

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра промислового та цивільного будівництва

Кваліфікаційна робота/проект

другий магістерський рівень
(рівень вищої освіти)

на тему: Комплексне використання металургійних шлаків у
виробництві будівельних матеріалів

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1922-пцб-1
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)

освітньої програми промислове і цивільне будівництво
(код і назва освітньої програми)

Готовкін Артем Олександрович
(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н. Шокарєв Є.О.
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент к.т.н. Міщук К.М.
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

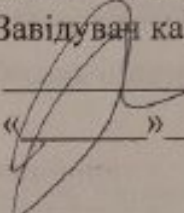
Кафедра Промислового та цивільного будівництва

Рівень вищої освіти другий магістрський рівень
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 192 "Будівництво та цивільна інженерія"
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма "Промислове і цивільне будівництво"
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПЦБ
 проф. Арутюнян І.А.

« _____ » _____ 20__ року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Готовкін Артем Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту): Комплексне використання металургійних шлаків у виробництві будівельних матеріалів

керівник роботи Шокарев Є.О., к.т.н.

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

затверджені наказом ЗНУ від "___" _____ року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Відходи металургійної промисловості та методи їх переробки в будівельні матеріали

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Основні характеристики твердих промислових відходів. 2. Основні металургійні відходи, переробні в будівельні матеріали. 3. Оцінка ефективності переробки відходів металургійного заводу в технології будівельних матеріалів.

4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 8 листів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Шокарев Є.О.	<i>Edlef</i>	<i>Edlef</i>
Розділ 2	Шокарев Є.О.	<i>Edlef</i>	<i>Edlef</i>
Розділ 3	Шокарев Є.О.	<i>Edlef</i>	<i>Edlef</i>

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1.	Основні характеристики твердих промислових відходів		
2.	Основні металургійні відходи, переробні в будівельні матеріали		
3.	Оцінка ефективності переробки відходів металургійного заводу в технології будівельних матеріалів		

Студент

Edlef
(підпис)

Готовкін А.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи/проекту

Edlef
(підпис)

Шокарев Є.О.
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер

Edlef
(підпис)

Данкевич Н.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Готовкін Артем Олександрович. Комплексне використання металургійних шлаків у виробництві будівельних матеріалів.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник к.т.н. Є.О. Шокарєв. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2023.

Незважаючи на важливість проблеми переробки металургійних відходів, дотепер у вітчизняній науці та практиці не розроблено єдиного підходу визначення та оцінки переробки металургійних шлаків. Мета роботи – оцінка ефективності переробки металургійних відходів в технології будівельних матеріалів.

Розглянуто концепцію безвідходного виробництва металургійних заводів. Зроблено оцінку ефективності переробки металургійних відходів у технології будівельних матеріалів. Найбільш значущий елемент наукової новизни - уточнено поняття металургійних відходів під час виробництва будівельних матеріалів. Розглянуто основні способи та обладнання для переробки металургійних шлаків.

Ключові слова: металургійні шлаки, шлакоситали, будівельні матеріали, безвідходне виробництво.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДИХ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ.....	9
1.1 Основна характеристика твердих промислових відходів.....	9
1.2 Тверді промислові відходи металопереробних виробництв та їх переробка.....	11
2 ОСНОВНІ МЕТАЛУРГІЙНІ ВІДХОДИ, ЯКІ ПЕРЕРОБЛЯЮТЬСЯ В БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ.....	22
2.1 Металургійні шлаки.....	22
2.2 Виробництво будівельних матеріалів з металургійних шлаків.....	27
2.2.1 Виробництво цементу.....	27
2.2.2 Виробництво гранульованих шлаків.....	28
2.2.3 Виробництво пемзи із доменних шлаків.....	32
2.2.4 Виробництво щебню із доменного шлаку.....	35
2.2.5 Виробництво мінераловатних виробів.....	37
2.2.6 Виробництво шлакоситалів.....	40
2.2.7 Особливості переробки сталеплавильних та феросплавних шлаків в будівельні матеріали.....	42
2.2.8 Особливості утилізації шлаків кольорової металургії	43
3 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ЗАВОДУ В ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ.....	45
3.1 Концепція безвідходного виробництва.....	45
3.2 Формування товарної стратегії фірми ТОВ «Запоріжінвестмет».....	49
3.3 Ефективність переробки металургійних шлаків в будівельні матеріали.....	50
ВИСНОВКИ.....	60
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	62

ВСТУП

XX століття принесло людству чимало благ, пов'язаних з бурхливим розвитком науково-технічного прогресу, і водночас поставив життя на землі на межу екологічної катастрофи. Зростання населення призводить до збільшення творення побутових відходів, інтенсифікація видобутку копалин і пов'язаних з цим збільшення промислових відходів, забруднюючих Землю, призводить до корінних змін у природі, та відображається на самому існуванні людини.

Останнім часом найгострішою проблемою, що має пріоритетний соціальний та економічний розвиток, є забруднення природного середовища твердими, рідкими та газоподібними відходами виробництва та споживання, що викликають деградацію довкілля.

Існує класифікація відходів за їхньою хімічною природою, технічними ознаками появи, можливості подальшої переробки та використання і в нашій країні. Відходи характеризуються за п'ятьма класами небезпеки, від чого залежать витрати на їх переробку та поховання. Клас небезпеки встановлюється з метою визначення безпечних способів та умов розміщення, переміщення, знешкодження відходів.

За сучасного рівня науки і техніки неможливо виключити появу не утилізованих, що не підлягають спалюванню, не піддаються нейтралізації токсичних відходів. В цьому випадку доцільне поховання такого роду відходів у спеціально створюваних для цих цілей сховищах, за для їх використання у майбутньому.

Актуальність теми. Щорічно на території України утворюється близько 20 мільйонів тон усіх видів відходів, невелика частка з яких тією чи іншою мірою використовуються або переробляється. На території країни у відвалах та сховищах накопичено близько 3 млрд. тон відходів, серед яких є також і токсичні.

Порівняння даних класів небезпеки встановлених відходів розрахунковим методом та визначених експериментальним шляхом методом біотестування. Наука і техніка початку третього тисячоліття розвивається в темпі геометричної прогресії, не є винятком і промисловість як одна з наймасштабніших сфер діяльності людини.

Однак промисловість України на теперішній час, у зв'язку з повномасштабним вторгненням Росії, через бойові дії, перебуває в занепаді та переживає період стагнації. Але не дивлячись на це, у зв'язку з не бездоганністю технологічних процесів, неминучий подальший негативний вплив промисловості на навколишнє середовище, промислових відходів як компонента даної дії. Щорічно у всьому світі та в нашій країні мільярди тон твердих відходів надходить у біосферу, завдаючи тим самим непоправної шкоди як живій, так і неживій природі.

Мета роботи – оцінка ефективності переробки відходів металургійного заводу у технології будівельних матеріалів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити низку **завдань**:

- 1) надати характеристику твердих промислових відходів;
- 2) визначити тверді промислові відходи металопереробних виробництв та їх переробку;
- 3) охарактеризувати металургійні шлаки;
- 4) розглянути виробництво будівельних матеріалів з металургійних шлаків;
- 5) розглянути концепцію безвідходного виробництва;
- 6) підвищення ефективності переробки металургійних шлаків.

Предмет роботи – металургійні заводи, що переробляють відходи в будівельні матеріали.

Об'єкт роботи – ефективність переробки відходів металургійного заводу.

Методи досліджень. В роботі використовувалися методи порівняння, узагальнення, методи системного підходу, експерименти, математичне планування і обробка результатів експериментів.

Апробація. Магістерська робота була представлена на III Всеукраїнській науково-практичній конференції за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України».

Структура і об'єм магістерської роботи. Робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, загальних висновків та пропозицій, списку використаних джерел. Основною темою текст викладено на 70 сторінках, з них 10 малюнків, 10 таблиць, та містить списки літератури зі 29 найменування праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

1 ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДИХ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

1.1 Основна характеристика твердих промислових відходів

Промислові відходи є неоднорідними, складними полікомпонентними сумішами речовин, що мають різні фізико-хімічні властивості, представляють токсичну, хімічну, біологічну, корозійну, вогне- та вибухонебезпечність. Існує класифікація відходів за їх хімічною природою, технологічними ознаками появи, можливістю подальшої переробки та використання. В нашій країні шкідливі речовини характеризуються по чотирьом класам небезпеки, від чого залежать витрати на переробку та поховання:

1. Надзвичайно небезпечні. Речовини, що містять ртуть та її сполуки, в тому числі сулему, хромовокислий та ціаністий калій, бензо-пірен та ін. Це особливо токсичні сильнодіючі отруйні сполуки.

2. Високо небезпечні. Речовини, що містять хлористу мідь, сульфат міді, шавлевокислу мідь, сполуки свинцю.

3. Помірно небезпечні. Речовини, що містять оксиди свинцю, хлорид нікелю, чотирихлористий вуглець.

4. Малонебезпечні. Речовини, що містять сульфат магнію, фосфати, сполуки цинку; відходи збагачення корисних копалин.

Приналежність до груп визначається за класифікатором промислових відходів, розрахунковим шляхом, якщо відомі гігієнічні параметри речовини та експериментальним шляхом. Відходи всіх класів небезпеки діляться на тверді, пастоподібні, рідкі, пилоподібні або газоподібні:

- тверді відходи: тара, що прийшла в непридатність, з металів, дерева, картону, пластмас, обтиральні матеріали, відпрацьовані фільтроматеріали, обрізки полімерних труб, кабельної продукції.

- пастоподібні: шлами, смоли, опади з фільтрів та відстійників для очищення ємностей теплообмінників.

- рідкі: стічні води, що містять органічні та неорганічні речовини, що не підлягають прийманню на біоочищення через високу токсичність.

- пилоподібні (газоподібні): здування від дихальних трубок ємнісного обладнання, викиди з ділянок знежирення, фарбування продукції.

За хімічною стійкістю відходи розрізняються: вибухонебезпечні, самозаймисті, що розкладаються з виділенням отруйних газів, стійкі. Усі промислові відходи ділять на утилізовані і не утилізовані. Утилізовані промислові відходи не підлягають знищенню чи похованню, а мають бути використані в народному господарстві як паливо, будматеріали, добрива, вихідна сировина для вторинної переробки або регенерації відходів з метою одержання вторинної сировини. Поховання не утилізованих відходів визначається їх потенційною небезпекою здоров'ю населення. В даний час не промислові відходи, що утилізуються, в країні діляться на п'ять класів небезпеки з урахуванням їх токсичності, впливу на довкілля та технології знешкодження промислових відходів на полігонах.

До I класу відносяться особливо токсичні отруйні сильнодіючі з'єднання. Їх прийом та поховання здійснюють у металевих контейнерах.

До II класу відносяться рідкі відходи з мінеральними забрудненнями (кислоти, луги, солі, гідроокиси важких металів). Нейтралізуються в котлованах за рахунок взаємного змішування та додавання реагентів.

До III класу відносяться умовно-тверді відходи, в тому числі пастоподібні, які змішуються з тирсою. Згущені таким чином відходи поміщають у котлован та ізолюють зверху шаром ґрунту.

До IV класу відносяться рідкі відходи, що містять органічні забруднення з ГПК близько 25000 мг/л. Ці відходи частково випаровуються в процесі спалювання органічних забруднень.

До V класу відносяться нафто-масловідходи, що не утилізуються, які містять до 80 % води та до 10% ґрунту та механічних включень. Знешкоджуються ці відходи спалюванням.

Тверді промислові відходи поділяються на наступні основні групи:

- відходи металопереробних виробничих підрозділів;
- відходи металургійних виробничих підрозділів;
- відходи скляних та керамічних виробництв;
- відходи при виробництві полімерних матеріалів синтетичної хімії (у тому числі відходів гуми, гумотехнічних виробів);
- відходи з природних полімерних матеріалів (відходи деревини, картону, целюлозно-паперові відходи, відходи фіброїну, кератину, казеїну, колагену);
- відходи опалювальних систем;
- волокнисті відходи;
- радіоактивні відходи.

1.2 Тверді промислові відходи металопереробних виробництв та їх переробка

Металопереробні виробничі підрозділи мають навіть при неповному завантаженні велику кількість металевої стружки та пилу. Металева стружка та металевий пил утворюються при механічній обробці, заготівлі, заточуванні, шліфуванні виробів.

Найчастіше на тому самому устаткуванні, на тому самому верстаті можуть утворюватися відходи різних металів, оскільки обробляються

заготовки із різних металів. Для відділення відходів різних металів можна використовувати магнітні властивості відходів заліза. Притягаючись до магніту сталева тирса відокремлюються від інших металевих відходів і збирається окремо у відповідній тарі. Далі вони прямують на переробку.

Зокрема з однотипної стружки можна способом гарячого штампування при $t=1000...1200$ °C отримувати монолітну деталь, що не вимагає подальшої обробки. Перевага гарячого штампування: робота при більш низьких температурах (велика економія енергетики), відсутність втрат, 100% використання ТПВ. ТПВ з нержавіючої сталі збираються в окрему тару і в жодному разі їх не можна змішувати з іншими металевими відходами. Після збору такі ТПО прямують на переробку.

У ВНДІ твердих сплавів розроблено спосіб утилізації металевої стружки, який полягає в тому, що стружка не переробляється на порошкову сталь. Це виключає дорогий процес лиття, який для свого проведення потребує значної кількості енергетики. Цей спосіб може бути використаний на будь-якому металопереробному виробництві. Відповідно до цього способу, металева стружка, відмита від масел у бензині або гасі, завантажується в кульовий або вібротлин в середу етанолу і розмелюється до заданого ступеня помелу. Отриманий у такий спосіб порошок замішується в змішувачі на розчині синтетичного каучуку в бензині та пресується на 500-тонному пресі. Отриманий таким чином напівфабрикат, що має значну пористість (близько 30 %), далі спікається у захисній атмосфері або у вакуумі. З метою отримання заданої форми заготовку піддають гарячому куванню або прокатці. Таким чином отримують порошкову сталь із дрібними зернами.

У 80-х роках розроблено технологічні прийоми переробки ТПВ надтвердих сталей, які засновані на вакуумному та електрошлаковому переплавленні в спеціальному пульсуючому магнітному полі. Проведені в той час спеціальні дослідження показали, що електрошлаковий переплав ТПВ надтвердих сталей у пульсуючому магнітному полі – ефективний спосіб

відновлення зношеного інструменту для гарячого штампування.

Брак, литники, металева стружка після механічної обробки є добрим матеріалом для приготування шихти. В той же час застосування для плавки одних відходів не рекомендується, тому що при цьому може підвищитися газонасиченість металу та збільшиться вміст оксидів. При цьому кількісний вміст відходів, що вводяться в плавку має перевищувати 35...40 % від загальної маси шихти. Якщо необхідно проведення кількох ливарних сплавів, потрібно суворо стежити, щоб не проводилося змішування ТПВ металу різного складу. Тому повернення (ТПВ металу) слід зберігати строго по сплавах, у жодному разі не допускаючи навіть помилкового разового змішування, у чітко замаркованій тарі і в різних місцях для різного сплаву так, щоб випадкове змішування звести до мінімуму.

Для ливарного виробництва характерний одночасний рух великої кількості металу, піску та допоміжних матеріалів.

Важливим етапом ливарного виробництва є регенерація відпрацьованих формувальних сумішей. Ця регенерація включає наступні стадії технологічного процесу:

- дроблення кускової використаної формувальної маси;
- очищення від металевих включень;
- просівання з одночасним продуванням повітрям та відсмоктуванням пилу;
- відтирання зерен піску від сполучного;
- повторне знепилення.

Дроблення формувальної суміші проводиться у два етапи:

- 1) попереднє дроблення на валкових дробарках.
- 2) остаточне дроблення на роторних дробарках.

Очищення роздробленої формувальної маси від металу проводиться за допомогою магнітних сепараторів. Найбільш зручним способом конструктивного виконання такого сепаратора є встановлення електромагнітного очищення формувальних. Їх конструктивне виконання дозволяє повністю витягувати металеві частинки з відпрацьованої та добре

роздробленої формувальної суміші.

При дробленні, магнітній сепарації та знепилюванні руйнуються частково глинисті кірки та плівки сполучних з поверхнею частинок піску. Для остаточного очищення піску проводиться його пневморегенерація (тобто регенерація струменем повітря). Дуже часто для очищення піску використовується спосіб "киплячого" шару. Для цього в шар піску, що рухається, вводять лопатки, що обертаються. При цьому швидкість повітря розраховується так, щоб частинки піску не неслися з повітрям, перебували у потоці у зваженому стані, тобто наче кипіли. Швидкість руху піску регулюється так, щоб період знаходження частки піску був цілком достатнім для її повного очищення.

Складніше перекладається регенерація рідинноскляних самозатвердних сумішей. Для відновлення таких сумішей застосовується спосіб хімічного відновлення властивостей піску, що ґрунтується на селективному розчиненні в киплячому розчині лугу. Концентрація лугу 1...15%; час обробки = 1:00, температура +100 °С; ступінь вилучення рідкого скла не менше 70 %. Ефективність процесу регенерація на основі селективного розчинення дозволяє його використовувати не тільки із звичайними матеріалами типу кварцит, а й із дефіцитними продуктами, такими як електрокорундом. Спосіб селективного розчинення забезпечує високу якість регенерації. Зміст домішок у регенованому продукті становить: SiO_2 - 0,6 %; FeO_3 - 0,12 %; Na_2O - 0,04 %.

Переробка ТПВ основних матеріалів ливарного виробництва вирішує всіх проблем і зокрема використання допоміжних матеріалів. До таких матеріалів слід віднести золу та шлак, які утворюються при спалюванні. Шлаки в залежності від місця видобутку містять різноманітні цінні компоненти. Зварювальні шлаки з нагрівальних печей багаті на залізо. Тому такі шлаки додаються в шихту в доменних печах для часткової заміни руди з метою її економії. Шлаки, що містять фосфор, можуть використовуватися як мінеральні добрива.

Однак тут слід звернути пильну увагу на те, щоб у таких продуктах не містилися канцерогенні речовини. Бездумно використовувати практично будь-який продукт, що містить цінний компонент, ні в якому разі не можна. Особливо це стосується сировинних матеріалів, де можуть брати участь галогени, хлор, бром. Досвід підказує, що в деяких випадках шлаки з успіхом можуть застосовуватися в медичній практиці. Доменні шлаки з урахуванням вищезазначеного застереження містять ряд хімічних сполук сірки, кальцію, магнію, заліза. Розчиняючись у воді та використовуючи таку воду після проведення ретельного аналізу, можна вилікувати ряд хвороб: невралгічні захворювання, різні форми кістково-суглобових захворювань. Але зрозуміло перед застосуванням для лікування таку воду слід проаналізувати на вміст канцерогенів у тому числі і на супертоксиканти. Без проведення таких аналізів використовувати шлаки для приготування мінералізованої лікувальної води не можна. Крім цього застосування шлаків використовуються в якості наповнювача в будівельній індустрії для формування з цементної суміші шлакоблоків.

Під поняттям поліметалу розуміється маса ТПВ металу, які складаються з кількох сортів різних металів, нанесених електрохімічним шляхом. Часто основою виробу є залізо чи мідь, а як покриття використовуються кольорові та рідкісні або навіть дорогоцінні метали: золото, срібло, платина. Це стосується насамперед ТПВ від радіоелектронних виробів, деяких типів контрольно-вимірювальних приладів, деяких електротехнічних агрегатів.

Зібрані в залежності від виду ТПВ таких виробів піддаються переробці в гальванічному виробництві, де проводиться зняття металевих покриттів пошарово електрохімічним способом. Наприклад, олово та його сплави знімаються в розчині, що містить 50...100 г/л NaOH при температурі 60...70°C. Срібне покриття видаляється сумішшю концентрованих азотної та сірчаної кислот. Способи переробки солей срібла засновані на отриманні хлористого срібла AgCl, який при його творенні завжди випадає в осад.

Металеve срібло зняте з тонких поверхонь поліметалів розчиняють в азотній кислоті у вигляді азотнокислого срібла - AgNO_3 і також осаджується далі з розчину подачею соляної кислоти та утворенням осаду хлористого срібла AgCl . Далі після низки впливів (промивання водою, підкислення соляної кислотою HCl) осад кип'ятять із цинком. Після закінчення реакції відновлення срібла, його відокремлюють від цинку та після ряду хімічних стадій очищення виходить чистий готовий продукт.

Зняття золота з поверхні поліметалу проводиться також певним хіміко-технологічним прийомом із застосуванням азотної кислоти. Роботи виконуються за ефективною працюючою тяги з витяжкою повітря для того, щоб звести до мінімуму викид оксидів азоту, які повинні вловлюватися сорбентом (активованим вугіллям або іншим поглиначем).

Інший спосіб зняття золота полягає в обробці поліметалевих поверхонь розчином лугу. Для цього поверхня поліметалу кілька разів обливається гарячим розчином лугу. Дифузія розчину лугу порушує адгезію (прилипання) з іншим основним металом та золоте покриття знімається у воді губкою чи щіткою. Якщо матеріал основної металевої поверхні мідь, то вищеописана обробка виявляється неефективною. Виріб із поліметалу, де основна поверхня мідь з метою відокремлення золота від міді прямує на відповідне мідеплавильне виробництво, де метали поділяються звичайним способом.

Слід зазначити, що коефіцієнт використання металу у колишньому Радянському Союзі за даними 1990 р., становив лише 0,7, тобто 70%. Таким чином ~30 % металу йшло у так звані відходи. Зараз, очевидно, цей коефіцієнт лише знизився для всіх видів металу. Це, звичайно, не припустимо. Використання вторинної сировини на сьогодні набуває ще більшої значущості, оскільки вкрай дорогими виявляються ціни на енергетику. Використання ТПВ чорних та кольорових металів замість руди дає значну економію енергетики у відсотках:

- алюмінію – 95 %;
- міді – 83 %;

- свинцю – 64 %;
- цинку – 60 %;
- сталі – 74 %.

Дуже багато металу йде на створення стихійних несанкціонованих сміттєзвалищ ТПВ.

ТПВ металургійних виробництв можна дещо умовно поділити на 2 групи:

- ТПВ у чорній металургії.
- ТПВ у кольоровій металургії.

Відходи у чорній металургії утворюються вже на стадії видобутку руди. При цьому слід зазначити, що ~ 70 % розкритих порід та відходів збагачення можна використовувати для виробництва будівельних матеріалів. Агломераційні виробництва також дають великий відсоток відходів. Так очищення агломераційних газів від пилу, що містить залізовмісний компонент здійснюється сухим або мокрим способом. Очищення газу з використанням електрофільтрів та спосіб сухого транспортування пилу, що сорбується, дозволяє усунути майже повністю скидання стічних вод.

Важливим кроком використання шлаків, що містять залізо та уловлювання всіма способами пилу є присадка цих шлаків до агломераційної шихти. Крім того, необхідно, щоб всі шлаки та пил, уловлювані всілякими способами повністю утилізувалися по прямому призначенню. Зі світової практики відомо, що в низці країн Європи пил з рукавних фільтрів феросплавних печей використовується для виплавки вуглецевого феромарганцю.

В чорній металургії застосовується велика кількість вогнетривких матеріалів, які порівняно швидко зношуються. Тому для того, щоб використовувати їх повторно, запропоновано технологію застосування цих зношених постарілих вогнетривких матеріалів у виробництві вогнетривкого бетону в будівельній галузі виробництва.

Для цього застарілі вогнетривкі матеріали, дробляться, а потім змішуються з високими марками цементу та замішується звичайний

цементний розчин у 2-х лопатовому змішувачі Вернера – Пфлейдерера. Роздроблені вогнетривкі матеріали служать наповнювачем у такому будівельному розчині. З отриманого розчину формується вогнетривкий бетон або окремі вогнетривкі вироби.

В металургійному виробництві 80 % від загальної кількості ТПВ складають шлаки. Шлаки визначають практично сутність організації безвідходного металургійного виробництва. Доменний шлак застосовується для масового виробництва широкого асортименту будівельних деталей (блоків, плит тощо). Головними товарними виробами для реалізації з ТПВ металургії є такі (у відсотках):

- різні види гранульованого шлаку – 54;
- щебінь – 35;
- шлакова пемза – 3,6;
- зворотний продукт металургії – 4.

Значною мірою використовуються та переробляються доменні шлаки. Усі нормальні серйозні металургійні виробництва мають дільниці з переробки доменних шлаків. Особливо важливим товарним продуктом, одержуваним на основі доменних шлаків, є гранульований шлак. В нашій країні у 90-х роках близько 30% цементу вироблялося на основі шлаків. За умови введення в шихту до 30% шлаку енергетичні витрати на виробництво спеціальних видів шлакоцементу знижуються на 20%.

Широко застосовується шлак для отримання такого продукту, як шлакова пемза. Шлакова пемза використовується як пінистий наповнювач ряду конструкційних бетонів. При цьому старіння таких бетонів на відміну від наповнювачів на основі синтетичних полімерних матеріалів не супроводжується виділенням будь-яких продуктів синтетичної хімії.

Тяжкі фракції шлакової пемзи застосовуються для отримання мінеральної вати. Шлаковий щебінь, що отримується повільним охолодженням шлаку, сприяє утворенню кристалічної структури. Щебінь виходить з рідких шлаків, з охолоджених шлаків та з відвалів. Широке

застосування шлакового щебеню дозволяє уникнути будівництва нових кар'єрів. В металургійних виробництвах працюють установки з виробництва мінеральної вати з вогненно-рідких шлаків. Використання рідких шлаків дозволяє не тільки економити сировину, а й знизити енергетичні витрати.

Трудомісткість виробництва мінеральної вати на основі рідких доменних шлаків нижча, ніж виробів із щебеню. За останні десятки років зросла переробка шлаків сталеплавильного виробництва. Конвертерні шлаки, що містять 40...50% CaO; 25% Fe₂O₃; 8% MnO₂; ~ 8% Fe використовуються для виплавки чавуну в аглошихті. Це відновлює наявний у шлаках вміст марганцю, а додаткове металеве залізо дозволяє зменшити потребу у флюсі.

У 90-ті роки зросла переробка феросплавних шлаків. Вони переробляються на оборотний продукт для металургії, для виробництва щебеню, гранульованого шлаку для будіндустрії. При переробці шлаків з них витягуються металеві включення різними способами зокрема магнітними сепараторами.

Феросплавні шлаки, що містять значний відсоток найцінніших елементів і великий відсоток заліза доцільно використовувати в самій металургії. Використання при виплавці чавуну, що містить суттєвий відсоток вуглецю, шлаків феросиліцію, суміші силікатів – 40...60%; корольків – 30...45%; і карбїду кремнію від 3 до 16% дозволяє суттєво збільшити продуктивність доменної печі та знизити витрату коксу, при одночасному зменшенні витрати кварциту. Шлаки від виробництва марганцевих сплавів застосовуються при їх виробництві та при плавці чавуну. Це дозволяє значно економити марганець в металургійному виробництві.

Прикладом безвідходного виробництва у чорній металургії є бездоменний спосіб отримання заліза Запорізького металургійного комбінату «Запоріжсталь» на основі високосортних залізних руд КМА. Застосування бездоменної (бескоксової) технології отримання сталі забезпечувало протягом кількох років вітчизняні підприємства високоякісної металургійної

продукції. Одночасно така технологія є більш прогресивною так як завдає менше шкоди навколишньому природньому середовищу.

При виробництві кольорових металів також є ТПВ. Так наприклад, збагачення руд кольорових металів розширює застосування попередньої концентрації у важких середовищах та різних видів сепарації. Процес збагачення у важких середовищах дозволяє комплексно використовувати порівняно бідну руду на збагачувальних фабриках, які переробляють нікелеві, свинцево-цинкові руди та руди інших металів. Легка фракція, одержувана при цьому, використовується як закладного матеріалу на рудниках та у будівельній індустрії.

У Європейських країнах використовуються відходи, що утворюються при видобутку та збагаченні мідної руди, для закладки виробленого простору і знову таки у виробництві будівельних матеріалів, у дорожньому будівництві.

За умови переробки бідних низькоякісних руд широке поширення набувають гідрометалургійні процеси, які використовують сорбційні, екстракційні та автоклавні апарати. Для переробки важкопереробних пірротинових, концентратів, які є сировиною для отримання нікелю, міді, сірки, дорогоцінних металів існує безвідходна окислювальна технологія, проведена в апараті-автоклаві і екстракція, що представляє з себе екстракцію основних вищезгаданих компонентів. Ця технологія використовується на закордонних гірничо-збагачувальних комбінатах. З відходів заточування твёрдосплавного інструменту, шлаків при виробництві алюмінієвих сплавів також витягуються цінні компоненти. Нефелінові шлами при виробництві цементу також використовуються і дозволяють підвищити продуктивність цементних печей на 30% при зниженні витрати палива. Майже всі ТПВ кольорової металургії можна використовувати для виробництва будівельних матеріалів. На жаль, поки що не всі ТПВ кольорової металургії використовуються в будівельній індустрії.

В ряді країн східної Європи впроваджено практично безвідходну технологію переробки бокситів, утилізується так званий червоний шлам, зменшено втрати при виробництві лужних металів за спеціально розробленим технологічним процесом одержують глинозем, оксиди заліза; продукти для цементної промисловості. В закордонній практиці використовується гідрометалевий спосіб переробки цинкової сировини за практично безвідходною технологією. На цьому на підприємстві високі показники вилучення металів, сірки.

Відомо, що витрати на мінеральну сировину у кольоровій металургії становлять понад 70% усіх витрат на виробництво продукції. Багатокомпонентний склад сировини, що переробляється на виробництвах кольорової металургії та низький вміст корисних компонентів, створюють умови для творення найбільших у видобувній галузі відходів від видобутку руди до переробки.

Однак, незважаючи на низку позитивних фактів в не простий перехідний час багато діючих підприємств працює за старою традиційною технологією переробки сировини, яка передбачає корисне використання лише порівняно незначної частини сировини.

Зараз це особливо посилилося, оскільки, по-перше, скоротилися чи повністю призупинені всі дослідницькі роботи з комплексного використання сировинних ресурсів та переробки всіх відходів. По-друге, значно знижено вимоги природоохоронних організацій до виконання низки робіт з розробки безвідходних технологій. По-третє, на теперішній час у більшості підприємств металургійного виробництва відсутні матеріальні засоби на повну реалізацію результатів досліджень

2 ОСНОВНІ МЕТАЛУРГІЙНІ ВІДХОДИ, ЯКІ ПЕРЕРОБЛЯЮТЬСЯ В БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

2.1 Металургійні шлаки

Металургійними шлаками називають легкоплавкі силікатні матеріали, які одержують у вигляді відходів при виплавці металів із руд.

Вони утворюються у вигляді розплаву різних оксидів в процесі виплавки, рафінування та переплавлення металів та їх сплавів. Класифікація металургійних шлаків наведена на рис. 2.1.

Шлаки є сплавом оксидів порожньої породи, золи палива та оксидів флюсів, що утворюються в різних металургійних печах як побічний продукт. Отримувана кількість шлаку на 1 т, що виплавляється металу складає при доменному процесі до 80 кг, мартенівському 30, конверторному - 18, вагранному - 8 кг.

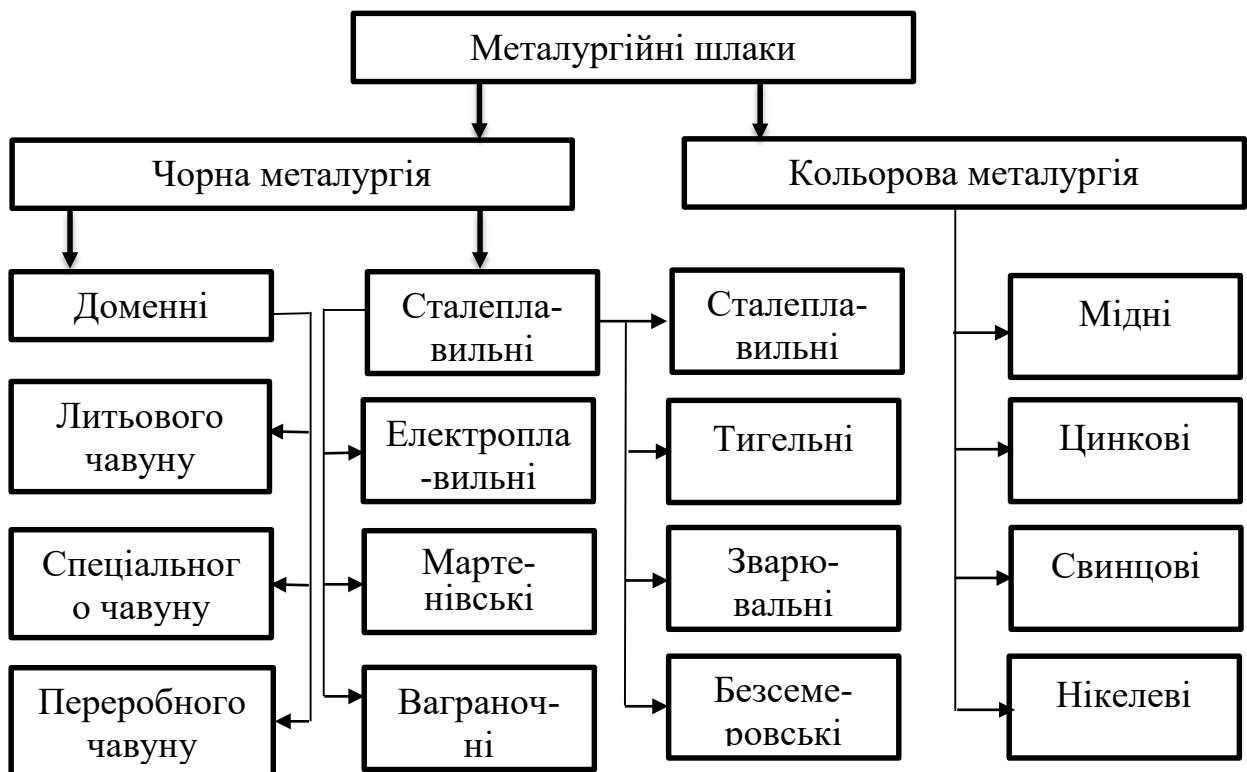


Рисунок 2.1 – Класифікація металургійних шлаків

Залежно від процесу, при якому виходять шлаки, вони розрізняються за хімічним складом, температурою та в'язкістю в момент утворення та випуску, газонасиченості та інших властивостей.

Володіючи меншою в порівнянні з металами об'ємною масою та плинністю, шлаковий розплав розташовується над рідким металом, що й дозволяє відокремлювати шлак від металу у процесі плавки.

В дорожньому будівництві використовують переважно доменні, а потім мартенівські, мідеплавильні, феромарганцеві, електроплавильні, вагранні, нікелеві та інші шлаки.

Залежно від хімічного складу та швидкості охолодження структура та міцність металургійних шлаків бувають різними. Шлаки бувають високої міцності та маломіцні. Однорідні по фарбуванню, щільні, кристалічної структури шлаки зазвичай міцніші за неоднорідні, пористих і склоподібної структури. Якість шлаків, особливо їх здатність до розпаду, перевіряють у лабораторії.

Шлаки містять до 95 % оксидів Ca, Si, Al, CaO і особливо Al_2O_3 надають шлаку гідравлічні властивості, підвищений вміст SiO_2 знижує їх. Інші сполуки - FeO, MgO, MnO, CaS, MnS - містяться в невеликій кількості, але можуть помітно впливати на властивість шлаків.

За співвідношенням основних оксидів (CaO, MgO, FeO, MnO) до кислотних (SiO_2 , Al_2O_3) шлаки характеризують умовним модулем основності:

- основні шлаки:

$$M = \frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3} > 1, \quad (2.1)$$

$$M = (42+2)/(42+8) = 0,88$$

- кислі шлаки:

$$M = \frac{CaO+MgO+Al_2O_3}{SiO_2} < 1, \quad (2.2)$$

$$M = (42 + 2 + 8) / 42 = 1,2$$

- проміжні шлаки:

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} < 1 \quad (2.3)$$

$$M = 0,88$$

$$M = \frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2} > 1 \quad (2.4)$$

$$M = 1,2$$

Більшість металургійних шлаків мають модуль основності $M = 0,7 \dots 1,6$, причому шлаки деревно-вугільної плавки характеризуються модулями менше одиниці. Найбільш стійкі кислі шлаки. Основні шлаки, що повільно охолоджуються, зазвичай здатні до самостійного розпаду, що виражається у розтріскуванні шлакових брил і частковому розсипанні на порошок.

Металургійні шлаки знаходять все ширше застосування в дорожньому будівництві. Залежно від якості та способів переробки вони можуть бути використані для будівництва найпростіших і удосконалених дорожніх покриттів.

Станом на 2022 рік щорічний вихід металургійних шлаків по країні становив понад 30 млн. т, з них понад 10 млн. т щорічно зливалася у відвали, у тому числі сталеплавильні шлаки майже повністю зливаються в відвали у кількості близько 8 млн. т на рік. На теперішній час у відвалах є понад 100 млн. т сталеплавильних шлаків.

Доменні шлаки - побічний продукт при виплавці чавуну із залізних руд в доменних печах. Чавун і шлак утворюються в доменній печі одночасно в процесі плавлення компонентів шихти: руди, палива та флюсу - вапняку або доломіту. Шлаковий розплав, що має меншу об'ємну масу, який спливає над чавуном. Чавун і шлак випускають із доменної печі періодично.

Спочатку через верхній отвір (шлакову льотку) випускають шлак, потім через нижній отвір (чавунну льотку) зливають чавун. По мірі зливу чавуну його місце займає шлак, що знаходився нижче шлакової льотки. Цей шлак випускають через чавунну льотку після зливу чавуну. Шлак, випущений через шлакову льотку (верхній шлак), становить 50...75% всієї кількості шлаку.

Шлак, що випускається через чавунну лютку (нижній шлак), містить чавун і тому при переробці вимагає спеціальних заходів для відділення металевих включень. Шлак, що випускається з доменної печі, зливають у шлаковозні ковші і відвозять у місця переробки чи відвал.

Склад та властивості доменних шлаків визначаються складом залізної руди, флюсів та палива, технологічним процесом плавки, а також умовами остигання шлаку.

Залежно від режиму охолодження доменні шлаки поділяють на каменеподібні, гранульовані та склоподібні.

За будовою (структурою) каменеподібні шлаки поділяються на склоподібні, змішані та кристалічні, за додаванням — на щільні, пористі, ніздрюваті та пемзоподібні.

Шлаки склоподібної структури переважно кислі, характеризуються значною твердістю та крихкістю; злам раковистий, грані гострі, ріжучі. Шлаки кристалічної структури, як правило, щільні та характеризуються високою міцністю, в'язкістю; розкол правильний, шорсткий, грані гострі та тупі. Шлаки змішаної структури в порівнянні з кристалічними мають меншу в'язкість і міцність.

Повільно охолоджені доменні шлаки, що закристалізувалися в залежності від хіміко-мінералогічного складу можуть бути як стійкі, і розпадаються з часом. Розрізняють наступні види розпадів: силікатний, вапняковий, залізистий та марганцевий.

Силікатний розпад виникає при переході двокальцієвого силікату з бета-форми до гамма-форми. При цьому відбувається значне збільшення обсягу речовини, що призводить до розтріскування та розпаду шлаку в борошністий порошок - шлакове борошно.

Вапняний розпад відбувається при гідратації перепалу вапна, внаслідок чого шлак мимоволі розтріскується на шматки. Вапняний розпад більш

властивий мартенівським шлакам.

Залізистий розпад буває при вмісті сполук заліза в перерахунку на FeO понад 1,5 %; під впливом вологи FeS переходить у $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{S}$ із значним збільшенням обсягу речовини (до 38 %), що викликає розтріскування шлаку.

Марганцевий розпад призводить до розтріскування шлаку в результаті з'єднання у вологому середовищі марганцю з сульфідною сіркою.

Каменеподібний кристалічний шлак, що не розпадається переробляється переважно на щебінь, який використовується в дорожньому покритті таким же чином, як і щебінь природних кам'яних матеріалів.

Відвальні доменні шлаки виходять в результаті зливу шлакового розплаву у відвал і подальшої розробки відвалу, характеризуються великою різноманітністю складу та властивості. Це викликає необхідність ретельного сортування шлаків, що розробляються, за стійкістю проти розпаду, структурі, об'ємній масі та кількості сторонніх домішок.

Відвальний шлак є переважно кусковим матеріалом крупністю окремих шматків до 100...120 мм. Шматки більшого розміру становлять менше 15 % обсягу всього шлаку. Відвали розробляють із таким розрахунком, щоб отриманий щебінь якнайбільше був витриманий на відкритому повітрі для звільнення його від різновидів, що розпадаються та сірчистих сполук.

Відвальні кислі доменні шлаки, перероблені (подрібнення та сортування) на щебінь, застосовуються для влаштування щебеневих основ та покриттів, для приготування асфальтобетонної суміші, а також для влаштування нижнього шару цементобетонних покриттів.

2.2 Виробництво будівельних матеріалів з металургійних шлаків

2.2.1 Виробництво цементу

Цементна промисловість використовує шлак як активну мінеральну добавку при виробництві шлакопортландцементу – в'язучої речовини, що твердне у воді та на повітрі. Шлакопортландцемент одержують шляхом подрібнення клінкеру (обпаленої до спікання суміші вапняку та глини), доменного гранульованого шлаку та гіпсу ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Активні речовини, що містяться в шлаку, покращують технічні властивості цементу, підвищують його якість та міцність виготовлених із нього будівельних конструкцій. Це дозволяє скоротити витрати шлакопортландцементу на 5 % порівняно з портландцементом при виробництві бетону класу В-25, з якого робиться до 80 % усіх збірних залізобетонних конструкцій.

Використання доменних шлаків при виробництві шлакопортландцементу дозволяє замінити глину, знизити в 1,2...1,6 рази витрати вапняку, збільшити обсяг виробництва цементу в 1,5...2 рази, знизити витрату енергії на 40 %, покращити екологічні характеристики в регіоні.

Об'єми використання доменних шлаків цементною промисловістю настільки великі, що їх не вистачає та проводяться роботи із залучення у виробництво інших металургійних шлаків (конвертерних, феросплавних, мартенівських та ін.).

При виготовленні цементу використовують шлаки у гранульованому вигляді. В даний час грануляційні установки є на всіх металургійних заводах.

2.2.2 Виробництво гранульованих шлаків

Грануляція шлаків – процес виробництва склоподібних гранул із рідкого шлаку шляхом різкого його охолодження водою, паром, повітрям чи іншим газом. Розмір одержуваних гранул 1...5 мм.

Для подальшого використання важливими є такі властивості гранульованих шлаків, як гідравлічна активність, здатність до подрібнення, вологість, гранулометричний склад.

Грануляція шлаку проводиться або у плавильному агрегаті, або на установках, що окремо стоять, з транспортуванням до них шлакового розплаву в ківшах. Основна маса шлакових розплавів поки що переробляється в позапічних гідрожолобах, басейнових та барабанних установках. Дроблення шлаку в цих установках проводиться водяним або водоповітряним струменем. Установки споживають велику кількість води, яка після використання потребує очищення.

У технологічному процесі в результаті контакту води з розплавленим шлаком утворюється велика кількість паро-газової суміші, що надає несприятливий вплив на довкілля.

При басейному способі гранулювання шлаку на якість гранул впливають режим охолодження розплаву, об'єм і температура води в басейні і навіть погодні умови.

Більш прогресивна припічна безковшова технологія гранулювання шлаку. При цьому способі рідкий шлак з доменної печі по жолобу стікає в гранулятор, що складається з короткого лотка і гідронасадки, де струменями води дробиться на частинки.



Рисунок 2.1 – Гранульований шлак

Гранули надходять у бункер-відстійник, звідки насосами (ерліфтом) перекачуються в зневоднювачі. Зневоднення здійснюється у спеціальних бункерах, обладнаних фільтруючими решітками, або карусельних фільтрах, забезпечених коробками з перфорованими відкидними кришками. При обертанні зневоднювача кожна коробка проходить на стадії заповнення пульпою, фільтрації води через отвори в днищі та розвантаження зневодненого шлаку в бункер. Установка герметична, паро-газова суміш уловлюється, очищається в скрубєрі і видаляється у витяжну трубу, а вода повертається для повторного використання.

Технологічні параметри процесу припічної грануляції шлаку наведені нижче:

- 1) температура шлаку, °С = 1480...1620
- 2) витрата, т/хв:
 - ТОС о "1-3" h z шлаку = 8...13
 - води = 30...60
 - тиск води, МПа = 0,3...0,4
 - вологість гранул % = 12...17
 - насипна маса гранул, т/м³ = 0,9...1,2

Описані способи грануляції шлаку створюють ряд екологічних проблем у зв'язку з вмістом у газових викидах токсичних газів та пилу, а в оборотній воді – вапна, тіосульфатів та аміаку. Скидання такої води у водойми неприпустимо. Тому всі установки гранулювання шлаків повинні мати у своєму складі системи очищення води та газів, що, природньо, здорожує вартість готової продукції.

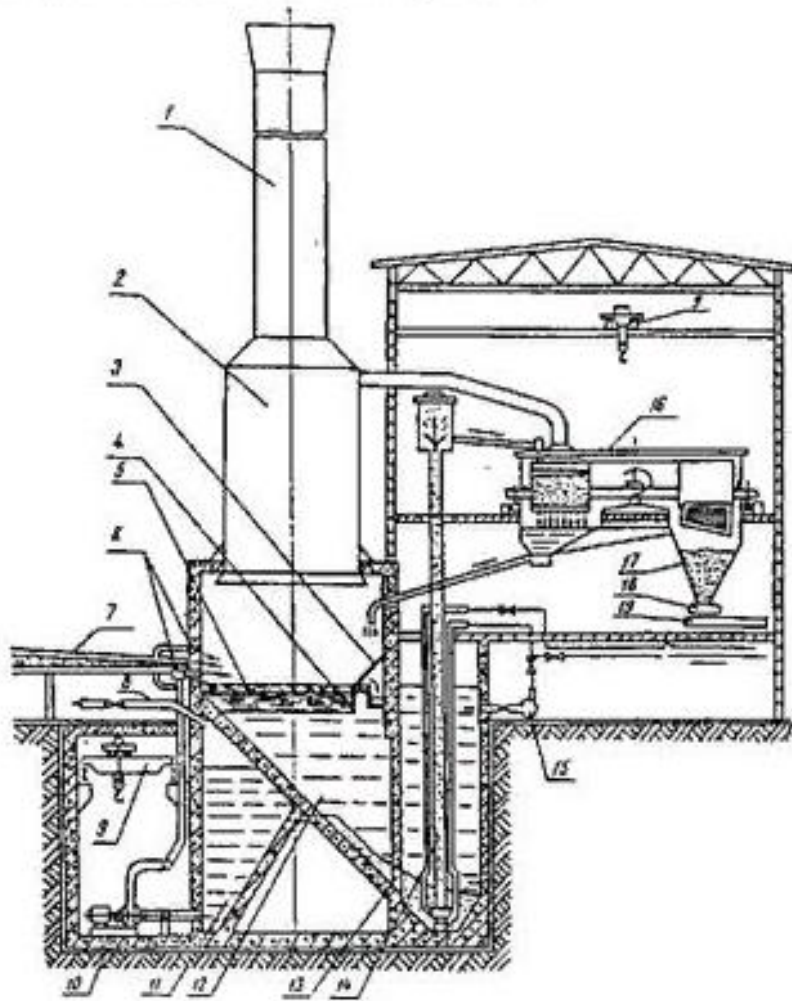


Рисунок 2.2 - Схема припічної гранулюючої установки шлаку:

1 – витяжна труба; 2 – скруббер; 3 – захисний екран; 4 – скімерна дошка;
5 – ґрати; 6 – гранулятор; 7 – шлаковий жолоб; 8 – водовід підживлювальної
води; 9 - мостовий кран; 10 – насос; 11 – камера оборотної води; 12 - бункер-
відстійник; 13 - вікно; 14 - ерліфт; 15 - насос подачі води на змучування; 16 -
карусельний фільтр; 17 - проміжний бункер; 18 – живильник; 19 - конвеєр

В цьому сенсі екологічно чистішою є контактна технологія грануляції шлаку. За цією технологією розплавлений шлак із шлакоприймача по лютці перетікає у ванну, де налипає на барабан, зовнішня поверхня якого виконана із змійовика, що охолоджується водою. Залежно від швидкості обертання барабана товщина кірки налиплого шлаку становить 2...15 мм. Шлак у ванні підтримується в розплавленому стані за рахунок підігріву нагрівачем, а налипла затверджена кірка зрізається шлакоснімачем, і отримані гранули скидаються в бункер. Вода в змійовику перетворюється на пару, тепло якої може бути утилізовано.

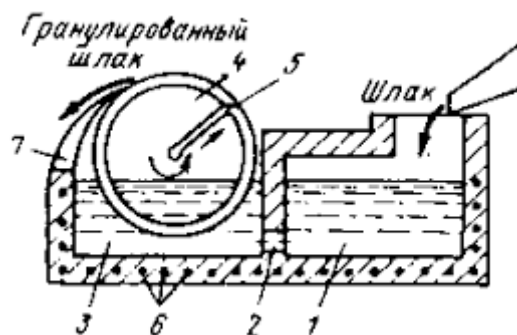


Рисунок 2.3 – Схема контактної грануляції шлаків

Одним із способів утилізації шлаків є виробництво шлакобетону – легкого бетону, в якому як полегшений заповнювач використаний шлак. Причому замість піску застосовується дрібний гранульований шлак, а як великий заповнювач (щебеню) – кусковий паливний шлак. Шлак для виготовлення армованого шлакобетону не повинен містити у великих кількостях з'єднання сірки (не більше 3 %) і частинки згорілого вугілля (не більше 3 %), так як при більш високому їх вмісті відбувається корозія сталеві арматури і зниження властивостей міцності конструкцій.

Об'ємна щільність шлакобетону становить 1400...1600 кг/м, міцність при стисканні – до 10 МПа. Його використовують у будівництві для виготовлення легких перекриттів, будівельних блоків та каменю, які використовуються для кладки стін.

2.2.3 Виробництво пемзи із доменних шлаків

При виробництві легких бетонів і конструкцій, а також теплоізоляційних засипок використовують термозит (шлакову пемзу) - штучний пористий заповнювач, одержуваний спучуванням розплавів металургійних шлаків при їх швидкому охолодженні обмеженою кількістю води з подальшою кристалізацією і віджимом утвореної пористої маси. Середня щільність термозитного піску не перевищує 1200 кг/м^3 . Термозитний щебінь випускається трьох марок – із щільністю 400; 600 та 800 кг/м.

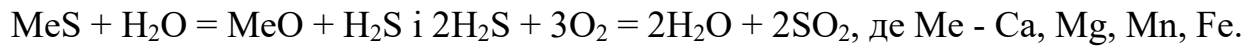
Використання термозиту як заповнювача для виготовлення легких бетонів та теплоізоляційних будівельних матеріалів дозволяє знизити масу конструкцій, що захищають будівлі, порівняно з цегляними на 10...15 % і витрата цементу на 15...20 %.



Рисунок 2.4 – Шлакова пемза (термозит)

Більшість властивостей термозиту залежить від його структури. При вмісті в ньому 40...60 % (мас.) мікрокристалічних утворень досягаються максимальні властивості міцності матеріалу. Чим більший розмір пір, тим нижче міцність термозиту і більша витрата цементу при виготовленні бетонів з його застосуванням.

Утворення пір у розплавленому шлаку є наслідком виділення газів при взаємодії з водою сульфідів металів, що знаходяться в шлаку. Хімічна реакція протікає у два етапи:



Вода, крім участі у реакції газоутворення, виконує роль охолоджуючого агента та підвищує в'язкість шлаку та його здатність утримувати газу. Тому для правильної організації процесу необхідний гарний контакт води із шлаком.

Якість пемзи, що виходить, оцінюється її пористістю, від якої залежать міцність, морозостійкість, теплопровідність, жаростійкість та інші властивості. Пористість шлаку визначається за такою формулою:

$$P_{\Pi} = (1 - \rho_k / \rho_{\text{ш}}) \text{ Ш}, \quad (5)$$

Де Ш - пористість шлаку, %; ρ_k - щільність пемзи в шматку, г/см³; $\rho_{\text{ш}}$ - щільність вихідного шлаку в шматку, см³.

Залежність між щільністю пемзи в шматку та насипною щільністю виражається рівнянням:

$$P_k = K/P_n, \quad (6)$$

Де К - коефіцієнт, зазвичай становить 1,6... 2,5; P_n – насипна щільність пемзи.

Існують різні способи отримання пемзи, з яких найбільш поширеним донедавна був басейновий, при якому шлак з температурою 1260...1320 °С обробляється у ваннах-басейнах водою під тиском 0,08...0,1 МПа.

Спукування шлаку, що надходить у басейн, відбувається протягом 2...3 хв. за рахунок впливу води, що подається в басейн під тиском через отвори в його днище. Кристалізація та формування пемзи тривають 6...8 хв.

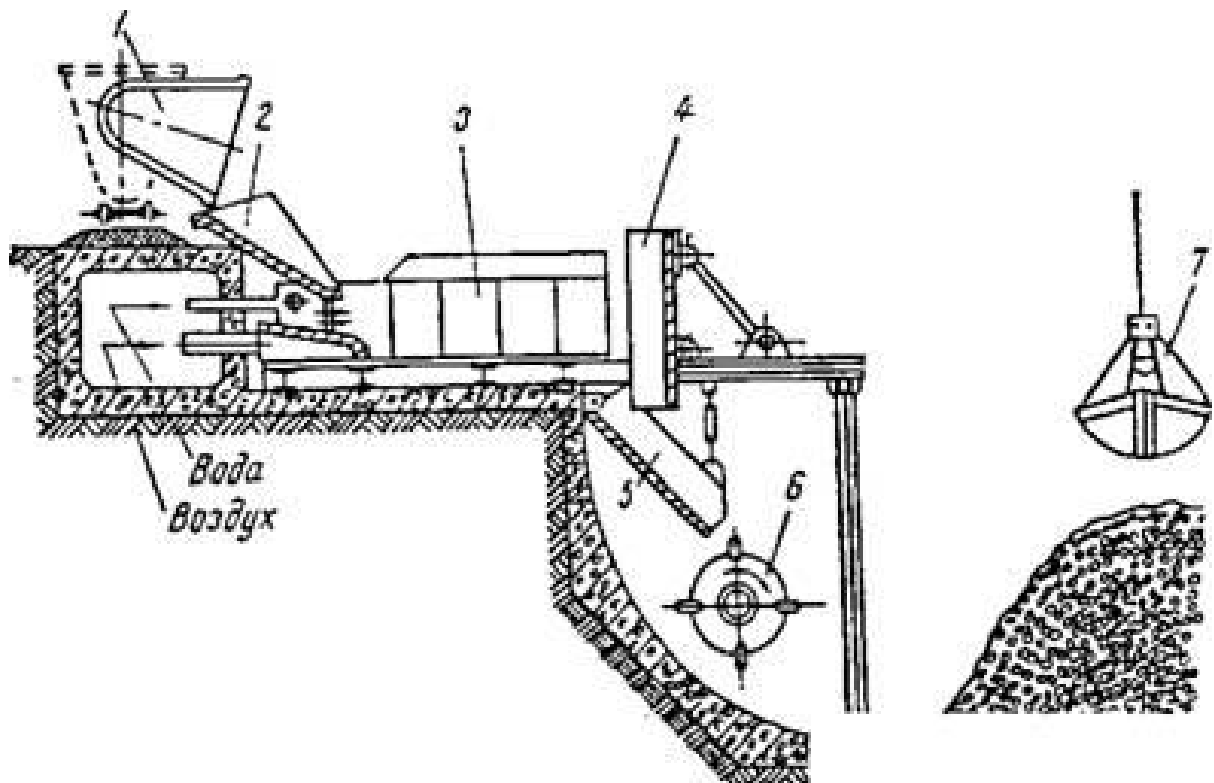


Рисунок 2.5 - Технологічна схема отримання пемзи із застосуванням лопатевого барабана: 1 - ківш зі шлаком; 2 - похилий жолоб; 3 – приймальна ванна; 4 – екран; 5 - напрямний лоток; 6 - лопатевий барабан; 7 - грейферний кран

Витрата води становить 0,2...0,4 м³/т шлаку. Після спучування масу, що вийшла, охолоджують протягом 3...5 год до 100...150 °С на проміжному складі, потім дроблять на валкових дробарках і сортують на гуркотах.

Більш прогресивним є барабанний припічний спосіб одержання пемзи.

Шлак з ковша зливається по похилому жолобі у приймальну ванну, де попередньо спучується під дією струменів води, що виходить з гідронасадки під тиском до 0,8 МПа. Потім пластична маса, що спучилась, по напрямному лотку подається на лопатевий барабан, на зовнішній поверхні якого є перфоровані порожнисті ребра.

Вода, що подається всередину барабана, за рахунок його обертання відкидається на циліндричну поверхню і через отвори в ребрах розбиває шлак на гранули. Отримана гранульована пемза має розміри 8...16 мм і насипну щільність 650...850 кг/м³.

Незважаючи на більш високу витрату води в порівнянні з басейновим способом, ця технологія екологічніша і ефективніша, оскільки цей спосіб відрізняється невеликим виділенням сірчистих газів завдяки порівняно короткому контакту гарячих шлаків з водою.

2.2.4 Виробництво щебню із доменного шлаку

До 20 % доменних шлаків, що утворюються, переробляється в щебінь, який використовується для пристрою основ усіх видів доріг. Нульову фракцію розміром до 5 мм, яку називають шлаковою дрібницею, що має в'язучі властивості, використовують при виготовленні монолітних шлакобетонних основ.



Рисунок 2.6 – Доменний щебінь

Вимоги до щебню визначаються областями його застосування. Одним із важливих показників є морозостійкість, за яку приймається кількість

циклів замерзання та відтавання, що витримуються насиченим водою щебнем без зміни міцності. Існуючі марки щебня мають морозостійкість 15, 25, 50, 100, 150, 200 і 300, тобто витримують кількість циклів заморожування-розморожування (МЗ.р), що дорівнює номеру марки. Для виробництва бетонів використовують щебінь з МЗ.р = 300. Формування необхідної структури щебеню досягається регулюванням швидкостей зливу та охолодження розплавленого шлаку. Одержанню кристалічної структури сприяє повільне охолодження шлаку.

Найбільш поширеним є траншейний спосіб виробництва щебеню, при якому шлак зливається в траншеї біля доменних печей.

Оптимальна товщина шару шлаку при зливанні його в траншею становить 100...200 мм. Зазвичай площа траншей становить вітчизняних металургійних заводах 3...10 тис. м.

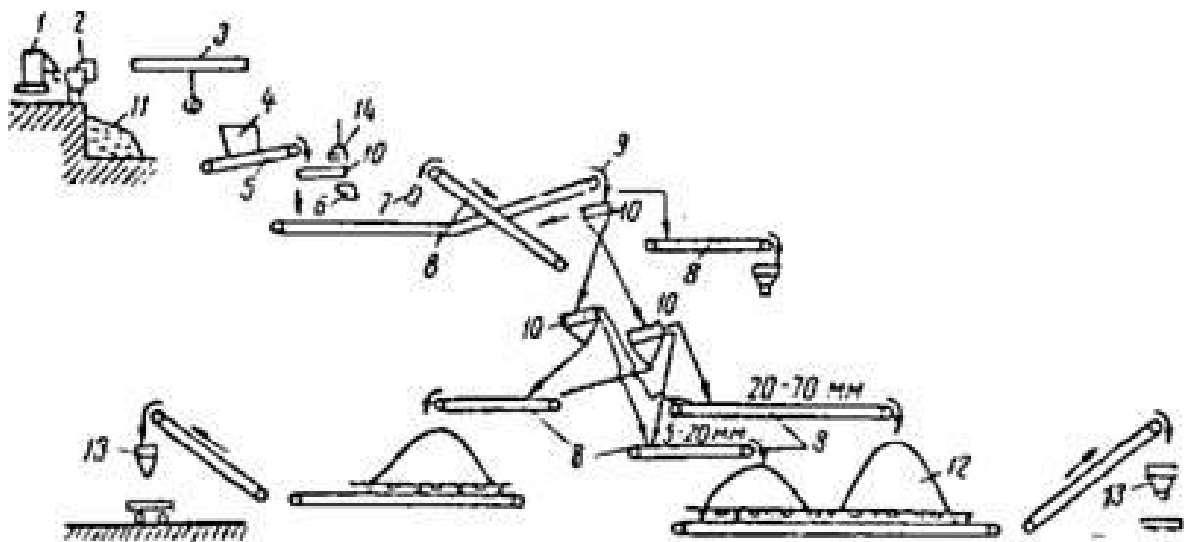


Рисунок 2.7 - Технологічна схема виробництва щебеню з доменного шлаку:

- 1 – самохідний копер; 2 – шлаковозний ківш; 3 – грейферний кран;
- 4 – приймальний бункер; 5 - пластинчастий живильник; 6 - щоква дробарка;
- 7 - роторна дробарка; 8 – стрічковий конвеєр; 9 – електромагнітний шків;
- 10 - гуркіт; 11 - проміжний склад; 12 – склад готової продукції;
- 13 - бункер навантаження; 14 - підвісний електромагніт

У траншею зливають 25...40 партій шлаку з інтервалом 20...30 хв. Після цього шлак повільно протягом 3...4 діб охолоджується, а потім застиглий шар розробляється екскаватором і вивозиться на дроблення. Товщина шару шлаку становить 4...5 м (висота різку екскаватора).

Для дроблення шлаку використовують щоківі, конусні, валкові, роторні та інші дробарки. Найбільш широко застосовуються щоківі дробарки продуктивністю 300...400 кг/год. Ступінь дроблення визначається ставленням максимального розміру шматка до і після дроблення, а ефективність дроблення - масою дробленого шлаку на одиницю потужності дробарки (кг/кВт).

Після дроблення подрібнений шлак сортують на гуркотах. Сортований за фракціями щебінь транспортується за допомогою стрічкових конвеєрів на склад готової продукції.

2.2.5 Виробництво мінераловатних виробів

Металургійні шлаки є чудовою сировиною для виробництва мінеральної вати. Вата складається з мінеральних волокон діаметром до 7 мкм та довжиною 2...10 мм. Висока пористість мінеральної вати, її хімічна природа забезпечують цінні експлуатаційні властивості: термо-, водо-, морозостійкість. При об'ємній масі 50...300 кг/м коефіцієнт теплопровідності становить 0,125...0,209 кДж/(м·г·°С).

Основною сировиною для виробництва мінеральної вати є кислі доменні шлаки, багаті кремнеземом і глиноземом, а також ваграночні та мартенівські шлаки. Принцип виробництва вати заснований на розбиванні струменя розплаву на елементарні цівки і подальшій витяжці.

Розплавлений шлак з ковша по зливному жолобу стікає у ванну-піч де підігрівається до 1400...1450 °С, перетікає в піч-живильник і через льотку

подається в центрифугу для розпилення і перемішування зі сполучним, що надходить з ємності. Далі в камері відбувається утворення сирого мінераловатного килиму, який подається в камеру полімеризації і далі на камеру охолодження. Охолоджене полотно нарізається на необхідні габарити за допомогою ножів. Отримані мінераловатні плити укладаються на піддони.



Рисунок 2.8 – Мінераловатні вироби

Залежно від властивостей шлаку в піч можуть додаватися підкислюючі добавки для досягнення необхідного співвідношення кремнезему та глинозему з оксидами кальцію та магнію, яке має становити 1,2...1,5 (ступінь кислотності). Як добавки використовують бій скла, базальт, горілу землю та ін.

Утворення волокон відбувається за рахунок впливу відцентрових сил на струмінь розплаву шлаку. Найбільша швидкість розпилення струменя досягається при одночасній дії відцентрових сил і потоку перегрітої до 400 °С пари при його витраті 1,2...1,4 т/т вати.

У камері волокноосадження, що представляє собою закритий металевий короб, волокна осідають на сітчастий транспортер і ущільнюються за допомогою притискного барабану для надання полотну рівномірної товщини і щільності.

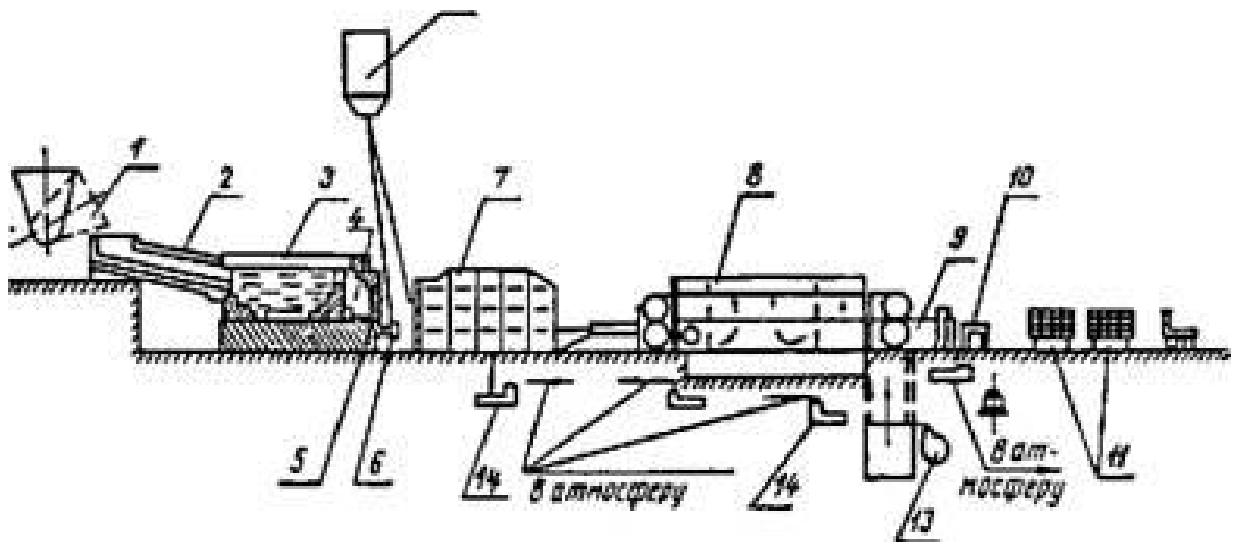


Рисунок 2.9 - Схема виробництва мінеральної вати:

1 – шлаковоз; 2 – зливний жолоб; 3 - ванна-піч; 4 - піч-живильник; 5 – льотка; 6 – центрифуга; 7 - камера волокноосадження; 8 - камера полімеризації; 9 – камера охолодження; 10 - ножі поперечного та поздовжнього різання; 11 - піддони для пакування; 12 - ємність для полімерного сполучного; 13 - ексгаустер подачі теплоносія; 14 - вентилятор

Найбільш раціонально отримувати мінеральну вату з первинного розплаву шлаку без його повторного переплаву, який вимагає додаткової витрати енергії.

В якості сполучного використовується термореактивний фенол - формальдегідна смола, яка полімеризується при температурі 160...200°C.

Ця смола є токсичним продуктом внаслідок вмісту у ній вільного фенолу, тому доцільна заміна її іншими матеріалами.

Промисловість випускає плити з різною щільністю укладання волокна та вмістом фенолформальдегідної смоли (табл. 2.1).

Таблиця 2.1. Характеристики мінераловатних плит різних типів

Тип плити	Щільність ρ , кг/м ³	Витрата смоли, кг/м	Тривалість полімеризації, хв
М'яка	75	7...9	7...9
Напівжорстка	125	9...11	9...12
Жорстка	150	11...13	12...15

Крім виготовлення зі шлаків згаданих матеріалів їх використовують як наповнювач при виробництві стінових панелей для малоповерхового будівництва, промислових конструкцій та плит дорожнього покриття. Типовий проект, заснований на модульній конструкції розміром 30*62*12,5, що збирається протягом 7...10 днів, забезпечує виробництво таких деталей у кількості 50 тис. т/рік. Обладнання, включаючи класифікатори, дробарки, млина тощо, монтується на рамних конструкціях.

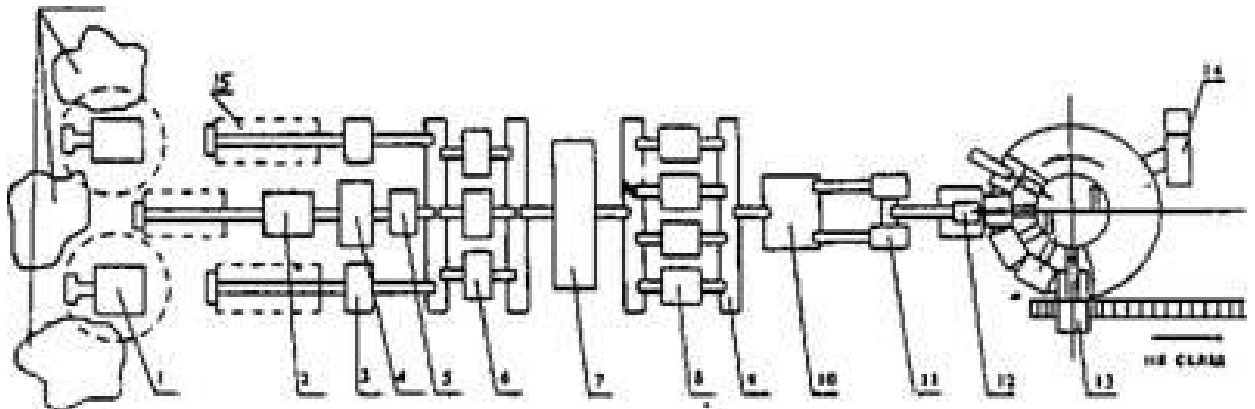


Рисунок 2.10 - Технологічна схема виробництва будівельних деталей із шлаків: 1 – екскаватор; 2 - дробарка молоткова; 3 - млин із сепаратором; 4 - млин; 5 – сепаратор магнітний; 6 – ваги; 7 - змішувач лопатевий; 8 - барабан сушильний; 9 – транспортери; 10 - накопичувач; 11 - шнековий живильник; 12 - дозатор ваговий; 13 – роторна лінія; 14 – установка для очищення газу; 15 – парова

2.2.6 Виробництво шлакоситалів

Цінними матеріалами, які отримують з доменних шлаків, є шлакоситали. Вони мають двофазну структуру і складаються з дрібних кристалів скла розміром не більше 2 мкм та аморфної склоподібної маси, об'єм якої становить не більше 40 %. Властивості шлакоситалів залежать від

співвідношення кристалічної та аморфної фаз, хімічного складу шлаків, виду та кількості добавок, параметрів технологічного процесу.

До складу шлакоситалів входять оксиди кремнію, алюмінію, кальцію, магнію, марганцю, заліза, титану, натрію, цинку, а також фтору. Шлакосітали в масі пофарбовані в білий, сірий або чорний кольори. Шихта для отримання шлакоситалу складається з подрібненого доменного шлаку (< 60%), піску (35...40%) та невеликої кількості добавок.

Каталізаторами кристалізації служать сульфід заліза та марганцю, що містяться в шлаку. Для надання шлакоситалу білого кольору в шихту додають оксид цинку. Процес виробництва шлакоситалу здійснюється в скловарній печі.

Шлакосітали мають високу міцність на стиск і на вигин: вони міцніше, ніж кам'яне лиття, кислототривка кераміка, фарфор і деякі природні камені. Міцність шлакоситалів на вигин наближається до міцності чавуну, але цей матеріал легший за чавун втричі.

Шлакосітали мають високий опір стирання: в 4...8 разів вище, ніж у кам'яного лиття, в 20...30 разів - ніж у граніту та мармуру, в 35 разів - ніж у порцеляни. Шлакосітали тепло- та морозостійкі, стійкі до дії кислот та лугів, мають низький коефіцієнт термічного розширення.

Перераховані властивості шлакоситалів визначають області їх застосування: з них роблять листові панелі та труби для різного хімічного обладнання, електроізолятори, електровакуумні та оптичні прилади, підшипники та фільтри, тіл, що мелють і т.д.

2.2.7 Особливості переробки сталеплавильних та феросплавних шлаків в будівельні матеріали

Переробка сталеплавильних та феросплавних шлаків має деякі особливості порівняно з переробкою доменних шлаків, що пов'язано зі значним вмістом у них металу як у вільному вигляді, так і у вигляді сплавів.

Основними видами продукції, що отримується з феросплавних шлаків, є щебінь, пісок, клінкер, гранульований шлак і металевий сплав, вміст якого у вихідному шлаку досягає 2 %. Використання металу, що міститься в шлаку, дуже ефективно, так як він на 30...40% дешевше за металевий брухт. Щорічно близько 2 млн. т. металу у вигляді шлакового скрапу повертається в переплав.

Способи вилучення сталі з рідких шлаків поки що не розроблені через небезпеку вибуху при контакті рідкого металу, що міститься в шлаку, з водою. Тому метал вилучається із шлаку після його затвердіння, багаторазового дроблення та сепарації. Первинна переробка проводиться у шлакових відділеннях, а вторинна - у дробильно-сортувальних установках. При первинній переробці із шлаку вилучається великий сталевий скрап. Зміст шлаку в ньому становить 5...7 %, тому після обробки на дрібніші шматки він не потребує очищення і відразу надходить на переплав. При первинній обробці за допомогою магнітів з шлаку вилучається до 65 % металу, що міститься в ньому. Решта металу сильно зашлакована, вона може бути відокремлена тільки після додаткового подрібнення шлаку і використана як добавка до шихти.

Дроблення шлаку здійснюється на щоківних дробарках, сортування – у гуркотах, транспортування – стрічковими конвеєрами. Перед кожною стадією дроблення та після неї метал відбирається підвісними магнітними сепараторами. Переробка шлаків може здійснюватися на дообладнаних магнітними сепараторами мобільних дробильно-сортувальних установках.

2.2.8 Особливості утилізації шлаків кольорової металургії

Металургійні шлаки, що утворюються при виплавці кольорових металів, відрізняються за хімічним складом та властивостями. Обсяг їх утворення в десятки разів перевищує обсяг утворення шлаків при виробництві такої кількості чавуну. Так, якщо при виплавці 1 т. чавуну утворюється до 1 т. шлаку, то при виплавці 1 т. міді та нікелю утворюється від 30 і до 150 т шлаку на 1 т металу відповідно.

Щорічно у кольоровій металургії утворюється до 5 млн т. шлаків, рівень використання яких не перевищує 15 %. Значною мірою це пояснюється тим, що у шлаках кольорової металургії міститься цінна металургійна сировина та переробка їх на будівельні матеріали менш ефективна, ніж потенційне її вилучення. Оскільки раціональна технологія вилучення цінних металів з цих шлаків поки не створена, значна частина їх тимчасово скидається у відвали на зберігання. Це стосується, зокрема, шлаків свинцевого та мідного виробництв, які частково використовуються для виготовлення медистого чавуну та мідноцинкового сплаву.

У шлаках мідної промисловості міститься 0,3...1,1 % міді, близько 5 % цинку, свинець, золото, срібло та інші цінні метали.

Для переробки шлаків кольорової металургії в будівельні матеріали необхідно спочатку вилучити з них кольорові та рідкісні метали, тобто переробка шлаків кольорової металургії має бути комплексною і проводитись у три стадії:

- вилучення кольорових металів;
- вилучення заліза;
- використання силікатного залишку для виробництва будівельних матеріалів.

Шлаки мідної промисловості, що містять менше 0,3 % міді, вважаються відвальними. Решта шлаків йдуть на додаткову переробку з метою вилучення міді та інших кольорових металів.

Конвертерні шлаки на всіх нікелевих заводах підлягають додатковому збідненню, після чого використовуються для будівельних цілей.

Значне збіднення шлаків киснево-факельної плавки по міді досягається використанням як відновник алюмінієвих відсівів з алюмінієвих ливарних шлаків і піритного концентрату. Переробка шлаків здійснюється в електропечах, в які заливається рідкий шлак та завантажується вуглецевий відновник у кількості 6...8 % від маси шлаку, кварцовий флюс та міднонікелева руда.

Шлаки свинцевоцинкового виробництва також додатково переробляються.

Відновлення шлаків, що містять цинк, дозволяє добувати важкі кольорові метали. В результаті вельцювання (окислювально-відновного процесу) шлаків свинцевої плавки добувають цинк і свинець. Відвальний клінкер можна використовувати як сировину для будматеріалів.

Температура у розвантажувальній частині вельц-печі підтримується в інтервалі 1150...1250 °С, на виході газів з печі 580...650 °С. В цьому процесі виганяються у вигляді оксидів цинк до 95 % і свинець до 92 %. Клінкер, що становить 75...85% від маси шлаку, подрібнюється і піддається магнітній сепарації в кілька стадій. Магнітний концентрат використовують у свинцевому виробництві, а немагнітну складову – для отримання будівельних матеріалів та асфальтобетонів.

За теплофізичними та міцнісними властивостями, зносостійкістю, кислотостійкістю шлаки кольорової металургії значно перевершують доменні шлаки. З них отримують самі будівельні матеріали (пісок, щебінь, цемент), що й з доменних шлаків.

3 ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ МЕТАЛУРГІЙНОГО ЗАВОДУ У ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Концепція безвідходного виробництва

Відповідно до чинного в Україні законодавства підприємства, що порушують санітарні та екологічні норми, не мають права на існування і повинні бути реконструйовані або закриті, тобто всі сучасні підприємства повинні бути маловідходними та безвідходними. Однак виникає питання, яка припустима частина сировини та матеріалів при маловідходному виробництві може спрямовуватись на тривале зберігання чи поховання? У цьому ряді галузей промисловості України вже є кількісні показники оцінки безвідходності. Так, у кольоровій металургії широко використовується коефіцієнт комплексності, що визначаються часткою корисних речовин (в %), що витягуються з сировини, що переробляється, по відношенню до всієї її кількості. У ряді випадків він перевищує 80%.

При створенні безвідходного виробництва доводиться вирішувати низку найскладніших організаційних, технічних, технологічних, економічних, психологічних та інших завдань. Для розробки та застосування безвідходних виробництв можна назвати ряд взаємозалежних принципів.

Основним є принцип системності. Відповідно до нього кожен окремий процес чи виробництво розглядається як елемент динамічної системи — всього промислового виробництва в регіоні та на вищому рівні як елемент еколого-економічної системи в цілому, що включає крім матеріального виробництва та іншої господарсько-економічної діяльності людини, природне середовище (популяції живих організмів, атмосферу, гідросферу, літосферу, біогеоценози, ландшафти), а також людину та середовище її

проживання. Таким чином, принцип системності, що лежить в основі створення безвідходних виробництв, повинен враховувати існуючий і посилюючий взаємозв'язок та взаємозалежність виробничих, соціальних і природніх процесів.

Іншим найважливішим принципом створення безвідходного виробництва комплексність використання ресурсів. Цей принцип потребує максимального використання всіх компонентів сировини та потенціалу енергоресурсів. Як відомо, практично вся сировина є комплексною, і в середньому більше третини її кількості складають супутні елементи, які можуть бути вилучені лише при комплексній його переробці. Так, вже в даний час майже все срібло, вісмут, платина і платиноїди, а також понад 20% золота отримують при переробці комплексних руд.

Принцип комплексного економного використання сировини зведений у ранг державного завдання і чітко сформульований у низці постанов уряду. Конкретні форми його реалізації насамперед залежатимуть від рівня організації безвідходного виробництва на стадії процесу окремого виробництва, виробничого комплексу та еколого-економічної системи.

Одним із загальних принципів створення безвідходного виробництва є циклічність матеріальних потоків. До найпростіших прикладів циклічних матеріальних потоків можна віднести замкнуті водо- та газооборотні цикли. Зрештою послідовне застосування цього принципу має призвести до формування свідомо організованого та регульованого техногенного кругообігу речовини та пов'язаних з ним перетворень енергії. Як ефективні шляхи формування циклічних матеріальних потоків і раціонального використання енергії можна зазначити комбінування і кооперацію виробництв, створення ТПК, і навіть розробку та випуск нових видів продукції з урахуванням вимог повторного її використання.

До не менш важливих принципів створення безвідходного виробництва необхідно віднести вимогу обмеження впливу виробництва на навколишнє природне та соціальне середовище з урахуванням планомірного та

цілеспрямованого зростання його обсягів та екологічної досконалості. Цей принцип насамперед пов'язаний із збереженням таких природних та соціальних ресурсів, як атмосферне повітря, вода, поверхня землі, рекреаційні ресурси, здоров'я населення. Слід підкреслити, що реалізація цього принципу здійсненна лише у поєднанні з ефективним моніторингом, розвиненим екологічним нормуванням та багатоланковим управлінням природокористуванням.

Загальним принципом створення безвідходного виробництва є раціональність його організації. Визначальними тут є вимога розумного використання всіх компонентів сировини, максимального зменшення енерго-, матеріало- та трудомісткості виробництва та пошук нових екологічно обґрунтованих сировинних та енергетичних технологій, з чим багато в чому пов'язане зниження негативного впливу на довкілля та завдання йому шкоди, включаючи суміжні галузі господарства. Кінцевою метою в даному випадку слід вважати оптимізацію виробництва одночасно за енерготехнологічними, економічними та екологічними параметрами.

Основним шляхом досягнення цієї мети є розробка нових та удосконалення існуючих технологічних процесів та виробництв. Одним із прикладів такого підходу до організації безвідходного виробництва є утилізація піритних недогарків - відходу виробництва сірчаної кислоти.

В даний час піритні недогарки повністю йдуть на виробництво цементу. Проте найцінніші компоненти піритних недогарків — мідь, срібло, золото, не кажучи вже про залізо, не використовуються. У той же час вже запропоновано економічно вигідну технологію переробки піритних недогарків (наприклад, хлоридна) з отриманням міді, благородних металів та подальшим використанням заліза.

У всій сукупності робіт, пов'язаних з охороною навколишнього середовища та раціональним освоєнням природних ресурсів, необхідно виділити головні напрями створення мало- і безвідходних виробництв. До них відносяться комплексне використання сировинних та енергетичних

ресурсів; удосконалення існуючих та розробки принципово нових технологічних процесів і виробництв та відповідного обладнання; впровадження водо- та газооборотних циклів (на базі ефективних газо- та водоочисних методів); кооперація виробництва з використанням відходів одних виробництв як сировина для інших та створення безвідходних ТПК.

На шляху вдосконалення існуючих та розробки принципово нових технологічних процесів необхідне дотримання низки загальних вимог:

- здійснення виробничих процесів за мінімально можливою кількістю технологічних стадій (апаратів), оскільки на кожній з них утворюються відходи, і втрачається сировина;

- застосування безперервних процесів, що дозволяють найефективніше використовувати сировину та енергію;

- збільшення (до оптимуму) одиничної потужності агрегатів;

- інтенсифікація виробничих процесів, їх оптимізація та автоматизація;

- створення енерготехнологічних процесів.

Поєднання енергетики з технологією дозволяє повніше використовувати енергію хімічних перетворень, економити енергоресурси, сировину і матеріали та збільшувати продуктивність агрегатів. Прикладом такого виробництва є великотоннажне виробництво аміаку за енерготехнологічною схемою.

За сучасного розвитку науки і техніки без втрат практично обійтися неможливо. В міру того як удосконалюватиметься технологія селективного поділу та взаємоперетворення різних речовин, втрати постійно зменшуватимуться. Промислове виробництво без матеріальних, втрат і відходів, що марно накопичуються, вже існує в цілих галузях, проте частка його поки мала.

Сучасна технологія досить розвинена, щоб у низці виробництв і галузей промисловості призупинити зростання відходів. І в цьому процесі держава повинна взяти на себе роль керівника і в плановому порядку

розробити і реалізувати комплексну державну програму впровадження безвідходних виробництв і переробки відходів, що накопичилися в Україні.

3.2 Формування товарної стратегії фірми ТОВ «Запоріжінвестмет»

Таблиця 3.1 - Характеристика продукційного портфеля фірми

№	Найменування продукції	Об'єм реалізації (тис. грн.)		Частка ринку 2023 р. (%)	
		2022 р.	2023 р.	фірма	конкурент
1	Щебінь ФР 20-40	2800	3400	38	20
2	Доменний шлак	560	620	32	22
3	Відсів	85	145	8	6
4	Щебінь ФР 40-70	1600	1950	40	25
5	Пісок	61	56	20	15

Як критерії при побудові двомірної матриці розглядаються темпи зростання ринку та відносна частка ринку.

Розрахунок темпів зростання ринку (ЗР) характеризує зміну обсягу реалізації, і які можуть бути визначені по кожному продукту через індекс темпу зростання за останній період (2023 р.) або через середньорічні темпи їхньої зміни. Індекс темпу зростання за кожною продукцією визначається як відношення обсягу реалізації продукції за 2023 р. (поточний період) до обсягу реалізації за 2022 р. (попередній період). Виражається у відсотках чи коефіцієнтах зростання. Для продукції №1 (3400/2800) ЗР дорівнює 1,21.

3.3 Ефективність переробки металургійних шлаків в будівельні матеріали

Високі темпи розвитку матеріального виробництва, прискорення науково-технічного прогресу зумовлюють дедалі інтенсивніше використання природних ресурсів, особливо з корисними копалинами. Важливість проблеми забезпечення мінеральною сировиною народного господарства визначається, з одного боку, тим, що останні є основою розвитку промисловості, її ефективність насамперед залежить від ступеня забезпеченості ресурсами, а з іншого боку, тим, що економіка держави функціонує при обмежених запасах з корисними копалинами. Внаслідок постійного зростання взаємодії між суспільством і природою навколишнє середовище стає все більш синтетичним, і його природна структура вступає в конфлікт з продуктивними силами і громадським споживанням. Назріває необхідність контролю за якістю довкілля.

Проблему ефективного використання мінеральної сировини і, зокрема, перехід на безвідходну технологію слід розглядати з погляду усунення протиріч між економічним зростанням (необхідністю все більшого залучення ресурсів у виробництво) та «продуктивною можливістю» довкілля (виснаження запасів, зниження якості мінеральних ресурсів, порушення екологічного балансу).

Вирішення цих протиріч можливе при раціональному і комплексному використанні ресурсів, що видобуваються, а також відходів виробництва.

Головний напрямок зниження обсягу відходів виробництва — їхня утилізація в різних галузях народного господарства і, особливо, в будівельній індустрії. Актуальність і необхідність розширення утилізації відходів виробництва з кожним роком зростають внаслідок виснаження запасів багатих руд, структури їх видобутку, збільшення потреби в будівельних матеріалах і загострення проблеми зберігання відходів. Розвиток та

вдосконалення виробництва будівельних матеріалів мають вирішальне значення для виконання програми будівельних робіт.

Основні будівельні матеріали (цемент та інші в'язучі, стінові матеріали, хризотилцементні вироби, будівельна кераміка, тепло-, гідро- та звукоізоляційні матеріали, будівельне та технічне скло та ін.) виробляються в основному на підприємствах Агропромислового комплексу України.

Мінерально-сировинні відходи знаходять широке застосування у виробництві будівельних матеріалів. Так, наприклад, широко застосовуються відходи підприємств чорної металургії. Найбільш широке застосування під час виробництва будівельних матеріалів знаходять доменні шлаки, вихід яких на вітчизняних металургійних заводах становить приблизно 0,5-0,6 т. на 1 т. чавуну.

При переробці доменних шлаків одержують гранульований шлак для виробництва цементу, закладки виробленого простору, виробництва місцевих та шлаколузних в'язучих заповнювачів бетонів, шлаколузної пемзи, що використовується як заповнювач бетону, мінеральної шлакової вати, шлакоситалів, щебеню та піску. Застосування цих матеріалів у будівництві дозволяє заощаджувати первинні мінеральні ресурси (пісок, вапно, глину, щебінь), клінкерний цемент та паливо. Так, наприклад, використання гранульованих шлаків як заповнювачів бетону дає значну економію. Застосування шлакового щебеню та піску для будівельних цілей дозволяє отримати не тільки економію коштів, але й виключити використання при виробництві природних заповнювачів. Одним із найбільш рентабельних видів вживання доменних шлаків є шлакове лиття.

Розроблено технологію виробництва двошарових металошлакових труб та відводів шлакових плит та інших виробів. Труби призначаються для пневмо-гідротранспортування абразивних матеріалів - щебеню, піску, руд, бетону та ін. Заміна ними сталевих трубопроводів дозволила на кожному кілометрі трубопроводу економити 150 т. металу. Феросплавні шлаки використовуються для виробництва місцевих та шлаколузних в'язучих як

заповнювачів бетонів. В цьому спостерігається зниження витрати природних наповнювачів.

Велику цінність для автоклавних матеріалів представляють шлаки, одержувані при виплавці вуглецевого ферохрому. При охолодженні шлак ферохрому внаслідок силікатного розпаду перетворюється на дисперсний порошок. Добавка шлаку (3...4 %) до силікатної маси дозволяє поліпшити її формувальні властивості, підвищити міцність сирцю, знизити витрату вапна. Шлаки феросплавного виробництва можуть стати ефективним заповнювачем вогнетривких бетонів. Вогнетривкі бетонні композиції на основі заповнювачів з феросплавних шлаків можуть застосовуватися в різних теплових агрегатах.

Бетони на заповнювачах з шлаків феросплавного виробництва характеризується високою термостійкістю і можуть застосовуватися як високотемпературне футерування з циклічним режимом нагрівання та охолодження. Основний споживач шлаків - цементна промисловість, що використовує до 75 % їх обсягу для виробництва гідравлічних добавок виробництва портландцементів, шлакопортландцементів, шлаколузних цементів високих класів. Чимало цементних заводів розташовано безпосередньо біля металургійних заводів. Це дозволяє ефективно використовувати шлаки для високоякісних цементів. Також широкого застосування набули і відходи підприємств кольорової металургії.

З мінерально-сировинних відходів кольорової металургії деяке застосування отримали шлаки та шлами. Дослідження фізико-хімічних, фізико-механічних та технологічних властивостей шлаків, що утворюються на гірничо-металургійних комбінатах внаслідок переробки руд кольорових металів, показали, що для виробництва будівельних матеріалів придатні шлаки, отримані при переробці мідних нікелевих руд, які за характеристиками міцності, теплофізичною зносостійкістю, кислотостійкістю, як правило, значно перевершують аналогічні показники доменних шлаків. Гранульовані шлаки цих виробництв є гарною сировиною

для приготування в'язучих речовин автоклавного твердіння. На такому в'язучому отримують бетони наступних видів: важкий на великому заповнювачі, щільний дрібнозернистий, легкий на пористому заповнювачі, пористий. Такі матеріали не потребують додаткової переробки, вони кращі за піритні недогарки.

Переробка шлаків руд кольорових металів на пісок та щебінь після вилучення цінних металів — найперспективніший і економічно вивірений шлях вирішення проблеми їхньої утилізації. Однак нині частка переробки шлаків на підприємствах кольорової металургії залишається низькою. Більшу частину їх зливають або вивозять у відвали. У натуральному вигляді ці гранульовані шлаки можуть бути використані як дрібний заповнювач у бетонах. Водночас, проблема використання шлаків підприємств кольорової металургії, яких накопичилися сотні мільйонів тон у народному господарстві, залишається актуальною як з позиції комплексного використання мінеральної сировини, зниження собівартості кінцевого продукту, так і з позиції охорони навколишнього середовища.

Перспективні для утилізації шлаки, які отримують при виплавці нікелю. Вони придатні для переробки на будівельний пісок, дефіцит якого безперервно зростає. Наразі розроблено технологію переробки гранульованих шлаків у якісний дрібний заповнювач.

Важкі бетони із заповнювачем на шлаковому піску за витратою цементу, міцністю та деформативними характеристиками, морозостійкості відповідають нормативним вимогам і не поступаються бетонам, виробленим на основі природнього стандартного піску. Можуть застосовуватися гранульовані шлаки нікелевого виробництва і як кремнеземистий компонент автоклавного в'язучого. При цьому необхідна кількість вапна знижується в 3...4 рази, порівняно з використанням кварцового піску. Цим гранульованим шлаком можна повністю замінити природний пісок у силікатній суміші при виробництві цегли. Від такої заміни не тільки підвищується міцність цегли, а й покращується теплоізоляційні властивості матеріалу.

Заслуговують на увагу шлами як побічний продукт при переробці глинозёмовмісної сировини. Вони можуть, за попередніми даними, використовуватись для виготовлення цементу. Каоліновий шлам за своїм хімічним складом близький до портландцементу. Нефеліновий (білітовий) шлам - побічний продукт (відходи) при виробництві глинозему, протягом багатьох років використовується в промисловості будівельних матеріалів. Промитий білітовий шлам - гарна сировина для виготовлення цементу високої активності. Виробництво цементу на основі цих шламів внаслідок значної кількості в них готового двокальцієвого силікату є більш економічним. Так, витрата вапняку скорочується на 50...60 %, продуктивність обертових печей підвищується на 25...30 %.

В результаті спільного помелу нефелінового шламу з портландцементним клінкером та гіпсом отримують високоякісні цементи найрізноманітніших класів, що відповідають вимогам державного стандарту та технічним умовам. На нефеліновому цементі при витраті 200...230 кг/м³ можна отримувати конструкційно-ізоляційний газобетон (наприклад, керамзитобетон) гарної якості крупнозернистої структури.

У нашій країні багато років застосовується безвідходна технологія виробництва содопродуктів і цементу з урахуванням комплексного використання нефелінів. З кожних 4 т нефелінового концентрату та 15 т вапняку одержують без відходів 1 т глинозему, 1 т содопродуктів та 10 т цементу. Крім цементного виробництва на основі нефелінового шламу він може застосовуватись у виробництві будівельних виробів (цегла, блоки, плити); у дорожньому будівництві для зміцнення ґрунтів як підстилаючий шар; при виробництві в'язучого для асфальтобетону, вогнетривів як один з основних компонентів шихти; при виготовленні кольорового скла. Червоні бокситові шлами, що утворюються при виробництві алюмінію, можуть використовуватись в цементному виробництві шлакокам'яної сировини, шлакощобеню, шлакоситалів, різних складів місцевих в'язучих, для закладки гірничих виробок, влаштування дорожніх покриттів і т.д.

З 90-х років ХХ століття простежувалися два основних напрямки переробки червоних бокситових шламів:

- комплексна переробка шламів із послідовним отриманням низки цінних продуктів (чавуну, глинозему, цементу та ін.);
- безпосереднє використання шламу як добавка при виробництві різних видів будівельних матеріалів, наприклад, цементу.

Утилізація червоних бокситових шламів пов'язана з невеликим обсягом капітальних вкладень у спеціалізовані виробництва. Однак при завантаженні, транспортуванні та розвантаженні їх вологість не повинна перевищувати 15...20 %.

Дослідження показали, що червоний бокситовий шлам глиноземного виробництва є сировиною для промисловості будівельних матеріалів, що дозволяє інтенсифікувати процес виробництва портландцементного клінкеру. Таким чином, можна зробити висновок, що використання відходів підприємств чорної та кольорової металургії в будівельній галузі є перспективним напрямом промислового комплексу, оскільки при його розвитку є можливим зниженням напруженості в багатьох сферах народного господарства.

Оцінка можливості негативного впливу шлаків металургійного комбінату на довкілля. Одним із найнебезпечніших джерел забруднення природного середовища є техногенні мінеральні утворення, що формуються в результаті промислової діяльності людини.

Щорічно світова промисловість витягує з надр Землі близько 10 мільярдів тон твердих речовин, 70 % яких надалі стають відходами під час виробництва промислової продукції. Розрахунки показують, що на території пострадянських держав запаси шлакових відвалів сягають понад 500 млн. тон.

Найбільш гостро проблема поводження з відходами виробництва проявляється саме останнім часом. Все зростаючий інтерес до неї у науковому середовищі викликається двома основними чинниками:

насамперед посилюючим дефіцитом природних джерел, корисних для індустрії елементів, тому, ТПВ представляють інтерес як потенційні джерела природних ресурсів. У другу чергу, все більше вчених починають звертати увагу на ТПВ, як на комплексне джерело забруднення геосфери, отже, виникає необхідність у запобіганні забруднення природного середовища та у впровадженні шляхів реабілітації.

Основна маса техногенних мінеральних утворень формується в районах з розвинутою гірничопереробною та добувною промисловістю. Приблизно 3 млн жителів України зазнають негативного впливу з боку металургійного виробництва, адже вони мешкають поблизу шлакових відвалів у радіусі 15 км. Старопромислові регіони, такі як Донецька, Запорізька, Дніпропетровська та Луганська області, обтяжені додатково значною кількістю накопичених техногенних відходів.

Одним з таких районів є місто Кривий Ріг Дніпропетровської області, де в результаті діяльності металургійного комбінату ВАТ «Криворіжсталь» формується величезна кількість твердих відходів, що складаються у відвали металургійних шлаків. Загальна кількість залізних шлаків складає 20 млн. тон. Шлакові відвали створюють екологічні проблеми, пов'язані з відчуженням земельних відводів, запиленістю, процесами природного вилуговування.

Повітря в районі дослідження містить у своєму складі сірчистий ангідрид (SO_2) у концентраціях, що значно перевищують фонову, це пов'язано з аеропромвикидами Криворізького ГЗК. Атмосферні опади, проходячи через товщу забрудненого присадкуватого шару атмосфери, взаємодіють із SO_2 та утворюється сірчана кислота. В результаті у відвальну масу потрапляє дощова вода з вихідною концентрацією H_2SO_4 приблизно рівною — 0,0001 н. Тому як реагент для взаємодії зі шлаком використовувалася сірчана кислота концентрацією: 0,0001н. Маса схильного до вилуговування шлаку становить 267 г.

Таблиця – 3.2 Вміст важких металів в елюаті з дистильованою водою, мг/л

	Cd	Cu	Pb
Чиста Н ₂ О для відмивки	0,000067	0,013	0,0041
1 промивка	0,019	1,0	0,014
2 промивка	0,0096	0,37	0,011
3 промивка	0,0083	0,31	0,00028
4 промивка	0,00148	0,229	0,000101
ГДК	0,001	1	0,03

Як видно, при дії на відвал дистильованою водою, вміст важких металів незначний. Але все-таки спостерігається деяке перевищення ГДК для водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування (далі - ГДК) за Cd та Pb. Вода слабо діє силікатну матрицю, тому наявність ВМ в елюатах пояснюється розчиненням речовин, що утворюються при виплавці металу.

Виходу магнію та заліза при обробці відвальної маси дистильованою водою не виявлено, або воно незначне і виходить за кордони визначення. Отже, первинним фактором визначальним гідроліз відвальної маси є сірчана кислота, що міститься в дощовій воді.

Результати гідролізу шлаку сірчаною кислотою в різних концентраціях представлені у вигляді зведеної таблиці, що узагальнює вихід досліджуваних компонентів за весь час дослідження (182 дні) та показує середній показник рН (табл. 3.3).

На розчинність речовин, прямий вплив має значення енергії Гіббса ($\Delta G^\circ_{f_{298.15}}$). Чисельне значення ΔG показує, як глибоко йде процес розчинення: чим негативніше ΔG , тим більше утворюється стійкі з'єднання. Отже, можна зв'язати енергію Гіббса та інтенсивність вилуговування елементів із шлаку.

Таблиця - 3.3 Результати хімічного аналізу елюатів

Концентрація H ₂ SO ₄	pH	Вихід досліджувальних компонентів зі шлаку, мг					
		Ca	Mg	Fe	Pb	Cd	Cu
0,1н	3,7	530,266	451,89	212,8	0,83666	0,05974	2,779
0,01н	4,1	148,29	319,083	17,819	0,47312	0,032337	4,715
0,001н	4,6	64,2618	48,587	0,4	0,12316	0,0189	5,245
0,0001н	5,4	34,0369	23,81	0	0,11407	0,016257	0,615

Так, у процесі гідролізу відвальної маси спостерігається найбільший вихід кальцію (0,1н розчині 530,266 мг), значення $\Delta G^{\circ}f_{298.15}$ для силікату кальцію становить: - 1543,937 кДж/моль. Значення $\Delta G^{\circ}f_{298.15}$ для силікату магнію = -1462,098; заліза = -1117,546; міді = -1112,245; кадмію = -1106,25; свинцю = -1053,259 кДж/моль. Вихід відповідно обернено пропорційний збільшенню енергії Гіббса: магнію = 451,889 мг; заліза = 212,8 мг; міді = 2,779 мг; кадмію = 0,05974мг і свинцю = 0,83666мг. Видно, що викладена вище закономірність порушується щодо свинцю та кадмію, це пояснюється набагато більшим вмістом свинцю в шлаку, ніж кадмію.

Щоб детальніше оцінити можливий рівень впливу техногенної освіти на навколишнє середовище, було здійснено розрахунок загального виходу ТМ із шлаку. Оцінка проводилася для елюату представленого 0,0001н сірчаною кислотою та елюату концентрованіше в 1000 разів. Всього за 182 дні дослідження з шлаку вилужено: 0,0001н кислотою: 0,1407 мг свинцю, 0,6147 мг міді та 0,016257 мг кадмію; 0,1н кислотою: 0,83666 мг свинцю, 2,779 мг міді та 0,05974 мг кадмію. Маса схильного вилуговування шлаку становить 267г, а загальна маса відвалів становить близько 20млн. тон, отже кількість елементів мігруючих з відвалів унаслідок гідрогенного забруднення складає кілька тон. Результати загального виходу елементів представлені у табл.3.4.

Вся маса хімічних елементів, що виділилися, з шлаку в змодельованому процесі гідролізу, дає нам уявлення про ступінь їх впливу на сполучені з

відвалом системи. Загальний вихід металів з відвальної маси, якщо взяти за найбільш наближену до реальних умовам обробку шлаку сірчаною кислотою концентрацією еквівалентною дощової води, за 182 дні складає: 10,539 т свинцю, 1,2818 т кадмію та 46,045 т міді.

Таблиця 3.4 - Загальний вихід ВМ з відвалів

Концентрація H_2SO_4	Вага шлаку, яка вилуговується, г	Винос ВМ зі шлаку, мг			Заг. вага відвалів, млн.т	Загальний винос ВМ з відвальної ваги, т		
		Pb	Cd	Cu		Pb	Cd	Cu
0.1н	267	0,8366	0,0597	2,78	20	62,67	4,47	208,17
0,0001н	267	0,1407	0,0163	0,615	20	10,54	1,21	46,045

Можна зробити висновок, що вихід потенційно небезпечних з'єднань з шлаку, цілком може відповідати реальному забрудненню навколишнього середовища.

ВИСНОВОК

Можливість застосування шлаків у будівельній індустрії дуже велика. Шлаки є не тільки забруднюючим вантажем, але й корисною сировиною. При застосуванні якого змінюються властивості звичних будівельних матеріалів, як у позитивну, так і в негативну бік.

Багато технологій застосування шлаків знаходяться на стадії розвитку, тому для інженерів будівельної індустрії є велике поле для діяльності.

Незважаючи на тривалість вивчення, утилізація та переробка відходів промисловості, як і раніше, не ведеться на належному рівні.

Гострота проблеми, незважаючи на достатню кількість шляхів рішення, що визначається збільшенням рівня освіти та накопичення промислових відходів.

Зусилля підприємств спрямовані насамперед на попередження та мінімізацію утворення відходів, а потім на їх рециркуляцію, вторинне використання та розробку ефективних методів остаточної переробки, знешкодження та остаточного видалення, а поховання лише відходів, що не забруднюють довкілля.

Всі ці заходи, безперечно, зменшують рівень негативного впливу відходів промисловості на природу, але не вирішують проблему прогресуючого їх накопичення у навколишньому середовищі і, отже, наростаючої небезпеки проникнення в біосферу шкідливих речовин під впливом техногенних та природних процесів. Різноманітність продукції, яка за сучасного розвитку науки і техніки може бути безвідходною отримано і спожито, дуже обмежено, досяжно лише на ряді технологічних ланцюгів і лише високорентабельними галузями та виробничими об'єднаннями.

Сучасні підприємства металургії мають можливість переробляти у власному виробництві значну частину своїх відходів. Як відомо, специфічні особливості технологічних процесів (високі температури та ефективність

тепломасообміну, окислювально - відновлювальний потенціал і т. д.) забезпечують нові можливості ресурсозбереження. Більшість побічних, що утворюються продуктів може повертатися в технологічний процес через агломераційне та доменне виробництво, та частка утилізації вторинних ресурсів може сягнути 95...98%.

У сукупності зі стратегією зниження обсягів, що утворюються викидів та скидів, такий підхід дозволить забезпечити економію первородної сировини та палива, та покращити екологічну обстановку навколо металургійних підприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Özbay E., Erdemir M., Durmu H. Utilization and efficiency of ground granulated blast furnace slag on concrete properties—A review. *Construction and Building Materials*. 2016. Vol. 105. P. 423-434.
2. Металургійні шлаки у дорожньому виробництві: побічний, але не другорядний продукт. URL: <https://mcet.com.ua/metalurgijni-shlaki-udorozhnomu-budivnitstvi-pobichnij-ale-ne-drugoryadnijprodukt/> (дата звернення: 12.10.2023).
3. Про відходи: Закон України. Відомості Верховної Ради України. 1998. № 36-37. Ст. 242 (ст. 1).
4. Державний класифікатор України. Класифікатор відходів ДК 005-96. Розділи А.1 - А.20: Наказ Держстандарту України від 29.02.1996 р. № 89.
5. Проект Закону України «Про управління відходами» (реєстр. № 2207-1-Д). URL:: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=69033. (дата звернення: 12.11.2023).
6. Кочешкова І. М. Зарубіжний досвід утворення та використання доменних шлаків. *Економічний вісник Донбасу*. 2020. № 2(60). С. 181-186.
7. Циркулярна смарт-спеціалізація старопромислових шахтарських регіонів України: монографія / Д. Ю. Череватський та ін.; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2020. 196 с.
8. Про застосування відходів виробництва в дорожньому будівництві: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 4 грудня 2019 р. № 1420-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1420-2019-p#Text> (дата звернення: 17.11.2023).
9. ДСТУ 9043:2020. Матеріали щєбеневі зі шлаків металургійних для дорожнього будівництва. Технічні умови. [Чинний від 2020-11-01]. Вид. офіц. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2020. 45с.

10. Бондаренко О. Застосування шлаків у ремонті доріг допоможе звільнити регіон від відвалів. URL: <https://gmk.center/ua/opinion/zastosuvannyashlakiv-u-remonti-dorig-dopomozhe-zvilniti-region-vidvidvaliv/>. (дата звернення: 15.11.2023).

11. Шапошникова О., Співак В. Шлак може істотно зменшити собівартість продукції. URL: <https://gmk.center/ua/interview/viktoriyaspivakshlak-mozhe-istotno-zmenshiti-sobivartist-produktsii/>. (дата звернення: 17.11.2023).

12. Левчук К. У 2018 році Україна посіла 25- те місце з експорту шлаків у світі. URL: <https://gmk.center/ua/news/u-2018-roci-ukraina-posila-25-te-misce-z-eksportu-shlakiv-u-sviti/>. (дата звернення: 21.11.2023).

13. Національна модель неоіндустріального розвитку України: монографія / В.П. Вишневський та ін.; НАН України, Ін-т економіки пром-сті. Київ, 2016. 519 с.

14. Статистичний щорічник України за 2020 рік / За ред. І. Є. Вернера. Київ: Державна служба статистики України, 2021. 455 с.

15. Левчук К. «Укравтодор» у 2021 році планує використати 40,5 тис. т металопродукції. URL: <https://gmk.center/ua/news/ukravtodor-u-2021-roci-planuie-vikoristati-40-5-tis-t-metaloprodukcii/>. (дата звернення: 23.11.2023).

16. Стратегія розвитку транспортної галузі України в умовах карантину: залізниця, порти та автотранспорт. 9 квітня 2020. URL: <https://agropolit.com/spetsproekty/720-strategiya-rozvitku-transportnoyigaluzi-ukrayini-v-umovah-karantinu-zalznitsya-porti-taavtotransport>. (дата звернення: 27.11.2023).

17. Hansen, E. G., Lüdeke Freund, F. & Fichter, K. (2020). Circular Business Model Typology: Actor, Circular Strategy and Service Level. Institute for Integrated Quality. IQD Research, No. 2020-1.

18. Колісниченко В. «Метінвест» за 15 місяців поставив 450 тис. т шлаків для ремонту доріг. URL: <https://gmk.center/news/metinvest-za-15-mesyacev-postavil-450-tys-t-shlak-ov-dlya-remonta-dorog/>. (дата звернення:

28.11.2023).

19. Про затвердження плану заходів із впровадження Концепції реалізації державної політики у сфері промислового забруднення. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2019 р. № 1422-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1422-2019-%D1%80>.

20. Металургійне виробництво ПАТ «Аселор Міттал – Кривий Ріг». URL: https://ukraine.arcelormittal.com/doc/eko/inf_dozvil_20190128.pdf. (дата звернення: 29.11.2023).

21. Кочешкова І.М., Трушкіна Н.В. Стан поводження з промисловими відходами в старопромислових регіонах. *Socio-economic development of regions: collective monograph*. Academic Publishing House of the Agricultural University Plovdiv, Bulgaria, 2017. P. 61-72.

22. Кочешкова І.М., Трушкіна Н.В. Організаційно-економічний механізм управління рециклінгом відходів. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2018. Вип. № 22. С. 669-672. URL: <http://global-national.in.ua/issue-22-2018>.

23. Петрушенко М.М. Екологічна конфліктність у сфері поводження з відходами: питання управління та оподаткування. *Вісник економічної науки України*. 2019. № 1. С. 101-105.

24. Крюковська Л.І. Підвищення рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві шляхом використання металургійних шлаків : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 «Екобезпека». 2019. 188 с.