

Міністерство освіти і науки України
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
Запорізького національного університету

Д. В. Прутцьков, Г. Б. Кожемякін

ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТА УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ

Практичні заняття за модулем 2
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»

Запоріжжя
2025

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №8

Тема: Утилізація доменних шлаків

1. Мета заняття

- Ознайомити студентів із процесами утворення та властивостями доменних шлаків.
- Розглянути технологічні способи утилізації та перероблення шлаків.
- Навчити виконувати розрахунки кількості утворення шлаків, їх складу та теплового потенціалу.
- Сформувати розуміння екологічних аспектів використання доменних шлаків як вторинної сировини.

2. Теоретичні відомості

2.1. Утворення доменних шлаків

Доменний шлак — побічний продукт виплавки чавуну, що утворюється при взаємодії флюсів (вапняку, доломіту) з пустою породою і домішками руди. Основні компоненти шлаку: CaO — 30–45 %, SiO_2 — 30–40 %, Al_2O_3 — 10–20 %, MgO — 5–10 %.

2.2. Види доменних шлаків

- Гранульовані шлаки — охолоджуються водою, мають склоподібну структуру, придатні для цементного виробництва.
- Повітряно-охолоджені шлаки — кристалічні, використовуються у дорожньому будівництві.
- Пінні шлаки — отримують при барботуванні газів у розплав.

2.3. Напрями утилізації

1. Виробництво цементу та бетонів.
2. Використання в дорожньому будівництві (щебінь, гравій).
3. Виробництво мінеральної вати.
4. Отримання шлаколужних в'язучих матеріалів.
5. Вилучення металів (Fe, Mn, V, Cr).

3. Аналітична частина

1. Побудуйте схему утворення доменного шлаку в процесі плавки чавуну.
2. Проаналізуйте склад шлаку (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO) та визначте його основність (CaO/SiO_2).
3. Визначте, до якого типу належить шлак (основний, кислий чи нейтральний).
4. Зробіть висновок про можливі напрямки утилізації такого шлаку.

4. Розрахункова частина

Приклад 1. Розрахунок кількості доменного шлаку

Вихідні дані: виробництво чавуну – 1 т, вміст пустої породи у руді – 10 %, витрати флюсів – 0.1 т/т чавуну.

Формула: $G_{\text{шл}} = (G_{\text{пп}} + G_{\text{фл}}) \times (1 - \alpha)$, де α – втрати при плавленні (0.05–0.1).

$$G_{\text{шл}} = (0.1 + 0.1) \times (1 - 0.07) = 0.186 \text{ т шлаку/т чавуну.}$$

Відповідь: 1 тонна чавуну утворює приблизно 0.18–0.20 т шлаку.

Приклад 2. Розрахунок теплового потенціалу доменного шлаку

Вихідні дані: маса шлаку — 1000 кг, температура при випуску — 1500 °С, теплоємність — 1.0 кДж/(кг·К), температура навколишнього середовища — 25 °С.

$$Q = m \times c \times (t_1 - t_2) = 1000 \times 1.0 \times (1500 - 25) = 1.475 \times 10^6 \text{ кДж.}$$

Відповідь: теплова енергія шлаку становить 1.48 ГДж/т.

4. Варіанти індивідуальних завдань

Варіант 1. Розрахувати масу шлаку при виплавці 500 т чавуну, якщо пустої породи — 12 %, флюсів — 8 %, втрати — 5 %.

Варіант 2. Визначити тепловий потенціал 2 т шлаку при 1400 °С і теплоємності 1.1 кДж/(кг·К).

Варіант 3. Розробити технологічну схему утилізації гранульованого шлаку для мінеральної вати.

Варіант 4. Порівняти енергоємність водного та сухого гранулювання при однаковій масі шлаку.

Контрольні запитання

1. Який хімічний склад доменного шлаку?
2. Від чого залежить кількість утворення шлаку?
3. Які способи утилізації шлаків є найпоширенішими в Україні?
4. Як використовується теплова енергія шлаку?
5. Які екологічні переваги має використання шлаків у будівництві?

Критерії оцінювання

Вид діяльності	Макс. балів
Повнота відповіді	1
Розрахункове завдання	1
Усього	2

Література

1. Міркін Б.М. Металургійні шлаки та їх утилізація. — К.: Техніка, 2018.
2. Трофимчук А.О. Екологічна безпека промислових технологій. — К.: НТУУ «КПІ», 2020.
3. Методичні рекомендації з утилізації доменних і сталеплавильних шлаків, Мінекології України, 2019.
4. EN 15167-1:2006, Ground granulated blast furnace slag for use in concrete.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №9

Тема: Утилізація сталеплавильних шлаків

1. Мета заняття

- Ознайомити студентів із процесами утворення, властивостями та складом сталеплавильних шлаків.
- Розглянути технологічні способи утилізації та перероблення сталеплавильних шлаків.
- Навчити виконувати розрахунки кількості утворення шлаків, їхнього складу та потенціалу використання.
- Сформувати навички оцінювання екологічних ефектів від утилізації сталеплавильних шлаків.

2. Теоретичні відомості

2.1. Утворення сталеплавильних шлаків

Сталеплавильні шлаки утворюються під час процесів перероблення чавуну на сталь (в конвертерах, мартенівських і електропечах). Шлаки містять вапно, оксиди заліза, марганцю, кремнію, алюмінію та інші компоненти. Вони виконують роль очищувача сталі від домішок сірки, фосфору та включень.

2.2. Основні типи сталеплавильних шлаків

- Конвертерні шлаки (CaO – 45–55 %, FeO – 15–25 %, SiO₂ – 10–20 %).
- Мартенівські шлаки (CaO – 35–45 %, FeO – 15–20 %, SiO₂ – 20–25 %).
- Електропічні шлаки (CaO – 40–55 %, FeO – 5–10 %, SiO₂ – 15–25 %).

2.3. Напрями утилізації сталеплавильних шлаків

1. Використання як вторинної сировини у виробництві цементу та бетону.
2. Використання в дорожньому будівництві (щебінь, заповнювачі).
3. Отримання шлаколужних в'язучих речовин.
4. Вилучення металів (заліза, марганцю, хрому).
5. Використання як матеріалу для рекультивації земель і підсіпок.

3. Аналітична частина

Завдання 1. Аналіз складу сталеплавильного шлаку

За поданими лабораторними даними визначити:

- основність шлаку ($B = \text{CaO}/\text{SiO}_2$);
- наявність потенційно небезпечних компонентів (Cr, Pb, Zn);
- придатність шлаку до використання у будівельних матеріалах.

Вихідні дані (приклад):

Компонент	Вміст, %
CaO	42
SiO ₂	18
Fe ₂ O ₃	22
MnO	6
MgO	4
Al ₂ O ₃	3
P ₂ O ₅	2
Cr ₂ O ₃	1

Питання:

1. Обчисліть показник основності.
2. До якого типу за хімічним складом належить цей шлак?
3. Який напрям утилізації є найбільш доцільним?

Завдання 2. Розроблення схеми утилізації шлаку

На основі знань з технології перероблення промислових відходів:

1. Побудувати **спрощену технологічну схему утилізації сталеплавильного шлаку**, яка включає такі етапи:
 - приймання та охолодження шлаку;
 - подрібнення;
 - магнітну сепарацію;
 - сортування за фракціями;
 - вторинне використання або утилізацію.
2. Позначити основне обладнання (дробарка, магнітний сепаратор, грохот, транспортер).
3. Пояснити функціональне призначення кожного етапу.

4. Розрахункова частина

Приклад 1. Розрахунок кількості сталеплавильного шлаку

Вихідні дані: виробництво сталі – 1 т, втрати металу зі шлаком – 1.5 %, вміст вапна у шлакоутворювальних матеріалах – 0.12 т/т сталі.

Кількість шлаку можна визначити за формулою:

$G_{\text{шл}} = (G_{\text{добав}} + G_{\text{Fe}}) \times (1 - \alpha)$, де α – втрати при плавленні (0.05).

$G_{\text{шл}} = (0.12 + 0.015) \times (1 - 0.05) = 0.128$ т/т сталі.

Відповідь: при виробництві 1 т сталі утворюється близько 0.13 т шлаку.

Приклад 2. Розрахунок потенційного вмісту заліза у шлаку

Вихідні дані: маса шлаку – 0.13 т, вміст FeO – 18 %.

Кількість заліза у шлаку:

$$m_{\text{Fe}} = m_{\text{шл}} \times (\text{FeO} \times 0.777)$$

$$m_{\text{Fe}} = 0.13 \times (0.18 \times 0.777) = 0.0182 \text{ т Fe} = 18.2 \text{ кг.}$$

Відповідь: у шлаку міститься близько 18 кг заліза, яке можна повернути у виробництво.

Приклад 3. Розрахунок об'єму шлаку для рекультивації

Необхідно засипати ділянку площею 500 м² шаром товщиною 0.3 м.

$$\text{Об'єм шлаку: } V = S \times h = 500 \times 0.3 = 150 \text{ м}^3.$$

$$\text{За густини } \rho = 3.2 \text{ т/м}^3 \text{ маса становитиме: } m = V \times \rho = 150 \times 3.2 = 480 \text{ т.}$$

Відповідь: для рекультивації потрібно 480 т сталеплавильного шлаку.

5. Варіанти індивідуальних завдань

Варіант 1. Розрахувати кількість шлаку при виробництві 500 т сталі, якщо шлакоутворювальні добавки – 0.1 т/т, втрати – 0.04.

Варіант 2. Визначити масу заліза у 0.2 т шлаку при вмісті FeO = 20 %.

Варіант 3. Розрахувати об'єм шлаку для засипання ділянки площею 1000 м² при товщині шару 0.25 м і густині 3.0 т/м³.

Варіант 4. Скласти технологічну схему утилізації сталеплавильних шлаків для отримання цементних добавок.

Варіант 5. Оцінити екологічний ефект використання 1 т шлаку замість природного щебеню (зменшення відходів і збереження ресурсів).

Контрольні запитання

1. Які основні компоненти сталеплавильних шлаків?
2. Від чого залежить кількість утворення шлаку?
3. Які напрями утилізації сталеплавильних шлаків є найефективнішими?
4. Як здійснюється вилучення металів зі шлаку?
5. Яке екологічне значення має використання шлаків у будівництві?

Критерії оцінювання

Вид діяльності	Макс. балів
Повнота відповіді	1
Розрахункове завдання	1
Усього	2

Література

1. Міркін Б.М. Металургійні шлаки та їх утилізація. — К.: Техніка, 2018.
2. Трофимчук А.О. Екологічна безпека промислових технологій. — К.: НТУУ «КПІ», 2020.
3. Методичні рекомендації з утилізації доменних і сталеплавильних шлаків, Мінекології України, 2019.
4. EN 15167-1:2006, Ground granulated blast furnace and steel slags for use in concrete.
5. Грицай В.І. Утилізація металургійних шлаків. — Київ: НТУУ «КПІ», 2021.
6. Кірюшин В.В. Технології вторинної переробки промислових відходів. — Харків: ХНУРЕ, 2019.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №10

Тема: Утилізація шлаків феросплавного виробництва

1. Мета заняття

- Ознайомити студентів із технологічними процесами утворення шлаків у феросплавному виробництві.
- Розглянути основні напрями утилізації та перероблення феросплавних шлаків.
- Навчити виконувати розрахунки кількості утворення шлаків, вмісту корисних компонентів і можливостей їхнього повторного використання.
- Сформувати практичні навички оцінки екологічної ефективності утилізації шлаків феросплавного виробництва.

2. Теоретичні відомості

2.1. Утворення феросплавних шлаків

Феросплавні шлаки утворюються під час виплавки сплавів заліза з різними елементами (Mn, Cr, Si, Ti, Ni). Шлаки є продуктом взаємодії руди, флюсів і домішок, що не переходять у метал. Вони містять велику кількість оксидів кальцію, магнію, марганцю, кремнію, алюмінію, а також залишки корисних металів.

2.2. Склад і властивості феросплавних шлаків

Типовий склад феросплавних шлаків (% мас.):

- CaO – 20–35
- SiO₂ – 25–40
- Al₂O₃ – 10–25
- MgO – 5–10
- MnO, FeO, Cr₂O₃ – 5–15

Такі шлаки характеризуються високою міцністю, хімічною стійкістю і потенційною цінністю як вторинної сировини.

2.3. Напрями утилізації феросплавних шлаків

1. Використання як будівельного матеріалу (щебінь, заповнювач для бетону, дорожнє покриття).

2. Вилучення цінних металів (Mn, Cr, Fe) методом відновлення або гравітаційного збагачення.
3. Отримання шлаколужних в'язучих речовин.
4. Використання як добавок у цементне виробництво.
5. Рекультивація земель і укріплення схилів.

3. Аналітична частина

Завдання 1. Аналіз складу шлаків

Використовуючи наведені дані про хімічний склад шлаків феросплавного виробництва, визначити потенційні напрями їх утилізації.

Компонент	Вміст, % маси	Можливе застосування
SiO ₂	35–45	Виробництво скла, цементу
CaO	25–30	Будівельні матеріали
MgO	10–15	Добавка у цементи
Al ₂ O ₃	5–10	Вогнетриви
FeO	5–10	Металургійна сировина
MnO	3–7	Отримання феросплавів

Завдання:

- а) Визначити, який тип шлаку (висококальцієвий, кремнеземистий, магнезіальний) найбільш підходить для виробництва цементу.
- б) Запропонувати 2 напрями повторного використання цього шлаку.

Завдання 2. Екологічна оцінка

На підставі довідкових даних оцініть можливий вплив зберігання ферохромового шлаку на довкілля.

Відомо, що у складі міститься до 2% Cr₂O₃.

- Які екологічні ризики можливі при контакті шлаку з ґрунтовими водами?

- Які методи нейтралізації або стабілізації можна застосувати?

Завдання 3. Розробка технологічної схеми утилізації

Розробити схему утилізації шлаків феросиліцію на основі наступних операцій:

1. Подрібнення;
2. Магнітна сепарація;
3. Грануляція;
4. Використання гранул у виробництві цементу.

Поясніть:

- Мету кожної стадії;
- Очікуваний вихід металу (%);
- Переваги запропонованої схеми.

4. Розрахункова частина

Приклад 1. Розрахунок кількості шлаку

Вихідні дані: маса феросплаву – 1 т, кількість флюсів (CaO , SiO_2) – 0.25 т, вміст домішок у сировині – 10 %.

Формула для визначення кількості шлаку:

$$G_{\text{шл}} = G_{\text{флюсів}} + G_{\text{домішок}} = 0.25 + 0.10 = 0.35 \text{ т.}$$

Відповідь: при виплавці 1 т феросплаву утворюється близько 0.35 т шлаку.

Приклад 2. Розрахунок потенційного вмісту марганцю у шлаку

Вихідні дані: маса шлаку – 0.35 т, вміст MnO – 8 %.

Кількість марганцю визначається за формулою:

$$m_{\text{Mn}} = m_{\text{шл}} \times (\text{MnO} \times 0.774)$$

$$m_{\text{Mn}} = 0.35 \times (0.08 \times 0.774) = 0.0217 \text{ т} = 21.7 \text{ кг.}$$

Відповідь: у шлаку міститься близько 22 кг марганцю, який можна вилучити.

Приклад 3. Розрахунок маси цементної добавки зі шлаку

Для виготовлення цементу використовується шлак із вмістом $\text{CaO} + \text{SiO}_2 = 65 \%$.

Якщо потрібно отримати 1 т цементної суміші, а частка шлаку становить 30 %:

$$m_{\text{шл}} = 1 \times 0.3 = 0.3 \text{ т.}$$

$$\text{CaO} + \text{SiO}_2 \text{ у добавці} = 0.3 \times 0.65 = 0.195 \text{ т.}$$

Відповідь: для виробництва 1 т цементу потрібно 0.3 т шлаку, який забезпечує 195 кг активних компонентів.

Варіанти індивідуальних завдань

Варіант 1. Розрахувати кількість шлаку при виплавці 2 т феросплаву, якщо флюси – 0.3 т/т, домішки – 8 %.

Варіант 2. Визначити вміст хрому у 0.5 т шлаку при $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 6 \%$.

Варіант 3. Розрахувати кількість цементної добавки, яку можна отримати з 1 т шлаку при сумарному вмісті $\text{CaO} + \text{SiO}_2 = 70 \%$.

Варіант 4. Скласти технологічну схему вилучення марганцю зі шлаку.

Варіант 5. Оцінити екологічний ефект використання шлаків замість природного щебеню у дорожньому будівництві.

Контрольні запитання

1. Як утворюються шлаки у феросплавному виробництві?
2. Який типовий хімічний склад феросплавних шлаків?
3. Які основні напрями їх утилізації?
4. Як можна вилучати марганець і хром зі шлаків?
5. Яке екологічне значення має використання феросплавних шлаків у будівництві?

Критерії оцінювання

Вид діяльності	Макс. балів
Повнота відповіді	1
Розрахункове завдання	1
Усього	2

Література

1. Костенко В.М. Феросплавне виробництво та охорона довкілля. — Дніпро: НМетАУ, 2019.
2. Гончаренко І.П. Утилізація промислових відходів металургії. — К.: Техніка, 2020.
3. Методичні рекомендації щодо утилізації шлаків феросплавного виробництва. — Мінекології України, 2021.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №11

Тема: Утилізація відпрацьованих травильних розчинів

1. Мета заняття

- Ознайомити студентів із фізико-хімічними властивостями та складом відпрацьованих травильних розчинів.
- Розглянути сучасні методи їхньої утилізації, регенерації та нейтралізації.
- Навчити виконувати розрахунки масового балансу травильних процесів і кількості реагентів для очищення.
- Сформулювати вміння оцінювати екологічні наслідки та ефективність процесів утилізації.

2. Теоретичні відомості

2.1. Характеристика відпрацьованих травильних розчинів

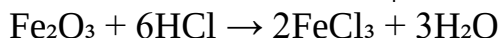
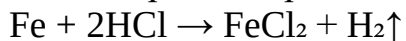
Травильні розчини застосовують для видалення окалини, оксидів і домішок з поверхні металів. Найчастіше використовуються кислоти: HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , суміші HF-HNO_3 (для нержавіючих сталей). Під час експлуатації кислотні розчини насичуються іонами металів (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Ni^{2+}) і продуктами реакції, що робить їх небезпечними для навколишнього середовища.

2.2. Основні методи утилізації травильних розчинів

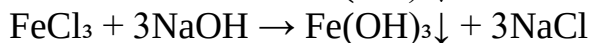
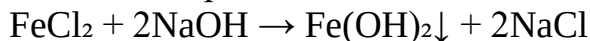
1. Хімічна нейтралізація — обробка лугами (NaOH , Ca(OH)_2) з утворенням осаду гідроксидів металів.
2. Регенерація кислот — видалення розчинених металів за допомогою гідролізу або мембранних технологій (дифузійний діаліз, осмос).
3. Випарювання та кристалізація — отримання солей заліза та повторне використання кислотного залишку.
4. Електрохімічне очищення — осадження металів на катоді з частковим відновленням кислотності розчину.
5. Комплексне використання — вилучення заліза як коагулянта для очищення стічних вод.

2.3. Хімічні реакції травлення та нейтралізації

Основні реакції травлення сталей:



Реакції нейтралізації:



3. Аналітична частина

Завдання 1. Теоретичне опрацювання

1. Описати основні типи травильних розчинів, що застосовуються у металургії.
2. Навести порівняльну характеристику методів утилізації: нейтралізація, пірогідроліз, мембранна регенерація.
3. Визначити переваги й недоліки кожного методу з точки зору:
 - економічності;
 - екологічної безпеки;
 - ступеня утилізації кислот.

Завдання 2. Аналітичне

Проаналізуйте екологічні наслідки неконтрольованого зливу відпрацьованих травильних розчинів у водойму. Необхідно оцінити можливі зміни:

- рН води,
- вмісту розчиненого кисню,
- біохімічного споживання кисню (БСК),
- токсичності для гідробіонтів.

Завдання 3. Практичне моделювання

Розробити схему технологічної установки регенерації травильного розчину за методом пірогідролізу FeCl_2 .

На схемі відобразити:

- основні технологічні апарати;
- продукти процесу (HCl , Fe_2O_3);
- контури циркуляції розчинів.

4. Розрахункова частина

Приклад 1. Розрахунок кількості луку для нейтралізації

Вихідні дані: об'єм травильного розчину — 1 м^3 , вміст $\text{Fe}^{2+} = 10 \text{ г/л}$, $\text{HCl} = 30 \text{ г/л}$.

Потрібно визначити масу NaOH для повної нейтралізації.

1. Кількість HCl : $30 \text{ г/л} \times 1000 \text{ л} = 30\,000 \text{ г} = 30 \text{ кг}$.

Моль $\text{HCl} = 30 / 36.5 = 0.82 \text{ кмоль}$.

На 1 моль HCl потрібно 1 моль NaOH $\rightarrow 0.82 \text{ кмоль NaOH} = 0.82 \times 40 = 32.8 \text{ кг}$.
Відповідь: для нейтралізації 1 м³ розчину потрібно 33 кг NaOH.

Приклад 2. Розрахунок маси осаду гідроксиду заліза

Вихідні дані: концентрація $\text{Fe}^{3+} = 8 \text{ г/л}$, об'єм розчину = 500 л.

Реакція: $\text{Fe}^{3+} + 3\text{OH}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow$

Маса $\text{Fe}^{3+} = 8 \times 500 = 4000 \text{ г} = 4 \text{ кг}$.

Моль $\text{Fe}^{3+} = 4 / 55.8 = 0.0717 \text{ кмоль}$.

Маса осаду $\text{Fe}(\text{OH})_3 = 0.0717 \times 106.9 = 7.66 \text{ кг}$.

Відповідь: утвориться близько 7.7 кг осаду $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Приклад 3. Розрахунок зменшення об'єму кислотних відходів після регенерації

При дифузійному діалізі 60 % HCl повертається у вихідний розчин.

Якщо відпрацьованого розчину 2 м³, то кількість відновленої кислоти становить:

$$V_p = 2 \times 0.6 = 1.2 \text{ м}^3.$$

Об'єм відходів після регенерації: $V_o = 2 - 1.2 = 0.8 \text{ м}^3$.

Відповідь: об'єм шкідливих відходів зменшується у 2.5 рази.

Варіанти індивідуальних завдань

Варіант 1. Розрахувати масу $\text{Ca}(\text{OH})_2$, необхідну для нейтралізації 1 м³ розчину з $\text{H}_2\text{SO}_4 = 20 \text{ г/л}$.

Варіант 2. Визначити масу осаду $\text{Fe}(\text{OH})_2$ при концентрації $\text{Fe}^{2+} = 15 \text{ г/л}$ і об'ємі 0.8 м³.

Варіант 3. Обчислити об'єм відновленої кислоти після регенерації 3 м³ розчину з ефективністю 70 %.

Варіант 4. Розробити схему утилізації відпрацьованого HCl-травильного розчину з вилученням Fe як коагулянта.

Варіант 5. Оцінити екологічний ефект скорочення відходів після впровадження мембранної технології регенерації.

Контрольні запитання

1. Який склад мають відпрацьовані травильні розчини?
2. Які існують основні методи їхньої утилізації?
3. У чому полягає суть процесу регенерації кислот?
4. Які реакції відбуваються під час нейтралізації травильних розчинів?
5. Які екологічні переваги має повторне використання травильних розчинів?

Критерії оцінювання

Вид діяльності	Макс. балів
Повнота відповіді	1
Розрахункове завдання	1
Усього	2

Література

1. Мельник С.П. Очищення та утилізація промислових стічних вод. — К.: Техніка, 2018.
2. Риженко В.О. Технології охорони навколишнього середовища в металургії. — Дніпро: НМетАУ, 2020.
3. Методичні рекомендації з утилізації травильних розчинів, Мінекології України, 2021.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №12

Тема: Утилізація відходів виробництва магнію

Мета заняття

- Ознайомити студентів із основними видами та характеристиками відходів, що утворюються під час виробництва магнію.
- Визначити можливі напрямки утилізації, переробки та знешкодження цих відходів.
- Розвинути навички екологічного аналізу технологічних процесів та вибору оптимальних методів утилізації.

1. Теоретичні відомості

Виробництво магнію (як із природних мінералів — доломіту, магнезиту, карналіту, так і з вторинної сировини) супроводжується утворенням значних обсягів відходів:

Тип відходів	Джерело утворення	Характеристика	Екологічна небезпека
Шлаки	Відновлення MgCl_2 або MgO	Містять CaO , Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3	Лужні, токсичні при зволоженні
Пил і газоподібні відходи	Печі електролізу або термічні установки	MgO , Cl_2 , HCl , SO_2	Забруднення атмосфери, корозія
Солеві залишки	Електроліз магнієвих солей	NaCl , KCl , CaCl_2	Засолення ґрунтів, токсичність для водних екосистем
Відпрацьовані футеровки	Внутрішні поверхні печей	MgO , вогнетривкі матеріали, фториди	Пилові, важкоутилізовані відходи

Основні екологічні проблеми — підвищення лужності відходів, викиди хлору, токсичність шлаків, забруднення ґрунтових вод.

2. Основні напрями утилізації відходів виробництва магнію

1. Шлаки магнієвого виробництва

- Використання як **будівельного матеріалу** (у складі цементів, бетонів, заповнювачів).
- Переробка з отриманням **MgO** для вогнетривів або реагентів для нейтралізації кислотних стоків.
- Застосування у виробництві **доломітових добрив**.

2. Солеві розчини та тверді залишки

- Регенерація хлоридів NaCl і KCl для повторного використання в електролізі.
- Утилізація у хімічній промисловості (отримання NaOH, Cl₂).

3. Відпрацьовані футеровки

- Механічне подрібнення з вилученням магнезиту.
- Використання у складі сухих будівельних сумішей або як заповнювач у бетоні.

3. Аналітична частина

Завдання 1. Аналітичне

На основі наданої технологічної схеми виробництва магнію (термічним або електролітичним методом) скласти **баланс утворення відходів**. Визначити:

- основні джерела відходів;
- їх кількість і склад;
- потенційні напрями утилізації.

Форма подання: таблиця з коротким описом та екологічною характеристикою.

Завдання 2. Проектно-аналітичне

Розробіть екологічну схему утилізації відходів виробництва магнію для підприємства, яке випускає 10 000 т магнію на рік. У схемі вкажіть:

- джерела утворення відходів;
- способи їх збору, транспортування, знешкодження;
- отримувані вторинні продукти;
- екологічні переваги запропонованої технології.

Форма подання: блок-схема або короткий опис (до 1 сторінки).

Завдання 3. Творче

Запропонуйте **новий або вдосконалений метод утилізації** солевих залишків магнієвого виробництва з урахуванням принципів циркулярної економіки. Опишіть:

- хімічну суть процесу;
- можливі продукти;
- екологічні вигоди.

4. Розрахункова частина

Приклад 1. Розрахунок кількості гідроксиду кальцію для нейтралізації хлориду магнію

Вихідні дані: об'єм розчину 1 м³, концентрація MgCl₂ = 50 г/л.
Реакція: $\text{MgCl}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{Mg(OH)}_2 + \text{CaCl}_2$
Маса MgCl₂ у розчині: $50 \times 1000 = 50\,000 \text{ г} = 50 \text{ кг}$.
Кількість речовини MgCl₂ = $50 / 95.2 = 0.525 \text{ кмоль}$.
Кількість Ca(OH)₂ = 0.525 кмоль, маса = $0.525 \times 74.1 = 38.9 \text{ кг}$.
Відповідь: для нейтралізації 1 м³ розчину потрібно 38.9 кг Ca(OH)₂.

Приклад 2. Розрахунок маси осаду Mg(OH)₂

Маса Mg(OH)₂ = $0.525 \times 58.3 = 30.6 \text{ кг}$.
Отже, при очищенні 1 м³ розчину утворюється близько 31 кг осаду гідроксиду магнію.

Приклад 3. Розрахунок кількості MgO після прожарювання осаду

Реакція: $\text{Mg(OH)}_2 \rightarrow \text{MgO} + \text{H}_2\text{O}$
Молекулярні маси: 58.3 → 40.3.
Маса MgO = $30.6 \times (40.3 / 58.3) = 21.1 \text{ кг}$.
Відповідь: після прожарювання утворюється 21.1 кг оксиду магнію.

4. Варіанти індивідуальних завдань

Варіант 1. Розрахувати масу Ca(OH)₂ для нейтралізації 2 м³ розчину з MgCl₂ = 40 г/л.
Варіант 2. Визначити кількість осаду Mg(OH)₂ при концентрації MgCl₂ = 60 г/л і об'ємі 0.5 м³.
Варіант 3. Розрахувати масу MgO після прожарювання 25 кг осаду Mg(OH)₂.
Варіант 4. Розробити технологічну схему комплексної утилізації шлаків і хлоридних стоків виробництва магнію.
Варіант 5. Оцінити екологічний ефект від повторного використання регенованого MgO у виробництві цементу.

Контрольні запитання для обговорення

1. Які основні види відходів утворюються у виробництві магнію?
2. У чому полягає небезпека шлаків і пилу магнієвого виробництва?
3. Які методи утилізації газоподібних відходів містять хлор?
4. Як відпрацьовані солі можна повернути у виробничий цикл?
5. Чому утилізація MgO зі шлаків вважається екологічно доцільною?
6. Які проблеми можуть виникнути при використанні шлаків у будівництві?
7. Як утилізація відходів впливає на економічні показники підприємства?

Критерії оцінювання

Вид діяльності	Макс. балів
Обґрунтованість схеми	1
Розрахункове завдання	1
Усього	2

Література

1. Григор'єв В.І. Металургія магнію та охорона довкілля. — К.: Техніка, 2019.
2. Чабаненко П.М. Технології утилізації відходів металургійних виробництв. — Дніпро: НМетАУ, 2021.
3. Методичні рекомендації з переробки відходів магнієвого виробництва, Мінекології України, 2022.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ № 13

Тема: Утилізація відходів алюмінієвого виробництва

Мета заняття

- Ознайомити студентів із видами, складом і небезпекою відходів, що утворюються під час виробництва алюмінію.
- Розглянути сучасні технології утилізації та переробки червоного шламу, відпрацьованих глиноземів, фторвмісних і карбонатних залишків.
- Навчитися аналізувати технологічні схеми виробництва алюмінію з позицій екологічної безпеки та ресурсоефективності.

1. Теоретичні відомості

Алюмінієве виробництво складається з двох основних етапів:

1. **Виробництво глинозему (Al_2O_3)** із бокситів за **байєрівським процесом**.
2. **Електролітичне відновлення алюмінію** з розплавів кріоліту (Na_3AlF_6).

Основні відходи виробництва:

Тип відходів	Джерело утворення	Основний склад	Екологічна небезпека
Червоний шлам	Байєрівський процес	Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , NaOH	Висока лужність, токсичність для ґрунтів і вод
Фторвмісні відходи	Електроліз (аноли, гази)	NaF , AlF_3 , CaF_2	Забруднення повітря і вод, фторози у людей
Відпрацьовані вугільні аноди	Піч електролізу	C , Al_2O_3 , F^-	Підвищена токсичність, вміст важких металів
Пил та газоподібні викиди	Печі, транспортування	Al_2O_3 , HF , CO_2	Атмосферні забруднення, кислотні дощі

2. Основні напрями утилізації відходів алюмінієвого виробництва

1. Червоний шлам:

- Використання в цементній і цегельній промисловості.
- Переробка для отримання Fe_2O_3 , TiO_2 , Al_2O_3 .
- Використання у виробництві поглиначів, флокулянтів, пігментів.
- Застосування для нейтралізації кислотних шахтних вод.

2. Фторвмісні відходи:

- Регенерація фтору для повторного використання у виробництві кріоліту.
- Нейтралізація з утворенням CaF_2 (для виробництва флюсів).

3. Відпрацьовані аноди:

- Вилучення фторидів та алюмінію.
- Використання подрібненого вуглецевого матеріалу як **відновника** у металургії.

4. Пилові відходи:

- Застосування у виробництві абразивних матеріалів, вогнетривів.
- Зворотне повернення у виробничий цикл після фільтрації.

3. Аналітична частина

Завдання 1. Аналітичне

На основі технологічної схеми виробництва алюмінію визначити:

- основні джерела утворення відходів;
- фізико-хімічні характеристики кожного виду;
- рівень екологічної небезпеки.

Форма подання: таблиця «Джерело – Вид відходу – Склад – Потенційний спосіб утилізації».

Завдання 2. Практично-аналітичне

Розробіть схему комплексної утилізації червоного шламу для великого алюмінієвого комбінату.

Передбачте отримання вторинних продуктів (залізний концентрат, цементна добавка, сорбенти).

Форма подання: схема (графічно або описово).

4. Розрахункова частина

Приклад 1. Розрахунок об'єму червоного шламу

Вихідні дані: переробка 1 т бокситів, вихід $\text{Al}_2\text{O}_3 = 500$ кг, утворення шламу — 1.5 т.

Об'єм шламу визначається за густиною $\rho = 3.3$ т/м³:

$$V = 1.5 / 3.3 = 0.45 \text{ м}^3.$$

Відповідь: при переробці 1 т бокситів утворюється 0.45 м³ червоного шламу.

Приклад 2. Розрахунок маси CaCO_3 при нейтралізації лужного шламу

Нехай маса сухого шламу — 1000 кг, вміст Na_2O — 5%.

Реакція: $\text{Na}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$.

Кількість $\text{Na}_2\text{O} = 1000 \times 0.05 / 62 = 0.806$ кмоль.

CaCO_3 утворюється в кількості 0.806 кмоль, маса $= 0.806 \times 100 = 80.6$ кг.

Відповідь: при нейтралізації 1 т шламу утворюється 80.6 кг CaCO_3 .

Приклад 3. Вилучення $\text{Al}(\text{OH})_3$ із червоного шламу

При вилуговуванні 1 т шламу, що містить 15% Al_2O_3 (0.15 т = 150 кг):

Кількість $\text{Al}_2\text{O}_3 = 150 / 102 = 1.47$ кмоль.

Маса $\text{Al}(\text{OH})_3 = 1.47 \times 78 = 114.7$ кг.

Відповідь: з 1 т червоного шламу можна отримати близько 115 кг $\text{Al}(\text{OH})_3$.

Контрольні запитання для обговорення

1. Що таке червоний шлам і чому він є небезпечним?
2. Які методи регенерації фтору застосовуються у виробництві алюмінію?
3. Які вторинні продукти можна отримати з відпрацьованих анодів?
4. Чому утилізація пилових відходів є важливою для охорони атмосфери?
5. Які напрями циркулярної економіки можливі у сфері алюмінієвого виробництва?

Критерії оцінювання

Вид діяльності	Макс. балів
Обгрунтованість схеми	1
Розрахункове завдання	1
Усього	2

Література

1. Пивоваров О.А. Переробка відходів алюмінієвого виробництва. — К.: Техніка, 2020.
2. Чабаненко П.М. Екологічні технології в кольоровій металургії. — Дніпро: НМетАУ, 2021.
3. Методичні рекомендації з утилізації червоного шламу, Мінекології України, 2022.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №14

Тема: Переробка та утилізація залізовмісних шламів газоочисних споруд

1. Мета заняття

- Ознайомити студентів із фізико-хімічними властивостями залізовмісних шламів, що утворюються в процесах очищення газів металургійних підприємств.
- Розглянути технології переробки та утилізації залізовмісних шламів з метою вилучення заліза та зниження екологічного навантаження.
- Навчити виконувати розрахунки складу, кількості відходів і реагентів для переробки.
- Сформуванати навички оцінки ефективності процесів утилізації шламів.

2. Теоретичні відомості

2.1. Джерела утворення залізовмісних шламів

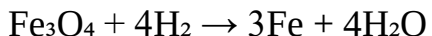
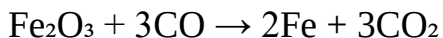
Залізовмісні шлами утворюються під час очищення технологічних газів у доменних, сталеплавильних, агломераційних і прокатних цехах. Основними джерелами є системи мокрого пилогазоочищення, електрофільтри, скрубери. Склад шламів залежить від технологічного процесу, але зазвичай містить: Fe_2O_3 (30–60%), Fe_3O_4 , FeO , CaO , SiO_2 , ZnO , PbO , вуглець і вологу (20–50%).

2.2. Методи утилізації залізовмісних шламів

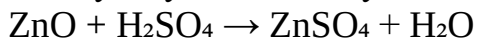
1. Брикетування або гранулювання — для повернення у доменне або агломераційне виробництво.
2. Пірометалургійна переробка — відновлення оксидів заліза до металевого стану у відновлювальних печах.
3. Гідрометалургійні методи — вилуговування цинку, свинцю, хлору з подальшим використанням концентрату заліза.
4. Отримання пігментів (червоний, жовтий залізооксидні пігменти) із очищених шламів.
5. Використання у цементній промисловості як сировини для клінкеру або домішки у бетон.

2.3. Хімічні процеси при утилізації

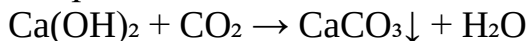
- Відновлення оксидів заліза:



- Вилуговування цинку:



- Карбонатизація залізовмісних шламів при нейтралізації лужних складових:



3. Аналітична частина

Завдання 1. Аналітичне

Проаналізуйте джерела утворення залізовмісних шламів на металургійному підприємстві (наприклад, доменне, мартенівське, конвертерне виробництво). Складіть таблицю, де вкажіть:

- тип газоочисної установки;
- орієнтовну кількість шламу (т/рік);
- хімічний склад (% основних компонентів);
- клас небезпеки відходу.

Завдання 2. Проєктно-аналітичне

Розробіть схему технологічного процесу утилізації залізовмісних шламів одного з типів газоочисних споруд.

У схемі зазначте основні операції:

- збирання та зневоднення шламів;
- термічна обробка / агломерація;
- отримання вторинного матеріалу;
- утилізація залишків.

Поясніть екологічні переваги запропонованої технології.

4. Розрахункова частина

Приклад 1. Розрахунок масової частки заліза у сухому шламі

Вихідні дані: вологість шламу — 40%, масова частка Fe у сирому шламі — 36%.

Розрахунок:

$$\text{Fe}(\text{сухий}) = 36 / (1 - 0.4) = 60\%.$$

Відповідь: у сухому шламі міститься 60% заліза.

Приклад 2. Розрахунок кількості вуглецю для відновлення Fe_2O_3

Реакція: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{C} \rightarrow 2\text{Fe} + 3\text{CO}$.

1 кмоль Fe_2O_3 (160 г) потребує 3 кмоль C ($3 \times 12 = 36$ г).

Отже, на 1 т Fe_2O_3 потрібно: $1000 \times (36 / 160) = 225$ кг вуглецю.

Відповідь: для відновлення 1 т Fe_2O_3 потрібно 225 кг вуглецю.

Приклад 3. Розрахунок вилучення цинку з шламу

Шлам масою 1000 кг містить 5% ZnO (50 кг).

Реакція: $\text{ZnO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$.

Молекулярні маси: $\text{ZnO} = 81$, $\text{ZnSO}_4 = 161$.

Кількість $\text{ZnO} = 50 / 81 = 0.617$ кмоль.

Маса $\text{ZnSO}_4 = 0.617 \times 161 = 99.3$ кг.

Відповідь: з 1 т шламу утворюється 99.3 кг розчинного ZnSO_4 .

Контрольні запитання

1. Які основні складові залізовмісних шламів?
2. Які переваги має брикетування шламів перед їх утилізацією у вигляді пилу?
3. У чому полягає відновлення оксидів заліза і які реагенти застосовуються?
4. Які хімічні реакції відбуваються при вилугуванні цинку?
5. Які напрями утилізації шламів є найефективнішими з точки зору екології?

Критерії оцінювання

Вид діяльності	Макс. балів
Обґрунтованість схеми	1
Розрахункове завдання	1
Усього	2