

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ
І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної кваліфікаційної роботи**

**зі спеціальності 136 – Металургія
за освітньо-професійною програмою – Металургія чорних металів**

**Тема роботи: «Дослідження і розробка технологічних рішень щодо
використання побічних продуктів при виробництві залізорудного
агломерату»**

Виконав:

Здобувач вищої освіти
групи ЗМТ-21-1

_____ Олександр КОВТУНОВ

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Нормоконтролер

_____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Завідувач кафедри

_____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг
2025 р.

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

Дослідження і розробка технологічних рішень щодо використання побічних продуктів при виробництві залізорудного агломерату

Пояснювальна записка: 61 с., 19 табл., 12 рис., 40 джерел.

Об'єкт дослідження: технологія виробництва залізорудного агломерату з використанням побічних продуктів металургійного виробництва.

Предмет дослідження: вплив крупності побічних продуктів металургійного виробництва, що використовуються при спіканні залізорудного агломерату на якісні показники готового продукту та технологічні параметри процесу спікання.

Мета роботи: дослідження впливу крупності побічних продуктів металургійного виробництва, що використовуються при спіканні залізорудного агломерату на якісні показники готового продукту та розробка технологічних рішень, що покращують процес спікання агломерату з використанням побічних продуктів металургійного виробництва.

Методи дослідження: лабораторні дослідження.

Результати роботи: на основі практичних даних отриманих в ході лабораторних досліджень зроблено висновок про можливість використання побічних продуктів металургійного виробництва при спіканні залізорудного агломерату, виявлена закономірність технологічних параметрів агломерації від крупності побічних продуктів, проаналізовано та запропоновано оптимальну їх та технологічні рішення щодо покращення технологічних параметрів спікання при їх використанні.

РЕЦИКЛІНГ, ПОБІЧНІ ПРОДУКТИ, КРУПНІСТЬ ШЛАМІВ, ПІДГРІВ ШИХТИ, УКЛАДКА ШИХТИ НА АГЛОМЕРАЦІЙНУ СТРІЧКУ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Загальний огляд металургійного виробництва України.....	10
1.2 Міжнародні концепції поводження з промисловими відходами. Поняття рециклінгу та екопродукту	11
1.2.1 Досвід Японії в поводженні з промисловими відходами	11
1.2.2 Європейський досвід поводженням з промисловими відходами	12
1.2.3 Досвід поводженням з промисловими відходами в країнах СНД	13
1.3 Сучасні схеми утилізації відходів на підприємствах чорної металургії	15
1.3.1 Схеми утилізації відходів металургійних підприємствах країн ЄС	15
1.3.1 Схеми утилізації відходів металургійних підприємствах країн СНД ..	16
1.4 Побічні продукти металургійного виробництва	23
1.4.1 Шлаки чорної металургії	23
1.4.2 Шлами агломераційних фабрик.....	24
1.4.3 Відходи доменного виробництва	26
1.4.3.1 Шлами газоочищення доменних печей	26
1.4.3.2 Просип підбункерного приміщення доменних печей	27
1.4.4 Шлами газоочищення мартенівських печей	29
1.4.5 Шлами газоочищення конверторів	30
1.4.6 Шлами газоочищення електросталеплавильного виробництва.....	30
1.4.7 Стружка та окалина	31
1.5 Методи утилізації дрібнодисперсних залізовмісних відходів	32
1.6. Висновки за розділом 1 та постановка задач досліджень.....	36
РОЗДІЛ 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	38
2.1 Методика проведення досліджень	38
2.1.1 Мета досліджень.....	39
2.1.2 Обладнання	39

2.1.3	Сировинні матеріали	39
2.1.4	Хід виконання досліджень	40
2.1.5	Обробка результатів експерименту	41
2.1.6	Результати та їх аналіз	43
2.1.7	Висновки	47
2.2.	Шляхи зниження негативного впливу використання шламів в агломераційному процесі	48
2.2.1	Способи підігріву шихти перед спіканням	49
2.2.2	Удосконалення способу завантаження шихти	52
ВИСНОВКИ.....		55

ВСТУП

Нестримне зростання світового суспільства викликає бурний розвиток промисловості, невід'ємною складовою якої є металургія. За даними сайту worldsteel.org за останні 70 років світове виробництво сталі зросло на 1,7 млрд. т. і досягло 1,9 млрд. т. сталі в 2023 році. І хоча зараз ми спостерігаємо зменшення темпів росту, середньорічне зростання складає 0,2% [1], глобальне виробництво сталі залишається на високому рівні.

Основними споживачами сталі в світі є галузі будівництва, механічного обладнання та автомобільна промисловість. Загальний об'єм споживання цих галузей складає 80% [www.statista.com]. З огляду на це, можна зробити висновок про подальше неминуче зростання об'ємів світового виробництва сталі.

Разом із зростанням об'ємів виробництва сталі зростає кількість промислових відходів. У всьому світі підприємства чорної металургії щорічно утворюють більше ніж 50 млн. т. залізовмісного пилу та шламів, в перерахунку на 1 тону готової продукції утворюється 20 кг агломераційного пилу, 18 – 22 кг доменного пилу, 15 – 16 кг конверторних шламів, 33 – 44 кг прокатних шламів та окалини [2].

На території України щорічно утворюється 0,6 млрд. куб. м. різноманітних промислових відходів, котрі направляються у відвали, хвостосховища, терикони, відстійники та шламосховища. На сьогодні в них накопичено більше 8,6 млрд. куб. м. (або 25 млрд. т.) промислових відходів [3], які займають площу біля 100 тис. га [4].

Актуальність проблеми залучення в промислову переробку залізовмісних відходів металургійного та гірничорудного виробництва пов'язана зі скороченням природних запасів руд чорних металів, підвищенням цін на мінеральну сировину, а також зростаючими екологічними проблемами.

На більшості металургійних підприємствах України відходи не перероблюються в повному обсязі, що призводить до їх накопичення, яке в свою чергу супроводжується втратами сировини, забрудненням оточуючого середовища, а також збільшенням площ для їх зберігання. В результаті чого на металургійних підприємствах України зібралося більше 180 млн.т. шлаків та 70 млн. т. залізовмісних шлаків [5].

Перспективним напрямом у використанні залізовмісних відходів є їх окусування, що може стати одним із ключових факторів в зменшенні накопичення відходів металургійних підприємств.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальний огляд металургійного виробництва України

Чорна металургія є однією з головних галузей промисловості, яка разом із паливно – енергетичним комплексом формують конкурентоспроможність економіки країни. Станом на початок 2022 року в Україні нараховувалося 14 металургійних підприємств, що утворювали велику кількість промислових відходів, які подекуди досягали 30% об'єму випуску сталі. Біля 80% з яких це шлаки, інші 20% це шлами та пил газоочищення. За даними [6], на металургійних підприємствах України накопичено більше 70 млн.т. шлаків, з яких 21 млн. т. можуть бути повторно використані.

Металургійні підприємства України утворюють 38% загальних викидів промисловості, з яких на долю чорної металургії припадає 16%. Основним джерелом викидів шкідливих речовин є аглодоменний переділ (понад 70% викидів та відходів виробництва). З огляду на це, залучення техногенних відходів в повторне виробництво, приведе до скорочення втрат сировини на виробництво та можливості переробки накопичених промислових відходів, в результаті чого може бути отриманий значних економічний ефект.

1.2 Міжнародні концепції поводження з промисловими відходами. Поняття рециклінгу та екопродукту

1.2.1 Досвід Японії в поводженні з промисловими відходами

В 1991 році в Японії було прийнято Закон «Про стимулювання використання вторинних ресурсів» та сформована концепція рециклінгу відходів, як вторинних ресурсів, а також ведено поняття «розширеної відповідальності виробників», яка формувала відповідальність виробників за утилізацію (рециклінг) промислових відходів та виробів, що відпрацювали свій строк експлуатації. Законом передбачалося створення комплексу заходів по стимулюванню використання побічних продуктів виробництва, промислових відходів, а також активації зборів та переробки твердих побутових відходів.

На основі вищезазначеного Закону була сформована стратегія розвитку технології рециклінгу, в якій чорна металургія представляє собою унікальний технологічний комплекс з можливістю використання в якості вторинної сировини не лише відходів власного виробництва, а і відходів з інших промислових галузей без негативного впливу на оточуюче середовище. Володіючи таким потенціалом, підприємства чорної металургії в Японії відіграють ключову роль у вирішенні якісного і кількісного питання екологічних та енергетичних проблем століття. Їх роль була сформована наступним чином:

- використання металургійної інфраструктури, як основи для створення замкнутих міжгалузевих взаємозв'язків в області використання вторинних ресурсів;
- впровадження на металургійних підприємствах «екологічно чистих» енергоносіїв (водень, електрична енергія, тощо);
- зниження викидів вуглекислого газу шляхом впровадження більш екологічних металургійних процесів.

Наступним етапом у розвитку концепції рециклінгу Японського суспільства стало створення у 2003 році Комітету по розвитку портів рециклінгу. Згідно розробленої комітетом методології, порти рециклінгу представляють собою вузлові точки в мережевій системі руху вторинних ресурсів. В якості прикладів вже функціонуючих портів рециклінгу можуть бути представлені порти Муроран та Томакомаї, в систему котрих входять металургійні підприємства цих міст [7,8].

1.2.2 Європейський досвід поводженням з промисловими відходами

В Європейському союзі (далі в тексті «ЄС») формування системи рециклінгу здійснюється за допомогою реалізації концепції інтегрованої політики виробництва екопродукту (Integrated Product Policy або «IPP»), пріоритетними напрямками якої є:

- ресурсозбереження – зменшення кількості ресурсів, які використовуються в процесі виробництва;
- рециклінг – запобігання утворенню та утилізація відходів;
- якість та оптимальний строк експлуатації виробів;
- зниження викидів усіх типів, в тому числі при виробництві та рециклінгу;
- зменшення маси виробу, що пов'язано з ресурсозбереженням;
- здатність до ремонту, демонтажу та утилізації.

В зв'язку з важливою роллю рециклінгу в металургійному виробництві, всі продукти, що містять метали, мають вагомні переваги в політиці «IPP». В наш час вони складають приблизно 70% екопродуктів офіційно признаних ЄС.

В країнах ЄС рециклінг є ключовим елементом в охороні навколишнього середовища на підприємствах чорній металургії, який представляє собою

стратегію, що дозволяє справитися з великими потоками матеріалів і пов'язаними з цим факторами впливу на оточуюче середовище.

Ще одним важливим етапом у формуванні загальноєвропейської системи інтегрованої політики виробництва екопродукту – «ІРР» – стало впровадження регламенту Європарламенту в області поводження з хімікатами – «REACH» – Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (Регламент по Реєстрації, Оцінці, Знищенню та Обмеженню хімічних речовин) [9].

Метою впровадження даного регламенту в країнах ЄС стало: по – перше, обмеження особливо шкідливих та шкідливих речовин; по – друге, провести багатосторонні дослідження речовин на ступінь їх небезпеки та токсичності. Всі хімічні речовини, що ввозяться в країни ЄС потребують отримання додаткових дозволів з обов'язковим наданням інформації про повний ланцюг поставок.

1.2.3 Досвід поводженням з промисловими відходами в країнах СНД

З середини 1990-х років в інституті МІСіС була розроблена «Ресурсо – екологічна концепція розвитку суспільства», яка є конкретизацією «Концепції сталого розвитку» [10-12].

Основними положеннями «Ресурсо – екологічної концепції» є:

1. Головна проблема розвитку сучасного індустріального суспільства – це обмеженість практично всіх видів ресурсів: енергетичних, матеріальних, соціальних та екологічних.
2. Правильний вибір цілей суспільно – економічного розвитку та ролі конкретних рішень оцінюється на основі розрахунку загальних витрат ресурсів.
3. Дії, що викликають зниження використання ресурсів, здійснюють позитивний вплив на стан оточуючого середовища, тому більша частина

ефективних рішень по захисту оточуючого середовища знаходяться в сфері керування ресурсами та зводиться до вдосконалення технологій.

4. Вирішенням проблеми зниження витрат матеріальних ресурсів є рециклінг матеріалів.

5. Сучасне суспільство в результаті своєї промислової діяльності виготовляє, по суті, тільки відходи – техногенні матеріали. В зв'язку з виснаженням природних ресурсів, майбутнє людства залежить від ефективного використання техногенних ресурсів.

Головними практичними питаннями, які впливають з «Ресурсо – екологічної концепції» є:

- кількісна оцінка ресурсів всіх видів;
- розробка ефективної системи керування техногенними ресурсами на основі оцінки життєвого циклу товару.

Аналіз життєвого циклу товару («Life Cycle Analysis») ґрунтується на кількісній оцінці енергії і матеріалів, що були використані для виробництва продукції, а також кількості викидів в оточуюче середовище, що супроводжувалися її виробництвом [13,14].

Основні стадії життєвого циклу товару зводяться до наступних 4 позицій:

1. Отримання сировини;
2. Виробництво продукції;
3. Використання продукції;
4. Рециклінг.

1.3 Сучасні схеми утилізації відходів на підприємствах чорної металургії

1.3.1 Схеми утилізації відходів металургійних підприємствах країн ЄС

На початку століття підприємства компанії Thyssen Krupp (www.thyssenkrupp.com) досягли найкращих результатів у виробничому рециклінгу в галузі чорної металургії серед країн ЄС. Так, на початку 1980-х років компанія Thyssen Krupp Stahl AG стала першим підприємством чорної металургії в Німеччині на якому було впроваджено систему комп'ютеризованого збору даних про поводження з відходами. В результаті впровадження даної системи вдалося скоротити кількість побічних матеріалів з 2000 кг/т сталі (в 1940-і роки) до 600 кг/т (в 1990-х років). Окрім того, компанія Thyssen Krupp Stahl однією з перших в ЄС впровадила систему контролю ISO 14001 та систему аудиту екологічного управління EMAS. Основною метою цих впроваджень стала оптимізація структури повернення у внутрішні оборотні цикли промислових процесів всіх залізовмісних матеріалів [15].

Керування потоками матеріалів в компанії Thyssen Krupp Stahl AG починається з придбання сировинних матеріалів та організації роботи транспорту. Критичними елементами системи Керування потоками є рух побічних матеріалів виробничого рециклінгу, що містять залізо та вуглець, а саме:

- пил електрофільтрів аглофабрики;
- шлами та пил доменного виробництва;
- пил, шлам та шлаки киснево – конверторного цеха;
- окалина стану гарячої прокатки;
- шлам стану холодної прокатки, що містить гідроокис заліза;

Кількість всього пилу, який уловлюються сьогодні в агрегатах для очистки технологічних газів компанії Thyssen Krupp, складає 70 кг/т сталі [16]. Керування потоками матеріалів є комплексним заходом, що забезпечує контроль, аналіз, оцінку потоків матеріалів та безпосереднє курування ними.

1.3.1 Схеми утилізації відходів металургійних підприємствах країн СНД

В країнах СНД розробки в напрямку керування рухом вторинних ресурсів головним чином пов'язані з переробкою поточних та накопичених на підприємствах шлаків та шлаків.

Схема матеріальних потоків утворення та використання технологічних відходів в АТ «ЄВРАЗ Нижньотагільський металургійний комбінат» (АТ «ЄВРАЗ – НТМК») зображено на рисунку 1.1.

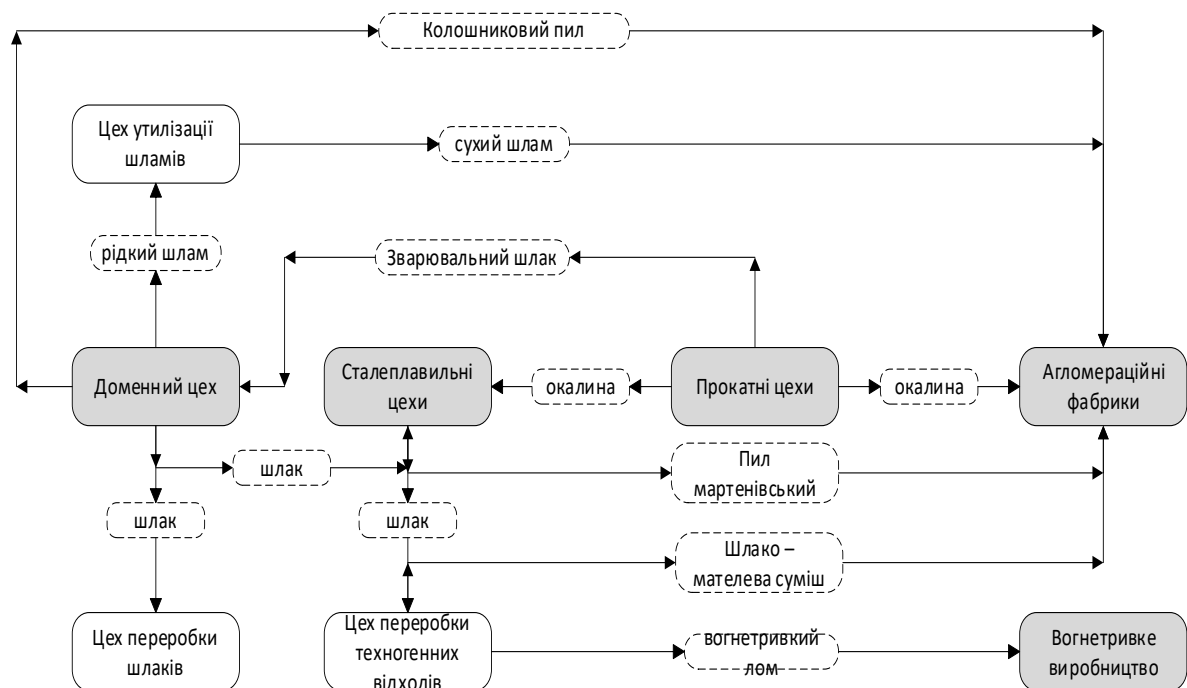


Рисунок 1.1 – Структура формування та використання технологічних відходів на АТ «ЄВРАЗ - НТМК»

Основними технологічними відходами підприємства (за об'ємами утворення) є шлаки та залізовмісні відходи, які можна розділити на три категорії: дрібнодисперсні (конверторний та доменний шлами, колошниковий пил, пил газоочищення мартенівських печей, окалина), нефракційні та фракційні.

В 1996 році для переробки відвальних сталеплавильних шлаків АТ «ЄВРАЗ – НТМК» було введено в експлуатацію цех переробки технологічних відходів фірми FRIEDRICH GROUP (Німеччина) [17].

На початку 1990-х років у ВАТ «Магнітогорський металургійний комбінат» (ВАТ «ММК») було проведено ряд дослідів, в результаті яких було розроблено технологію ефективного використання шлаків металургійного виробництва.

Починаючи з 1994 року в експлуатацію була проваджена установка фірми «ТРЕЙД МЕТІНВЕСТ» з переробки конвертерних шлаків поточного виробництва та частково відвальних мартенівських шлаків. В 1995 році було додатково введено в експлуатацію дві установки SKI (Фінляндія) з переробки відвальних мартенівських шлаків. Пересувні установки фірми SKI складаються з двох агрегатів: SKI-1, який призначений для класифікації шлаку по фракціям та виділення з нього магнітного продукту, інший - SKI-2, лише для виділення магнітного продукту. Отриманий магнітний продукт переробки використовується в агломераційному та доменному виробництві в кількості 35,6 кг/т агломерату та 2-12 кг/т чавуну [18].

На ВАТ «ММК» щорічно утворюється близько 1,2 млн. т. дрібнодисперсних відходів, з яких 0,7 млн. т. складають шлами та пил з агрегатів газоочищення. При цьому підприємство утилізує більше 1,0 млн. т. залізовмісних відходів виробництва. Основна частина вторинної сировини утилізується в агломераційному виробництві. Відпрацьована та впроваджена технологія переробки хвостів збагачення магнітногравітаційним методом, які зберігаються з 1951 року у хвостосховищах наливного типу. Запаси цієї

сировини складають 11,5 млн. т., в тому числі 2,2 млн. т. із вмістом заліза 25 - 30% та 9,3 млн. т. з вмістом заліза понад 30%.

В АТ «ЄВРАЗ Західно – Сибірський металургійний комбінат» (АТ «ЄВРАЗ - ЗСМК») більшість відходів металургійного виробництва утилізуються в складі шихти при виробництві офлюсованого агломерату [19], при цьому в переробці не приймають участі шлами доменного та сталеплавильного виробництва по причині підвищеного вмісту в них цинку і їх високої вологості. З метою переробки відвальних шламів доменного виробництва був розроблений унікальний комплекс, який безуспішно намагалися впровадити у виробництво.

Схема матеріальних потоків утворення та використання технологічних відходів в АТ «ЄВРАЗ ЗСМК» представлена на рисунку 1.2.

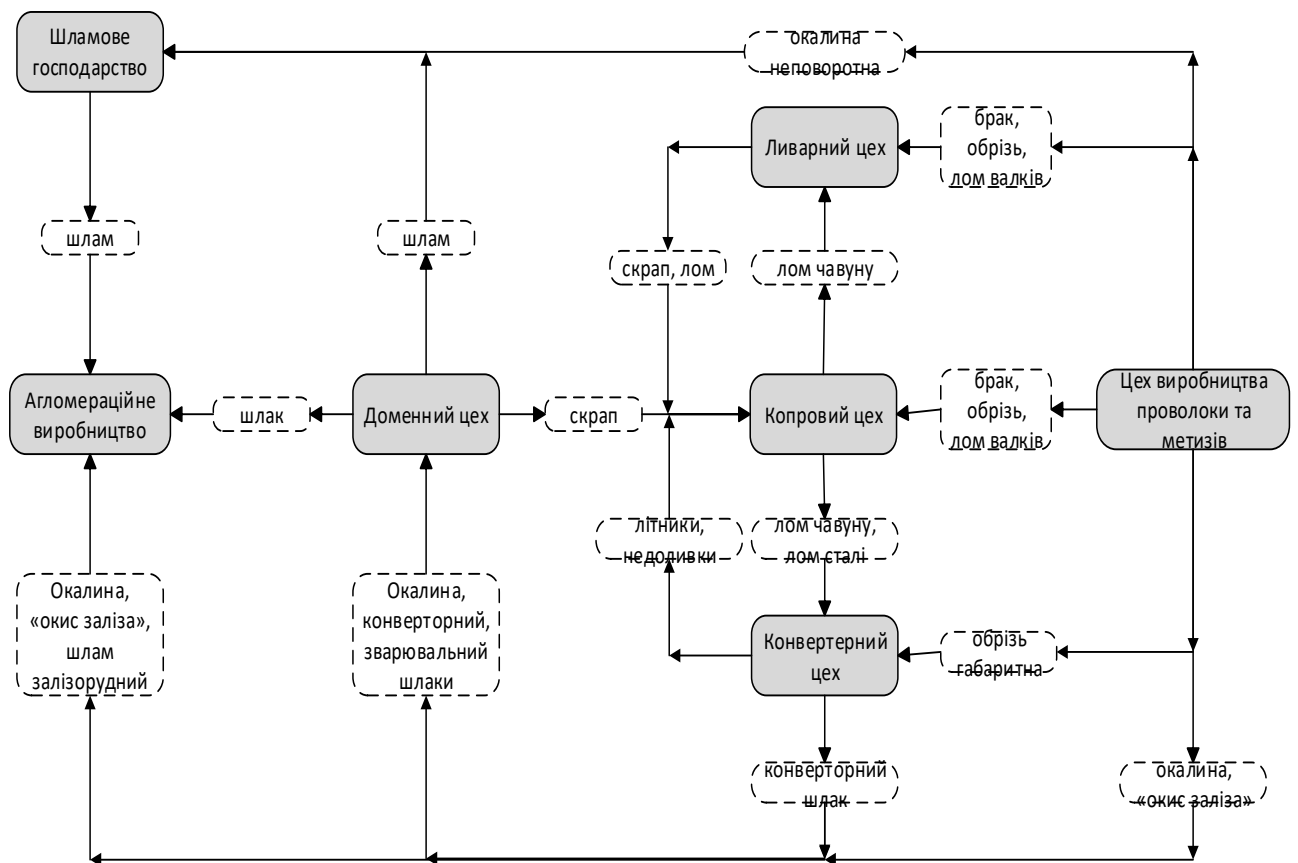


Рисунок 1.2 – Принципова схема руху вторинних матеріалів в технологічному циклі АТ «ЄВРАЗ - ЗСМК»

Кардинально іншим ресурсо – екологічним рішенням по утилізації відходів власного виробництва є підхід в ПрАТ «Новолипецький металургійних комбінат» (ПрАТ «НЛМК»). В ПрАТ «НЛМК» розробили, впровадили та сертифікували систему керування оточуючим середовищем у форматі стандартів ISO 14000, де в якості однієї з стратегій розвитку підприємства узгодили розвиток процесів переробки техногенних відходів і вторинних ресурсів.

На початку 2004 року ПрАТ «НЛМК» ввело в експлуатацію новий комплекс по переробці відходів виробництва. Принциповим моментом цієї концепції є виділення окремої доменної печі для здійснення функції глобального рециклінга. При цьому вирішується проблема екологічно безпечної утилізації відпрацьованого трансформаторного мастила, замасленої окалини, відпрацьованих моторних олив та інших відходів нафтопродуктів. Схема реалізації концепції глобального рециклінгу відходів в ПАТ «НЛМК» представлена на рисунку 1.3.

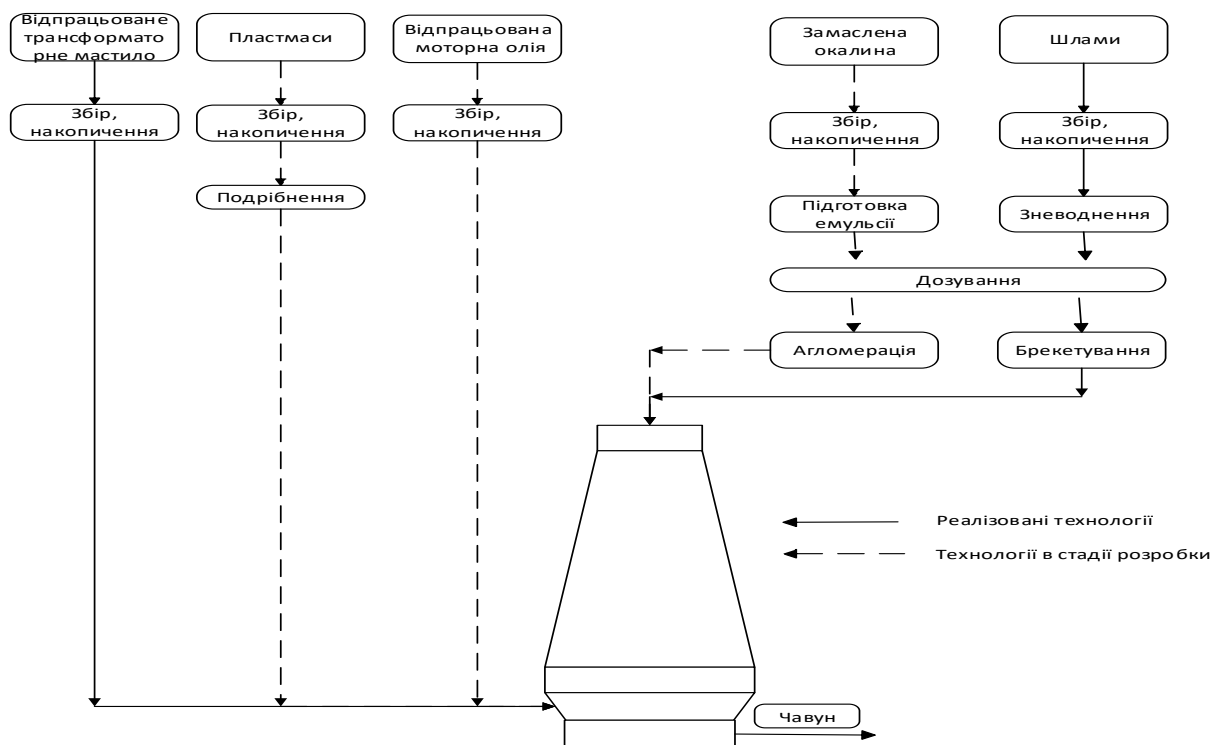


Рисунок 1.3 – Концепція глобального рециклінгу відходів виробництва в ПАТ «НЛМК»

В Україні найкращий результат з точки зору рециклінгу (переробки) технологічних відходів належить агломераційній фабриці металургійного виробництва ПрАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» (більше 400 кг/т агломерату), при цьому на підприємствах групи «Метінвест» (200 – 250 кг/т агломерату) [20].

На підприємстві ПрАТ «ММК ім. ІЛЛІЧА», що мав типову структуру виробництва та стандартне обладнання можна прослідкувати структуру та питомий об'єм утворення відходів, що характерна для металургійного підприємства повного циклу. Об'єм утворення відходів підприємства наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технологічні відходи в ПрАТ «ММК ім. ІЛЛІЧА» за структурними підрозділами

Структурний підрозділ	Вид вторинної сировини	Матеріал переділу, кг/т
Агломераційне виробництво	Відсів агломерату	73-79
	Шлам	46-66
	Пил	2,9-3,5
	<i>Разом:</i>	<i>128-142</i>
Доменне виробництво	Шлак	502-534
	Шлам	17-43
	Пил електрофільтрів	0,01
	Колошниковий пил	8-12
	Відсів коксу	25-29
	<i>Разом:</i>	<i>552-597</i>
Сталеплавильне виробництво	Шлак	218-314
	Шлам	43-53
	Пил	1,8-2,2
	Відсів вапна	10-17
	<i>Разом:</i>	<i>290-370</i>
Прокатне виробництво	Шлак зварювальний	12-13
	Шлам	1,5-1,8
	Нафтошлам	12-24

Структурний підрозділ	Вид вторинної сировини	Матеріал переділу, кг/т
	Прокатна окалина	26-28
	Залізний купорос	1,6-1,7
	<i>Разом:</i>	49-57
Сумарний об'єм відходів на тону сталі		1,06-1,18

З даних таблиці 1.1. видно, що найбільша кількість техногенних відходів утворюється в доменному та сталеплавильному виробництві. Динаміка накопичення та ступінь рециклінга цих видів виходів наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Об'єми утворення, накопичення та утилізації (рециклінга) техногенних відходів ПрАТ «ММК ім. Ілліча» за період 2000 - 2010 рр. (тис.т.)

Рік	Шлаки		Шлами	
	доменні	сталеплавильні	доменні	сталеплавильні
<i>Утворення відходів</i>				
2000	2151	1347,9	113	152,9
2004	2788	1718,7	227	247,3
2008	2268	1285,8	—	345,5
2010	2373	1227,6	80,8	300,5
<i>Наявність на початок року</i>				
2001	3465	5989,00	235	1771,50
2005	6567	11300,40	—	593,00
2009	2872	15065,65	—	412,15
2011	9728	16120,0	—	70,70
<i>Рециклінг/передано споживачам (%)</i>				
2000	—/ 1178(54)	170,7(12,7)/ —	589(100)/ —	—
2004	—/ 2058(74)	498,9(29)/ 1,87	227(100)/ —	1289,1/ >100
2008	—	595,4(46,3)/ —	214,5(100)/ —	627,9/ >100
2010	258(11)/ 948(40)	753,8/ 772	80,8(100)/ —	675,7/ >100

Станом на 2011 рік в ПрАТ «ММК ім. ІЛЛІЧА» було накопичено 10 млн. т. доменних та 16 млн. т. сталеплавильних шлаків.

Схема матеріальних потоків техногенних відходів в структурі ПрАТ «ММК ім. ІЛЛІЧА» за 2010 рік, представлена на рисунку 1.4.

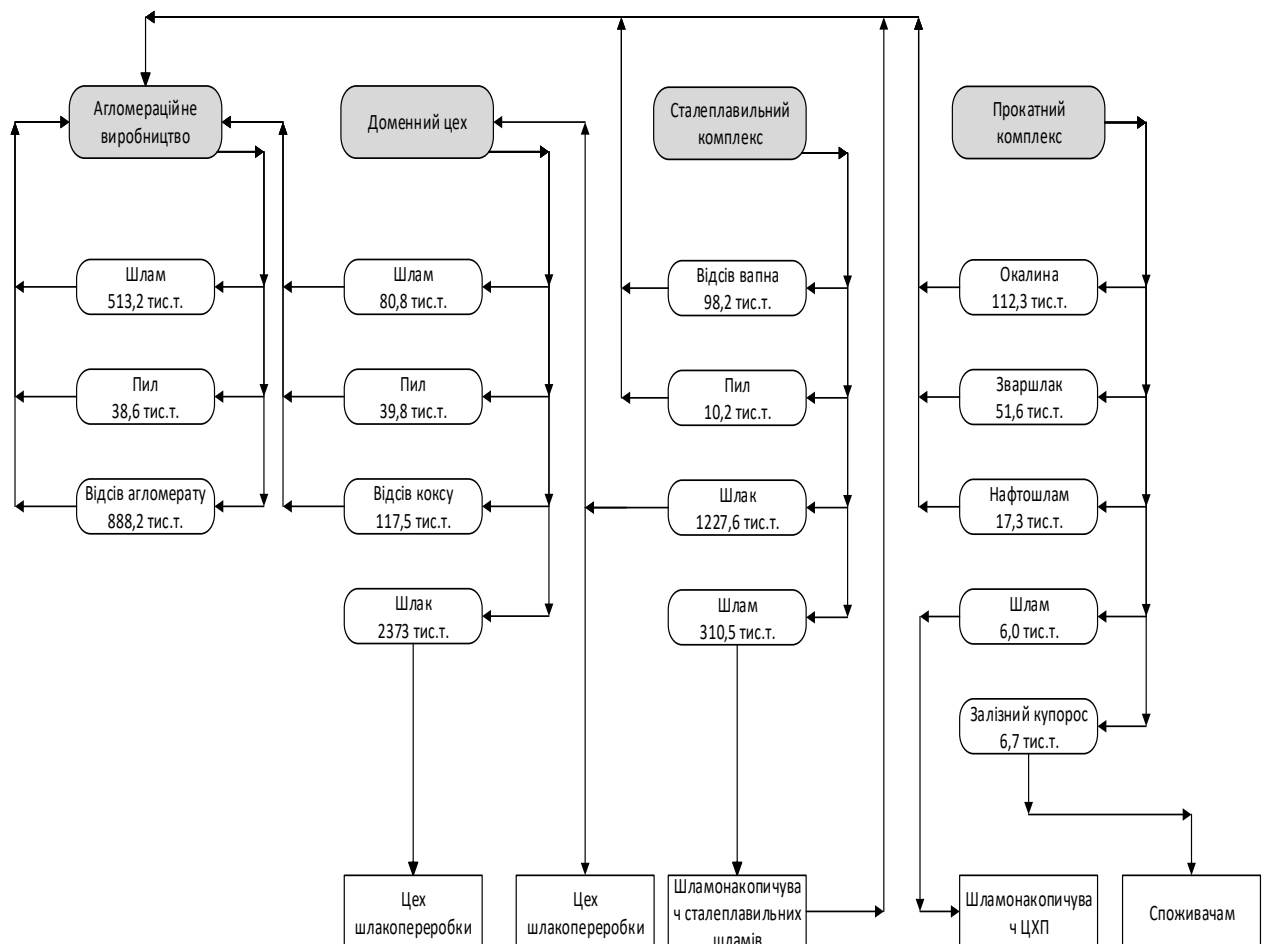


Рисунок 1.4 – Матеріальні потоки відходів в ПрАТ «ММК ім. ІЛЛІЧА»

В умовах підприємства ПрАТ «ММК ім. ІЛЛІЧА» одна тонна шламу з вмістом 40 - 48% заліза зменшує витрати залізорудної частина агломерату в середньому на 600 кг [20], при цьому ціна тони заліза в сталеплавильних шлаках та шламах у 8 - 10 разів менша, ніж в сировинних матеріалах [21].

1.4 Побічні продукти металургійного виробництва

Металургійні підприємства на ряду з великими об'ємами виробництва готової продукції, утворюють велику кількість відходів. В металургійному виробництві, відходи класифікуються по різним признакам, основними з яких є класифікація по фазовому стану та виробничим циклам [22].

- за фазовим станом техногенні відходи поділяються на: тверді (пил, шлак, шлам), рідкі (розчини, емульсії, суспензії) та газоподібні (окисли вуглецю, окисли азоту та ін.).
- за промисловими циклами: відходи збагачення (хвости, шлами, сливи), відходи в пірометалургії (розчини, осади, гази), тощо.
- за вмістом корисних компонентів (залізо та вуглець): багаті (вміст корисних компонентів 55 – 60%), відносно багаті (вміст корисних компонентів 40 – 55%) та бідні (вміст корисних компонентів 30 – 40%).

1.4.1 Шлаки чорної металургії

Шлак – це багатокомпонентні системи камінняподібної або склоподібної форми, які утворюється при виплавці металів або згоранні твердого палива.

Металургійні шлаки складаються з продуктів хімічної реакції між флюсами та залізорудною сировиною, а також домішками, що містяться в твердому паливі. При модулі основності більше 1,0 шлаки рахуються основними, при модулі основності менше 1,0 – кислими, при значенні близькому до 1,0 – нейтральними. Хімічний склад металургійних шлаків представлено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Хімічний склад металургійних шлаків

Найменування шлаку	Хімічний склад, %					
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	FeO	P ₂ O ₅
Доменний	35-45	32-40	10-20	6-8	0,5-1,0	-
Конверторний	45-55	13-21	-	2-6	10-20	1,0-1,5
Мартенівський	31-56	16-22	1-10	6-14	6-18	0,6-2,1
Електросталеплавильний	55-60	18-23	5-10	9-14	0,1-0,5	-

Хімічний склад шлаків напряму залежить від марки сталі, хімічного складу руди та флюсів [23].

Вихід металургійних шлаків складає від 0,40 до 0,65 т/т чавуну, що характеризує їх, як найбільш багатотоннажні тверді відходи в чорній металургії. Щорічно в світі утворюється близько 100 млн. т. доменних, 145 млн. т. конверторних та 6 млн. т. електросталеплавильних шлаків. Загальні площі відвалів перевищують 1 млн. га.

1.4.2 Шлами агломераційних фабрик

Шлами агломераційного виробництва по хімічному складу наближені до агломераційної шихти. Вони складаються з окислів заліза, кальцію та значної долі вуглецю. Хімічний та гранулометричний склад агломераційного пилю наведено в таблиці 1.4 та 1.5, відповідно.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад агломераційного пилю

Хімічний склад, %									
Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S	C
40-45	9-10	45-60	10-15	0,5-1,5	9-13	0,5-1,5	0,2-0,3	0,5-0,7	4-7

Таблиця 1.5 – Гранулометричний склад агломераційного пилу

Вихід класу, %									
+2,5	+1,6 -2,5	+1,0 -1,6	+0,63 -1,0	+0,32 -0,63	+0,16 -0,32	+0,10- 0,16	+0,063 -0,10	+0,05 -0,063	-0,05
6,8- 9,3	2,9- 3,2	2,4- 3,2	2,0- 2,7	3,8- 6,0	7,5- 12,2	8,5- 11,6	15,9- 16,1	7,2- 8,2	43,0- 27,5

Дисперсний склад шламу залежить від фізичного стану вихідних матеріалів та технологічних параметрів процесу спікання. Кількість пилу, що утворюється в момент спікання шихти, зростає при збільшенні в шихті дрібнодисперсного концентрату та шламів власного виробництва. Типовий дисперсний склад пилу в агломераційних газах наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6–Дисперсний склад агломераційного пилу

Масова частка, %	Діаметр часток, мкм				
	-30	+30-63	+63-100	+100-400	+400
Зона спікання	20,0	34,0	27,0	14,0	5,0
Зона охолодження	18,0	35,0	25,0	18,0	4,0

До 90% агломераційних шламів утворюються при видаленні пилу з пилових мішків газового колектора агломераційних машин та вентиляційних систем, апаратів сухої та мокрої очистки газів та гідравлічному прибиранні приміщень та дільниць, інші 10% - вентиляційні установки корпусів підготовки шихти, випалу вапняку, складів і т.п.

Шлами агломераційних фабрик належать до групи відносно багатих залізом. Щільність шламів складає 3,6 – 4,0 г/куб.см. Шлами агломераційного виробництва відрізняються полідисперсним складом: в них зустрічаються крупні часточки (більше 2,5 мм) та дріб'язок (менше 0,08 мм) [24].

1.4.3 Відходи доменного виробництва

1.4.3.1 Шлами газоочищення доменних печей

Шлами доменного виробництва уловлюються на стадіях грубої та тонкої очистки. На першій стадії (газоходи і сухі циклони) осідає колошниковий пил, на другій стадії (мокрій) – утворюється доменний шлам. Колошниковий пил по складу схожий з шихтою доменної печі при вмісті часток крупністю +100 мкм. більше 60% і щільністю 3,1 -3,8 г/куб.см. Доменний шлам більш дисперсний і містить 5-30% часток більших за 100 мкм., 60-85% розміром 8-100 мкм. та 10-20% - розміром 8 мкм. Щільність доменного шламу складає 2,7 - 3,8 г/куб.см., орієнтовний вихід складає 2,5% від маси чавуну.

Хімічний та гранулометричний склад колошникового пилу доменного виробництва представлені в таблиці 1.7 та 1.8, відповідно.

Таблиця 1.7 – Хімічний склад колошникового пилу

Хімічний склад, %							
Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	Zn	C
25-50	7-10	5-6	1-3	1-3	0,3	0,2-1,2	3-8

Таблиця 1.8 – Гранулометричний склад колошникового пилу

Вихід класу, %									
+2,5	+1,6 -2,5	+1,0 -1,6	+0,63 -1,0	+0,32 -0,63	+0,16 -0,32	+0,10- 0,16	+0,063 -0,10	+0,05 -0,063	-0,05
0,2	0,1	0,4	0,9	2,5	1,7	1,3	2,5	3,5	86,9

В наш час основним методом використання шламів доменного виробництва є додавання їх в агломераційну шихту. Але рівень утилізації цих шламів достатньо малий, що напряму пов'язано з підвищеним вмістом цинку,

що негативно впливає на подальше використання агломерату в доменній плавці.

1.4.3.2 Просип підбункерного приміщення доменних печей

Шлами підбункерного приміщення утворюються в процесі роботи вагон – вагів, грохотів та інших механізмів, а також транспортерній подачі матеріалів і гідравлічному прибиранні, разом з просипом з аспіраційних установок підбункерного простору. Основними складовими шламів підбункерного простору є елементи доменної шихти, головним чином агломерат, флюс та кокс. За хімічним складом вони подібні шламам агломераційного виробництва. Хімічний та гранулометричний склад шламів доменного виробництва представлено в таблиці 1.9 та 1.10, відповідно.

Таблиця 1.9 – Хімічний склад доменних шламів

Хімічний склад, %							
Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	Zn	C
30-45	3-20	6-11	2,0-3,5	0,1-3,0	0,2-1,4	0,5-15	3-25

Таблиця 1.10 – Гранулометричний склад доменних шламів

Вихід класу, %							
+3,0	+2,0 -3,0	+1,0 -2,0	+0,50 -1,0	+0,25 -0,50	+0,10 -0,25	+0,063 -0,1	-0,063
0-10	0-5	1,0-7,0	1,5-5,0	6,0-10,0	5,0-20,0	20,0-45,0	2,0-36,0

Щільність шламів підбункерного простору доменних печей складає 3,5 – 4,5 г/куб.см. Дисперсність пилу підбункерного приміщення розподіляється наступним чином: до 1,3 мкм - 86%; від 1,3 до 5,2 мкм - 13%; більше 5,2 мкм - 1%[23].

Питоме утворення пилу в підбункерному просторі, який устатковано вагон – вагами, складає в середньому 0,8 - 1,2 кг/т чавуну. Концентрація пилу при роботі вагон – вагів досягає 10 г/куб.м. В підбункерному приміщенні, що устатковане транспортерами, аспіраційні системи уловлюють пил в об'ємі 2,5 кг/т чавуну. В таблиці 1.11. наведено питомі викиди пилу в підбункерному просторі типових доменних печей [25].

Таблиця 1.11 – Питомі викиди пилу в підбункерному приміщенні

Об'єм печі, куб.м.	Умовна продуктивність, т/доба	Викиди пилу	
		кг/т чавуну	т/доба
930	1550	1,20	1,80
1033	1720	1,15	2,00
1386	2300	1,00	2,30
1513	2520	0,90	2,30
1719	2880	0,80	2,30
2000	4350	0,09	0,39
2700	5550	0,09	0,50
5000	11500	0,09	1,00

Примітка: На печах об'ємом від 930 до 1719 куб.м. матеріал подається вагон – вагами, на печах об'ємом 2000, 2700 та 5000 куб.м. – транспортерами.

Для більшості доменних печей відомі лише орієнтовні об'єми їх утворення та використання, так як більшість шламів проходить обробку в горизонтальних відстійниках та на дренажних площадках, після чого відправляються на рудні двори агломераційних фабрик.

В теперішній час це практично єдиний шлях використання (утилізації) шламів підбункерного приміщення доменних печей.

1.4.4 Шлами газоочищення мартенівських печей

Мартенівські шлами найбільш багаті за вмістом заліза. Хімічний склад та гранулометричний склад мартенівського шламу наведено в таблиці 1.12 та 1.13, відповідно. Високий вміст заліза визначає їх велику щільність – 4,5 - 5,0 г/куб.см.

Таблиця 1.12 – Хімічний склад мартенівських шламів

Хімічний склад, %							
Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	Zn	C
57-64	0,8-1,3	0,7-2,2	0,2-0,7	1,0-4,2	0,04-0,8	сліди	0,25-0,7

Таблиця 1.13 – Гранулометричний склад мартенівських шламів

Вихід класу, %									
+2,5	+1,6 -2,5	+1,0 -1,6	+0,63 -1,0	+0,32 -0,63	+0,16 -0,32	+0,10- 0,16	+0,063 -0,10	+0,05 -0,063	-0,05
0,1	0,1	0,1	9,4	17,6	7,3	2,7	2,2	1,8	58,7

Мартенівський шлам один з найбільш високодисперсних шламів металургійного виробництва, що ускладнює підготовку їх до утилізації. Основна частина шламів складається з часток діаметром 0,01 – 1,0 мкм. [25]. Однак, враховуючи що мартенівський шлам використовується разом з іншими металовмісними відходами в шихті аглофабрики, його підготовка в більшості випадків відбувається в корпусах підготовки залізовмісних відходів металургійного виробництва.

1.4.5 Шлами газоочищення конверторів

Шлами конверторного газоочищення відносять до багатих та відносно багатих залізом відходів. Хімічний та гранулометричний склад пилу газоочищення конверторів наведено в таблиці 1.14 та 1.15, відповідно.

Таблиця 1.14 – Хімічний склад конверторних шламів

Хімічний склад, %							
Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	Zn	C
41-66	3-20	1,4-2,0	0,1-0,3	0,15-1,5	0,04-0,3	0,2-4,2	0,7-4,3

Таблиця 1.15 – Гранулометричний склад конверторних шламів

Вихід класу, %									
+2,5	+1,6 -2,5	+1,0 -1,6	+0,63 -1,0	+0,32 -0,63	+0,16 -0,32	+0,10- 0,16	+0,063 -0,10	+0,05 -0,063	-0,05
0,3	0,3	0,2	0,7	31,5	11,7	6,5	5,6	1,9	41,3

Щільність конверторних шлаків складає 3,5 – 5,0 г/куб.см. Основним методом утилізації конверторних шламів є добавка їх в агломераційну шихту, для цього шлам має бути попередньо зневодненим. В даний момент часу найбільш раціональним методом зневоднення конверторних шламів є схема згущення шламової пульпи в радіальних згущувачах, фільтрування на вакуум – камерах та сушка в сушильному барабані.

1.4.6 Шлами газоочищення електросталеплавильного виробництва

Хімічний склад шламів газоочищення електросталеплавильних печей змінюється в широких межах і залежить від марки сталі, що виплавляється.

Хімічний та гранулометричний склад пилю газоочищення електросталеплавильних печей наведено в таблиці 1.16 та 1.17, відповідно.

Таблиця 1.16 – Хімічний склад шламів сталеплавильних печей

Хімічний склад, %							
Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	Zn	C
30-55	1,5-17	2-12	0,3-10	5-27	0,02-0,5	до 2	-

Таблиця 1.17 – Гранулометричний склад конверторних шламів

Вихід класу, %					
+0,25	+0,10-0,25	+0,05-0,10	+0,01-0,05	+0,005-0,01	-0,005
0-4,0	0,1-2,5	2,5-8,0	15,0-40,0	20,0-40,0	20,0-40,0

Щільність шламів знаходиться в межах 3,5 – 4,0 г/куб.см., вони мають велику кількість дрібної фракції.

Проблемою утилізації цих видів шламів є коливання хімічного складу в широких межах, наявність домішок та висока дисперсність. Зазвичай шлами електросталеплавильних печей використовуються з іншими видами залізовмісних відходів в якості добавки до агломераційної шихти.

1.4.7 Стружка та окалина

Металева стружка – продукт, що утворюється при виготовленні деталей та виробів з заготовки та має вигляд металевих витків. Маса металевої стружки може досягати 10% від маси готової деталі.

На великому промисловому підприємстві, що займається металообробкою, за добу утворюється до однієї тони металевої стружки. Стружка – цінний вторинний матеріал, оскільки технологія її переплавки простіше, та більш економічно вигідна, ніж інших відходів металургійного виробництва.

Окалиною називають матеріал, що утворюється при деформаційно – термічній обробці нагрітого металу. Фазовий склад окалини залежить від хімічного складу сталі, способу її розкислення та умов охолодження металу [26]. Окалина у вуглецевих сталях складається з трьох окислів: вюститу (FeO), магнетиту (Fe_3O_4) та гематиту (Fe_2O_3), причому окисли заліза розташовуються в порядку зменшення вмісту кисню від зовнішнього слою до поверхні розподілу «метал - окалина».

За хімічним та гранулометричним складом окалина може виступати в якості замітника залізорудного концентрату. За даними [27], окалина містить 70,45% $\text{Fe}_{\text{загал}}$, 1,17% CaO , 0,21% MgO та представлена дрібнодисперсними частками (до 90% класу – 1,0 мм).

Дані лабораторних досліджень [28] свідчать, що додавання підготовленої окалини (попередньо змішаної з негашеним вапном у кількості 20% по масі) в агломераційну шихту призводить до зниження витрат твердого палива, за рахунок окислення окалини, що супроводжується виділенням значної кількості тепла. Так, згідно даних [29], окислення 10% окалини, за кількістю тепла рівноцінно спалюванню 1% вуглецю палива. Як результат, окалина виступає не тільки заміником залізорудного концентрату, а також сприяє економії твердого палива.

1.5 Методи утилізації дрібнодисперсних залізовмісних відходів

З метою ефективної утилізації дрібнодисперсних техногенних відходів металургійного виробництва вони мають бути окушковані для подальшого їх використання в печах та агрегатах. При цьому використовують всі відомі методи згрудкування – випальні та безвипальні. Методи окушування шихти з

можливістю використання побічних продуктів металургійного виробництва представлені на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Методи окусування залізорудної сировини

1. Випальні методи утилізації залізовмісних відходів:

▪ Агломерація залізовмісних відходів.

Добавка залізовмісних відходів в агломераційну шихту є найбільш розповсюдженим способом їх утилізації. Зазвичай в агломераційних процес залучаються шлами власного виробництва та шлами доменного і сталеплавильного виробництв.

За даними [30] додавання в аглошихту дріднозернистої маси залізовмісних відходів до 190 кг/т не впливає на продуктивність агломераційної машини та якість готового агломерату. При цьому, використання непідготовлених шламів в кількості більше 120 кг/т без зміни технології агломерації приводить до зниження продуктивності агломераційної машини і якості агломерату.

В деяких випадках шлами можуть додаватися в шихту у вигляді суспензії безпосередньо в агрегати для змішування аглошихти. Так на підприємстві компанії Юзінор Франсе (нині частина корпорації АрселорМіттал) шлами доменного та конверторного виробництва зі згущувачів подавалися в барабан змішувач в кількості, що забезпечувала оптимальну вологість аглошихти. Аналогічні схеми подачі густої пульпи (300 – 700 г/л) в барабани змішувачі були впроваджені на ряді підприємств Німеччини та країн СНД. Ключовим моментом реалізації даного методу є впровадження надійної автоматизованої системи дозування шламів (суспензії) залежно від вологості шихти та щільності пульпи. Перевагою цього методу можна вважати низькі капітальні та експлуатаційні витрати.

- Огрудкування залізовмісних відходів

В загальному випадку можливе використання залізовмісних відходів в якості добавки в шихту огрудкування, але це призводить до зниження продуктивності випальних машин за рахунок збільшення часу знаходження окатишів в зоні сушки. Крім того, вміст значної кількості вуглецю в шламах дестабілізує загальний режим випалу окатишів.

Випал огрудкованих окатишів, що складаються з відходів металургійного виробництва, було випробувано в дослідно – промислових умовах в Сполучених Штатах Америки на установці продуктивністю 5,0 т/доба. Підготовлені сирі матеріали змішувалися в чашевому огрудкувачі. Отримані окатиші випалювали з частковим відновленням, після чого завантажувалися в електродугову піч. При цьому на 1 тону чавуну витрачали 2,0 – 2,7 тони металургійних відходів, 0,1 – 0,3 тони флюсу, 2,3 – 4,5 кг електродів та 700 – 1100 кВт·год електричної енергії. До переваг цього способу можна віднести: простота, можливість використання бідних залізовмісних матеріалів, дешевого недефіцитного палива, а також низькі капітальні та експлуатаційні витрати.

2. Безвипальні методи утилізації залізовмісних відходів:

В останні роки все більший інтерес викликають безвипальні (низькотемпературні) методи згрудкування металургійних відходів. Безвипальне згрудкування передбачає введення в шихту в'язучих чи використання в шихті матеріалів, що мають в'язучу здібність. З цих міркувань, всі безвипальні технології можна поділити на ті, що використовують в'язучі сполуки і ті, що їх не використовують.

- Технологія згрудкування техногенних відходів із застосуванням в'язучих.

Цей метод згрудкування передбачає використання в'язучих гідравлічного твердіння та найчастіше використовується у виробництві окатишів.

В Японії на підприємствах Ніппон Стіл (Nippon Steel) в містах Нагоя та Оіта впроваджені установки з виробництва окатишів зі шламу доменного та конверторного виробництва продуктивністю 550 та 120 тис. т. на рік, відповідно. В обох випадках використовується портландцемент в якості зв'язки, а зміцнення відбувається в штабелях на відкритому складі впродовж декількох тижнів. Цей метод зміцнення має ряд недоліків, так необхідно впроваджувати додаткові заходи проти злипання окатишів при тривалому зберіганні в штабелі вище 0,5 м. До мінусів можна також віднести тривалий термін зміцнення – до одного місяця.

- Технологія згрудкування техногенних відходів без застосуванням в'язучих.

Найменш розповсюджена є технологія згрудкування шламів та пилу металургійного виробництва без зв'язуючих, так як це значно знижує якість згрудкованого продукту. Цей метод може бути застосований у випадках коли згрудкований продукт без перевалок подають в металургійний агрегат.

На заводі «Сперроуз Поінт» (фактично ліквідовано у 2012 році) компанії «Безліхем Стіл» (США) сирі окатиші отримували з пилу та шламів мартенівського виробництва та кисневих конверторів, які попередньо змішують

в згущувачі, після чого висушують відхідними газами в сушарці. Після висушування отриманий продукт подрібнювався з метою підвищення його питомої поверхні та згрудковувався в чашевому огрудкувачі. Окатиші крупністю 19 - 25 мм висушувалися на повітрі впродовж 8 годин, після чого мали міцність 125 Н, це дозволяло їх транспортувати з мінімальними руйнуваннями.

1.6. Висновки за розділом 1 та постановка задач досліджень

1. За останні 70 років світове виробництво сталі досягло відмітки 1,9 млрд. т. разом з цим відповідно збільшилась кількість промислових відходів.

2. В боротьбі зі зниженням рівня утворення та накопичення відходів техногенного характеру світовою спільною була сформована стратегія розвитку технології рециклінгу, в якій чорна металургія представляє собою унікальний технологічний комплекс з можливістю використання в якості вторинної сировини не лише відходи власного виробництва, а і відходи з інших промислових галузей без негативного впливу на оточуюче середовище.

3. На основі філософії рециклінгу розроблено ряд технологічних рішень, що дозволяють металургійним підприємствам в масштабах власного виробництва використовувати техногенні відходи, які раніше були закладованні та ті, що утворюються в технологічному процесі.

4. Більшість залізовмісних відходів металургійного виробництва можуть бути повторно залучені у технологічний процес.

5. З метою ефективної утилізації дрібнодисперсних відходів металургійного виробництва вони мають бути згудковані для подальшого їх використання в печах та агрегатах. При цьому можуть бути використані всі відомі методи згрудкування – випальні та безвипальні.

6. Найбільш розповсюдженим методом утилізації високодисперсних залізовмісних відходів металургійного виробництва є спікання залізородного офлюсованного агломерату (агломерація).

Основними задачами подальшого дослідження з використання залізовмісних відходів металургійного виробництва в процесі огрудкування є:

1. Провести дослідження впливу крупності залізовмісних шламів на процес спікання агломераційної шихти. Для цього необхідно:

- 1.1 Розробити методику досліджень;
- 1.2 Виконати дослідження, на основі розробленої методики;
- 1.3 Виконати аналіз отриманих даних;
- 1.4 Оформити результати проведених досліджень.

2. Проаналізувати можливі способи нівелювання негативного впливу металургійних шламів при їх використанні в процес агломерації.

РОЗДІЛ 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

2.1 Методика проведення досліджень

Утилізація залізовмісних шламів шляхом їх додавання в агломераційну шихту є найбільш ефективнішим, з точки зору економіки, напрямом підвищення ефективності виробництва та зниження собівартості готової продукції. Рівномірний розподіл шламів в аглошихті може бути організовано шляхом розпилення шламів в змішувачах та огрудкувачах, або шляхом попереднього змішування шламів з сухими відходами металургійного виробництва чи вапном з подальшим додаванням до аглошихти. Однак, ці способи неефективні для заскладованих шламів, які містять злиплі (змерзлі) грудки. В результаті, шихта, що містить грудку заскладованих шламів не має достатньої однорідності, що негативно впливає на технологічні показники спікання та якість готового агломерату [30].

З метою дослідження вливу крупності шламів на технологічні показники спікання агломерату та його якість, планується виконати 5 серій лабораторних спікань, а саме:

- 1 серія (шихта 1) – шихта без вмісту шламів – базовий варіант;
- 2 серія (шихта 2)– шихта із вмістом шламів 15%, крупність шламів +0-3 мм.;
- 3 серія (шихта 3)– шихта із вмістом шламів 15%, крупність шламів +3-5 мм.;
- 4 серія (шихта 4)– шихта із вмістом шламів 15%, крупність шламів +5-7мм.;

5 серія (шихта 5)– шихта із вмістом шламів 15%, крупність шламів +7-10мм.;

2.1.1 Мета досліджень

Метою даної роботи є дослідження впливу шламів (суміш шламів доменного та конверторного виробництва) різної крупності на показники агломераційного процесу та якість готового агломерату.

2.1.2 Обладнання

1. Лабораторна агломераційна установка (аглочаша);
2. Огрудкувач чашовий;
3. Ваги платформні TBE-12-0,5;
4. Ваги платформні CERTUS СНП-60А20;
5. Сита в дерев'яній рамі розміром 400х400 мм та висотою 100 мм з сітками, що мають квадратні отвори з розмірами сторін 3, 5, 7, 10, 25 и 40 мм;
6. Контейнери для проб, лопатки, совок, пензлики, металеві тарілки, дільники;
7. Піддон металевий (ширина 1000 мм, довжина 1500 мм, висота 150 мм);
8. Секундомір.

2.1.3 Сировинні матеріали

Агломераційна шихта для проведення лабораторних спікань складається з наступних компонентів:

- залізорудна частина: концентрат залізорудний (мінус 0,1 мм), агломераційна руда (мінус 8,0 мм), суміш шламів доменного та конверторного виробництва (співвідношення 50/50), зворот (мінус 5,0 мм);

- флюсуючі добавки: вапняк (CaCO_3);
- тверде паливо: коксовий дріб'язок (мінус 3,0 мм), антрацитовий штиб (мінус 3,0 мм).

2.1.4 Хід виконання досліджень

1. Перед початком виконання дослідної роботи, підготуємо суміш шламів доменного та конверторного виробництва у співвідношенні 50/50, після чого виконаємо розсів підготовленої суміші з метою виділення наступних фракцій: 0-3 мм, 3-5 мм, 5-7 мм, 7-10 мм.

2. Підготовлені компоненти шихти для кожної серії спікань зважувалися та змішувалися в металевому піддоні шляхом пошарового вкладання матеріалів з подальшим їх перемішуванням між собою до отримання однорідної маси.

3. Підготовлена (перемішана) шихта завантажувалася в чашовий огрудкувач, де впродовж 5 хв. перемішувалася з додаванням 5,0 % води.

4. Огрудкування шихти відбувалося в наступні 5 хв. з додаванням необхідної кількості води, для отримання максимально огрудкованої шихти.

5. Спікання огрудкованої шихти відбувалося на лабораторній агломераційній установці (див. рис. 2.1).

6. Завантаження шихти виконувалося вручну, дотримуючись рівномірності та однорідності вкладання матеріалу, намагаючись не зруйнувати грудки.

7. Пошарова укладка огрудкованої шихти відбувалася починаючи з постілі (звороту).

8. Висота слою складала 300 мм, розрядження у вакуум – камері на момент запалювання шихти – 500 мм. вод. ст.

9. Запалювання шихти відбувалося впродовж хвилини при температурі 1200 °С.

10. В процесі спікання кожні 60 сек. фіксувалися температура та розрядження у вакуум-камері.

11. Спікання продовжувалося до досягнення максимальної температури відхідних газів.

12. Після завершення спікання, маса агломераційного спеку зважувалася, відсіювався дріб'язок (клас мінус 5,0 мм).

13. Отриманий агломерат досліджували на міцність шляхом скидання з висоти 2000 мм на сталеву плиту, після чого виконували його просіювання.

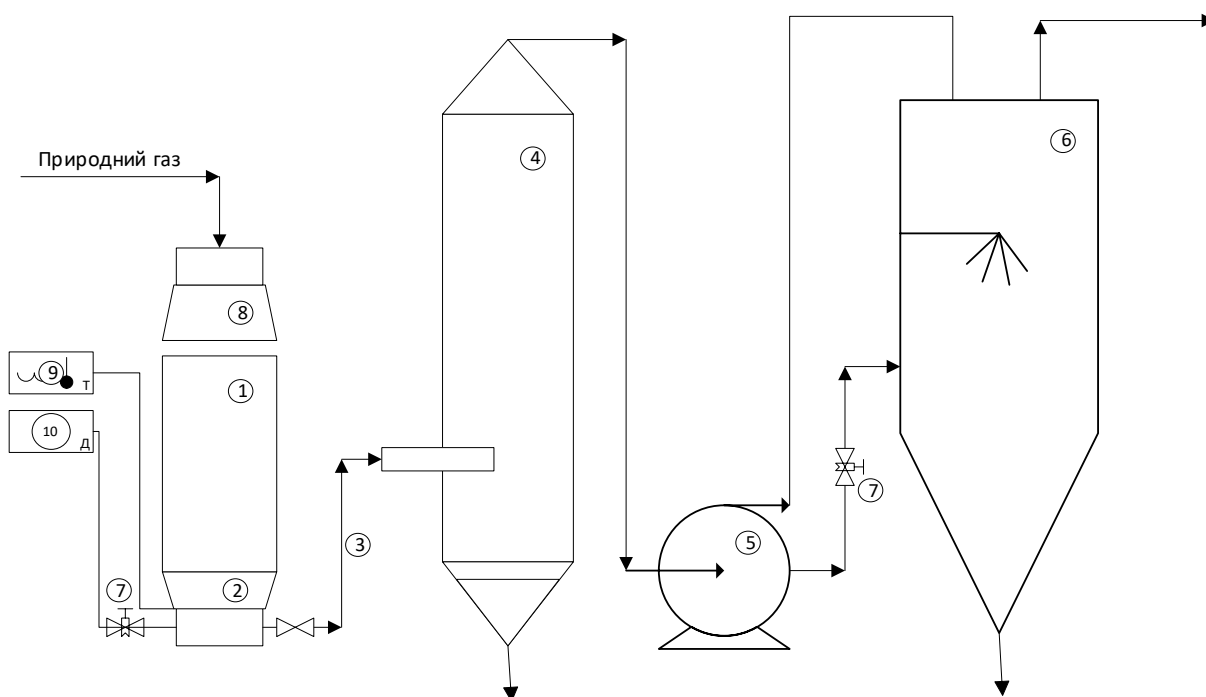


Рисунок 2.1 – Лабораторна установка для агломерації залізорудної шихти:

1 – агломераційна чаша; 2 – вакуум – камера; 3 – газохід; 4 – циклон; 5 – рідино – кільцевий насос; 6 – вологий пиловловлювач; 7 – вентиль; 8 – газовий горн; 9 – потенціометр; 10 – вакуумметр.

2.1.5 Обробка результатів експерименту

На основі даних 5-ти серії спікань, виконувалися розрахунки за наступними формулами:

1. Вихід годного агломерату визначався, як відношення маси годного агломерату ($m_{\text{годн.агл.}}$) до всієї маси готового агломерату ($m_{\text{готов.агл.}}$):

$$G_{\text{годн.агл.}} = \frac{m_{\text{годн.агл.}}}{m_{\text{готов.агл.}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

2. Вертикальна швидкість спікання визначалася за формулою:

$$V_{\text{сп.}} = \frac{h}{\tau}, \text{ мм/хв} \quad (2)$$

де,

h — висота шару шихти, мм

τ — час спікання, хв.

3. Питома продуктивність агломераційної установки по виходу годного агломерату розраховувалася за формулою:

$$Q_{\text{сп.}} = 0,06 \frac{G_{\text{годн.агл.}}}{S \cdot \tau}, \text{ т/м}^2 \cdot \text{год.} \quad (3)$$

де,

$G_{\text{годн.агл.}}$ — вихід годного агломерату, кг

S — площа колосникової решітки, кв.м.

τ — час спікання, хв.

Випробування на міцність готового агломерату виконувалася по стандартній методиці — просіювання проби годного агломерату масою 1,5 кг після триразового його скидання з висоти 2000 мм на металеву пластину.

2.1.6 Результати та їх аналіз

В результаті виконаних 5 серій спікань отримали наступні показники параметрів агломераційного процесу (див. табл. 2.1) та міцності готового агломерату (див. табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Показники параметрів лабораторних спікань

Показник	Од. вим.	Номер серії				
		1	2	3	4	5
Витрати суміші шламів	%	0,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Крупність суміші шламів	мм	-	0-3	3-5	5-7	7-10
Вихід годного агломерату	%	72,12	63,70	58,41	57,45	53,61
Тривалість спікання	хв.	9,5	11,0	12,0	13,5	14,5
Максимальна температура	°С	160	240	220	200	240
Вертикальна швидкість	мм/хв.	31,58	27,27	25,00	22,22	20,69
Продуктивність аглочаші	т/кв.м·год	2,20	1,68	1,41	1,24	1,07

За даними таблиці 2.1 видно, що зі збільшенням крупності шламів, що використовуються в процесі спікання, негативно впливають на такі ключові параметри процесу, як вихід годного агломерату, вертикальну швидкість спікання та продуктивність агломераційної чаші. Ці негативні тенденції можуть бути пояснені тим, що використання шламів погіршує теплофізичні характеристики шихти через їх низьку температуропровідність (X шихти зі шламами $= (1,08 \times 10^{-5} + 1,32 \times 10^{-5}) / 2 = 1,20 \times 10^{-5}$ кв.м/с.; X шихти без шламів $1,75 \times 10^{-5}$ кв.м/с.) та більш високою теплоємністю (C шихти зі шламами $= (980 + 870) / 2 = 925$ Дж/кг; C шихти без шламів $= 693$ Дж/кг) [31,32]. Зазначені теплофізичні показники впливають на більш повільний прогрів гранул шламів, що в кінцевому підсумку впливає на міцність агломерату, про що свідчить рисунок 2.2.

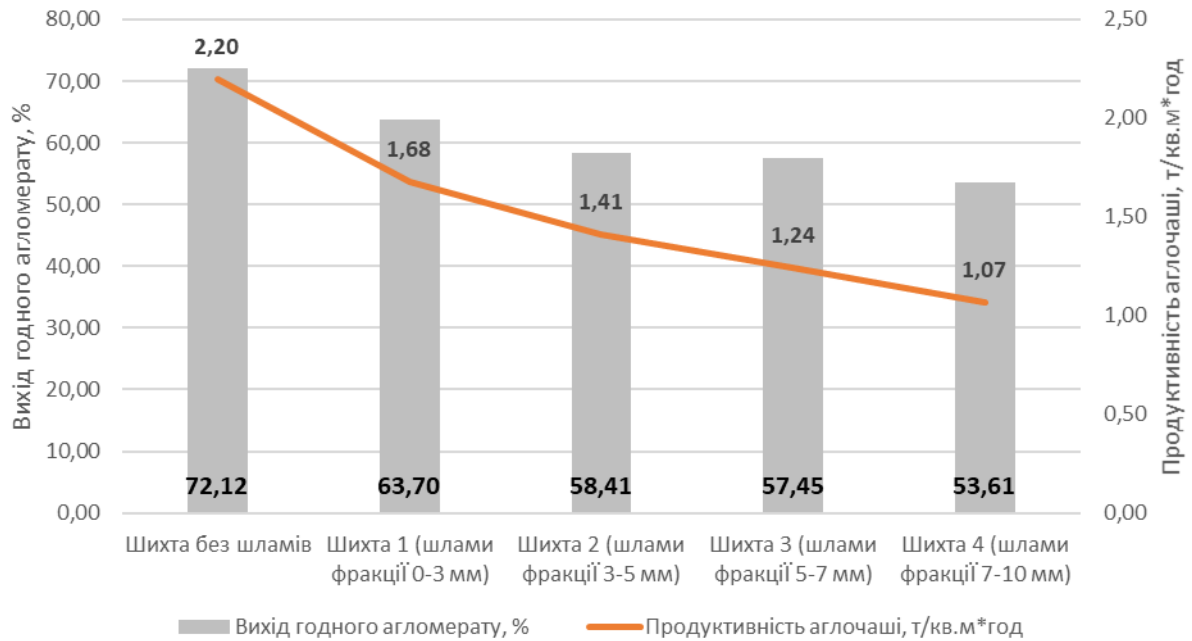


Рисунок 2.2 –Зміна продуктивності аглочаші та виходу годного агломерату в залежності від крупності шламі, що використовуються в процесі агломерації.

Зменшення крупності шламі в аглошихті негативно впливає на газоприникність шару шихти, однак при цьому продуктивність і міцність годного агломерату зростає, це пояснюється недостатнім нагрівом і неповноцінним спіканням крупних гранул шламі. Виходячи з даних таблиці 2.1. оптимальною крупністю шламі є фракція 0-3 мм, більш крупні фракції рекомендовано подрібнювати.

Результати випробувань агломератів на міцність наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Гранулометричний склад агломерату після випробувань на міцність, %

Вихід фракції	Од. вим.	Номер серії				
		1	2	3	4	5
+0-5 мм	%	27,0	37,0	40,3	42,0	44,0
+5-10 мм	%	18,3	16,3	15,7	16,0	14,7
+10 мм	%	54,7	46,7	44,0	42,0	41,3

На основі даних таблиці 2.2 побудували графік крупності готового агломерату після випробувань на міцність для всіх серій спікань.

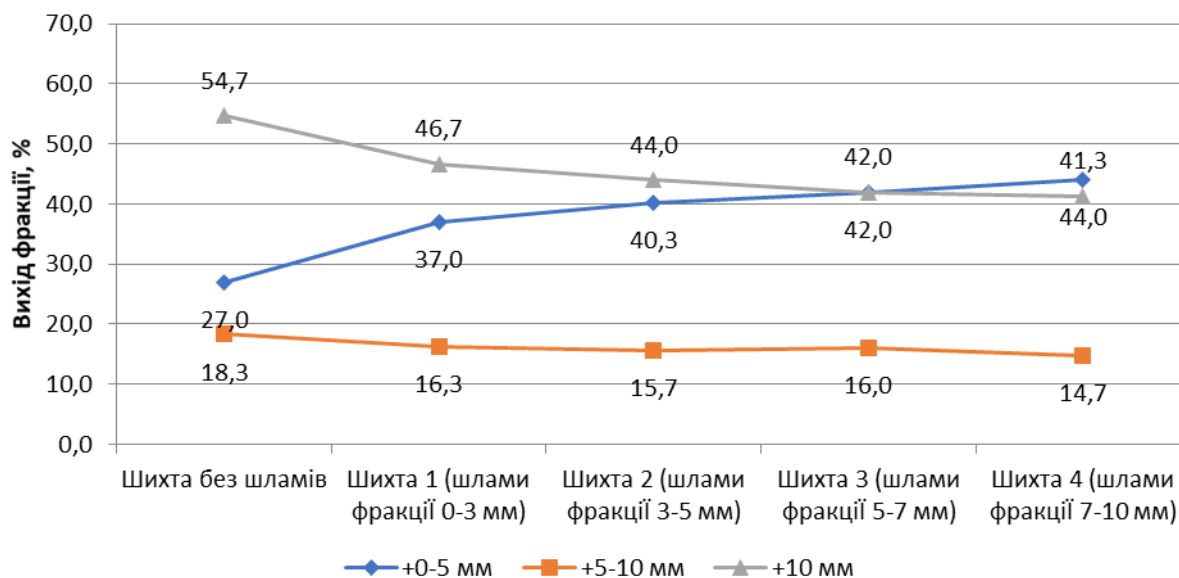


Рисунок 2.2 – Гранулометричний склад готового агломерату після випробувань на міцність.

З даних рисунку 2.2 видно, що міцність агломерату зменшується зі збільшенням крупності шламів, що додаються в шихту при спіканні. При зміні крупності шламів з 0-3 мм до 7-10 мм міцність агломерату класу 0-5 мм зменшується на 7% = 44% – 37%, при цьому ця залежність може бути описана наступною формулою $y = 2,27x + 32,88$, з коефіцієнтом кореляції $R^2 = 0,9771$.

Технологічні параметри (розрядження у вакуум-камері, температура відхідних газів) спікання агломератів представлені на рисунках 2.3 і 2.4.

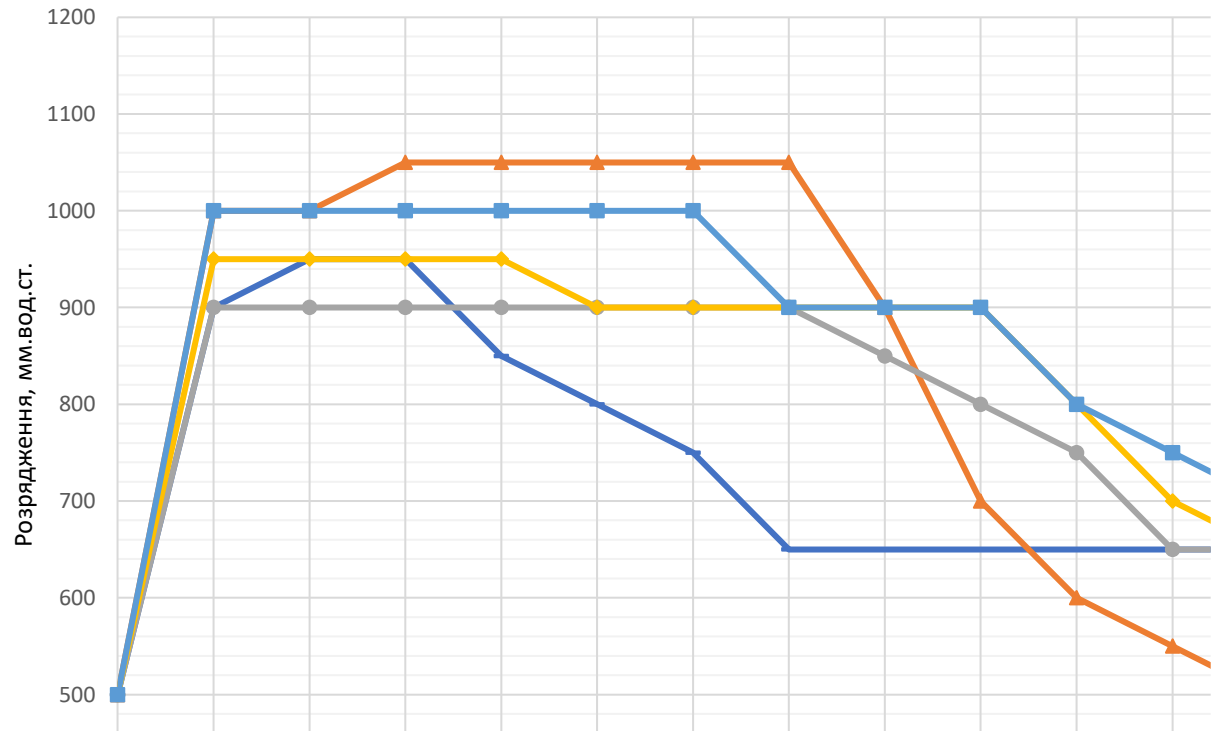


Рисунок 2.3 – Графік зміни розрядження у вакуум-камері в процесі спікання.

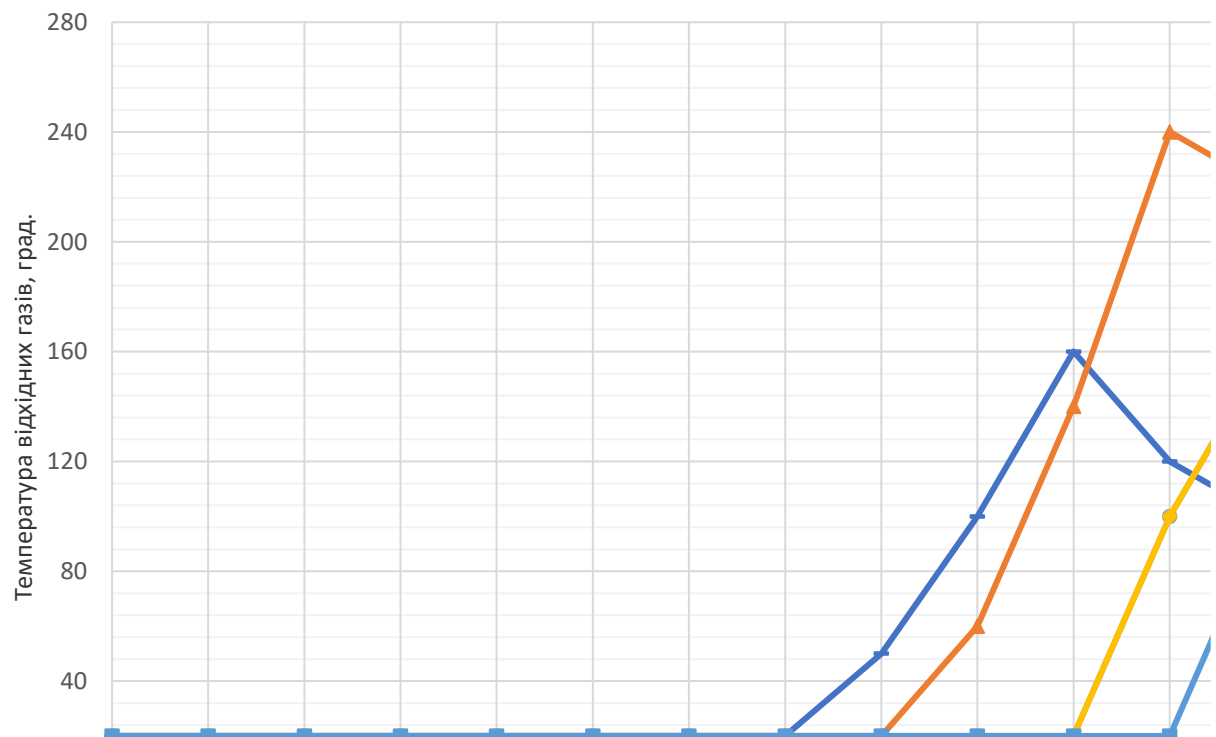


Рисунок 2.4 – Графік зміни температури відхідних газів в процесі спікання.

З графіка, що представлено на рисунку 2.3, видно що при зменшенні крупності шламів, газопроникність шару шихти зменшується. Так, при спіканні шихти 2 (шлами фракції +0-3 мм), розрядження у вакуум-камері досягало 1050 мм.вод.ст., при спіканні шихти 3 (шлами фракції +3-5 мм) максимальне значення розрядження складало 900 мм.вод.ст., в момент спікання шихти 4 (шлами фракції +5-7 мм) – максимальне розрядження було 950 мм.вод.ст. і починаючи з 4 хв. воно поступово знижується, при спіканні шихти 5, максимальне розрядження у вакуум - камері складало 1000 мм.вод.ст., при цьому його зниження починається на 6 хв. спікання. Найкращій результат з точки зору газопроникності шару шихти отримано при спіканні шихти 1 – при максимальному розрідженні в 950 мм.вод.ст. вже починаючи з 4 хв. спікання спостерігається стабільна тенденція до зниження розрядження у вакуум-камері.

Вплив крупності шламів на газопроникність шару шихти пояснюється наявністю значної кількості шихти мілкої фракції, яка в свою чергу заповнює простір між крупними гранулами шихтових матеріалів, що і ускладнює проходження газів через шар шихти.

Аналізуючи графік, що зображено на рисунку 2.4, встановити залежність між максимальною температурою відхідних газів і крупністю шламів, що використовувалися в момент спікання встановити неможливо.

2.1.7 Висновки

В ході проведення дослідження було визначено вплив крупності агломераційних шламів на технологічні параметри спікання та якість готового агломерату.

В результаті проведеної роботи отримано наступні результати:

1. Збільшення крупності шламів з 0-3 мм до 7-10 мм при постійній витраті, негативно впливає на технологічні параметри та якість готового агломерату, а саме:

- вихід годного агломерату зменшується на 10,01%;
- вертикальна швидкість спікання знижується на 6,57 мм/хв.;
- продуктивність агломераційної чаші зменшується 0,61 т/кв.м·год.;
- міцність агломерату зменшується на 7,00%.

2. Використання шламів погіршує теплофізичні характеристики шихти через їх низьку температуропровідність та високу теплоємність.

3. Зменшення крупності шламів в аглошихті негативно впливає на газопроникність шару шихти, однак при цьому продуктивність і міцність годного агломерату зростає, це пояснюється недостатнім нагрівом і неповноцінним спіканням крупних гранул шламів.

4. Оптимальною крупністю шламів є фракція 0-3 мм, більш крупні фракції рекомендовано подрібнювати.

2.2. Шляхи зниження негативного впливу використання шламів в агломераційному процесі

Виходячи з висновків дослідницької роботи, додавання шламів в шихту, призводить до погіршення її структури, як з фізичної точки зору, так і з теплової. З метою компенсації негативного впливу шламів, пропонується впровадити ряд заходів, щодо покращення структури спікаємої шихти, для цього скористуємося системою класифікації прийомів інтенсифікації агломераційного процесу, що була запропонована авторами роботи [31].

З рекомендації авторів даної роботи витікає, що комплексну систему класифікації технологічних заходів інтенсифікації агломераційного процесу доцільно використовувати із застосуванням чотирьох рівнів розділення – об'єкти, направлення, шляхи та методи, при якій кожен наступний рівень конкретизує та розвиває попередній.

Виокремлена частина комплексної системи класифікації прийомів інтенсифікації агломераційного процесу, що має на меті покращення структури шихти представлено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Методи покращення структури шару агломераційної шихти.

Отже, виходячи з даних рисунку 2.5, для покращення структури шихти треба звернути увагу на підігрів шихти перед спіканням та покращення способу завантаження шихти на агломераційну стрічку.

2.2.1 Способи підігріву шихти перед спіканням

Добре відомо, що температура агломераційної шихти має великий вплив на її поведінку в процесі спікання, а також значною мірою визначає результати агломераційного процесу в цілому. Спікання аглошихти з температурою, що перевищує температуру «точки роси» протікає без утворення зони

перезволоження, що визначає високу газопроникність шару та продуктивність процесу спікання, а також покращує тепловий баланс процесу і якість готового агломерату.

Підігрів шихти на агломераційних фабриках може бути реалізований наступним чином:

- гарячим зворотом;
- продуктами згорання газоподібного палива;
- паром;
- гарячою водою;
- додаванням в шихту негашеного вапна.

Найбільш поширеним методом підігріву шихти є додавання гарячого звороту, що дозволяє використовувати його теплоту і підігріти всю масу шихти до необхідного рівня. Однак, кількість звороту, що додається в шихту має складати 30% і більше [33].

Не менш розповсюдженим є метод підігріву шихти шляхом додавання вапна в кількості 3 – 4% від маси рудної частини шихти. На основі практичних досліджень, що були проведені на агломераційній фабриці «Запоріжсталі», інтенсифікуюча дія вапна може бути пояснена наступними факторами:

1. Вапно у вигляді CaO при змішуванні і зволожені в змішувальному барабані утворює гідрат окислу кальцію Ca(OH)_2 , при цьому збільшуючись в об'ємі і утворюючи тонкодисперсні частки крупністю менше 30 мкм, що в свою чергу забезпечує краще огрудкування, збільшує міцність гранул, а відповідно газопроникність шихти.

2. Гідрат окислу кальцію Ca(OH)_2 сприяє збереженню газопроникності в зоні сушки та зоні перезволоження.

Активне поглинання вологи вапном зменшує перезволоження шихти, що є причиною руйнування її структури, ущільнення, зниження газопроникності. Це має особливе значення при збільшені кількості дрібнодисперсних матеріалів (концентратів, шламів).

В умовах металургійного підприємства «Запоріжсталь» додавання в шихту 50 кг вапна на тону агломерату призвело до збільшення температури шихти с 18 - 20°C до 40 - 42°C, що в значній мірі інтенсифікує процес спікання [34]. Разом з тим, в умовах МК «Запоріжсталь» було випробувано технологія підігріву шихти полум'ям газового пальника безпосередньо в барабані змішувачі. При витратах коксового газу в 400 куб.м/год., вдалося підняти температуру шихти до 48,5 °С, при цьому тепловий К.К.Д. пальника складав лише 40%, що викликано невеликою поверхнею взаємодії шихти з продуктами горіння. Разом з тим, підігрів шихти відбувався паралельно зі зволоженням, тому значна частина тепла витрачалася на випаровування вологи, ніж на підігрів шихти [35].

На підприємстві «Криворіжсталь», нині «АрселорМіттал Кривий Ріг», на одній з агломераційних машин було впроваджено підігрів шихти паром в барабані – огрудкувачі, що дозволило підняти температуру шихти на 4 - 5°C, що в свою чергу збільшило продуктивність агломашини на 1,0% [36].

Паралельно з цим, на агломераційних машинах №№ 5 та 6 агломераційної фабрики Макіївського металургійного заводу ім. С.М. Кірова були проведені промислові випробування підігріву шихти в барабанах – огрудкувачах шляхом монтажу двох горизонтальних перфорованих труб (труба в трубі), внутрішня використовувалася для подачі пари, зовнішня – води. При цьому методі шихта підігрівалася на 18,0 °С, що збільшило виробництво агломерату на 5,7%. Пізніше схему вдосконалили і пар для нагріву шихти подавали в нижню частину шихтових бункерів перед барабаном – огрудкувачем [37], при цьому витрати пари склали 5,0 кг/т агломерату при температурі 150 °С і тиску 0,334 МПа.

2.2.2 Удосконалення способу завантаження шихти

Барабані живильники, що використовуються на агломераційних машинах для завантаження шихти, є простим і надійним устаткуванням, але, на жаль, вони не забезпечують оптимальну сегрегацію по висоті шару шихти. В деяких проектних рішеннях агломераційних фабрик України передбачалось устаткування для виділення подрібненого агломерату (фракція 6 - 12 мм), його транспортування і завантаження на колосникові грати для використання в якості нижнього шару шихти – постілі.

Постіль з бункеру вивантажується на рухомі палети, при цьому висота шару постілі регулюється положенням шиберу. Схема завантаження постілі на агломераційну стручку представлена на рисунку 2.6.

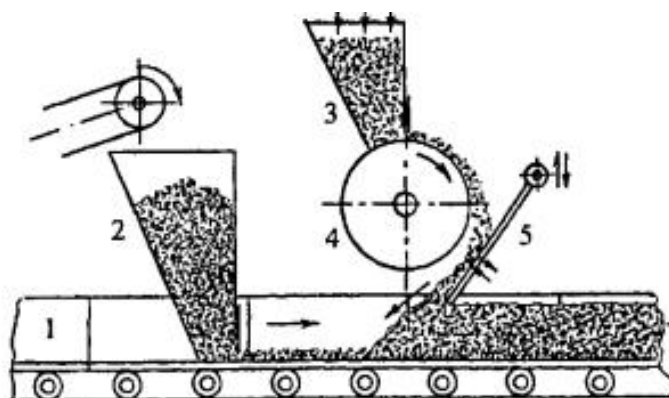


Рисунок 2.6 – Схема устаткування для завантаження постілі на агломераційну машину: 1 - палети; 2 – бункер постілі; 3 – бункер шихти; 4 – барабанний живильник; 5 – похилий лоток.

Однак, реалізація такого методу завантаження постілі пов'язана зі значними впровадженнями та збільшенням структури агломераційних фабрик, що для багатьох з них стає ключовою перепорою на шляху впровадження цієї технології.

Мартиненко В.А. та Кухар А.С. в роботі [38] роблять висновки, що покращення газопроникності шару шихти можна досягти за рахунок достатнього ступеню сегрегації при завантаженні шихти і рішенням є зміна конструкції завантажувального лотка. При цьому пропонується встановити завантажувальний лоток барабанного живильника шихти під кутом, що дорівнює куту природного схилу огрудкованої шихти. Але при цьому способі завантаження шихти виникає також сегрегація по вмісту твердого палива, що негативно впливає на тепловий режим спікання агломерату. Рішенням цієї проблеми може стати багатошарове, частіше двошарове спікання шихти, що містить у різних шарах різну концентрацію вуглецю, а також різну крупність матеріалу.

Метод багатошарового спікання шихти був запропонований шведським інженером Х.Г. Торульфом у 1911 році [39], котрий вирішував перерозподіл палива по висоті шару шихти.

Технологія двошарового спікання шихти може бути впроваджена у різних варіантах:

- за спікливістю руд (нижній шар – важкоспікливі, верхній шар – легкоспікливі);
- за основністю (нижній шар – залізо флюс, верхній шар – агломерат з низькою основністю);
- по звороту (нижній шар – великі витрати, верхній шар – менші витрати);
- за крупністю твердого палива (нижній шар – більше фракції -0,5 мм, верхній шар - менше).

Технологія багатошарового спікання може бути реалізована лише шляхом впровадження багатошарового завантаження шихти на агломераційну стрічку.

Для розділення огрудкованої шихти по фракційному складу можуть бути застосовані лінійні розділювачі, конструкція яких була запропонована авторами роботи [40]. Лінійний розділювач являє собою стрічковий конвеєр, який

встановлений між живильником та огрудкувачем під кутом 15 – 30 град. Технологічна схема ділянки (місця) для розділення шихти по фракційному складу з використанням лінійного розділювача зображено на рисунку 2.7.

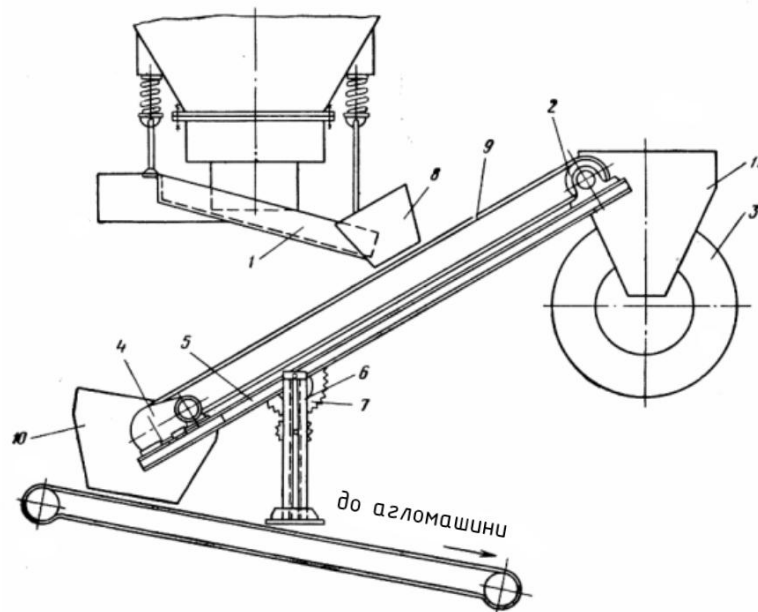


Рисунок 2.7 – Технологічна схема ділянки з розділення шихти по фракційному складу з лінійним розділювачем

Схема складається з віброживильника (1), нахилоного стрічкового конвеєра (2) та барабана – огрудкувача (3). Конвеєр (2) має привід (4) з двигуном постійного струму, що дає можливість плавно регулювати швидкість стрічки у широкому діапазоні. Верхній кінець рами (5) конвеєра закріплено шарнірно, а нижній – поєднаний з опорою (6) зі штоком і за допомогою поворотного механізму (7) може змінювати нахил конвеєра. Конвеєр (2) встановлено під таким кутом, що забезпечує скатування шихти донизу.

Описаний вище лінійний розділювач дозволяє виділити до 15 - 20% фракції + 5 мм від загальної маси шихти і таким чином покращити гранулометричний склад шихти.

ВИСНОВКИ

1. За останні 70 років світове виробництво сталі досягло 1,9 млрд. т. разом з цим відповідно збільшилась кількість промислових відходів.
2. В боротьбі зі зниженням рівня утворення та накопичення відходів техногенного характеру світовою спільною була сформована стратегія розвитку технології рециклінгу, в якій чорна металургія представляє собою унікальний технологічний комплекс з можливістю використання в якості вторинної сировини не лише відходи власного виробництва, а і відходи з інших промислових галузей без негативного впливу на оточуюче середовище.
3. На основі філософії рециклінгу розроблено ряд технологічних рішень, що дозволяють металургійним підприємствам в масштабах власного виробництва використовувати техногенні відходи, що раніше було закладовано та ті, що утворюються в технологічному процесі.
4. Більшість залізовмісних відходів металургійного виробництва можуть бути повторно залучені у технологічний процес.
5. З метою ефективної утилізації дрібнодисперсних відходів металургійного виробництва вони мають бути згудковані для подальшого їх використання в печах та агрегатах. При цьому використовують всі відомі методи згрудкування – випальні та безвипальні.
6. Найбільш розповсюдженим методом утилізації високодисперсних залізовмісних відходів металургійного виробництва є агломерація.
5. Збільшення крупності шламів з 0-3 мм до 7-10 мм при постійній витраті, негативно впливає на технологічні параметри та якість готового агломерату, а саме:

- вихід годного агломерату зменшується на 10,01%;
- вертикальна швидкість спікання знижується на 6,57 мм/хв.;
- продуктивність агломераційної чаші 0,61 т/кв.м·год.;
- міцність агломерату зменшується на 7%.

6. Використання шламів погіршує теплофізичні характеристики шихти через їх низьку температуропровідність та високу теплоємність.

7. Зменшення крупності шламів в аглошихті негативно впливає на газопроникність шару шихти, однак при цьому продуктивність і міцність годного агломерату зростає, це пояснюється недостатнім нагрівом і неповноцінним спіканням крупних гранул шламів.

8. Оптимальною крупністю шламів є фракція 0-3 мм, більш крупні фракції рекомендовано подрібнювати.

9. Оптимізувати структуру шихти можна за рахунок її підігріву перед спіканням та покращення способу завантаження її на агломераційну стрічку.

10. Підігрів шихти на агломераційних фабриках може бути реалізований гарячим зворотом, продуктами згорання газоподібного палива, паром, гарячою водою чи/або додаванням в шихту негашеного вапна.

11. Оптимізація процесу завантаження шихти на агломераційну стручку може бути досягнена шляхом виділення постілі та/або технологією багат шарового завантаження шихти на палети.