac{20}{100} + \frac{a}{e} \frac{100 - 6,095}{100} \frac{0,4}{100} + \frac{a}{e} \frac{100 + 22,648}{100} \frac{0,2}{100} + \frac{a}{e} \frac{100 - 83,063}{100} \frac{5,0}{100} - 10 \end{aligned}$$

В цьому рівнянні двоє невідомих – вихід руди (γ_p) та вапняку (γ_e). Зведемо подібні спочатку в лівій та правій частині та отримуємо:

$$1,0494 - 0,00044g_\delta = -77,2619 + 0,98354g_\delta + 0,5656g_a.$$

Після перенесення всіх членів рівняння в одну сторону отримаємо:

$$78,3113 - 0,98398g_\delta - 0,56558g_a = 0.$$

Це рівняння можливо розв'язати, якщо будемо мати систему із двох рівнянь, а тому складається друге, яке враховує основність агломерату:

$$D = \frac{\tilde{N} \hat{I} + \hat{I} g O}{SiO_2 + Al_2O_3} \quad \text{або} \quad D = \frac{\hat{a} (CaO + MgO)_i g_i}{\hat{a} (SiO_2 + Al_2O_3)_i g_i}. \quad (1.10)$$

Підставив значення отримаємо:

$$1,2 = \frac{(0,3 + 0,18)g_p + (14 + 2)1,2 + (0,4 + 0,1)0,2 + (42,9 + 10,3)g_e + (13,9 + 3,4)20 + (13,4 + 2,2)g_p + (9,1 + 3,5)1,2 + (0,85 + 0,15)0,2 + (2,1 + 0,82)g_e + (12,1 + 2,2)20 +$$

$$\frac{+(2+0,2)0,4+(1+0)0,2+(0,44+0,26)5}{+(20+6)0,4+(3+1)0,2+(5,42+2,17)5} = \frac{369,88+0,48g_{\delta}+53,2g_{\alpha}}{350,47+15,60g_{\delta}+2,92g_{\alpha}},$$

або

$$1,2(350,47+15,60g_{\delta}+2,92g_{\alpha})=369,88+0,48g_{\delta}+53,2g_{\alpha}.$$

Звідки після зведення подібних отримаємо рівняння:

$$50,684+18,24g_{\delta}-49,696g_{\alpha}=0.$$

Тепер маємо систему із двох рівнянь з двома невідомими:

$$\begin{cases} 78,3113-0,98398g_{\delta}-0,56558g_{\alpha}=0 \\ 50,684+18,24g_{\delta}-49,696g_{\alpha}=0 \end{cases}$$

Після розв'язання цієї системи отримаємо $\gamma_p = 65,237\%$ та $\gamma_{\alpha} = 24,964\%$.

Оскільки тепер відомі витрати всіх компонентів шихти, виконується перевірка правильності розрахунку, для чого визначається повний хімічний склад готового агломерату.

Вміст заліза в агломераті визначається з виразу:

$$Fe_{агл} = \frac{\sum (Fe_{заг i} g_i)}{100}, \quad (1.11)$$

де $Fe_{агл}$ – вміст заліза в агломераті, %;

$Fe_{заг i}$ – вміст заліза в i -тому компоненті, %;

g_i – витрати i -того компоненту, %.

Підставляючи данні отримуємо: $Fe_{агл} = 48,4186\%$.

Аналогічно знаходиться вміст в агломераті марганцю (Mn) та фосфору (P): $Mn_{агл} = 0,2673\%$ та $P_{агл} = 0,04923\%$.

При визначенні сірки (S) пам'ятаємо, що 95 % сірки згорає:

$$S_{\text{аає}} = \frac{\dot{a} (S_{\text{çаає}} g_s)}{100} 0,05. \quad (1.12)$$

Підставляючи данні отримуємо: $S_{\text{аає}} = 0,00814\%$.

Сірка входить в агломерат у складі пірротину (FeS), кількість якого обчислюється за допомогою виразу:

$$FeS_{\text{аає}} = \frac{\dot{I}_{FeS}}{M_S} S_{\text{аає}} \quad (1.13)$$

Підставляючи данні отримуємо: $FeS_{\text{агл}} = 0,02239\%$.

Марганець перебуває в агломераті у вигляді закису марганцю, і його кількість визначається з виразу:

$$MnO_{\text{аає}} = \frac{\dot{I}_{MnO}}{M_{Mn}} Mn_{\text{аає}} \quad (1.14)$$

Підставляючи данні отримуємо: $MnO_{\text{агл}} = 0,34503\%$.

Фосфор у вигляді п'ятиокису:

$$P_2O_{5\text{аає}} = \frac{\dot{I}_{P_2O_5}}{M_{P_2}} P_{\text{аає}} \quad (1.15)$$

Підставляючи данні отримуємо: $P_2O_{5\text{агл}} = 0,11265\%$.

Знайдемо кількість гематиту у агломераті ($Fe_2O_{3\text{агл}}$). Для цього спочатку знайдемо кількість заліза, що знаходиться у вигляді пірротину (FeS) та в закисі заліза (FeO):

$$Fe_{FeS} = \frac{\dot{I}_{Fe}}{M_{FeS}} FeS_{\text{аає}} \quad (1.16)$$

Підставляючи данні отримуємо: $Fe_{FeS} = 0,01425 \%$.

$$Fe_{FeO} = \frac{\hat{I}_{Fe}}{M_{FeO}} FeO_{\text{аае}} \quad (1.17)$$

Підставляючи данні отримуємо: $Fe_{FeO} = 9,33333 \%$.

Тоді кількість гематиту у агломераті знайдемо за допомогою виразу:

$$Fe_2\hat{I}_{\text{заае}} = \frac{\hat{I}_{Fe_2O_3}}{M_{Fe_2O_3}} (Fe_{\text{заа}} - Fe_{FeO} - Fe_{FeS}). \quad (1.18)$$

Підставляючи данні отримуємо: $Fe_2O_{\text{заа}} = 55,81578 \%$.

В табл. 1.5 записується отриманий хімічний склад агломерату.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад агломерату

Компонент	FeO+ Fe ₂ O ₃ + FeS	P ₂ O ₅	MnO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Всього
Залізна руда	67,83816	0,11265	0,34503	8,74174	1,43521	0,19571	0,11743	
Колошниковий пил				0,1092	0,042	0,168	0,024	
Окалина				0,0017	0,0003	0,0008	0,0002	
Вапно				0,52424	0,2047	10,7095	2,57128	
Повернення				2,42	0,44	2,78	0,68	
Марганцева руда				0,08	0,024	0,008	0,0008	
Чавунна стружка				0,006	0,002	0,002	0,0	
Коксик				0,271	0,1085	0,022	0,013	
Всього	67,838	0,113	0,345	12,1539	2,25671	13,886	3,4067	99,99915

З даних табл. 1.5 видно, що отримана кількість агломерату (99,99915%) мало відрізняється від заданого (100%). Припустима помилка в розрахунках повинна бути не більша ніж $\pm 0,5\%$, а в нашому випадку – 0,00085, що повністю задовольняє вимогам.

Тепер перевіримо розрахунок, визначивши основність отриманого агломерату:

$$D = \frac{13,886 + 3,4067}{12,1539 + 2,25671} = 1,200001.$$

За основністю отриманого агломерату можна вважати, що точність застосованого методу та розрахунку цілком задовільна [16], [19].

1.3 Основні вимоги до якості агломерату

Залізорудний агломерат є сировинним матеріалом для доменної плавки, тому вимоги до його якості визначаються умовами роботи доменних печей. Основні вимоги до якості залізорудних матеріалів для доменного виробництва зводяться до наступного [22]:

- за хімічним складом: максимальний вміст заліза, оптимальна основність, стабільність хімічного складу;
- за фізичними властивостями: висока механічна міцність, мінімальна стиранність в звичайному стані і збереження цих якостей в процесі нагрівання і відновлення;
- за фізико-хімічними властивостями: висока відновлюваність, висока і стабільна температура початку розм'якшення.

Проби агломерату для хімічного аналізу відбирають згідно ГОСТ 15054-80 [23] з охолоджувачів, з хоперів, які доставляють агломерат в доменний цех.

На сьогодні для хімічного аналізу агломератів використовують

швидкодіючі установки для спектрального аналізу - квантометри, що дозволяють визначати всі необхідні елементи в дуже короткий час.

Для встановлення міцності агломерату використовують метод обробки проби в обертовому барабані згідно ГОСТ 15137-77 [24].

Показником міцності агломерату (барабаним числом) є вихід класу > 5 мм, а вихід класу <0,5 мм служить характеристикою стирання.

Міцність агломерату в процесі відновлення визначають у барабані, що обертається, з подачею газу-відновника при заданому температурному режимі з подальшим визначенням крупності випробуваного матеріалу (ГОСТ 19575-84 [25]).

Міцність при відновленні визначають за масою класу > 10 мм, руйнуємість – за масою класу від 0,5 мм до 5 мм, стиранність – по масі класу < 0,5 мм.

Пористість агломерату зазвичай становить від 30 % до 60 % та визначається як відношення об'єму пор в шматку агломерату до його об'єму, або як співвідношення між істиною та вдаваною щільністю.

$$Q^1 = \frac{V_n}{V_a} \times 100\% = \frac{r_{icm} - r_{сд}}{r_{icm}} \times 100\% .$$

(1.19)

Збільшення відновлюваності агломерату збільшує техніко-економічні показники доменної плавки. Лабораторне визначення відновлюваності залізородних матеріалів проводиться відповідно до ГОСТу 17212-84 [26].

Розм'якшуємість агломерату визначають в лабораторних умовах на установці, що імітує поступовий нагрів агломерату в доменній печі і тиск вищерозміщених частинок шихти.

Відомо, що між якістю агломерату і вихідними залізородними матеріалами існує слабка кореляційний зв'язок, тобто гарне усереднення компонентів шихти ще не є достатньою умовою для отримання високоякісного

агломерату. Якісні характеристики агломерату на 78–96 % залежать від умов процесу дозування шихтових матеріалів і їх підготовки по тракту подання шихти.

Тому на сучасних аглофабриках дуже велика увага приділяється точності і постійності дозування компонентів агломераційної шихти [21].

1.4 Особливості газоочищення та пиловловлювання в агломераційному виробництві

На сьогоднішній день у промисловості застосовують механічний, електричний і фізико-хімічний способи очищення газів.

Механічне і електричне очищення використовують для уловлювання з газів твердих і рідких домішок, а газоподібні домішки уловлюють фізико-хімічними способами. Механічне очищення газів проводять осадженням частинок домішок під дією сили тяжіння або відцентрової сили, фільтрацією крізь волокнисті і пористі матеріали, промивкою газу водою або іншою рідиною.

Найбільш простим, але малоефективним і рідко вживаним є спосіб осадження крупного пилу під дією сили тяжіння.

Інерційний спосіб осадження частинок пилу (або капіж рідини) заснований на зміні напрямку руху газу із зваженими в нім частинками.

Тканинні і паперові фільтри, а також фільтри у вигляді шару коксової дрібниці, гравію або яких-небудь пористих матеріалів (наприклад, пористої кераміки) застосовують для очищення газів за допомогою фільтрації.

Рукавні фільтри (рис. 1.8) служать головним чином для уловлювання вельми тонкого пилу; наприклад, при очищенні газів, що відходять від стрічкових агломераційних машин, в рукавних фільтрах уловлюється від 98% до 99 % всього пилу. Очищення газів від пилу промивкою водою застосовують в апаратах різного типу. Секційний рукавний фільтр для очищення газу містить корпус 1 з патрубками 2 та 3, він розділений рукавної дошкою 4 на камери

брудного і чистого газу. Камера чистого газу фільтра розділена на секції 5. У рукавної дощі 4 встановлені рукава 6, фільтруюча поверхня яких виконана з тканини. Над рукавами 6 змонтовані сопла системи імпульсної регенерації 7. Секції 5 газоходами 8 з'єднані з відводять патрубком 3 фільтра. У газоходах 8 змонтовані відсікають заслінки 9 і ежектори системи виявлення пошкодження поверхні, що фільтрує рукавів 6, ежектори складаються з підвідного патрубка 10 і приймального патрубка 11, які виведені назовні газоходу 8. Приймальний патрубок 11 ежектора з'єднаний з камерою 12 датчика наявності пилу. Камера 12 датчика наявності пилу обладнана патрубком 13 введення регенеруючого повітря, а її вихідний патрубок 14 з'єднаний з газоходів 8. Камера 12 обладнана прозорими бічними стінками 15, зовні яких навпроти один одного встановлені фотоелемент 16 і джерело світла 17 зі змінними світлофільтрами 18. На патрубках 10, 11, 13 і 14 встановлена запірно-регулююча арматура у вигляді вентилів або пробкових кранів 19, 20, 21 і 22.

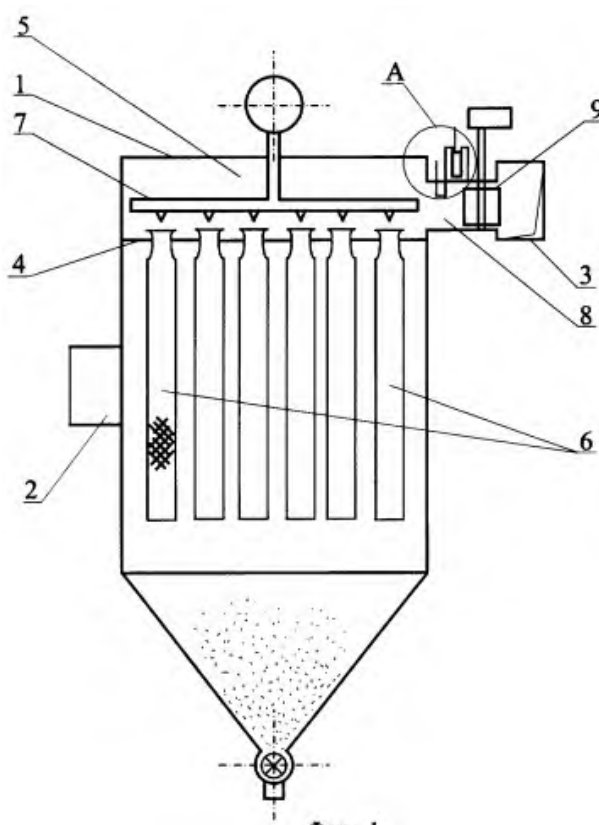


Рисунок 1.8 – Схема стаціонарного рукавного фільтру

Найбільш широкого поширення набули Скрубери, мокрі циклони, швидкісні пиловловлювачі і пінні пиловловлювачі.

Методи фізико-хімічного очищення застосовують для видалення газоподібних домішок. До таких методів відносяться промивка газів розчинниками (абсорбція); промивка газів розчинами реагентів, що зв'язують приміси хімічно (хімічна абсорбція); поглинання домішок твердими активними речовинами (адсорбція); фізичне розділення (наприклад, конденсація компонентів), каталітичне перетворення домішок в нешкідливі з'єднання.

Вибір пиловловлювача обумовлений фізико-хімічними властивостями частинок і газів, що очищаються, але визначає служить дисперсний склад (розмір) уловлюваних частинок. При коагуляції первинні частинки об'єднуються в агломерати, тобто укрупнюються

Тому при виборі пиловловлювача важливу роль грає діаметр сферичної частинки, що має таку ж швидкість осадження, як і дана несферична частинка або агрегат. Пиловловлювачі зазвичай підрозділяють на апарати механічного (сухою і мокрою) і електричного очищення. Робота будь-якого пиловловлювача заснована на використанні одного або декількох механізмів осадження зважених в газах частинок [27] – [30].

Відомо, що температура агломераційних газів не перевищує межу від 100°C до 150°C , та вони мають в середньому концентрацію пилу від $2,5\text{ г/м}^3$ до 3 г/м^3 . Вміст класу – 250 мкм у даному пилу становить 90% , з них 20% у класі – 40 мкм . Щільність пилу становить – від $3,5\text{ т/м}^3$ до 4 т/м^3 , а насипна щільність – 2 т/м^3 .

На сьогоднішній день на сучасній аглофабриці для пиловловлення застосовують сухе, мокре або комбіноване пиловловлення.

При сухому способі очищення є можливість безпосереднього використання вловленого пилу при приготування шихти. Недоліком цього способу є те, що ефективність пиловловлення не перевищує межу від 95% до 98% .

При мокрому способі схема пиловловлення більш проста та одержують

більше високі показники очищення газів, але є необхідність в згущенні та фільтрації пилу.

При комбінованому способі очищення для вловлювання основної маси пилу (грубозернистої частини) застосуються сухий спосіб, а для більше високого очищення димових газів (дрібнодисперсна частина) застосовується мокре пиловловлення.

При агломерації найбільше поширення одержала суха система пиловловлення, що складається із грубого та тонкого очищення. Грубе очищення здійснюється в пилових камерах, які мають набагато більший об'єм, ніж газопроводи. Внаслідок різкого зниження швидкості газу при входженні в пилову камеру з нього випадають найбільш грубі частинки. Для тонкого очищення використовують систему батарейних циклонів, а на останній стадії очищення – електрофільтри. В залежності від витрати газу в одній установці батарейних циклонів їх кількість може досягати від 300 шт. до 1000 шт.

При мокрому пиловловленні використовують труби Вентурі та мокрі пиловловлювачі. Витрата води при мокрому пиловловленні становить від 0,2 т/м³ до 0,5 л/м³. При газоочищенні сірчистих газів застосовується тільки мокра система пиловловлення, що істотно ускладнюється схему і вимагає більшої витрати води до 5 л/м³ [31] – [33].

1.5 Висновки

1. Проаналізовано технічні характеристики та конструкція сучасних агломераційні машини для агломерації залізних руд та руд кольорових металів, технологічні особливості виробництва агломерату та газоочищення й пиловловлювання агломераційного виробництва.

2. На основі теоретичного узагальнення досвіду агломераційного виробництва запропоновано напрями вирішення проблеми удосконалення технології спікання агломерату за рахунок використання енергозберігаючих засобів.

2 ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вибір матеріалів дослідження

При виробництві агломерату для потреб доменного цеху ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» в якості компонентів (сировини) шихти використовували:

- залізну руду (Криворізьке родовище) (табл. 2.1 та рис.2.1);
- залізорудний концентрат (Криворізький басейн) (табл. 2.2, рис. 2.2);
- оксидний марганцевий концентрат (II сорт) (Нікопольський басейн (табл. 2.3, рис. 2.3));
- окалину (Fe_3O_4);
- вапно та вапняк (табл. 2.1);
- доломіт;
- колошниковий пил (власна продукція комбінату згідно ТУ 14-233-192-82 [15]));
- коксову дрібницю;
- власний сухий зворот агломерату;
- шлак;
- вугілля;
- шлам;
- відсів вапняку;
- золу коксу (табл. 2.1);
- інші матеріали.

Дослідження хімічного складу компонентів шихти проводили за допомогою хімічного аналізу, вологість компонентів шихти визначали згідно загальноприйнятої методики (ГОСТ 21718-84 [34]) та приведена у табл. 2.4. Для проведення вимірювань вологості сипких матеріалів відбирають і готують

проби згідно з ГОСТ 8269-76 [35] або ГОСТ 8735-88 [36]. Для визначення вологості матеріалу шихти брали зразок, зважували в природному стані та поміщали в сушильну шафу, навеска сушилася до отримання постійної вологи.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад шихтових матеріалів

Компонент шихти	Масова частка компонентів, %							
	Fe _{заг}	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S
Залізна руда	61,51	1,62	8,41	1,13	0,40	0,42	0,02	0,01
Повернення	52,00	13,73	8,00	1,1	11,28	0,96	-	-
Вапняк	0,58	-	1,41	0,39	52,00	0,59	-	-
Вапно	0,20	-	3,5	0,52	75,00	0,94	-	-
Зола коксу	15,50	-	45,00	22,20	3,70	1,70	1,90	0,30

Таблиця 2.2 – Хімічний склад залізородного концентрату

Найменування концентрату	Масова частка компонентів, %										
	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	S	P ₂ O ₅	SiO ₂	Na ₂ O+K ₂ O
Агломераційний	65,6	26,7	63,4	0,11	0,60	0,80	0,40	0,15	0,025	7,75	0,126

Таблиця 2.3 – Хімічний склад марганцевих концентратів з руд основних родовищ України

Сорт концентрату	Масова частка компонентів, %										
	Mn	MO ₂	MO	SiO ₂	CaO	MO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P	Na ₂ O	K ₂ O
Нікопольський концентрат											
Оксидний I сорт	44,0	48,3	17,4	13,7	3,2	1,3	1,5	1,9	0,19	0,4	1,0
Оксидний ІБ сорт	42,0	46,0	16,7	15,4	3,3	1,4	1,7	2,2	0,19	0,4	1,2
Оксидний II сорт	36,8	38,5	16,2	20,7	3,9	1,8	1,7	2,6	0,19	0,4	1,5
Карбонатний I сорт	31,0	19,3	24,3	19,2	7,3	1,5	2,5	2,5	0,18	0,9	0,9



Рисунок 2.1 – Залізна руда Криворізького родовища

Таблиця 2.4 – Усереднена вологість компонентів шихти

№ п/п	Найменування компонента шихти	Питома витрата, кг/т	Питома витрата, %	Кількість води в кожному матеріалі, %	Загальна усереднена вологість шихти, %
1	Залізна руда (Суха балка)	148,0	12,48	4,00	6,89
2	Залізрудний концентрат (Метінвест)	590,0	49,77	8,50	
3	Залізрудний концентрат (Лебединський)	123,0	10,37	7,40	
4	Колошниковий пил	11,0	0,93	2,90	
5	Окалина	3,0	0,25	1,00	
6	Вторинні матеріали	74,0	6,24	10,20	
7	Шлам	20,0	1,69	7,00	
8	Вапняк звичайний	60,0	5,06	2,49	
9	Вапняк на штабель <5 мм	13,0	1,10	2,49	
10	Відсів вапняку	12,0	1,01	2,49	
11	Доломіт сирий (бункера)	4,0	0,34	2,03	
12	Доломіт сирий (штабель)	3,0	0,25	2,03	
13	Вапно	42,0	3,54	0,00	
14	Марганцевий концентрат	14,0	1,18	17,90	
15	Шлак КЦ	30,0	2,53	2,50	
16	Коксова дрібниця	6,8	0,57	0,00	
17	Вугілля	31,86	2,69	5,20	
	Всього:	1185,66	100,00		



Рисунок 2.2 – Залізорудний концентрат Криворізького басейну



Рисунок 2.3 – Марганцевий концентрат Нікопольського басейну

Загальна усереднена вологість шихти визначалася за формулою:

$$W = \frac{Q_{\text{агг. шихти}} \cdot 100}{Q_{\text{агг. рудни}}} > 100, \quad (2.1)$$

$$W = [(148 \cdot 0,04 + 590 \cdot 0,085 + 123 \cdot 0,074 + 11 \cdot 0,029 + 3 \cdot 0,01 + 74 \cdot 0,102 + 20 \cdot 0,07 + 60 \cdot 0,0249 + 13 \cdot 0,0249 + 12 \cdot 0,0249 + 4 \cdot 0,0203 + 3 \cdot 0,0203 + 42 \cdot 0 + 14 \cdot 0,179 + 30 \cdot 0,025 + 6,8 \cdot 0 + 31,860,052) \cdot 100] / 1185,66 = 6,89 \%$$

При продуктивності агломераційного цеху 3,95 млн.т/рік агломерату річна (годинна) витрата компонентів шихти на агломераційну фабрику представлена у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Витрата компонентів шихти при виробництві агломерату за існуючої технологією (поточне виробництво)

№ п/п	Найменування компонента шихти	Питома витрата (вологих), кг/т	При виробництві 3,95 млн.т/рік агломерату			
			річна витрата, т/агло- фабрику	річна витрата, т/агло- машину	годинна витрата, т/агло- фабрику	годинна витрата, т/агло- машину
1	Залізна руда (Суха балка)	148,0	584 600	97 433,33	73,81	12,30
2	Залізородний концентрат (Метінвест)	590,0	2 330 500	388 416,67	294,26	49,04
3	Залізородний концентрат (Лебединський)	123,0	485 850	80 975, 00	61,34	10,22
4	Колошниковий пил	11,0	43 450	7 241,67	5,49	0,93
5	Окалина	3,0	11 850	1 975,00	1,50	0,25
6	Вторинні матеріали	74,0	292 300	48 716,67	36,91	6,15
7	Шлам ЖІК	20,0	79 000	13 166,67	19,97	1,66
8	Вапняк звичайний	60,0	237 000	39 500	29,92	4,99
9	Вапняк на штабель <5 мм	13,0	51 350	8 558,33	6,48	1,08
10	Відсів вапняку	12,0	47 400	7 900,00	5,98	1,00
11	Доломіт сирий (бункера)	4,0	15 800	2 633,33	2,00	0,33
12	Доломіт сирий (штабель)	3,0	11 850	1975,00	1,50	0,25
13	Вапно	42,0	165 900	27 650,00	20,95	3,49
14	Марганцевий концентрат	14,0	55 300	9 216,67	6,98	1,16
15	Шлак КЦ	30,0	118 500	19 750,00	14,96	2,49
16	Коксова дрібниця	8,5	33 575	5 595,83	4,24	0,71
17	Вугілля	39,82	157 289	26 214,83	19,86	3,31
	Всього:	1195,32	4 721 514	786 919,00	596,15	99,36

При збільшенні продуктивності агломераційного цеху до 5,6 млн.т/рік агломерату пропонується використовувати той самий склад компонентів шихти, але зменшити його питому витрату до 1195,32 кг/т

агломерату (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Витрата компонентів шихти при виробництві агломерату за запропонованою технологією (після удосконалення технології спікання агломерату)

№ п/п	Найменування компонента шихти	Питома витрата (вологих), кг/т	При виробництві 5,6 млн.т/рік агломерату			
			річна витрата, т/агло- фабрику	річна витрата, т/агло- машину	годинна витрата, т/агло- фабрику	годинна витрата, т/агло- машину
1	Залізна руда (Суха балка)	148,0	828 800	138 133,33	104,65	17,44
2	Залізородний концентрат (Метінвест)	590,0	3 304 000	550 666,66	417,17	69,53
3	Залізородний концентрат (Лебединський)	123,0	688 800	114 800,00	86,97	14,50
4	Колошниковий пил	11,0	61 600	10 266,67	7,78	1,29
5	Окалина	3,0	16 800	2 800,00	2,12	0,35
6	Вторинні матеріали	74,0	414 400	69 066,67	52,32	8,72
7	Шлам ЖІК	20,0	112 000	18 666,67	14,14	2,36
8	Вапняк звичайний	60,0	336 000	56 000,00	42,42	7,07
9	Вапняк на штабель <5 мм	13,0	72 800	12 133,33	9,19	1,53
10	Відсів вапняку	12,0	67 200	11 200,00	8,48	1,41
11	Доломіт сирий (бункера)	4,0	22 400	3 733,33	2,83	0,47
12	Доломіт сирий (штабель)	3,0	16 800	2 800,00	2,12	0,35
13	Вапно	42,0	235 200	39 200,00	29,70	4,95
14	Марганцевий концентрат	14,0	78 400	13 066,67	9,90	1,65
15	Шлак КЦ	30,0	168 000	28 000,00	21,21	3,54
16	Коксова дрібниця	6,8	38 080	6 346,67	4,81	0,80
17	Вугілля	31,86	178 416	29 736,00	22,53	3,76
	Всього:	1185,66	6 639 696	1 106 616,0	838,34	139,72

Розрахункові показники шихти з урахуванням повернення з агломераційного цеху і введення додаткової вологи в шихту внесені в табл. 2.7.

Дослідження хімічного складу агломерату проводили за допомогою хімічного аналізу. Хімічний склад доменного агломерату вміщує від 48% Fe до 58% Fe, від 10% FeO до 17% FeO та основністю від 1,0 до 1,4.

Температуру агломерату визначали за допомогою вольфрам-молібденової термопари (ВМТ) занурення з потенціометром типу ЭПС-360 (здатна вимірювати температуру до 2100 °С), позитивним термоелектродом служив чистий вольфрам, а негативним - сплав молібдену з 4% алюмінію).

Таблиця 2.7 – Питома витрата сировини для виробництва агломерату

№ п/п	Найменування	Питома витрата, кг/т	Питома витрата, %
1	Суміш компонентів шихти (суха вага)	1 104,02	77,89
2	Середня волога в агломераційній шихті (шихта + повернення)	81,64	5,76
3	Повернення агломераційної фабрики	200,00	14,11
4	Додаткова волога в шихті (доведення вологи до 8%)	31,75	2,24
	Всього:	1 417,41	100,00

Агломерат АМН-І спікали з суміші оксидного концентрату сорту І та змішаних марганцевих руд першого сорту.

Механічну міцність придатного агломерату визначали згідно ГОСТ 15137-77 [24], міцність придатного агломерату при відновленні – згідно ГОСТ 19575-84 [25].

2.2 Вибір методики удосконалення процесів агломерації при використанні енергозберігаючих засобів

В умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» удосконалення процесів агломерації при використанні енергозберігаючих засобів передбачає

вдосконалення технології спікання агломерату та технологічного газоочищення і пилевидалення.

У плануванні виконання роботи з капітального ремонту агломераційної машини №1 (рис. 2.4) запропонована послідовна зупинка машин з метою забезпечення доменного цеху агломератом в період проведення будівельно-монтажних робіт.



Рисунок 2.4 – Агломераційна машина

Для капітального ремонту агломераційної машини №1 були виконані наступні етапи:

- ремонт поздовжніх та поперечних ущільнень агломераційної машини;
- ремонт газового колектора, вакуум-камер, пилових мішків, компенсаторів в зоні спікання, а також вакуум-камер в зоні охолодження;
- відновлення термічної ізоляції на газовому колекторі, вакуум-камерах, пилових мішках.

Особливості проектування приведені нижче.

Змішана шихта з змішувачів (рис. 2.5), реконструйованих похилими конвеєрами агломераційної машини № 1 (конвеєри А29Ш та А30Ш) подавалася

в барабанні окомковачі. В процесі змішування утворюються щільні мікрогранули фракції від 1 мм до 1,5 мм, які сприяють прискоренню утворення гранул в барабані і збільшуючи загальну газопроникненість оком кованої агломераційної машини.

Перед огрудкуванням передбачена піддозіровка твердого палива. Тверде паливо розміром < 3 мм буде подаватися в бункер у вигляді суміші палива крупністю до 3 мм і азоту трубопровідною системою з використанням пневмокамерного насоса, встановленого в корпусі шихтових бункерів і живиться від існуючого бункера палива. Для роботи системи необхідна подача азоту робочим тиском 0,6 МПа, споживанням $17,5$ м³/хв. і вмістом кисню не більше 6 %.

З бункерів, через віброворонки (рис. 2.6), тверде паливо буде подаватися на нові вагові стрічкові дозатори, а потім дозовано розвантажуватися на реконструюються похилі конвеєра змішаної шихти (конвеєра А29Ш – А30Ш).



Рисунок 2.5 – Змішувач



Рисунок 2.6 – Віброворонка

Для сортування сипучих матеріалів по крупності частинок з метою отримання продуктів різного гранулометричного складу використовували грохоти.

Для підключення поставленого обладнання замінюється існуючий масляний трансформатор 2-1-16/0,4 кВ, 1000 кВА на масляний трансформатор 6/0,4 кВ, 3200 кВА.

Проектування сталевих трубопроводів здійснювали згідно СН 527-80 [37], ДСТУ Б А.2.4-1:2009 СПДБ [38], ДБН В.2.6-98:2009 [39], ДБН В.2.6-198:2014 [40], ДБН В.1.2-2:2006 [41], ДСТУ Б В.2.7-176:2008 [42], ДСТУ 3760:2006 [43], ДСТУ Б В.2.6-193:2013 [44], та інших нормативних документів.

Складання договору на інструментальне обстеження корпусу агломерації, димової труби, написання та оформлення проектної та робочої документації здійснювали згідно ДСТУ Б А.2.4-5:2009 СПДБ [45], ДСТУ 3582: 2013 [46], ДСТУ 1.5:2015 [47] та ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 [48].

Очищення технологічних газів до європейських норм проводили шляхом заміни експаустера, установки нового газоочищення, вдосконалення аспіраційних систем та демонтажу барабанів гасіння і охолодження повернення.

Для очищення технологічних газів агломераційної машини від пилу в якості першого ступеня пропонується паралельно встановити два циклони-іскрогасника (рис. 2.7), які призначені для уловлювання великих частинок та гасіння іскор.



Рисунок 2.7 – Циклон – іскрогасник

Потім технологічні гази надходять на очистку від пилу в рукавний фільтр (рис. 2.8) з вертикальним розташуванням рукавів з системою регенерації за допомогою імпульсної продувки стисненим повітрям. Очищені гази ексгаустером (рис. 2.9) направляються в існуючий борів і димову трубу для викиду в атмосферу.



Рисунок 2.8 – Рукавний фільтр



Рисунок 2.9 – Ексгаустер

2.3 Висновки

1. Встановлено, що при виробництві агломерату доцільно використовувати вітчизняну сировину та намагатися збільшити продуктивність агломераційного цеху №2 до 5,6 млн.т/рік агломерату.

2. Визначено методику удосконалення агломераційної фабрики №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» шляхом удосконалення технології спікання агломерату, технологічного газоочищення та пиловидалення і капітального ремонту агломераційної машини №1.

3 УДОСКОНАЛЕННЯ АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ФАБРИКИ №2 В УМОВАХ ПАТ «ДНІПРОВСЬКИЙ МЕТАЛУРГІЙНИЙ КОМБІНАТ» ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАСОБІВ

На сьогодні в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» встановлено шість агломераційних машин, що виробляють агломерат для доменного цеху. Аналіз існуючої технології виробництва агломерату в умовах агломераційного цеху №2 показав на:

- відсутність обладнання з первинного змішування (рис. 3.1 та рис. 3.2) і гранулювання шихти, що призводить до зниження ступеня змішування і огрудкування, та, як наслідок, до погіршення якості шихти і втрати продуктивності агломераційних машин;

- вимушене використання частини площі охолодження на спікання, що призвело до незадовільної роботи зони охолодження і підвищення температури спека перед сортуванням до 700°C, це обумовило заміну віброгуркоту на стаціонарні ґрати. Сортування агломерату на стаціонарних ґратах, розмір щілин в яких перевищує 5 мм, призводить до потрапляння у зворот придатного агломерату, знижуючи тим самим його вихід, і вимагає додаткової витрати палива на його повторне спікання. Застосування даного обладнання також не забезпечує ефективне виділення дріб'язку, фракція < 5 мм в готовому агломераті перевищує 14%;

- збільшення кількості возврату в шихті більше 30% не дає приросту виробництва, у зв'язку з чим загальні втрати не будуть компенсовані;

- існуюче обладнання газоочищення агломераційних машин не забезпечує виконання діючих норм щодо викидів і призводить до забруднення атмосфери [49].

На сьогодні поточна продуктивність агломераційного цеху №2 ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» складає 3,95 млн.т/рік агломерату, що не відповідає рівню європейських норм (від 5 млн.т/рік до 7 млн.т/рік). Тому слід шукати шляхи вдосконалення технології виробництва

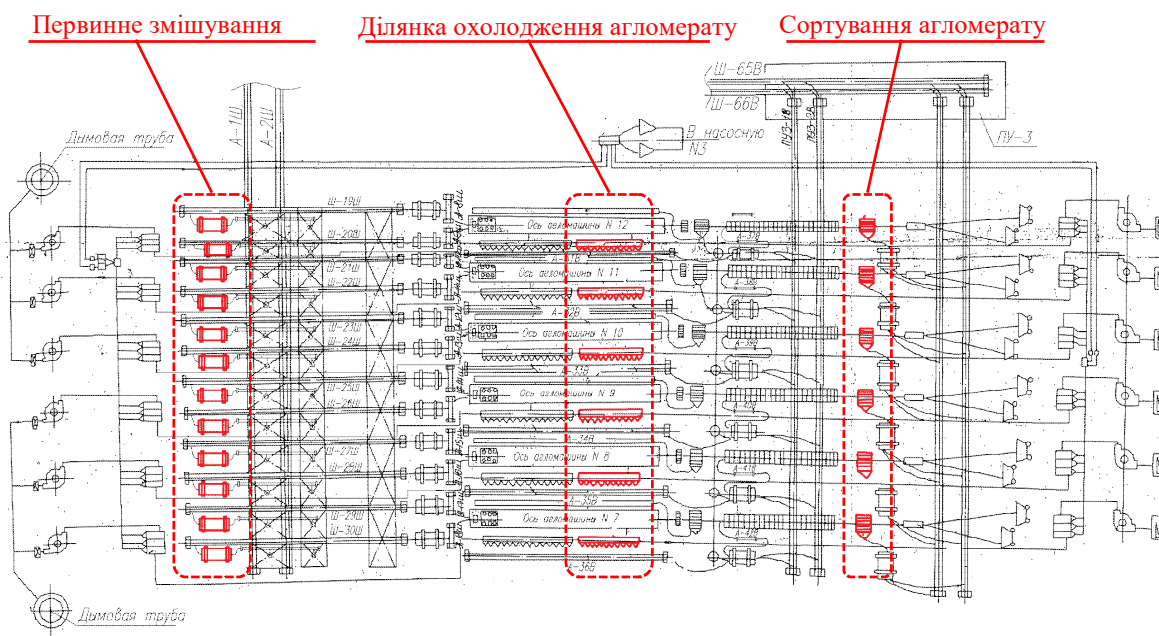


Рисунок 3.1 – Первинна схема ланцюга апаратів

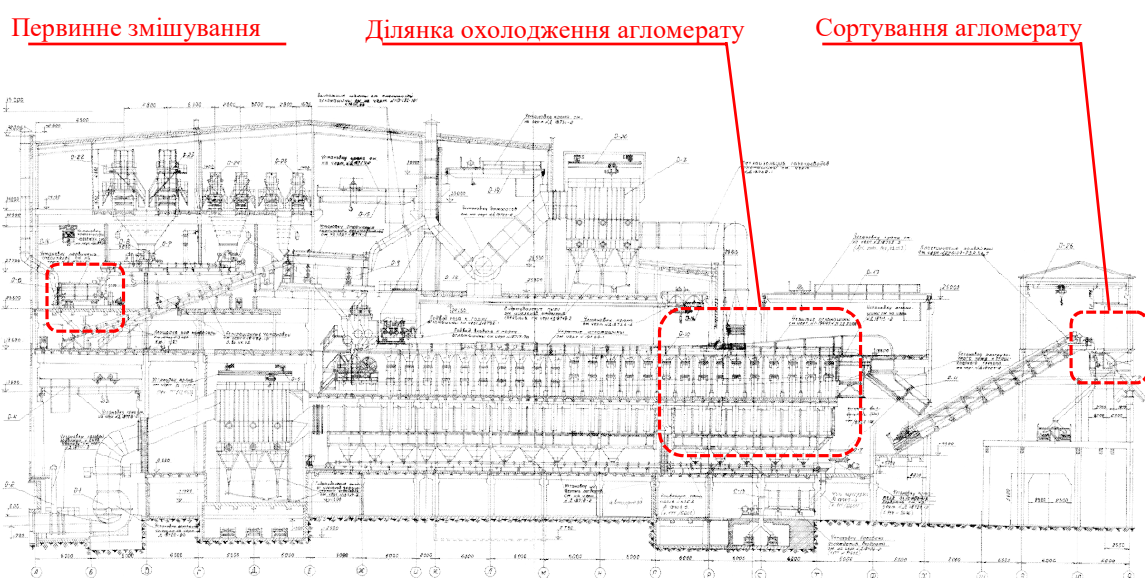


Рисунок 3.2 – Виробничі ділянки, які частково або повністю виведені з експлуатації

агломерату або існуючого для його виробництва устаткування.

3.1 Удосконалення технології спікання агломерату

Пропонується в агломераційному цеху №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» удосконалення технології спікання агломерату за рахунок використання енергозберігаючих засобів, що дозволить підвищити продуктивність до 5,6 млн.т/рік агломерату.

Відомо, що у традиційній технології виробництва агломерату 40 % тепла, отриманого від спалювання твердого палива в шарі шихти, втрачається при охолодженні агломерату. Удосконалення зони охолодження (рис. 3.3)) дозволяє використовувати це тепло, нагріваючи повітря і подаючи його в зону спікання, тим самим заощаджуючи значну кількість твердого палива (20%) і охолоджуючи агломерат до температури ~ 200 °С (рис. 3.4).

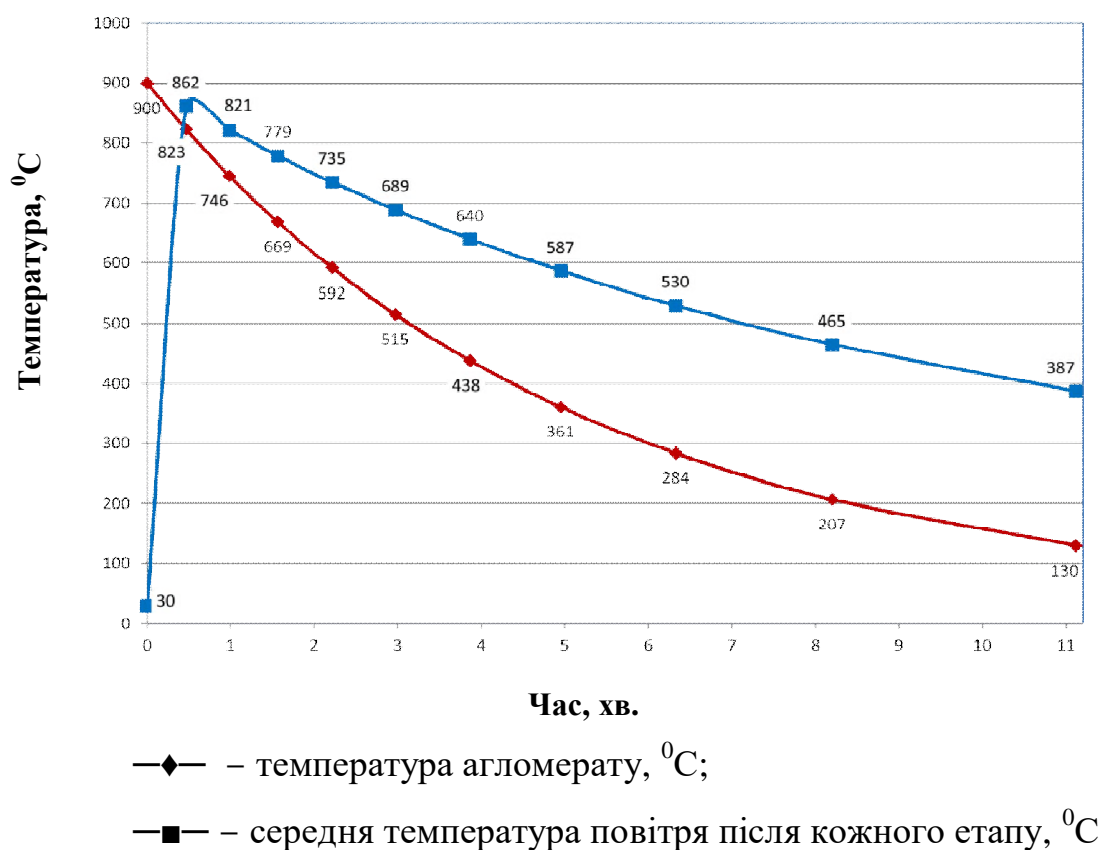


Рисунок 3.4 – Залежність температури повітря від температури агломерату

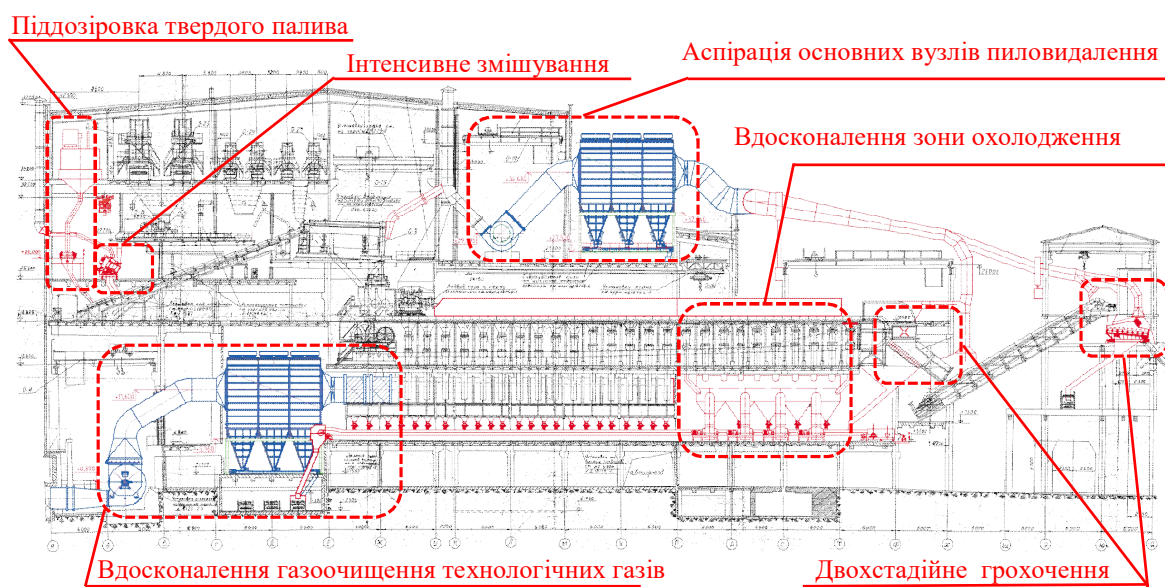


Рисунок 3.3 – Використання резервів існуючої технології та обладнання

При удосконаленні агломераційної фабрики №2 шляхом капітального ремонту агломераційної машини №1 пропонується виконати ремонт поздовжніх та поперечних ущільнень агломераційної машини, газового колектора, вакуум-камер, пилових мішків, компенсаторів в зоні спікання, вакуум-камер в зоні охолодження, відновлення термічної ізоляції на газовому колекторі, вакуум-камерах, пилових мішках.

У завантажувальному бункері шихти буде встановлений розподільник потоку шихти.

На всіх вакуум-камерах ділянки спікання агломераційної машини будуть встановлені нові шибера з ручним приводом.

Над агломераційною машиною буде встановлено нове укриття на всьому її протязі від горна до хвостової частини, за винятком ділянки перед розвантажувальною частиною, де буде проводитися заміна зношених палет для їх відновлювального ремонту. Укриття буде представляти із себе металевий каркас і корпус змінного перерізу по висоті, покритий зовні теплоізоляційним матеріалом з температурою поверхні не більше 60 °С. По бортах укриття будуть розташовані поздовжні ущільнення, в торцях поперечні ущільнення. Усередині укриття буде встановлено спеціальний газорозподільний пристрій.

Всі агломераційні візки будуть піддаватися реконструкції - встановлення поздовжньої металевої пластини для забезпечення ущільнення між спікальних візком і укриттям.

Частина газового колектора (існуюча зона охолодження), буде демонтована до хвостової частини агломераційної машини. На частині колектора, (зона спікання), буде виконано відновлювальний ремонт, в тому числі, відновлення теплоізоляції його корпусу і пилових мішків.

В обсязі відновного ремонту газового колектора, необхідно передбачити заміну існуючих клапанів-мигалок на клапана-мигалки конусного типу. Це дасть зниження шкідливих підсосів, і підвищення температури в газовому колекторі, що поліпшить роботу системи технологічної газоочищення, особливо в зимовий період.

На ділянці попереднього охолодження агломерату, в зоні демонтованого колектора, буде розташований новий колектор повітря охолодження.

Повітря в нього буде подаватися трьома новими вентиляторами. Потреба у воді на охолодження підшипників вентиляторів для однієї агломераційної машини становить $1,8 \text{ м}^3/\text{год}$.

З нового колектора (рис. 3.5) холодне повітря, через існуючі вакуум-камери, буде подаватися знизу під колосникові ґрати і під тиском проникати через шар агломерату від низу до верху. Потім, повітря в нагрітому стані до $\sim 380^\circ \text{C}$, під укриттям переміщатися на ділянку спікання і через газорозподільне пристрій потрапляти на верхній шар спека, надходити через шар зверху вниз на спікання по всій протяжності зони спікання агломерату.

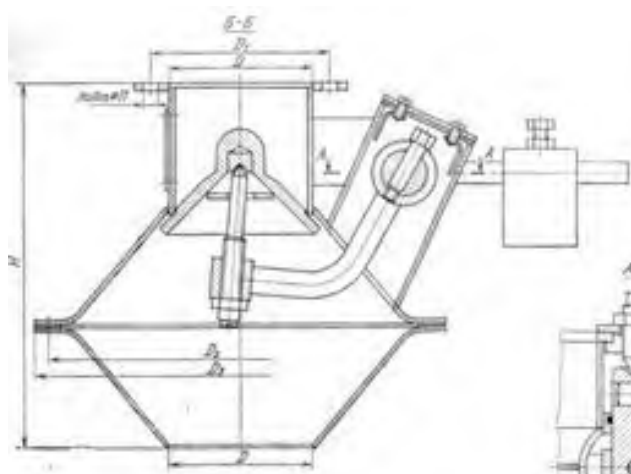


Рисунок 3.5 – Схема колектору

На колекторі повітря охолодження, буде передбачена видача пилу і дрібних частинок агломерату, що потрапляють в колектор повітря охолодження через колосникові ґрати, на існуючий конвеєр пилу газового колектора.

Для дозованої видачі пилу і запобігання шкідливих підсосів в колекторі повітря охолодження, на пилових мішках будуть встановлені нові конусні клапана-мигалки.

Умовна схема руху нагрітого повітря охолодження над шаром агломерату показана на рис. 3.6.

Для ефективного сортування після одновалкової зубчастої дробарки, в

замін стаціонарних решіток, буде встановлений новий електровібраційний гуркіт з пересувним візком. На гуркоті буде відсіюватися дрібниця – 5 мм, що утворилася при спіканні.

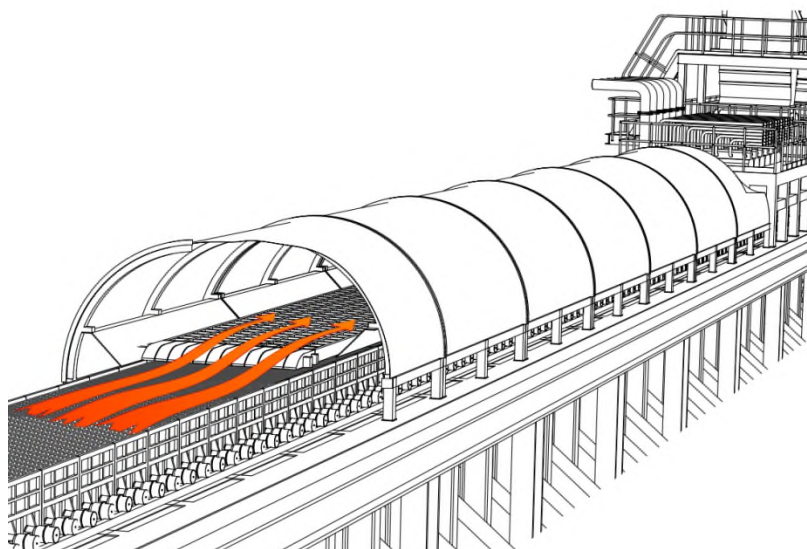


Рисунок 3.6 – Умовна схема руху нагрітого повітря охолодження над шаром агломерату

Відомо, що часткова подача палива безпосередньо в барабан-омомкувач сприяє поліпшенню процесу спікання, так як частина палива накочується на поверхню гранул, тим самим прискорюючи процес вертикального спікання шару агломераційної шихти на машині, підвищуючи якість і збільшуючи питому продуктивність агломераційної машини.

Першим важливим елементом технології є якісне змішування компонентів агломераційної шихти. Для цього передбачена установка нового інтенсивного змішувача. Компоненти шихти в змішувач будуть подаватися з бункера шихти новим стрічковим ваговим дозатором. Таким чином, буде дозовано задаватися кількість матеріалу на огрудкування і подальше спікання, і буде здійснюватися поточний контроль витрат сировини.

Таким чином, запропонована технологія подачі нагрітого повітря в зону спікання дозволить:

- зниження витрати палива близько на 20 %, що веде до зниження собівартості агломерату;

- використання теплоти від охолодження агломерату;
- підвищення вертикальної швидкості спікання за рахунок подачі гарячого повітря на всьому протязі зони спікання;
- зниження кількості дріб'язку, утвореного у верхньому шарі агломерату в зоні спікання;
- знімання напружень у шарі агломерату під час повторного пропускання теплоти знизу вгору на ділянці охолодження, що також буде сприяти зниженню кількості дріб'язку в агломераті [50].

Порівняння показників поточного виробництва агломерату та після проведення удосконалення технології спікання агломерату (табл. 3.1) [49], показують на покращення техніко-економічних показників виробництва агломерату:

- зменшення на 6,5 % кількості возврату;
- зменшення на 20 % питомої витрати твердого палива;
- знизити вміст дрібниці в агломераті з 14,1 % до 8 %;
- знизити витрати коксу на 3,4 %;
- видавати з агломераційної машини продукт з температурою ~ 200 ° С;
- збільшення на 10 % терміну служби колосників;
- зменшення в 38 разів викидів пилу технологічного газоочищення.

На даний час кількість звороту становить 214 кг на тонну агломерату, а при використанні нової технології кількість внутрішнього звороту агломераційної фабрики буде 200,0 кг на тонну агломерату, при цьому кількість дріб'язку в агломераті, що вивантажується на бункерну естакаду доменної печі, становитиме не більше 8 % [50].

При роботі агломераційної машини 24 год./добу в період 330 діб продуктивність машини складе:

$$117,85 \cdot 24 \cdot 330 = 933\,372 \text{ т /рік.}$$

Після проведення удосконалення шляхом ремонту всіх агломераційних

машин продуктивність складе:

$$933\,372 \cdot 6 = 5\,600\,232 \text{ т / рік.}$$

Таблиця 3.1 – Порівняльні показники виробництва агломерату [50]

№ п/п	Найменування показників роботи комплексу агломераційної машини №1	Поточне виробництво	Після вдоско- налення
1	Виробництво агломерату, т/рік.	83,253	117,85
2	Крупність агломерату, мм	5-120	5-120
3	Кількість возврату, т/т агломерату	0,214	0,200
4	Кількість дрібниці (-5 мм) агломерату при вивантаженні на бункерну естакаду доменного цеха, %	14,1	≤ 8
5	Температура готового агломерату, °С	~ 700	~ 200
6	Питома витрата твердого палива, кг/т агломерату	48,32	38,66
7	Збільшення терміну служби колосників, %	0	+ 10
8	Залишкові викиди пилу технологічного газоочищення (з димової труби), мг/м ³	381	≤ 30
9	Залишкові викиди СО після технологічної газоочищення (з димової труби), мг/м ³	< 6500	< 6500

Продуктивність агломераційної машини (рис. 3.7) підвищується за рахунок збільшення вертикальної швидкості спікання і підвищення питомого з'єму.

Таким чином, удосконалення технологічних процесів виробництва агломерату призведе до:

- зниження пікових температур в шарі;
- оптимального термічного процесу в зоні спікання;

- зняття температурних напружень шару агломерату в зоні охолодження, збереження структури шару;
- поліпшенню виходу гідного та якості агломерату: низькому вмісту дрібниці до 5мм – 5%, температури агломерату не більше 130 °С, мікропористої структура спека агломерату, високої гарячої міцності та підвищеної відновлюваності агломерату

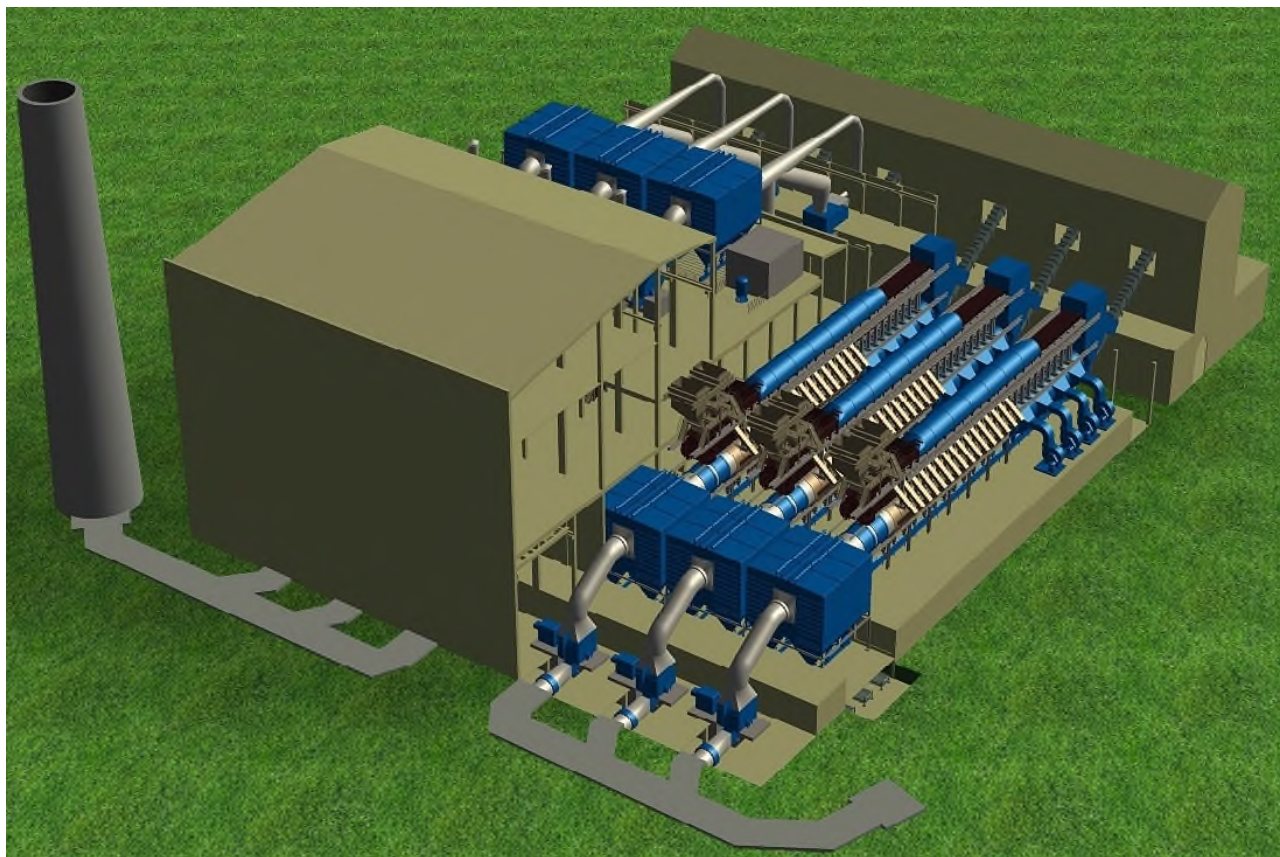


Рисунок 3.7 – 3D-модель впровадження удосконалення агломераційної машини №1 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»

Іншими словами, запропоновані рішення дозволяють підвищити якість агломерату за рахунок зниження вмісту дрібниці в готовому агломераті на 6,1 %. Зменшення кількості дрібниці в агломераті на 1 % призводить до зменшення витрат коксу на 0,55% та збільшення продуктивності чавуну на 0,55 %.

3.2 Удосконалення технологічного газоочищення та пиловидалення на аглофабриці

Метою впровадження нового технологічного газоочищення та пиловидалення є зниження впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище і поліпшення умов праці на робочих місцях.

В даний час технологічні гази від агломераційної машини надходять на очистку від пилу в батарейний циклон і екстаустером направляються в борів димаря на викид в атмосферу, тому пропонуються рішення з очищення технологічних газів від агломераційної машини №1 аглофабрики №2 (табл. 3.2).

Гази, що надходять від однієї агломераційної машини, мають наступні параметри:

- обсяг газів фізичний – 6500 м³/хв. (390000 м³/год.);
- обсяг газів при нормальних умовах – 4100 м³/хв. (246 000 м³/год.);
- температура газів середня – 100 °С, максимальна - 160 °С;
- запиленість газу на виході з колектора – від 0,320 г/м³ до 0,395 г/м³;
- хімічний склад газів, що відходять:
 - CO від 4,495 г/м³ до 5,207 г/м³ CO;
 - SiO₂ від 0,525 г/м³ до 0,572 г/м³;
 - SO₂ від 0,525 г/м³ до 0,572 г/м³;
 - NO_x від 0,068 г/м³ до 0,085 г/м³.
- хімічний склад пилу 55,8 % Fe, 11,6 % FeO, 8,9 %; SiO₂, 10,2 % CaO, 0,12 % MnO, 0,87% Al₂O₃ – 0,87 %, 1,23 % MgO, 11,28 % інші;
- гранулометричний склад, що виходить з колектора пилу < 10 мм;
- режим роботи установки – 7920 год./рік [49].

Проектоване газоочисне обладнання розміщуватиметься на місці демонтованого старого газоочисного устаткування. Для очищення технологічних газів агломераційної машини від пилу в якості першого ступеня пропонується паралельно встановити два циклони-іскрогасника (табл. 3.3), які

призначені для уловлювання великих частинок і гасіння іскор.

Таблиця 3.2 – Технологічні показники газоочисної та аспіраційної установок

Найменування характеристики	Од. вим.	Показник
Кількість газів, які очищені та викидаються у атмосферу	м ³ /Год.	450000
Кількість газів, які очищені та викидаються у атмосферу за нормальних умов	м ³ /Год.	330000
Температура газів на виході з газоочищення	°С	100
Ступінь очищення	%	не менше 99,9
Запиленість газів, які викидаються в атмосферу після газоочищення	мг/нм ³	30
Уловлено пилу	т/год.	1092,63
Потрапило в атмосферу	т/год.	28,38
Висота димової труби	м	100
Діаметр димової труби	м	7
Витрата стислого повітря на регенерацію рукавного фільтру	м ³ /хв.	9,9
Витрата стислого повітря на пневмотранспорт	м ³ /хв.	9,4
Витрата стислого повітря на виконавчі механізми клапанів, що перемикаються	м ³ /доб.	1,2
Кількість азоту, що поступає на точковий фільтр	м ³ /Год.	1100
Витрата стислого азоту на регенерацію точкового фільтру	м ³ /хв.	0,25
Загальний гідравлічний опір газового тракту установки газоочищення	Па	16000

Циклони-іскрогасники будуть встановлені між газовим колектором і рукавним фільтром. Пил, вловлена в циклонах-іскрогасниками, буде надходити на конвеєр просипи агломераційної машини. Потім технологічні гази надходять на очистку від пилу в рукавний фільтр з вертикальним розташуванням рукавів з системою регенерації за допомогою імпульсної продувки стисненим повітрям.

Таблиця 3.3 – Технічна характеристика циклона-іскрогасника

Найменування характеристики	Од. вим.	Показник
Кількість	шт.	2
Продуктивність пилоповітряної суміші, що очищається	м ³ /год.	225000
Температура пилоповітряної суміші, що очищається	°С	160
Максимальний гідравлічний опір	Па	1175

Ефективність очищення від пилу в даних апаратах становить не менше 99,9 %, що дозволить досягти в димових газах на викиді в атмосферу змісту пилу не більше 30 мг/м³.

Рукавний фільтр (табл. 3.4) являє собою корпус з камерами «брудного» і «чистого» газу з розміщеними в кожній камері «брудного» газу фільтрувальними рукавами.

Для запобігання рукавів від схлопування під час роботи, всередину кожного рукава вставлений сталевий каркас, виготовлений з оцинкованого дроту. У нижній частині розташовані бункера для збору пилу, що улавлюється, кожен бункер оснащений оглядовим люком і рівнемір. При досягненні аварійного рівня пилу в бункері фільтра, відбувається відсічення секції, при цьому фільтр буде працювати до усунення аварії. На кожному бункері встановлений ручний шибєр (який дозволяє проводити ремонт пристроїв з вивантаження пилу без зупинки фільтра).

Принцип роботи рукавного фільтра заснований на уловлюванні пилу

фільтрує тканиною. Пил накопичується на зовнішній стороні рукавів при проходженні через неї запиленого повітря. Очищений газ надходить в корпус через внутрішню поверхню рукавів. Через отвори на рукавній плиті та вихідний патрубок «чистий» газ надходить в ексаустер, потім через борів в димову трубу і далі в атмосферу.

У процесі фільтрування товщина шару пилу на поверхні рукавів зростає, збільшується опір руху повітря і знижується пропускна здатність фільтра, щоб уникнути чого передбачена регенерація запилених рукавів імпульсами стисненого повітря.

Таблиця 3.4 – Технічна характеристика фільтра рукавного

Найменування характеристики	Од. вим.	Показник
Кількість	шт.	1
Продуктивність пилоповітряної суміші, що очищається	м ³ /ч	450000
Температура пилоповітряної суміші, що очищається	°С	max 250
Максимальна вхідна запиленість	г/м ³	10
Остаточна запиленість повітря після фільтрації	мг/м ³	30,0
Максимальна гідравлічний опір фільтра:	Па	3500
Кількість рукавів фільтрованих	шт.	2240
Розмір рукава фільтрованого	мм	Ø150x7000
Діаметр клапанів, що відсікають	мм	780
Кількість клапанів, що відсікають	шт.	8
Тиск повітря для системи регенерації	МПа	0,4-0,6
Витрата стисненого повітря для системи регенерації	нм ³ /хв.	max 8
Маса апарату	кг	320000

Процес очищення автоматично контролюється контролером.

Вловлений пил безперервно вивантажується з бункерів рукавного фільтра шлюзовими живильниками в два скребкових конвеєра, з яких за допомогою збірних конвеєра пил надходить в пневмокамерний насос. З пневмокамерного насоса системою пневмотранспорту вловлений пил подається в бункер розвантаження через циклон, звідки за допомогою перевантажувального скребкового конвеєра пил подається на конвеєр просипи агломераційної машини.

Очищені гази ексгаустером (табл. 3.5) направляються в існуючий борів і димову трубу для викиду в атмосферу.

Таблиця 3.5 – Технічна характеристика ексгаустера

Найменування характеристики	Од. вим.	Показник
Кількість	шт.	1
Продуктивність пилеповітряної суміші, що очищується	м ³ /ч	450000
Натиск	Па	16000
Робоча температура	°С	160
Електродвигун	шт.	1
Потужність	кВт	2400
Напруга	кВ	0,69
Апарат, що направляє		1
Потужність	кВт	0,4
Напруга	В	380

Електродвигун ексгаустера пропонується підключити до мережі 6000 В з установкою понижуючого трансформатора сухого типу на 690 В в окремій будівлі з сендвіч-панелей, з перетворювачем частоти. Будівлю планується встановити на ділянці між аглофабрики і залізничними шляхами з боку ексгаустерів агломераційної машини.

Характеристики ексгаустера, застосованого в проєкті, визначені на

підставі аеродинамічного розрахунку.

З метою безпечного ведення процесу очищення димових газів передбачені наступні заходи:

- на газоході перед рукавним фільтром встановлено відсечний клапан, який закривається при температурі 250 °С (при температурі газу 230 °С передбачена сигналізація);
- при показаннях датчиків температури підшипників ексгаустера вище 80 °С і при підвищеній вібрації 7 мм/м виконується аварійна зупинка ексгаустера, при цьому засувка на газоході перед входом в борів закривається;
- при аварійному досягненні рівня пилу в бункерах рукавного фільтра передбачена сигналізація;
- передбачений контроль параметрів стисненого повітря.

Для регенерації фільтрувальних рукавів і системи пневмотранспорту необхідний стиснене повітря, класом очищення 6 згідно ГОСТ 17433-80 [51] та тиском від 0,4 МПа до 0,6 МПа. У проекті передбачена компресорна станція, яка розміщується в окремій будівлі. До складу компресорної станції входять: гвинтовий повітряний компресор, адсорбційний осушувач, масловологовідділювачі, ресивер (встановлюється на відкритому майданчику).

У компресорної станції передбачається видалення з приміщення теплого повітря, який утворюється при охолодженні компресора, і приплив зовнішнього повітря за допомогою осьового вентилятора. Для опалення приміщення компресорної станції передбачається тепловентилятор.

Для установки електротехнічного обладнання передбачається приміщення перетворювача частоти ексгаустера, яке складається з двох приміщень: трансформаторного приміщення і приміщення перетворювача частоти.

У трансформаторному приміщенні для видалення теплових виділень передбачаються вентиляційні решітки: припливна і витяжна. У приміщенні частотного перетворювача передбачається видалення з приміщення теплого повітря, який утворюється при охолодженні перетворювача частоти, і приплив

зовнішнього повітря, за допомогою осьового вентилятора. Для опалення приміщення перетворювача частоти передбачається тепловентилятор.

Проектом передбачається установка точкового рукавного фільтра (табл. 3.6) на бункері піддозіровці палива. У бункер надходить паливо (вугільний пил) за системою пневмотранспорту. На виході з фільтра встановлюється зворотний клапан.

Таблиця 3.6 – Технічна характеристика точкового рукавного фільтра

Найменування характеристики	Од. вим.	Показник
Кількість	шт.	1
Продуктивність пилезотної суміші, що очищується	м ³ /год.	1100
Температура пилезотної суміші, що очищується	°С	20
Максимальна вхідна запиленість	г/м ³	10
Залишкова запиленість повітря після фільтра	мг/м ³	30,0
Максимальний гідравлічний опір фільтра	Па	1500
Кількість рукавів фільтрувальних	шт.	40
Продукт	мм	Ø140x1500
Тиск азоту для системи регенерації	МПа	0,4-0,6
Витрата стисненого азоту для системи регенерації	нм ³ /хв.	0,25
Маса апарату	кг	710

Технічні характеристики обладнання системи пиловидалення та компресорного обладнання приведені у таблицях 3.7 та 3.8.

Компресорне обладнання передбачається підключити до мережі 0,4 кВ до трансформатора не відноситься до конкретної агломераційної машини, зокрема, до трансформатора власних потреб або трансформатору насосної станції.

Таблиця 3.7 – Технічна характеристика обладнання системи пиловидалення

Найменування характеристики	Од. вим.	Показник
Конвейер скребковий L = 9,05 м (під бункерами фільтру)	шт.	2
Продуктивність	кг/год.	1500
Потужність	кВт	3
Напруга	В	380
Конвейер скребковий L = 9,15 м (збірний)	шт.	1
Продуктивність	кг/год.	3000
Потужність	кВт	3
Напруга	В	380
Конвейер скребковий L = 5,6 (перевантажувальний)	шт.	1
Продуктивність	кг/год.	3000
Потужність	кВт	3
Напруга	В	380
Пневмокамерний насос	шт.	1
Продуктивність	т/год.	1
Циклон ЦН-15-300х1УП	шт.	1
Продуктивність	м ³ /год.	630

Таким чином, очищення технологічних газів до європейських норм досягається шляхом:

1. Заміни ексгаустера (підвищується розрідження та виникає можливість підвищення висоти шару шихти).
2. Установки нового газоочищення, що призведе до зниження викидів твердих речовин, SO_x та CO в атмосферу до нормативних показників.
3. Удосконалення аспіраційних систем, що призведе до зниження викидів твердих речовин в атмосферу до нормативних показників та призведе до нормативних умов праці на робочих місцях.

4. Демонтажу барабанів гасіння і охолодження повернення, що призведе до винятку викидів паро-пилової суміші на території аглодоменого виробництва.

Таблиця 3.8 – Технічна характеристика компресійного обладнання

Найменування характеристики	Од. вим.	Показник
Компресор гвинтовий повітряний	шт.	1
Продуктивність по стислому повітрю	м ³ /хв.	30,0
Тиск стислого повітря	МПа	0,8
Потужність	кВт	200
Напруга	В	380
Об'єм масла	л	150
Маса	кг	3800
Ресивер	шт.	1
Об'єм	м ³	10
Допустимий тиск	МПа	0,8
Маса	кг	2270
Осушувач	шт.	1
Пропускна здатність	м ³ /хв.	39,0
Робочий тиск	МПа	0,6-1,0
Потужність нагрівача	кВт	12
Напруга	В	380
Маса	кг	1850
Масловологовідділювач	шт.	3
Пропускна здатність	м ³ /хв.	39,0
Маса	кг	78

Система автоматизації в агломераційному цеху забезпечує наступні функції:

– управління окремими вузлами і установками обладнання в ручному і автоматичному режимах;

- підтримання параметрів технологічного процесу в заданих межах;
- забезпечує технологічну, попереджувальну і аварійну сигналізацію;
- виконує блокування і захисні заходи у разі порушення встановленого режиму роботи;
- збирання, первинна обробка, і реєстрація інформації про технологічні процеси та стан технологічного обладнання;
- реєстрація всіх дій оператора в журналі подій;
- відображення на дисплеях робочих місць технологічних та аварійних повідомлень;
- відображення інформації про поточні параметри технологічного процесу на дисплеях робочих станцій у вигляді графічних мнемосхем, таблиць і графіків (візуалізація технологічних процесів і стану обладнання);
- виключає створення небезпечних ситуацій через порушення операторами
- послідовності операцій (блокування помилкових дій);
- формування змінних (добових) місячних звітів про роботу установки.

Іншими словами, вдосконалення технологічного газоочищення та пиловидалення в умовах аглофабриці дозволяє досягти вмісту пилу на викиді в атмосферу не більше 30 мг/м^3 , CO до 6500 мг/м^3 , SO_x не більше 500 мг/м^3 та знизити загальний вплив пилу від шару спеченого агломерату під час його розвантаження з агломераційної машини.

3.3 Техніко-економічне обґрунтування доцільності удосконалення агломераційного цеху в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»

3.3.1 Розрахунок зниження витрат на сировину

Головний продукт виробництва агломераційного цеху №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» є залізо-марганцевий

агломерат, собівартість якого при застосуванні капітального ремонту агломераційної машини №1 та удосконалення технології спікання агломерату знизиться за рахунок зниження на 20 % витрати палива (табл. 3.9). Собівартість 1 тонни чавуну доменного цеху відповідно теж знизиться за рахунок зниження собівартості агломерату (табл. 3.10) та зниження на 3,4 % витрати коксу (табл. 3.11).

Таблиця 3.9 – Зниження витрат на паливо в шихту

Найменування	Фактичні витрати на 1 т агломерату			Витрати, що плануються на 1 т агломерату			Зниження витрат, грн.
	Кількість, т	Ціна, грн./т	Сума, грн.	Кількість, т	Ціна, грн./т	Сума, грн.	
Паливо в шихту	0,04828	1994,94	96,32	0,03862	1994,94	77,05	19,26

Таблиця 3.10 – Зниження витрат на агломерат

Найменування	Кількість, т	Фактичні витрати на 1 т чавуну		Витрати, що плануються на 1 т чавуну		Зниження витрат, грн.
		Ціна, грн./т	Сума, грн.	Ціна, грн./т	Сума, грн.	
Агломерат	1,7396	1084,50	1886,60	1065,24	1853,09	33,51

Таблиця 3.11 – Зниження витрат на кокс

Найменування	Фактичні витрати на 1 т чавуну			Витрати, що плануються на 1 т чавуну			Зниження витрат, грн.
	Кількість, т	Ціна, грн./т	Сума, грн.	Кількість, т	Ціна, грн./т	Сума, грн.	
Витрата коксу	0,4162	3829,13	1593,68	0,40224	3829,13	1540,22	53,47

3.3.2 Розрахунок економічної ефективності аглофабрики

З урахуванням запланованого збільшення обсягу виробництва чавуну до 554522 т/год. річний приріст виробництва чавуну складає (табл. 3.12) [52]:

$$(554522 - 536522) \cdot 4271 = 76\,886,30 \text{ тис.грн./рік.}$$

Таблиця 3.12 – Річний приріст виробництва чавуну

Найменування	Традиційна технологія, т/год.	Вдосконалена технологія, т/год.	Ціна, грн./т	Річний приріст, тис.грн./рік
Виробництво чавуну	536 522	554 522	4271	76 886,30

Невід’ємною складовою витрат є додаткові витрати на електроенергію (табл. 3.13), які впливають на загальний економічний ефект від вдосконалення агломераційної машини №1 (табл. 3.14).

Таблиця 3.13 – Річні витрати на споживання електроенергії

Найменування,	Споживання, кВт/год.	Час роботи, год/рік	Тариф, грн./кВт·год.	Споживання, кВт·год/рік	Витрати на рік, тис. грн.
Споживання електроенергії	1 243	8 760	1,4314	10 888 680	15 586,06

Таким чином, показано техніко-економічне обґрунтування доцільності вдосконалення агломераційного цеху в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат, яке призведе до:

- підвищення продуктивності доменної печі на 5 %;
- зниження собівартості чавуну на 4 \$;

- отримання прибутку через приріст виробництва чавуну 22 млн. \$/рік.

Таблиця 3.14 – Загальний економічний ефект від вдосконалення агломераційного цеху в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат»

№	Показник	Сума, тис.\$/рік
1	Зниження собівартості чавуну, в.т.ч:	+1 789,25
	- за рахунок зниження собівартості агломерату	689,34
	- за рахунок зниження витрати коксу	1 099,90
2	Приріст виробництва чавуну	+2 947,95
3	Всього:	+4 737,20
4	Додаткові витрати	-597,60
5	Економічний ефект	+4 139,60

3.4 Висновки

1. Встановлено, що вдосконалення технології спікання агломерату дозволить:

- знизити вміст дрібниці в агломераті з 14,1 % до 8 %;
- зменшити на 6,5 % кількість возврату;
- знизити витрату коксу на 3,4 %;
- знизити питомі витрати твердого палива на спікання агломерату до 20 %;
- використовувати все гаряче повітря від зони охолодження агломерату для процесу його спікання, тим самим підвищуючи енергоефективність процесу спікання;
- видавати з агломераційної машини продукт з температурою ~ 200 °С;
- проводити термічну обробку агломерату (знижуючи його крихкість,

підвищуючи пластичність і збільшуючи вихід придатного продукту);

– підвищити продуктивність агломераційної машини №1 до 933 тис.т/рік.

2. Показано, що удосконалення технології газоочищення та пиловидалення в умовах аглофабриці дозволяє досягти вмісту пилу на викиді в атмосферу не більше 30 мг/м^3 , CO до 6500 мг/м^3 , SOx не більше 500 мг/м^3 та знизити загальний вплив пилу від шару спеченого агломерату під час його розвантаження з агломераційної машини.

3. Запропоновано для капітального ремонту агломераційної машини №1 виконати наступні етапи:

- ремонт поздовжніх та поперечних ущільнень агломераційної машини;
- ремонт газового колектора, вакуум-камер, пилових мішків, компенсаторів в зоні спікання, а також вакуум-камер в зоні охолодження;
- відновлення термічної ізоляції на газовому колекторі, вакуум-камерах, пилових мішках.

4. Приведено техніко-економічне обґрунтування доцільності удосконалення агломераційного цеху №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат».

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

При вдосконаленні агломераційної фабрики №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» особлива увага приділяється охороні праці та техногенній безпеці. Впровадження нового технологічного газоочищення (див. підрозділ 3.2) призведе до зниження впливу шкідливих речовин на навколишнє середовище і поліпшення умов праці на робочих місцях.

При вдосконаленні газоочищення передбачені заходи, спрямовані на забезпечення безпечної експлуатації обладнання і газоходів:

- теплоізоляція поверхонь з високою температурою;
- освітлення робочих місць;
- для обслуговування устаткування виконані стаціонарні сходи і майданчики з огорожами;
- герметичність газоходів і трубопроводів.

4.1 Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників аглодоменного виробництва

Аналіз потенційно-небезпечних та шкідливих чинників аглодоменного виробництва, що безпосередньо впливають на робітників агломераційного цеху, показав вплив на людину наступних чинників:

- шуму від роботи дробарок, грохотів, барабанного сепаратору;
- підвищеної температури повітря біля трубчастої печі, що обертається, ексгаустера, агломераційної машини;
- небезпека ураження електричним струмом;
- надмірна запиленість і загазованість повітря та інші [53].

Основні джерела виділень шкідливих речовин в аглодоменному виробництві – ливарний двір і бункерна естакада.

Основну шкідливість представляє оксид вуглецю - безбарвний газ, що не

має запаху і що не надає дратівливих дій на організм людини, він може викликати отруєння без будь-яких попередніх відчуттів. Потрапляючи в організм людини через легені, він порушує нормальні процеси газового обміну і окислення в організмі, що приводить до тяжких наслідків. Об'ємна частка оксиду вуглецю складає 29 %. Шкідливим чинником є також наявність високих концентрацій пилу в повітрі робочої зони при випуску чавуну і шлаку. Пил, незалежно від її складу, покриваючи шкіру, може закупорювати виходи сальних і потових залоз, що викликає захворювання шкіри. Пил в доменному виробництві нетоксичний, із вмістом оксиду кремнію до 10 %. Гранично допустима концентрація пилу в робочій зоні складає 4 мг/м^3 .

Під впливом шуму настає безсоння, знижується працездатність, може виникнути професійне захворювання - туговухість. Допустимий рівень шуму складає 80 дБА. Вібрація впливає на нервову систему, на кровоносні судини. При тривалому контакті може виникнути вібраційна хвороба. Норма вібрації складає 92 дБ при допустимій коливальній швидкості 2 мм/с [54]. Шумові характеристики обладнання повинні не перевищувати допустимі значення згідно ГОСТ 12.1.003-83 [55].

В умовах агломераційної фабрики прийняті норми освітлення 20 лк для чергового освітлення (розряд зорової роботи VШг) і для ремонтного 200 лк (розряд зорової роботи Vв), згідно з ДБН В.2.5-28-2006 [56].

Санітарно - гігієнічна характеристика робочого місця горнового представлена в (табл. 4.1).

В якості заходу щодо усунення запиленості використовується:

- організація локальної витяжної вентиляції в місцях вивантаження, завантаження сирих матеріалів;
- матеріали, що порошать, повинні переміщатися пневмотранспортом, гідротранспортом і іншими раціональними способами. Пил після збору повинен поступати в апарати, які очищають пил: циклони, рукавні фільтри.

В якості заходу для зниження шкідливої дії тепловиділень найбільшого розповсюдження набули стаціонарні або переносні вентиляційні установки для

організації повітряного душу на робочих місцях.

Таблиця 4.1 – Карта умов праці на робочому місці агломератника

№ з/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення	Фактичне значення	III клас - шкідливі і небезпечні умови, характер праці			Тривалість дії чинника за зміну, %
				I ст.	II ст.	III ст.	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ :						
	I клас безпеки	0,05	0,36			7,2	90
	II клас безпеки	2,0	0,85				
	III-IV клас безпеки	10,0	39,0			3,9	90
	азоту діоксид	20,0	13,6				
	ангідрид сірчистий						
	вуглець оксид						
2	Пил фіброгенної дії, г/м ³	4	24,0		6		80
3	Шум, дБА	80	86	6			80
4	Вібрація (загальна), дБ	92	96		4		90
5	Мікроклімат в приміщенні:						
	- Температура, °C	26	37			11	90
	- Швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,6	0,4				90
	- Відносна вологість повітря, %	40-60	37				90
	- Інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	280		140		90
6	Тяжкість і напруженість праці	Категорія робіт - важка, III напружена					

4.2 Електробезпека

В системі електропостачання забезпечений захист людей від ураження електричним струмом як при відсутності пошкодження в електроустановці, так і при його наявності. Для цього застосовано поєднання заходів захисту від прямого та непрямого дотику [56].

Як заходи захисту від прямого дотику передбачені:

– огорожі та оболонки;

- ізоляція струмоведучих частин;
- розміщення поза зоною досяжності;
- всі струмоведучі частини заземлені.

Існуючі та проєктовані заходи захисту від ураження електричним струмом відповідають вимогам норм і правил України [57].

Монтаж приладів і засобів автоматизації, включаючи трубні проводки і заземлення, виконані відповідно до СНиП 3.05.07-85 [58].

З метою безпечного ведення процесу, а також попередження аварійних ситуацій передбачено:

- сигналізація відхилення технологічних параметрів від допустимих;
- заземлення приладів і засобів автоматизації, які можуть опинитися під напругою [57].

Тимчасові мережі електропостачання та освітлення повинні бути влаштовані у відповідності з вимогами ДБН А.3.2-2-2009 [59].

Роботи з усунення виявлених дефектів і профілактичні роботи треба виконувати тільки після відключення обладнання і трубопроводів від всіх джерел енергопостачання та заземлення всіх елементів обладнання. У разі ураження електричним струмом необхідно знеструмити обладнання, вжити заходів, що попереджають падіння потерпілого, приступити при необхідності до виконання штучного дихання.

4.3 Пожежна та техногенна безпека агломераційного цеху

Пожежна безпека при будівництві повинна забезпечуватися розробкою і виконанням заходів щодо запобігання пожежам, і заходів щодо пожежної захисту згідно з ДСТУ 8828:2019 [60].

До початку проведення робіт з будівництва повинно бути:

- призначена відповідальна особа за пожежну безпеку з числа ІТП генпідрядної організації;
- розміщені тимчасові будівлі, споруди і мережі відповідно до норм

пожежної безпеки;

- виконані вимоги щодо забезпечення будівельних майданчиків пожежними гідрантами і протипожежним інвентарем;

- тимчасові адміністративно-господарські, побутові та виробничі будівлі та споруди, а також місця виконання будівельно-монтажних робіт з підвищеною пожежною небезпекою повинні бути укомплектовані первинними засобами пожежогасіння.

Забороняється проводити складування горючих будівельних матеріалів і влаштовувати майданчики відстою будівельної техніки в протипожежних розривах між будівлями і спорудами.

Горючі і легкозаймісті матеріали і рідини повинні складуватися в спеціально відведених і огорожених місцях.

Під час гасіння пожежі будівель і споруд з незахищеними металевими конструкціями водою слід пам'ятати, що різкі коливання їх температур призводять до деформації, втрати міцності і обвалення. Незахищені сталеві конструкції починають деформуватися при безпосередньому впливі на них температури понад 500 °С.

Підходи і проїзди до пожежних агрегатів, кранів, а також первинним пристосуванням для гасіння пожежі не повинні захаращуватися.

Всі кабельні і електричні приміщення обладналися пожежною сигналізацією.

Для виключення загоряння в транспортних галереях неприпустимо застосування відкритого вогню. На місці проведення вогняних робіт при ремонті необхідно підготувати первинні засоби пожежогасіння. Щоб уникнути загоряння транспортних стрічок забороняється приймати неохолоджений агломерат і кокс з температурою вище 100 °С.

Щоб уникнути пожежі на газових комунікаціях забороняється користуватися факелом для відігрівання газопроводу і арматури, а також для визначення місця витоку газу; застосовувати дерев'яні пробки для закриття штуцерів на газопроводах; складувати поблизу газопроводу горючі матеріали;

підпалювати газ, що випускається при продуванні газопроводу.

Евакуація людей з будівлі агломераційного цеху у разі виникнення пожежі забезпечується через евакуаційні виходи, які повинні вести:

- з приміщення першого поверху безпосередньо назовні;
- з приміщень будь-якого поверху (окрім першого) в коридор, ведучий на сходову клітку;

Кількість евакуаційних виходів повинна бути не менше двох.

Електрична пожежна сигналізація служить для швидкого оповіщення служби пожежної охорони про виниклу пожежу в якому-небудь приміщенні доменного цеху. При необхідності пожежна сигналізація може бути суміщена з охоронною сигналізацією [53], [54].

4.4 Висновки

1. Проаналізовані потенційно-небезпечні та шкідливі чинники в агломераційному цеху №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» та встановлено, що робота в цеху є важкою напруженою працею з подальшим зростанням захворюваності з втратою працездатності та проявом початкових ознак професійної патології.

2. В умовах агломераційного цеху №2 ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» запропоновані заходи щодо усунення запиленості приміщень, зниження шкідливої дії тепловиділень, захисту від ураження електричним струмом, пожежна та техногенна безпека агломераційного цеху.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі теоретичного узагальнення досвіду агломераційного виробництва запропоновано напрями вирішення проблеми вдосконалення технології спікання агломерату за рахунок використання енергозберігаючих засобів.

2. Визначено методику вдосконалення агломераційної фабрики №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» шляхом вдосконалення технології спікання агломерату, технологічного газоочищення та пиловидалення і капітального ремонту агломераційної машини №1.

3. Встановлено, що удосконалення технології спікання агломерату дозволить:

- знизити вміст дрібниці в агломераті з 14,1 % до 8 %;
- зменшити на 6,5 % кількість повернення;
- знизити питомі витрати твердого палива на спікання агломерату до 20 %;
- знизити витрати коксу на 3,4 %;
- використовувати все гаряче повітря від зони охолодження агломерату для процесу його спікання, тим самим підвищуючи енергоефективність процесу спікання;
- видавати з агломераційної машини продукт з температурою ~ 200 °С;
- проводити термічну обробку агломерату (знижуючи його крихкість, підвищуючи пластичність і збільшуючи вихід придатного продукту);
- підвищити продуктивність агломераційної машини №1 до 933 тис.т/рік.

4. Показано, що удосконалення технологічного газоочищення та пиловидалення в умовах аглофабриці дозволяє досягти вмісту пилу на викиді в атмосферу не більше 30 мг/м³, СО до 6500 мг/м³, SO_x не більше 500 мг/м³ та знизити загальний вплив пилу від шару спеченого агломерату під час його розвантаження з агломераційної машини.

5. Запропоновано для капітального ремонту агломераційної машини №1 виконати наступні етапи:

- ремонт поздовжніх та поперечних ущільнень агломераційної машини;
- ремонт газового колектора, вакуум-камер, пилових мішків, компенсаторів в зоні спікання, а також вакуум-камер в зоні охолодження;
- відновлення термічної ізоляції на газовому колекторі, вакуум-камерах, пилових мішках.

6. Приведено техніко-економічне обґрунтування доцільності удосконалення агломераційного цеху №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат».

7. Проаналізовані потенційно-небезпечні та шкідливі чинники в агломераційному цеху №2 в умовах ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» та запропоновані заходи щодо усунення запиленості приміщень, зниження шкідливої дії тепловиділень, захисту від ураження електричним струмом, пожежна та техногенна безпека агломераційного цеху.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Борискин И. К., Арыков Г. А., Піриков А. Н. Интенсивная механическая обработка агломерата. Теория, оборудование, технология. Москва : МИСИС, 1998. 248 с.
2. Дорогой Е. В. Современное состояние вопроса окомкования агломерационной шихты, содержащей большое количество тонкоизмельчённых материалов. Сообщение 1: Анализ шихтовых условий агломерационного производства Украины. *Сборник научных трудов ДонГТУ*, 2013. №40. С. 149–154.
3. Жилкин В. П., Доронин Д. Н. Производство агломерата. Технология, оборудование, автоматизация ; под общ. ред. Г. А. Шалаева. Екатеринбург : Уральский центр ПР и рекламы, 2004. 292 с.
4. Хейфец Б. С., Елинсон И. М., Ловчиновский Э. В. Агломерационное, окомковательное и доменное оборудование : каталог-справочник. Ч. 1 : Агломерационное и окомковательное оборудование. Москва : Metallurgy, 1970. 318 с.
5. Вегман Е. Ф. Теория и технология агломерации. Москва : Metallurgy, 1974. 288 с.
6. Сигов А. А., Шурхал В. А. Агломерационный процесс. Киев : Техніка, 1969. 232 с.
7. Абрамов Ф. А. Рудничная аэрогазодинамика : учеб. пособие для вузов; ред. Ф.С. Клебанов. Москва : Недра, 1972. 272 с.
8. Агломерационное и окомковательное оборудование / Б. С. Хейфец, И. М. Елинсон, Э. В. Ловчиновский и др. Москва : Metallurgy, 1970. 318 с.
9. Козлова С. А., Шалаев И. М., Раева О. В., Киселев А. В. Оборудование для очистки газов промышленных печей: электронный конспект лекций. Красноярск : СФУ, 2007. 156 с
10. Коротич В. И., Пузанов В. П. Газодинамика агломерационного процесса. Москва : Metallurgy, 1969. 208 с.

11. Николаев К. М. Аглодоменное производство. Анализ работы в апреле 2010 года. Алчевск : АМК, 2010. 65 с.
12. Сталинский Д. В., Ботштейн В. А., Рыжавск А. З. «Єнергосталь» : Комплексный подход к решению проблемы окружающей среды и энергосбережения. *Экология и промышленность*. 2004. №1. С. 5–9.
13. Мищенко И. М. Состояние и основные направления повышения технического уровня агломерационного производства предприятий чёрной металлургии. *Металлургические процессы и оборудование*. 2005. №1. С. 23–26.
14. Коротич В. И., Фролов Ю. А., Бездежский Г. Н. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург : ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ», 2003. 400 с.
15. Публичное акционерное общество «Дніпровський металургійний комбінат». URL: <http://www.dmkd.dp.ua> (дата звернення: 04.04.2022).
16. Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. Металлургия чугуна. Київ : Высшая школа, 1981. 496 с.
17. Воскобойников В. Г., Кудрин В. А., Якушев А. М. Общая металлургия : учебн. для вузов ; 6-е изд., перераб. и доп. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2005. 768 с.
18. Уралмашзавод. URL: <https://www.uralmash.ru> (дата звернення: 04.04.2022).
19. Вегман Е. Ф. Металлургия чугуна : учебн. для вузов ; 3-е изд., перераб. и доп. ; под редакцией Ю. С. Юсфина. Москва : ИКЦ «Академкнига», 2004. 774 с.
20. Берштейн Р. С., Станишевский Б. А., Быткин В. Н., Болгов В. Г. Совершенствование технологии спекания агломерата. Днепропетровск : Проминь, 1975. 120 с.
21. Базилевич С. В., Вегман Е. Ф. Агломерация. Москва : Металлургия, 1961. 368 с.
22. Производство агломерата и окатышей : справ. изд. / С. В. Базилевич, А. Г. Астахов, Г. М. Майзель и др. Москва : Металлургия, 1984. 216 с.

23. ГОСТ 15054-80. Межгосударственный стандарт. Руды железные, концентраты, агломераты, окатыши. Методы отбора и подготовки проб для химического анализа и определения содержания влаги ; утверждён и введён в действие с 13.06.1980 г. Москва : ИПК Издательство стандартов, 1980. 15 с.

24. ГОСТ 15137-77. Руды железные и марганцевые, агломераты и окатыши. Метод определения прочности во вращающемся барабане ; утверждён и введён в действие с 25.05.1978 г. Москва : Государственный комитет стандартов совета министров СССР, 1978. 5 с.

25. ГОСТ 19575-84. Руды железные, агломераты и окатыши. Метод определения прочности в процессе восстановления ; введён 01.01.1985 г. Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 5 с.

26. ГОСТ 17212-84. Руды железные, агломераты и окатыши. Метод определения восстановимости ; введён в действие с 01.01.1986 г. Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. 5 с.

27. Старк С. Б. Пылеулавливание и очистка газов в металлургии. Москва : Металлургия, 1977. 328 с.

28. Юдашкин М. А. Пылеулавливание и очистка газов в чёрной металлургии. Москва : Металлургия, 1984. 320 с.

29. Ветошкин А. Г. Процессы и аппараты газоочистки: учебн. пособ. Пенза : Из-во ПГУ, 2006. 202 с.

30. Швыдкий В. С., Ладычев М. Г. Очистка газов : справочник. Москва : Теплоэнергетик, 2002. 640 с.

31. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов : справ. изд./ Г. М. А. Алиев. – Москва : Металлургия, 1986. 544 с.

32. Алиев Г. М. А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок: учебник. Москва : Металлургия, 1988. 368 с.

33. Толочко А. И., Славин В. И., Супрун Ю. М., Хайрутдинов Р. М. Утилизация пылей и шламов в черной металлургии. Челябинск : Металлургия, Челябинское отделение, 1990. 152с.

34. ГОСТ 21718-84. Государственный стандарт союза ССР. Материалы строительные. Диэлькометрический метод измерения влажности ; введён в действие с 09.08.1984 г. Москва : Государственный комитет СССР по делам строительства, 1984. 4 с.

35. ГОСТ 8269-76. Щебень из естественного камня, гравий и щебень из гравия для строительных работ. Методы испытаний. Часть 2 ; введён в действие с 01.01.1977 г. Москва : Государственный стандарт союза ССР, 1985. 50 с.

36. ГОСТ 8735-88. Межгосударственный стандарт. Песок для строительных работ. Методы испытаний ; введён в действие с 05.10.1988 г. Москва : Стандартиформ, 2000. 23 с.

37. СН 527-80. Инструкция по проектированию технологических стальных трубопроводов P_y до 10 МПа / Госстрой СССР ; введён 01.01.1982. Москва : Стройиздат, 1981. 47 с.

38. ДСТУ Б А.2.4-1:2009 СПДБ. Система проектної документації для будівництва. Умовні зображення і позначки трубопроводів та їх елементів ; прийнято від 24.01.2009 р., №31 та набуло чинності від 01.01.2010 р. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 15 с.

39. ДБН В.2.6-98:2009. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення ; прийнято від 24.12.2009 р., №680 та набуло чинності від 01.07.2011. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2011. 75 с.

40. ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції. Норми проектування; прийнято від 10.06.2014 р., №167 та набуло чинності від 01.01.2015. Київ : Мінрегіон України, 2014. 75 с.

41. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування ; прийнято від 03.07.2006 р., № 220 та набуло чинності від 01.01.2014. Київ : Мінбуд України, 2006. 75 с.

42. ДСТУ Б В.2.7-176:2008. Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови ; прийнято та надало чинності від 26.12.2008

р., No 681 та від 30.09.2009 р., No 399. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. 27 с.

43. ДСТУ 3760:2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови ; прийнято від 11.12.2006 р., No 343 та надало чинності від 01.10.2007 р. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 28 с.

44. ДСТУ Б В.2.6-193:2013. Захист металевих конструкцій від корозії. Вимоги до проектування ; прийнято від 08.08.2014 р., №379 та надало чинності від 01.01.2014 р. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010.

45. ДСТУ Б А.2.4-5:2009 СПДБ. Система проектної документації для будівництва. Умовні графічні зображення та умовні позначки в документації з інженерно-геологічних вишукувань; прийнято та надало чинності від 23.01.2009 р., №23. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. 27 с.

46. ДСТУ 3582: 2013. Національний стандарт України. Інформація та документація. Бібліографічний опис скорочення слів і словосполучень українською мовою. Загальні вимоги та правила ; прийнято чинності наказом Мінекономрозвитку України від 22.08.2013 р. No1010. Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. 14 с.

47. ДСТУ 1.5:2015. Національна стандартизація. Правила розроблення, викладання та оформлення національних нормативних документів ; прийнято наказом ДП «УкрНДНЦ» від 29.08.2016 р. №254 та надало чинності від 01.02.2017. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 60 с.

48. ДСТУ ГОСТ 7.1-2006. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання : чинний з 2007-07-01. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 47 с. (Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи) (Національний стандарт України).

49. Ілюхін С. О., Воденніков С. А. Модернізація агломераційної машини №1 в умовах ПАТ «Дніпровський меткомбінат» за рахунок використання енергозберігаючих засобів. *Збірник наукових праць магістрантів кафедри металургії*, 2017. Вип. 13. С. 5–12.

50. Воденнікова О. С., Олійник Я. О. Можливості вдосконалення процесу агломерації при використанні енергозберігаючих засобів. *Екологічна*

безпека держави : тези доповідей Другого Всеукраїнського круглого столу (м. Київ, 15 грудня 2021 р.). Київ : ІТТА, 2021. С. 176–181.

51. ГОСТ 17433-80. Промышленная чистота. Сжатый воздух. Классы загрязнённости ; введён 30.12.1980 г. Москва : Государственный комитет СССР постандартам, 1981. 2 с.

52. Гринчуцький В. І., Карапетян Е. Т., Погріщук Б. В. Економіка підприємства : навч. посібн. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 304 с.

53. Бринза В. Н., Зиньковский М. М. Охрана труда в черной металлургии. Москва : Металлургия, 1982. 335 с.

54. Ефанов П. Д., Берг А. И. Охрана труда и техника безопасности в сталеплавильном производстве. Москва : Металлургия, 1987. 230 с.

55. ГОСТ 12.1.003-83. Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум ; введён 01.07.1984 г. Москва : Издательство стандартов, 1984. 11с.

56. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение; Утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 7.11.2016 г. N 777/пр и введен в действие с 8.05.2017 г. Москва : Минстрой России, 2016. 106 с.

57. Долин П. А. Основы техники безопасности в электроустановках : учеб. пособие для вузов. Москва : Энергоатомиздат, 1984. 448 с.

58. СНиП 3.05.07-85. Строительные нормы и правила. Системы автоматизации ; введённый 01.07.1986 г. Москва : Государственный комитет СССР по делам строительства, 1988. 30 с.

59. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві ; ведений 01.04.2012 р. Київ : Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2012.

60. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення ; прийнято від 27 лютого 2019 р. № 38 на надано чинності від 01.012020 г. Київ : ДП «УкрНДНЦ». 2020. 84 с.