

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

Г. Б. Кожемякін

ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ АТМОСФЕРИ І ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ

Конспект лекцій
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»

Запоріжжя
2025

ЛЕКЦІЯ №1

Тема: Технології очистки агломераційних газів

1. Вступ

Агломераційні фабрики є невід'ємною частиною металургійних підприємств і здійснюють процес агломерації — спікання дрібних фракцій руд та концентратів з утворенням міцного агломерату. У процесі агломерації утворюється значна кількість газів, що містять пил, оксиди сірки, оксиди азоту, оксид вуглецю, а також діоксид вуглецю. Тому очищення агломераційних газів є важливим елементом технологічного процесу з точки зору охорони навколишнього середовища.

2. Характеристика агломераційних газів

Газові викиди агломераційних машин характеризуються великим об'ємом (до 5000 м³/т агломерату) і складним складом забруднювачів. Основними компонентами є:

- пил (концентрація до 20 г/м³);
- оксиди сірки (SO₂, SO₃);
- оксиди азоту (NO, NO₂);
- оксид вуглецю (CO);
- органічні сполуки та парникові гази.

3. Технології очищення агломераційних газів

Очищення агломераційних газів здійснюється з використанням комбінації механічних, фізико-хімічних і хімічних методів. Основні технології:

3.1. Механічне очищення

Механічне очищення передбачає видалення пилу та твердих частинок.

Основні апарати:

- Циклони - забезпечують відділення до 85–90 % частинок розміром понад 10 мкм.
- Багатоциклонні батареї — ефективність до 95 %.
- Скрубери Вентурі — дозволяють вловлювати частинки до 1 мкм.

3.2. Електрофільтри

Електрофільтри є найбільш поширеним методом тонкого очищення агломераційних газів від пилу. Принцип дії ґрунтується на осадженні заряджених частинок пилу на електродах. Ефективність досягає 99 %. Для підтримання ефективності необхідне періодичне очищення електродів.

3.3. Очищення від оксидів сірки (десульфурація)

Методи десульфурації включають:

- Вологий метод з використанням вапняного молока (Ca(OH)₂) — утворення гіпсу (CaSO₄·2H₂O);
- Сухий метод з упорскуванням вапняку у газовий потік;

- Напівсухий метод із розпиленням суспензії $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Ефективність очищення може досягати 95 %.

3.4. Очищення від оксидів азоту (денітрифікація)

Основні методи:

- Каталітичне відновлення (SCR) із застосуванням аміаку або сечовини;
- Некаталітичне відновлення (SNCR) при 850–1100 °С;
- Комбіновані системи із використанням каталітичних реакторів.

3.5. Комплексні системи очищення

На сучасних металургійних комбінатах застосовують багатоступеневі системи очищення, які включають:

- пиловловлювачі (електрофільтри, скрубери);
- установки десульфурації;
- установки денітрифікації.

Такі системи дозволяють знизити викиди шкідливих речовин до нормативних значень.

4. Екологічні аспекти та утилізація продуктів очищення

Продукти очищення (гіпс, шлами, пил) можуть використовуватися у будівельній промисловості, як добавки у цемент, або підлягають безпечному зберіганню. Рециркуляція пилу дозволяє підвищити ефективність процесу агломерації.

5. Висновки

Очищення агломераційних газів — складний, але необхідний процес, спрямований на зниження негативного впливу металургійного виробництва на атмосферу. Використання сучасних технологій очищення забезпечує не лише екологічну безпеку, а й можливість повторного використання побічних продуктів.

ЛЕКЦІЯ №2

Тема: Технології очистки доменних газів

1. Вступ

Доменне виробництво є одним із найважливіших етапів чорної металургії, під час якого відбувається відновлення заліза з руди. У процесі плавлення утворюється доменний газ, який містить значну кількість пилу, оксидів вуглецю та інших забруднювачів. Очищення доменних газів є необхідним для зменшення техногенного впливу на атмосферу, а також для забезпечення можливості повторного використання газу як енергоносія.

2. Характеристика доменних газів

Доменний газ утворюється при температурі 200–250 °С та має такий типовий склад (у % об'єму):

- CO — 25–28 %;
- CO₂ — 18–22 %;
- N₂ — 48–52 %;
- H₂ — до 5 %;
- пил — 20–100 г/м³.

Основним завданням очищення є вилучення пилу, який містить оксиди заліза, кремнію, кальцію та інші сполуки. Після очищення газ використовується для обігріву повітрянагрівачів або як паливо у доменному цеху.

3. Етапи очищення доменних газів

Очищення доменних газів відбувається у два основні етапи:

1. Грубе очищення — видалення основної маси пилу за допомогою механічних апаратів.
2. Тонке очищення — видалення дрібнодисперсних частинок у мокрих або сухих системах.

3.1. Грубе очищення газів

Для грубого очищення застосовуються апарати інерційного типу — циклони, жалюзійні пиловловлювачі та пилові камери. Вони видаляють частинки розміром понад 10 мкм з ефективністю до 90 %.

Основні апарати:

- Пилова камера — осадження важких частинок під дією сили тяжіння.
- Циклон — використання відцентрової сили для відокремлення пилу.
- Багатоциклон — підвищена ефективність завдяки паралельному з'єднанню кількох циклонів.

3.2. Тонке очищення газів

Після грубого очищення газ подається у системи тонкого очищення.

Основні технології:

- Скрубери Вентурі — видалення дрібнодисперсного пилу за рахунок інтенсивного контакту з рідиною;
 - Електрофільтри — осадження заряджених частинок пилу під дією електричного поля;
 - Тканинні фільтри (рукавні) — фільтрація газу через пористі матеріали.
- Ефективність тонкого очищення сягає 99 %.

3.3. Комбіновані системи очищення

На сучасних доменних підприємствах застосовують двоступеневі системи:

- сухе очищення (пилова камера + електрофільтр);
- мокре очищення (жалюзійний апарат + скруббер Вентурі);
- комбіноване очищення (циклон + рукавний фільтр).

Вибір системи залежить від складу газу, вмісту пилу та вимог до якості очищення.

4. Технологічна схема очищення доменного газу

Типова схема очищення включає такі елементи:

1. Газовідвід від доменної печі;
2. Грубий пиловловлювач (циклон або жалюзійний апарат);
3. Скрубер Вентурі або електрофільтр;
4. Краплевловлювач;
5. Газгольдер для зберігання очищеного газу.

5. Екологічні та економічні аспекти очищення

Ефективне очищення доменних газів забезпечує:

- зниження пилових викидів у атмосферу;
- можливість повторного використання пилу у шихті;
- зменшення витрат на енергоресурси за рахунок використання очищеного газу як палива;
- покращення умов праці персоналу.

6. Висновки

Системи очищення доменних газів є важливою частиною екологічної безпеки металургійного виробництва. Використання сучасних технологій, таких як електрофільтри та скрубери Вентурі, дозволяє досягти високого ступеня очищення газів, забезпечуючи мінімальний вплив на атмосферу.

ЛЕКЦІЯ №3

Тема: Технології очистки газів мартенівських печей

1. Вступ

Мартенівське виробництво сталі супроводжується значними викидами пилу, оксидів азоту, оксидів вуглецю та сірчистих сполук. Газопиловий потік, що утворюється під час плавки сталі, має високі температури (до 1600 °C) і містить значну кількість шкідливих домішок. Тому ефективне очищення газів мартенівських печей є одним із ключових завдань у системі охорони атмосферного повітря на металургійних підприємствах.

2. Характеристика мартенівських газів

Газові викиди мартенівських печей характеризуються складним складом і великою концентрацією пилу. Типовий склад мартенівських газів (у % об'єму):

- CO — 5–15 %;
- CO₂ — 15–20 %;
- N₂ — 60–70 %;
- O₂ — 2–5 %;
- пил — 10–50 г/м³.

Пил містить оксиди заліза (FeO, Fe₂O₃), оксиди марганцю, кремнію, кальцію, а також залишки шлаку. Ці компоненти спричиняють забруднення атмосфери, якщо не проводиться належне очищення.

3. Основні етапи очищення мартенівських газів

Процес очищення мартенівських газів здійснюється у кілька послідовних етапів:

1. Охолодження газів до температур, допустимих для роботи газоочисного обладнання.
2. Грубе очищення від великих частинок пилу.
3. Тонке очищення для видалення дрібнодисперсних частинок і газоподібних домішок.

3.1. Охолодження газів

Охолодження мартенівських газів проводять у змішувачах або теплообмінниках, де гази змішуються з холодним повітрям або димовими газами. Температура знижується до 350–400 °С, що запобігає пошкодженню апаратури.

3.2. Грубе очищення газів

Грубе очищення здійснюється за допомогою пиловловлювачів інерційного типу:

- Пилові камери — для осадження великих частинок (ефективність 50–70 %);
- Циклони — забезпечують вилучення частинок розміром понад 10 мкм (ефективність до 90 %);
- Багатоциклонні батареї — використовуються у системах попереднього очищення.

3.3. Тонке очищення газів

Для тонкого очищення мартенівських газів застосовують:

- Скрубери Вентурі — уловлювання дрібнодисперсних частинок розміром 1–2 мкм при контакті газу з рідиною;
- Електрофільтри — осадження заряджених частинок пилу під дією електричного поля (ефективність до 99 %);
- Рукавні фільтри — високоефективна фільтрація газів через пористі матеріали при температурах до 250 °С.

3.4. Очищення від газоподібних домішок

Для зменшення концентрації оксидів азоту (NO_x) та оксидів сірки (SO_2) застосовують хімічні або каталізаторні методи:

- абсорбція у вапняному молоці $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- каталітичне відновлення NO_x аміаком (SCR);
- використання сорбентів на основі активованого вугілля.

4. Сучасні комплексні системи очищення

На сучасних металургійних підприємствах застосовуються багатоступеневі системи очищення мартенівських газів, які поєднують механічні, електричні та хімічні методи. Типова схема включає:

1. Циклон для попереднього очищення;
2. Електрофільтр або рукавний фільтр;
3. Абсорбер для вилучення газоподібних домішок;
4. Краплевловлювач для осушення газу перед викидом у атмосферу.

5. Екологічні та енергетичні аспекти

- Ефективне очищення мартенівських газів забезпечує суттєве зниження викидів пилу та шкідливих газів у атмосферу.
- Очищені гази можуть бути використані як вторинне паливо.
- Пил, що вловлюється, повертається у виробництво як шихтовий матеріал, зменшуючи втрати заліза.

6. Висновки

Системи очищення мартенівських газів є важливою складовою металургійних підприємств. Використання електрофільтрів, рукавних фільтрів та мокрих скрубєрів дозволяє досягати високих показників очищення, що забезпечує екологічну безпеку та ефективність виробництва.

ЛЕКЦІЯ №4

Тема: Технології очистки газів конвертерних печей

1. Вступ

У процесі сталеплавильного виробництва, зокрема під час конвертерного процесу, утворюється значна кількість пилогазових викидів, що містять оксиди заліза, марганцю, сірки, вуглецю, а також сполуки фтору, хлору та інші домішки. Ефективне очищення цих газів є важливою складовою технологій охорони атмосферного повітря.

2. Джерела та склад газів конвертерних печей

Газові викиди конвертерних процесів утворюються при продуванні розплаву киснем. Основними компонентами є: CO (60–70%), CO₂ (10–20%), N₂ (5–15%), а також пилові частинки з розміром 0,1–10 мкм, що складаються з оксидів заліза, кальцію, магнію, марганцю та ін.

3. Технологічні схеми очистки

Сучасні технології очистки газів конвертерних печей поділяються на сухі, мокрі та комбіновані. Основні етапи очищення включають:

- 1) Первинне охолодження та пиловловлення;
- 2) Грубу очистку в пиловловлювачах (циклон, інерційний апарат);
- 3) Тонке очищення у фільтрах (рукавні або електрофільтри);
- 4) Відведення та утилізацію очищеного газу.

4. Сухі системи очищення

Сухі системи очищення передбачають використання рукавних фільтрів або електрофільтрів. Вони забезпечують високий ступінь уловлювання пилу (до 99,9%), дозволяють утилізувати пил як вторинну сировину. Основним недоліком є необхідність охолодження газу до температури нижче 200 °C та висока вартість обслуговування фільтрувальних матеріалів.

5. Мокрі системи очищення

Мокрі системи передбачають контакт газу з рідиною, що забезпечує уловлювання пилу і розчинних газоподібних компонентів. Використовуються скрубери Вентурі, пінні апарати, барботажні колони. Перевага — ефективне видалення дрібнодисперсного пилу, недолік — утворення стічних вод, які потребують додаткового очищення.

6. Комбіновані системи

Комбіновані системи поєднують суху і мокру очистку, що дозволяє досягти високого ступеня знешкодження газових викидів при мінімальних енергозатратах. Наприклад, після циклонів встановлюють рукавні фільтри або скрубери Вентурі.

7. Утилізація очищених газів

Після очищення конвертерний газ може бути використаний як енергоносіє для обігріву, випалу вапняку або виробництва електроенергії. Це сприяє енергозбереженню та зниженню викидів парникових газів.

8. Висновки

Технології очищення газів конвертерних печей є важливою складовою системи екологічної безпеки металургійного виробництва. Оптимальний вибір

технології залежить від складу газу, потужності виробництва, вимог екологічного законодавства та економічних факторів.

ЛЕКЦІЯ №5

Тема: Технології очистки газів дугових сталеплавильних печей

1. Вступ

Дугові сталеплавильні печі (ДСП) є одним із найважливіших агрегатів у сучасній металургії. Вони використовуються для переробки металобрухту у високоякісну сталь шляхом плавлення матеріалу під дією електричної дуги. Проте процес супроводжується значними викидами пилу, газів і парів, що становлять потенційну загрозу для довкілля. Ефективна система очищення газів дозволяє знизити негативний вплив на атмосферу та забезпечує відповідність екологічним стандартам.

2. Характеристика пилогазових викидів дугових сталеплавильних печей

У процесі плавлення утворюється пилогазова суміш, що складається з твердих частинок (оксиди металів) та газоподібних компонентів (CO , CO_2 , NO_x , SO_2 , HCl , HF , леткі сполуки свинцю, цинку та кадмію). Основними етапами утворення газів є:

- Згорання електродів і кисневе окислення домішок;
- Розкладання флюсів і шлакових матеріалів;
- Випаровування легких металів при високих температурах;
- Турбулентне перемішування газів і металевих парів у печі.

Концентрація пилу у неочищених газах може сягати 15–25 г/м³, а температура — 1000–1600 °C.

3. Вимоги до систем газоочищення

Система газоочистки повинна забезпечувати:

1. Зменшення концентрації пилу до рівня менше 50 мг/м³;
2. Можливість уловлювання частинок розміром до 1 мкм;
3. Стійку роботу при високих температурах;
4. Мінімальні втрати тиску та енерговитрати;
5. Можливість автоматизації та повторного використання уловленого пилу.

4. Схема системи очищення газів дугової печі

Типова система очищення газів складається з таких елементів:

1. Газозбірний ковпак або система відсмоктування над ванною печі;
2. Газоходи з водяним охолодженням;
3. Камера змішування або теплообмінник для охолодження газів;

4. Циклон або інерційний пиловловлювач для грубого очищення;
5. Рукавний фільтр або електрофільтр для тонкого очищення;
6. Димосос і димова труба для відведення очищеного газу в атмосферу.

5. Технології очищення газів

1. Інерційні пиловловлювачі (Циклони).

Це апарати, де газ рухається по спіральній траєкторії, а частинки пилу під дією відцентрових сил осідають на стінках. Циклони застосовують для попереднього очищення при концентрації пилу понад 5 г/м³. Ефективність уловлювання — до 90% для частинок розміром >10 мкм.

2. Скрубери та пінні апарати.

Газ пропускається через потік води або піну, що змиває тверді частинки. Скрубери можуть бути барботажними, вентурі або форсуночними. Ефективність очищення сягає 95%, але вимагають подальшої очистки стічних вод.

3. Електрофільтри.

Принцип дії базується на осадженні заряджених частинок пилу під дією електричного поля. Цей метод ефективний для видалення частинок розміром до 0,1 мкм. Ефективність — 95–99%, проте вартість обладнання та експлуатації є високою.

4. Рукавні фільтри.

Газ проходить через тканинні рукави, на поверхні яких осідає пил. Рукави періодично очищаються зворотними імпульсами стисненого повітря. Цей метод забезпечує ефективність понад 99,9%, тому є найпоширенішим у сучасних сталеплавильних цехах.

6. Охолодження газів

Перш ніж гази надходять у фільтри, їх потрібно охолодити до 150–200 °С. Це здійснюється в змішувачах (інжекційне охолодження) або водоохолоджуваних теплообмінниках. Охолодження запобігає пошкодженню фільтрувальних елементів і стабілізує роботу системи.

7. Утилізація уловленого пилу

Пил, зібраний у процесі очищення, містить значні кількості оксидів цинку, заліза, свинцю, кадмію. Він може бути використаний як вторинна сировина у виробництві феросплавів або цементу. Перед повторним використанням пил проходить процес брикетування або гранулювання.

8. Автоматизація та контроль процесу

Системи газоочистки обладнуються датчиками температури, тиску, концентрації пилу та системами автоматичного регулювання. Застосування SCADA-систем дозволяє в реальному часі контролювати ефективність очищення та своєчасно проводити регенерацію фільтрів.

9. Екологічна та економічна ефективність

Сучасні системи газоочистки дозволяють зменшити викиди пилу до 20–30 мг/м³, що відповідає міжнародним стандартам. Крім того, повернення металевих частинок у виробництво знижує витрати сировини та підвищує загальну економічну ефективність виробництва.

10. Висновки

Очищення газів дугових сталеплавильних печей є комплексним процесом, що поєднує механічні, електричні та фільтраційні методи. Найефективнішими вважаються рукавні фільтри, які забезпечують максимальну ефективність очищення при мінімальних експлуатаційних витратах. Розвиток технологій автоматизації та повторного використання уловленого пилу робить системи газоочистки не лише екологічно, а й економічно вигідними.

ЛЕКЦІЯ №6

Тема: Технології очистки газів феросплавних печей

1. Вступ

Феросплавне виробництво є важливою частиною металургії, яка забезпечує виготовлення сплавів заліза з іншими елементами (Mn, Si, Cr, Ti тощо), що використовуються для легування сталі. У процесі роботи феросплавних печей утворюється значна кількість газопилових викидів, які при відсутності ефективного очищення можуть негативно впливати на стан атмосфери та здоров'я людей.

2. Характеристика пилогазових викидів

Газопилова суміш, що утворюється під час роботи феросплавних печей, має складний хімічний склад і включає:

- оксид вуглецю (CO) — 70–90%;
- діоксид вуглецю (CO₂) — 5–15%;
- водень (H₂), метан (CH₄) — до 2%;
- пил з вмістом оксидів Si, Mn, Fe, Ca, Al, Mg;
- сліди фтористих і хлоридних сполук.

Температура газів на виході з печі сягає 900–1300 °С, тому перед очищенням вони підлягають охолодженню.

3. Вимоги до систем очищення газів

Системи очищення газів повинні забезпечувати:

1. Високу ефективність видалення пилу (до 99,9%);
2. Роботу при високих температурах і агресивних середовищах;

3. Можливість рекуперації тепла та використання відновлювальних газів;
4. Автоматизацію процесу та контроль екологічних показників.

4. Основні етапи очищення газів

Типова система очищення газів феросплавних печей включає:

- Збір газів через водоохолоджувані ковпаки;
- Охолодження газів у змішувачах або теплообмінниках;
- Попереднє очищення у циклонах або інерційних камерах;
- Тонке очищення у рукавних фільтрах або електрофільтрах;
- Відведення очищеного газу через димову трубу.

5. Технології очищення газів

1. Циклонне очищення.

Використовується для видалення великих частинок пилу за рахунок відцентрової сили. Ефективність становить 70–90%, що робить циклони придатними для попереднього очищення.

2. Вологе очищення (скрубери).

Скрубери забезпечують контакт газу з рідиною (зазвичай водою), унаслідок чого тверді частинки осідають, а деякі гази поглинаються. Цей метод ефективний (до 95%) і дозволяє одночасно знизити температуру газу.

3. Електрофільтри.

Застосовуються для очищення великих обсягів газів від дрібнодисперсного пилу. Частинки заряджаються у електричному полі і осідають на електродах. Ефективність сягає 99%, але система вимагає стабільного енергопостачання.

4. Рукавні фільтри.

Газ проходить через тканинні або полімерні рукави, на яких осідає пил. Після накопичення пил видаляється стисненням повітрям. Цей метод є найефективнішим (до 99,9%) і широко використовується на сучасних феросплавних заводах.

6. Рекуперація газів і утилізація пилу

Очищений газ, що містить CO, може бути використаний як паливо у нагрівальних установках. Пил, який містить цінні метали (Fe, Mn, Zn), після гранулювання або брикетування може бути повернений у виробництво.

7. Автоматизація процесу очищення

Системи оснащуються датчиками тиску, температури, запиленості та концентрації газів. Керування здійснюється за допомогою автоматизованих систем (SCADA), які контролюють роботу фільтрів, пропуску та параметри потоку.

8. Екологічна та економічна ефективність

Використання сучасних технологій очищення дозволяє знизити концентрацію пилу у викидах до 20–30 мг/м³, що відповідає міжнародним

екологічним нормам. Повернення уловленого пилу у виробничий цикл зменшує потребу у сировині.

9. Висновки

Очищення газів феросплавних печей — це комплексна система, яка включає механічні, вологі, електричні та фільтраційні методи. Найефективнішими є рукавні фільтри. Використання рекуперації тепла і вторинних ресурсів дозволяє не лише покращити екологічний стан, а й підвищити економічну ефективність виробництва.

ЛЕКЦІЯ №7

Тема: Технології очистки газів ваграночних печей

1. Вступ

Ваграночні печі широко застосовуються в ливарному виробництві для плавлення чавуну, сталі та інших металів. Процес плавлення супроводжується виділенням пилогазових викидів, які містять оксиди вуглецю, сірки, азоту, пари металів і тверді частинки шлаку. Без ефективного очищення ці викиди спричиняють забруднення атмосфери, зниження якості повітря та негативно впливають на здоров'я населення.

2. Характеристика газових викидів ваграночних печей

Газові потоки з ваграночних печей характеризуються:

- високою температурою (до 800 °C);
- значною запиленістю (10–30 г/м³);
- вмістом шкідливих газів (CO, CO₂, SO₂, NO_x);
- наявністю дрібнодисперсного пилу, що містить Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO.

Така суміш потребує комбінованої системи очищення для забезпечення ефективності понад 99%.

3. Основні етапи очищення газів

Технологічна схема очищення газів включає наступні етапи:

1. Збір газів через водоохолоджувані ковпаки;
2. Охолодження газів у газоходах або змішувачах;
3. Грубе очищення від великих частинок у циклонах;
4. Тонке очищення у рукавних або електрофільтрах;
5. Відведення очищеного газу у димову трубу.

У разі високої температури газів може додатково застосовуватись скрубберне зволоження.

4. Методи очищення газів

1. Циклонне очищення.

Циклон призначений для попереднього очищення від великих частинок пилу. Принцип дії базується на відцентрових силах, які відкидають пил до стінок корпусу. Ефективність — 70–90%, однак для дрібнодисперсного пилу потрібні додаткові етапи очищення.

2. Скрубери.

У скруберах газ контактує з водою або іншими рідинами, що змивають тверді частинки. Це дозволяє досягти ефективності до 95% і знизити температуру потоку. Недоліком є утворення стічних вод, що потребують подальшої очистки.

3. Електрофільтри.

Газ подається у зону електричного поля високої напруги, де частинки пилу заряджаються і осідають на електродах. Цей метод дозволяє досягати ефективності 98–99%, але потребує стабільного електроживлення і технічного обслуговування.

4. Рукавні фільтри.

Рукавні фільтри забезпечують найвищу ефективність очищення (до 99,9%). Газ проходить через тканинні або синтетичні фільтри, які затримують навіть найдрібніші частинки пилу. Регенерація фільтрувальних рукавів здійснюється імпульсами стисненого повітря. Цей метод є найбільш поширеним у сучасних ваграночних установках.

5. Системи охолодження газів

Оскільки температура газів ваграночних печей висока, перед фільтрацією їх необхідно охолодити. Зазвичай застосовують змішувачі або теплообмінники, де гарячі гази змішуються з повітрям або водяною парою. Це дозволяє запобігти пошкодженню фільтрів і підвищити ефективність системи.

6. Утилізація пилу

Пил, уловлений у фільтрах, містить значну кількість оксидів заліза, що робить його придатним для повторного використання. Після пресування або гранулювання пил може бути повернений у виробничий цикл.

7. Автоматизація систем газоочищення

Автоматизовані системи дозволяють контролювати параметри процесу — температуру, тиск, запиленість, стан фільтрів тощо. Використання систем типу SCADA підвищує надійність, зменшує енергоспоживання і забезпечує стабільну якість очищення.

8. Екологічна та економічна ефективність

Використання сучасних систем газоочистки дозволяє знизити запиленість до рівня 20–50 мг/м³, що відповідає європейським стандартам. Одночасно

скорочуються втрати сировини та енергії, що позитивно впливає на економічну ефективність підприємства.

9. Висновки

Технології очищення газів ваграночних печей є невід'ємною частиною систем екологічного захисту підприємств. Комбінування механічних, вологих, електричних і фільтраційних методів забезпечує високий рівень очищення. Сучасні автоматизовані системи дозволяють одночасно досягати екологічних і економічних цілей виробництва.

ЛЕКЦІЯ №8

Тема: Технології очистки газів прокатного виробництва

1. Вступ

Прокатне виробництво є заключною стадією металургійного циклу, на якій здійснюється деформаційна обробка металу з метою отримання листів, прутків, профілів та інших видів прокату. Процеси нагріву заготовок у нагрівальних печах, термічної обробки та змазування поверхонь супроводжуються утворенням пилогазових викидів, які містять оксиди вуглецю, сірки, азоту, а також масляні пари та димові частинки.

У процесах холодного прокату сталі застосовується травлення металу для видалення окалини, що утворилася під час гарячої прокатки. Травлення здійснюється у ваннах із кислотами — найчастіше соляною (HCl) або сірчаною (H₂SO₄). У результаті реакцій між металом, окалиною та кислотою виділяються гази, зокрема пари кислот, водень та інші шкідливі компоненти, які потребують ефективного очищення

Для забезпечення екологічної безпеки виробництва необхідне впровадження ефективних систем газоочищення.

2. Джерела утворення газів у прокатному виробництві

Основними джерелами забруднення повітря є:

- нагрівальні печі (викиди CO, CO₂, NO_x, SO₂);
- травильні ванни, у яких випаровуються кислоти;
- промивальні ванни після травлення;
- стани гарячого прокату (масляний дим, пил окалини);
- охолоджувальні зони та системи змащення (аерозолі мастил).

3. Характеристика пилогазових викидів

Газові потоки цехів гарячого прокату мають температуру від 200 до 1000 °C, містять дрібнодисперсний пил окалини (оксиди Fe, Mn, Si), продукти неповного

згорання вуглецю (CO , CH_4), а також органічні пари мастил. Вміст пилу може досягати $5\text{--}20\text{ г/м}^3$, що потребує багатоступеневого очищення.

Газові потоки травильних ліній містять дрібнодисперсні аерозолі кислот із концентраціями до $5\text{--}10\text{ г/м}^3$, а також пари води, водню і частково розчинені сполуки металів (FeCl_2 , FeSO_4). Температура газів зазвичай становить $40\text{--}70\text{ }^\circ\text{C}$, що дозволяє використовувати вологі методи очищення

4. Основні технології очищення газів прокатного виробництва

1. Механічне очищення (інерційні та відцентрові апарати).

Для грубого очищення газів використовують циклони, жалюзійні пиловловлювачі, інерційні камери. Вони видаляють великі частинки пилу (понад 10 мкм) з ефективністю $70\text{--}90\%$. Такі апарати зазвичай встановлюють перед стадією тонкого очищення.

2. Електрофільтри.

У зонах термічної обробки застосовуються електрофільтри для видалення дрібнодисперсного пилу та масляних аерозолів. У полі високої напруги частинки заряджаються і осідають на електродах. Ефективність — до 99% , але потребується стабільне електроживлення.

3. Рукавні фільтри.

Найефективніший метод очищення газів у прокатному виробництві. Газ проходить через тканинні або синтетичні фільтри, які затримують навіть найдрібніші частинки пилу. Після заповнення фільтри регенеруються імпульсами стисненого повітря. Ефективність очищення — до $99,9\%$.

4. Вологе очищення (скрубери, форсункові колони).

Основний метод очищення кислотних газів. У скруберах газ контактує з рідиною (зазвичай водою або лужним розчином NaOH , Na_2CO_3), у результаті чого пари кислот нейтралізуються. Найчастіше використовують:

- пінні апарати;
- форсункові колони;
- тарілчасті абсорбери;
- скрубери Вентурі.

Ефективність вилучення кислотних домішок досягає $95\text{--}99\%$.

5. Адсорбційне очищення.

Для видалення залишкових кислотних парів і парів води застосовують адсорбційні фільтри з активованим вугіллям або цеолітами. Метод забезпечує тонке очищення і стабільну роботу системи.

6. Конденсаційне очищення.

Пари кислот і води можуть конденсуватися при зниженні температури газів у теплообмінниках. Цей метод дозволяє одночасно зменшити температуру газу перед подачею в скрубери і частково відновити кислоту.

7. Комбіновані системи газоочищення

У прокатному виробництві найчастіше застосовується поєднання кількох методів:

- циклони + рукавні фільтри;
- скруббер + електрофільтр;
- інерційна камера + рукавний фільтр.

Найчастіше у травильних відділеннях застосовують комбінацію скрубера Вентурі (грубе очищення) та пінного або тарілчастого абсорбера (тонке очищення). Це дозволяє забезпечити стабільну роботу при змінних навантаженнях і високий ступінь очищення. Комбінації дозволяють підвищити ефективність очищення та зменшити навантаження на окремі елементи системи.

5. Вибір лужного реагенту для нейтралізації

Для нейтралізації кислотних газів у травильних відділеннях найчастіше застосовуються такі розчини:

- 5–10% розчин NaOH;
- 5–15% розчин Na₂CO₃;
- аміачна вода (NH₄OH).

При цьому утворюються відповідні солі (NaCl, Na₂SO₄), які можна частково регенерувати або утилізувати.

6. Охолодження та рециркуляція газів

Оскільки температура газів у прокатному виробництві висока, перед подачею у фільтри вони охолоджуються у теплообмінниках або змішувачах. Частина очищеного повітря може бути повернута в технологічний процес (рециркуляція), що знижує енергоспоживання і кількість викидів у довкілля.

7. Автоматизація систем газоочищення

Сучасні системи оснащені датчиками витрати повітря, температури, тиску, концентрації пилу, рН, що дозволяє в режимі реального часу контролювати стан газоочищення. Системи керування забезпечують оптимальну подачу лугу, контроль тиску і температури, забезпечують стабільність процесу, своєчасну регенерацію фільтрів та оптимізацію витрат енергії.

8. Екологічна та економічна ефективність

Застосування сучасних технологій очищення газів у прокатному виробництві дозволяє знизити запиленість повітря до 20–50 мг/м³, що відповідає європейським стандартам. Ефективна утилізація уловленого пилу (оксиди заліза, масла) сприяє економії ресурсів та зменшенню відходів виробництва.

9. Висновки

Очищення газів у прокатному виробництві є невід'ємною частиною технологічного процесу. Очищення газів у травильних відділеннях цехів холодного прокату є важливим етапом забезпечення екологічної безпеки виробництва. Використання багатоступеневих вологих систем із лужною нейтралізацією забезпечує ефективне вилучення кислотних домішок та відповідність викидів вимогам чинного природоохоронного законодавства. Застосування комбінованих систем, автоматизація та рекуперація тепла дозволяють підвищити екологічну безпеку підприємства та знизити витрати на енергію і сировину.

ЛЕКЦІЯ №9

Тема: Технології очистки газів при виробництві коксу

1. Вступ

Виробництво коксу є ключовою складовою металургійної промисловості, що забезпечує металургійні печі високоякісним паливом і відновником. Процес коксування супроводжується утворенням значної кількості газів, пилу, смолистих речовин, аміаку, сірководню та інших шкідливих компонентів. Для запобігання забрудненню атмосфери застосовуються багатоступеневі системи очищення газів.

2. Джерела газоутворення у коксохімічному виробництві

Основними джерелами утворення газів є:

- коксувальні печі (викиди коксового газу, CO , H_2 , CH_4 , NH_3 , H_2S , CN^-);
- газозбірники та охолоджувачі (смолисті пари, феноли, бензол);
- установки сухого гасіння коксу (пил, CO , CO_2 , NO_x);
- резервуари для зберігання побічних продуктів (пари смол і бензолу).

3. Характеристика коксового газу

Коксовий газ містить близько 55–60% водню, 20–30% метану, 5–10% оксиду вуглецю, 2–4% азоту, а також домішки сірководню, аміаку, ціанідів, бензольних сполук та смолистих речовин. Його теплота згоряння становить близько 17–19 МДж/м³. Без очищення коксовий газ є токсичним і вибухонебезпечним.

4. Основні етапи очищення коксового газу

1. Первинне очищення.

На цьому етапі здійснюється механічне видалення смоли і пилу. Газ охолоджують у горизонтальних або вертикальних газоохолоджувачах, де конденсуються смоли та вода. Далі газ проходить через електрофільтри або циклонні апарати, які відокремлюють дрібнодисперсні частинки смол і пилу.

2. Видалення аміаку.

Аміак абсорбується з газу водою або слабким розчином сірчаної кислоти. У результаті утворюється сульфат амонію, який використовується як мінеральне добриво. Цей процес здійснюється в скрубєрних колонах або абсорберах тарілчастого типу.

3. Видалення бензольних сполук.

Для вилучення бензолу, толуолу, ксилолу газ проходить через оливні або вугільні абсорбери, де ці сполуки поглинаються. Потім з них бензольні фракції виділяють шляхом дистиляції. Це не лише очищає газ, але й забезпечує одержання цінних хімічних продуктів.

4. Видалення сірководню та ціанідів.

Сірководень усувається за допомогою очищення в розчинах амонійних солей або залізооксидних сорбентів. Застосовуються процеси Вельдона, Тріона та Цінгера. Очищений газ містить менше $0,1 \text{ г/м}^3 \text{ H}_2\text{S}$ і може використовуватися як паливо для технологічних цілей.

5. Остаточне очищення.

На цьому етапі застосовують промивку газу водою або спеціальними лужними розчинами для видалення залишкових домішок, після чого газ подається на споживання або до утилізаційних установок.

5. Системи очищення газів від пилу при сухому гасінні коксу

Під час сухого гасіння коксу виділяється гарячий пилогазовий потік з високою температурою. Для очищення газів застосовують:

- циклони (для видалення великих частинок пилу);
- рукавні фільтри (для тонкого очищення);
- електрофільтри (для частинок менше 5 мкм). Після очищення газ може бути використаний для обігріву печей або вироблення електроенергії.

6. Комбіновані технології очищення

Для забезпечення високої ефективності застосовують поєднання різних методів очищення, наприклад: електрофільтрація + скрубєрна абсорбція або циклон + рукавний фільтр. Комбінації дозволяють зменшити викиди пилу до $10\text{--}30 \text{ мг/м}^3$ і мінімізувати втрати цінних компонентів.

7. Екологічні аспекти очищення коксового газу

Комплексна система газоочищення не лише знижує шкідливий вплив на атмосферу, але й забезпечує вторинне використання цінних побічних продуктів — бензолу, смоли, амоніаку, сірки. Таким чином, екологічний ефект поєднується з економічною вигодою, а замкнені цикли сприяють сталому розвитку виробництва.

8. Висновки

Очищення коксового газу є складним, багатоступеневим процесом, що включає фізичні, хімічні та фізико-хімічні методи. Застосування сучасних систем

автоматизації, рекуперації енергії та регенерації реагентів дозволяє зменшити обсяги викидів і підвищити ефективність виробництва.

ЛЕКЦІЯ №10

Тема: Технології очистки газів вогнетривкого виробництва

1. Вступ

Вогнетривке виробництво є важливою галуззю металургійного комплексу, оскільки воно забезпечує металургійні, цементні, скляні та інші печі спеціальними матеріалами, які витримують високі температури. У процесі виробництва вогнетривів відбуваються операції випалювання, сушіння, помелу та змішування сировини, що супроводжуються утворенням значних обсягів пилогазових викидів. Очищення цих газів має велике екологічне значення, оскільки вони містять пилові частинки оксидів металів, кремнезему, а також оксиди азоту, вуглецю та сірки.

2. Джерела утворення газових викидів

Основними джерелами газових викидів у вогнетривкому виробництві є:

- сушильні барабани і печі;
- випалювальні печі (тунельні, шахтні, обертові);
- змішувальні та дробильні установки;
- транспортні системи подачі сировини.

Викиди містять пил (SiO_2 , Al_2O_3 , MgO), оксиди азоту (NO_x), діоксид сірки (SO_2), чадний газ (CO) і леткі органічні сполуки, якщо застосовується зв'язувальна смола або пек.

3. Характеристика забруднень

Пилові викиди у вогнетривкому виробництві характеризуються високим вмістом дрібнодисперсних частинок (до 90% менше 10 мкм). Концентрація пилу в газах може сягати 20–100 г/м³. Гази також можуть містити SO_2 до 1500 мг/м³, NO_x до 500 мг/м³ та CO до 1000 мг/м³. Такі викиди потребують поетапного очищення – спочатку пиловловлення, потім газоочистки від газоподібних компонентів.

4. Методи очищення газів

1. Механічне очищення (грубе пиловловлення).

На першій стадії застосовуються апарати для видалення великих частинок пилу: інерційні пиловловлювачі, циклони, батарейні циклони. Ефективність очищення досягає 70–90% при видаленні частинок розміром понад 10 мкм.

2. Тонке очищення пилу (електрофільтри, рукавні фільтри).

Для високоефективного видалення дрібнодисперсного пилу (до 1 мкм) застосовують електрофільтри або тканинні рукавні фільтри. Останні особливо

ефективні при низькотемпературних газах після сушильних і помельних процесів. Ефективність – до 99,9%.

3. Очищення газів від оксидів сірки (SO_2).

Для вилучення SO_2 застосовують вологі абсорбційні методи з використанням лужних розчинів (NaOH , Ca(OH)_2 , NH_4OH). Реакції нейтралізації супроводжуються утворенням сульфатів або сульфідів, які можуть бути утилізовані.

4. Очищення від оксидів азоту (NO_x).

Для зменшення концентрації оксидів азоту використовують каталітичні або некаталітичні відновні системи (SCR, SNCR), в яких NO_x відновлюються до N_2 за допомогою NH_3 або сечовини. У печах з високою температурою можливе також зменшення утворення NO_x за рахунок поетапного спалювання.

5. Комбіновані системи.

У сучасних вогнетривких заводах застосовують багатоступеневі системи: спочатку циклони, потім рукавні фільтри або електрофільтри, а далі — скрубери для очищення від SO_2 і NO_x . Це забезпечує відповідність викидів екологічним нормативам.

5. Приклади технологічних рішень

- Для обертових печей випалювання магнезитових виробів застосовується комбінація батарейного циклону та електрофільтра.
- Для тунельних печей із застосуванням вуглецевих зв'язувальних речовин — система рукавних фільтрів з подальшим скрубери.
- Для сушильних барабанів — мокрі пінні скрубери або форсункові абсорбери.

6. Очищення та утилізація осадів і пилу

Зібраний пил може містити значні кількості корисних оксидів металів (MgO , Al_2O_3 , SiO_2), тому його часто повертають у технологічний цикл виробництва як вторинну сировину. Осади після скруберів нейтралізуються і направляються на утилізацію або складування відповідно до екологічних вимог.

7. Висновки

Очищення газів у вогнетривкому виробництві є комплексним процесом, що включає кілька послідовних стадій: грубе та тонке пиловловлення, очищення від газоподібних забруднювачів, нейтралізацію та утилізацію побічних продуктів. Рациональний вибір технології дозволяє забезпечити високий рівень екологічної безпеки та ефективне використання ресурсів.

ЛЕКЦІЯ №11

Тема: Технології очистки газів при плавці залізо-титанових концентратів

1. Вступ

Плавка залізо-титанових концентратів є важливим етапом у виробництві феротитанів, титанових шлаків та інших сплавів. Ці процеси супроводжуються інтенсивним утворенням газоподібних і пилових викидів, які містять оксиди титану, заліза, вуглецю, азоту та сірки. З огляду на токсичність і високу дисперсність таких забруднень, очищення газів на підприємствах із плавлення залізо-титанових концентратів є обов'язковою складовою технологічного процесу.

2. Джерела утворення газових викидів

Основними джерелами газових викидів у процесах плавлення залізо-титанових концентратів є:

- дугові та руднотермічні печі;
- зони завантаження концентратів і флюсів;
- ділянки розливу та охолодження металу й шлаку;
- газоходи та системи транспортування пилу.

Викиди характеризуються підвищеною температурою (до 1200 °C) та наявністю пилу із вмістом TiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , SiO_2 , а також газів CO , CO_2 , SO_2 і NO_x .

3. Характеристика забруднень

Газопилові потоки, що утворюються при плавці залізо-титанових концентратів, містять дрібнодисперсний пил із частинками розміром 0,1–10 мкм. Концентрація пилу може сягати 30–100 г/м³. Серед газоподібних компонентів переважають оксиди вуглецю (CO , CO_2), діоксид сірки (SO_2) і оксиди азоту (NO_x). Також можливе виділення летких сполук фтору та хлору при використанні відповідних флюсів.

4. Основні методи очищення газів

1. Механічне очищення (грубе пиловловлення).

На першому етапі очищення застосовуються інерційні апарати, такі як циклони або батарейні циклони. Вони дозволяють відділити до 80–90% пилу з розміром частинок понад 10 мкм. Для газів високої температури використовують жаростійкі матеріали та водяне охолодження корпусів.

2. Електрофільтри.

Електрофільтри забезпечують високоефективне вилучення дрібнодисперсного пилу (до 99,5%) завдяки осадженню частинок у електростатичному полі. Їх застосовують після циклонів або газоохолоджувачів, де температура газів знижується до 250–400 °C.

3. Рукавні фільтри.

Рукавні фільтри забезпечують тонке очищення від пилу з ефективністю понад 99,9%. Їх використовують після газоохолоджувачів або в комбінації з циклонами. Для роботи з пилом TiO_2 застосовують фільтрувальні матеріали, стійкі до абразивного зношення.

4. Вологе очищення (скрубери, абсорбери).

Після вилучення пилу здійснюють очищення газів від SO_2 , NO_x та фторидів у вологих апаратах. Для нейтралізації кислотних газів застосовуються розчини NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або аміачна вода. Ефективність вилучення SO_2 сягає 95–98%, а NO_x – до 80% при використанні каталітичних систем.

5. Комбіновані системи очищення.

Для досягнення нормативних рівнів очищення найчастіше застосовується комбінація: циклон + електрофільтр + скрубер або циклон + рукавний фільтр + каталітичний реактор. Такі системи забезпечують глибоке очищення навіть при змінних технологічних режимах.

5. Охолодження та підготовка газів до очищення

Перед подачею газів до апаратів очищення проводиться їх охолодження до температури 250–400 °С. Це здійснюється у водоохолоджуваних газоходах або рекупераційних теплообмінниках, де теплота газів може бути використана для підігріву повітря або води. Також на цьому етапі можливе осадження крупних частинок пилу в осадкових камерах.

6. Утилізація зібраного пилу

Пил, що містить до 60% TiO_2 і оксиди заліза, часто повертається у виробництво після грануляції або брикетування. Це дозволяє зменшити втрати цінних компонентів і обсяг відходів. Пил, непридатний до повторного використання, піддається стабілізації цементацією або складуванню в герметичних сховищах.

7. Висновки

Очищення газів при плавлі залізо-титанових концентратів є складним багатоступеневим процесом, що поєднує механічні, електрофізичні та хімічні методи. Використання комбінованих систем дозволяє ефективно видаляти пил TiO_2 і оксиди сірки та азоту, забезпечуючи відповідність екологічним стандартам та зменшуючи втрати цінних компонентів.

Тема: Знешкодження викидів при хлоруванні титанових шлаків

1. Вступ

Процеси хлорування титанових шлаків є важливим етапом виробництва тетрахлориду титану (TiCl_4) — основної сировини для отримання металевого

титану та пігментного діоксиду титану (TiO_2). Під час хлорування утворюються токсичні газові суміші, що містять хлор (Cl_2), оксиди вуглецю, фтористі сполуки, а також пил оксидів і хлоридів металів. Через високу агресивність таких викидів їх необхідно ефективно знешкоджувати перед викидом у атмосферу.

2. Джерела утворення шкідливих викидів

Основними джерелами утворення газових викидів у процесі хлорування титанових шлаків є:

- реактори хлорування;
- газоходи і циклонні відокремлювачі;
- системи конденсації та очищення TiCl_4 ;
- ємності для зберігання хлору та хлоридів металів.

Основні забруднювальні компоненти — Cl_2 , CO , CO_2 , HCl , TiCl_4 , FeCl_3 , SiCl_4 , а також аерозолі оксидів титану.

3. Характеристика газових викидів

Газові потоки після хлорування характеризуються високою температурою (до 600–800 °C), вмістом пилу до 30 г/м³ і значною концентрацією хлоридів металів. Окрім того, гази містять залишковий хлор і хлороводень, які є токсичними для людей та навколишнього середовища. Тому система очищення повинна забезпечувати як вилучення пилу, так і хімічну нейтралізацію газів.

4. Основні етапи очищення газів

1. Охолодження газів.

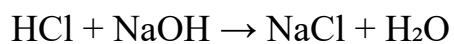
Першим етапом є охолодження газів у водоохолоджуваних газоходах або конденсаторах. Це дозволяє сконденсувати частину TiCl_4 , SiCl_4 та інших парів хлоридів. Отриманий конденсат повертають у технологічний цикл для повторного використання.

2. Грубе пиловловлення.

Після охолодження газів проводиться механічне очищення у циклонах або інерційних відокремлювачах. Вони затримують до 80–90% великих частинок хлоридів металів.

3. Вологе очищення (нейтралізація газів).

Найважливішим етапом є хімічна нейтралізація газів у вологих скруберах. Для цього застосовують лужні розчини (NaOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$, NH_4OH), які реагують із Cl_2 та HCl :



Ці реакції забезпечують ефективне знешкодження хлору і хлороводню до безпечних сполук.

4. Тонке очищення (адсорбційні або каталітичні системи).

Для видалення залишкових домішок застосовують адсорбційні фільтри з активованим вугіллям або каталітичні реактори, де Cl_2 і CO окиснюються до CO_2 . Ефективність такої стадії досягає 99,9%.

5. Очищення стічних розчинів.

Після нейтралізації газів у скруберах утворюються стічні розчини, які містять хлориди металів і луги. Їх піддають очищенню шляхом осадження гідроксидів металів, фільтрації та регенерації частини лугу.

5. Комбіновані системи очищення

На практиці для забезпечення комплексного знешкодження застосовується багатоступенева система:

- конденсатор для охолодження газів;
- циклон для вилучення грубого пилу;
- лужний скрубер для нейтралізації HCl і Cl_2 ;
- адсорбер або каталітичний реактор для доочищення.

Такі системи забезпечують вміст залишкового хлору у відхідних газах не більше 5 мг/м³.

6. Утилізація та повторне використання продуктів очищення

Утворені розчини NaCl і NaClO можуть бути використані як реагенти для інших технологічних процесів. Осаджені оксиди титану та заліза повертають до виробництва або використовують як пігменти та добавки.

7. Висновки

Знешкодження викидів при хлоруванні титанових шлаків є ключовим етапом екологічного контролю титанових виробництв. Комбіновані системи очищення, що включають охолодження, пиловловлення, нейтралізацію та адсорбцію, дозволяють досягти високої ефективності очищення і мінімізувати негативний вплив на атмосферу.

ЛЕКЦІЯ №12

Тема: Технології очистки газів при електролізі магнію

1. Вступ

Процеси електролітичного отримання магнію супроводжуються утворенням великої кількості газових викидів, що містять оксиди хлору, фтору, хлор, пил магнію та інші агресивні сполуки. Основне джерело цих викидів — електролізери, де з розплавлених хлоридів магнію виділяється металевий магній і хлор. Ефективне

очищення таких газів є необхідним для забезпечення санітарних норм і зниження негативного впливу на атмосферу.

2. Джерела утворення газових викидів при електролізі магнію

Основні джерела викидів у процесі електролізу магнію:

- електролізери, де виділяється хлор і пил магнію;
- системи транспортування та охолодження металу;
- установки для осушення та очищення хлору;
- резервуари для зберігання магнієвого хлориду та інших реагентів.

Газові потоки містять такі забруднювачі: Cl_2 , HCl , MgCl_2 , MgO , а також дрібнодисперсний магнієвий пил.

3. Характеристика газових викидів

Газові викиди електролізного виробництва магнію характеризуються високою температурою (400–600 °C), значним вмістом пилу (до 20 г/м³) та токсичними хлорвмісними сполуками. Такі викиди викликають корозію металів, руйнування бетону і шкодять дихальним органам людей.

4. Основні етапи очищення газів

1. Охолодження газів.

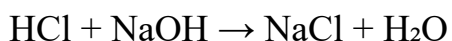
Перша стадія — охолодження газів у теплообмінниках або водяних холодильниках. Це необхідно для конденсації частини парів MgCl_2 і зниження температури до безпечного рівня перед подальшою очисткою.

2. Грубе пиловловлення.

Після охолодження газу спрямовують у циклони або інерційні сепаратори, де вилучають великі частинки пилу магнію і MgO . Ефективність такої очистки сягає 85–90%.

3. Вологе очищення (скруберна нейтралізація).

Основна частина хлору та хлороводню видаляється у вологих скруберах із використанням лужних розчинів (NaOH , Ca(OH)_2). Основні реакції нейтралізації:



Цей етап дозволяє знизити концентрацію Cl_2 до рівня менше 5 мг/м³.

4. Тонке очищення газів.

Для видалення залишкових домішок і органічних газів використовують адсорбери з активованим вугіллям або каталітичні реактори, де хлор і оксиди вуглецю окиснюються до нешкідливих сполук.

5. Очищення стічних розчинів.

Після роботи скрубєрів утворюються лужні розчини, які містять хлориди натрію та магнію. Їх піддають очищенню шляхом осадження гідроксидів і частково повертають у технологічний процес.

5. Типові схеми систем очищення газів

Типова система очищення газів при електролізі магнію включає такі елементи:

- газоохолоджувач;
- циклон для грубого пиловловлення;
- лужний скруббер для нейтралізації хлорвмісних газів;
- фільтр тонкого очищення або адсорбер.

Загальна ефективність системи очищення може досягати 99,5%.

6. Утилізація продуктів очищення

Отримані під час очищення побічні продукти, такі як розчини NaCl і осад $Mg(OH)_2$, можуть бути використані в інших галузях промисловості — наприклад, у виробництві реагентів для водоочистки або як добавки у цемент.

7. Висновки

Очищення газів при електролізі магнію є обов'язковою складовою екологічного захисту металургійних підприємств. Застосування багатоступеневих систем, що поєднують механічне, хімічне та адсорбційне очищення, дозволяє досягти високого ступеня знешкодження шкідливих речовин і мінімізувати вплив на довкілля.

ЛЕКЦІЯ №13

Тема: Технології очистки газів при отриманні глинозему

1. Вступ

Отримання глинозему (Al_2O_3) є ключовим етапом алюмінієвого виробництва, яке базується на переробці бокситів за допомогою Байєрівського або спікального способів. У процесі виробництва утворюється значна кількість газових викидів, що містять пил глинозему, луги, фтористі та сірчисті сполуки, оксиди азоту й вуглецю. Для зменшення шкідливого впливу цих викидів на атмосферу застосовують комплексні системи очищення газів.

2. Джерела утворення газових викидів

Основними джерелами газових викидів у процесі отримання глинозему є:

- печі кальцинації гідроксиду алюмінію;
- спікальні агрегати;
- газоходи сушильних барабанів;
- транспортні вузли подачі та завантаження сировини.

Склад газових потоків залежить від технологічної схеми, але зазвичай містить: пил Al_2O_3 , Na_2O , SO_2 , HF, CO_2 , NO_x та органічні леткі сполуки.

3. Характеристика газових викидів

Газові потоки при отриманні глинозему характеризуються високою запиленістю (до 30 г/м³) та температурою понад 300–500 °С. Пил має дрібнодисперсний характер, з розміром частинок 0,5–10 мкм, що ускладнює його вилучення. Окрім пилу, у газах присутні хімічно активні сполуки — фториди та сірчисті гази, які є токсичними для людини і довкілля.

4. Основні етапи очищення газів

1. Охолодження газів.

Після виходу з печей гарячі гази направляють у теплообмінники або котли-утилізатори, де відбувається зниження температури до 150–200 °С. Це запобігає пошкодженню фільтрувальних матеріалів і зменшує об'єм газів.

2. Механічне пиловловлення.

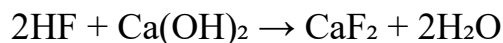
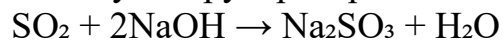
На цій стадії гази очищаються у циклонах, де видаляється до 85% частинок розміром понад 5 мкм. Циклонне очищення дозволяє зменшити навантаження на наступні етапи тонкого очищення.

3. Тонке очищення — рукавні або електрофільтри.

Для глибокого видалення пилу використовують рукавні фільтри з термостійких матеріалів або електрофільтри. Ефективність таких установок сягає 99,5–99,9%. Вловлений пил повертається у виробничий цикл як вторинна сировина.

4. Хімічне очищення (нейтралізація газів).

Для видалення фтористих та сірчистих сполук застосовують вологі або напіvsухі скрубери з розчинами лугів (NaOH, Ca(OH)₂). Відбуваються такі реакції:



Отримані сполуки CaF₂ та Na₂SO₃ є малотоксичними і можуть бути утилізовані.

5. Адсорбційне доочищення.

Для видалення залишкових летких органічних сполук і фторидів гази пропускають через адсорбери з активованим глиноземом або вугіллям. Цей етап забезпечує кінцеве очищення до нормативних значень.

5. Комбіновані системи очищення

Типова система очищення газів при виробництві глинозему включає такі елементи:

- теплообмінник для охолодження;
- циклон для грубого очищення;
- електрофільтр або рукавний фільтр;
- скрубер для хімічного нейтралізування;
- адсорбер для фінішного очищення.

Загальна ефективність комплексного очищення становить понад 99%.

6. Утилізація продуктів очищення

Вловлений пил Al_2O_3 повертається у технологічний процес. Осади CaF_2 використовують у виробництві фтористих солей, а Na_2SO_3 — як відновник у хімічних процесах. Це дозволяє знизити відходи та підвищити економічну ефективність виробництва.

7. Висновки

Очищення газів при отриманні глинозему — складний багатоступеневий процес, який поєднує механічне, хімічне та адсорбційне очищення. Завдяки застосуванню сучасних систем фільтрації та нейтралізації можливо забезпечити високий ступінь очищення та мінімізувати шкідливий вплив виробництва на атмосферне повітря.

ЛЕКЦІЯ №14

Тема: Технології очистки газів при виплавці кремнію та сілуміну

1. Вступ

Виплавка кремнію та сілуміну (сплаву кремнію з алюмінієм) є важливими процесами у металургії кольорових металів. У ході цих процесів утворюється значна кількість газових викидів, що містять пил кремнію, оксиди азоту, оксиди вуглецю, фтористі сполуки, хлористий водень та інші токсичні речовини. Ефективне очищення газів є ключовою умовою зменшення негативного впливу на атмосферу та довкілля.

2. Джерела утворення газових викидів

Основними джерелами газових викидів у процесах виплавки кремнію та сілуміну є:

- електротермічні печі (дугові або руднотермічні);
- допоміжні агрегати (розливні ковші, фільтри, печі для легування);
- транспортні системи подачі сировини та відведення газів.

Газові потоки містять CO , CO_2 , NO_x , SO_2 , пил кремнію, Al_2O_3 , SiO_2 , а також HF , SiF_4 , HCl та інші леткі сполуки.

3. Характеристика газових викидів

Під час виплавки кремнію утворюються гази з високою температурою (700–1500 °C), насичені пилом і газоподібними сполуками фтору. При виробництві сілуміну викиди містять також аерозолі алюмінію та хлоридів. Загальна концентрація пилу може перевищувати 20–30 г/м³, тому необхідне багатоступеневе очищення газів.

4. Основні етапи очищення газів

1. Охолодження газів.

На першому етапі гази з високою температурою охолоджують у водяних або повітряних холодильниках. Це дозволяє запобігти пошкодженню фільтраційних матеріалів і конденсувати частину летких сполук (SiO_2 , AlCl_3 , SiF_4).

2. Грубе пиловловлення.

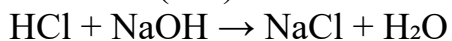
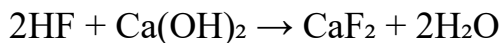
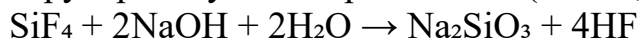
Для вилучення крупнодисперсних частинок пилу (понад 10 мкм) застосовують інерційні пиловловлювачі — циклони або жалюзійні апарати. Ефективність вилучення на цій стадії становить 80–90%.

3. Тонке очищення — рукавні або електрофільтри.

Після попереднього пиловловлення гази спрямовуються в рукавні фільтри або електрофільтри, де видаляються дрібнодисперсні частинки кремнію та алюмінію. Ефективність таких апаратів сягає 99,5%. Вловлений пил повертається у виробництво як вторинна сировина.

4. Хімічне очищення (нейтралізація газів).

Для видалення фтористих та хлоридних сполук застосовують вологі скрубери з лужними розчинами (NaOH , Ca(OH)_2). Основні реакції нейтралізації:



Отримані солі CaF_2 і NaCl є малотоксичними й можуть бути утилізовані.

5. Адсорбційне доочищення.

Для видалення залишкових органічних і фтористих сполук застосовують адсорбери з активованим вугіллям або глиноземом. Це дозволяє довести концентрацію шкідливих речовин до нормативних значень ($<5 \text{ мг/м}^3$).

5. Комбіновані системи очищення

На практиці для очищення газів при виплавці кремнію та сілуміну застосовують багатоступеневі системи, що включають:

- газоохолоджувач;
- циклон або інерційний сепаратор;
- рукавний фільтр або електрофільтр;
- лужний скрубер для нейтралізації газів;
- адсорбер для остаточного очищення.

Ефективність комплексної системи очищення становить понад 99%.

6. Утилізація продуктів очищення

Вловлені тверді продукти, такі як пил SiO_2 , Al_2O_3 і CaF_2 , можуть бути повторно використані у виробництві або для виготовлення будівельних матеріалів. Солі NaCl і Na_2SiO_3 використовують у хімічній промисловості.

7. Висновки

Очищення газів при виплавці кремнію та сілуміну — це складний, багатоступеневий процес, який поєднує механічне, електростатичне, хімічне та адсорбційне очищення. Завдяки впровадженню таких систем можливо забезпечити високу ефективність знешкодження викидів і зменшити негативний вплив на атмосферу.

ЛЕКЦІЯ №15

Тема: Технології очистки стічних вод агломераційного виробництва

1. Вступ

Агломераційне виробництво є важливою складовою чорної металургії, що забезпечує підготовку сировини для доменного процесу. У процесі агломерації утворюються значні обсяги стічних вод, які містять завислі речовини, сполуки заліза, важкі метали, фториди, хлориди, сульфати та органічні забруднення. Ефективна очистка цих вод є важливим завданням з екологічної точки зору.

2. Джерела утворення стічних вод

Основними джерелами утворення стічних вод у агломераційному виробництві є:

- зрошення агломераційних машин;
- охолодження газів та пилогазоочисного обладнання;
- гідрозоловидалення;
- промивання фільтрів та апаратів;
- поверхневі стоки виробничих майданчиків.

3. Характеристика стічних вод

Стічні води агломераційних фабрик характеризуються високою мутністю, підвищеним вмістом заліза (до 300 мг/л), завислих речовин (до 1000 мг/л), а також значною концентрацією солей іонів кальцію, магнію, сульфатів та хлоридів.

4. Технологічні схеми очистки

- Очистка стічних вод агломераційного виробництва передбачає кілька етапів:
- механічне очищення — відстоювання, фільтрування, флотація;
 - фізико-хімічне очищення — нейтралізація, коагуляція, флокуляція;
 - хімічне очищення — осадження важких металів реагентами;

Типова схема включає послідовні споруди: решітки, пісковловлювачі, відстійники, коагуляційні реактори, фільтри та рециркуляцію очищеної води.

5. Механічне очищення

На першій стадії відбувається видалення грубодисперсних частинок та завислих речовин у пісковловлювачах і відстійниках. Осад з відстійників направляється на згущення та зневоднення.

6. Фізико-хімічне очищення

Застосовуються коагулянти (сульфат алюмінію, хлорид заліза) та флокулянти на полімерній основі. Процес забезпечує видалення колоїдних частинок, заліза та інших металів.

7. Хімічне очищення

Для осадження важких металів (Zn, Pb, Cu) використовують вапняне молоко, соду або гідроксид натрію. Процес відбувається при регулюванні рН середовища до 9–10.

8. Використання очищеної води

Після очищення вода використовується повторно у замкнених циклах зрошення агломераційних машин або для технічних потреб цехів. Такий підхід знижує водоспоживання і мінімізує скиди у водойми.

9. Екологічні аспекти

Впровадження систем оборотного водопостачання дозволяє скоротити забруднення гідросфери, зменшити споживання прісної води та запобігти накопиченню токсичних відходів. Контроль якості води здійснюється лабораторними методами за показниками рН, БСК, ХСК, вмісту заліза та завислих речовин.

10. Висновки

Технології очистки стічних вод агломераційного виробництва базуються на комплексному підході, що включає механічні, фізико-хімічні та хімічні процеси. Перспективним напрямом є впровадження мембранних технологій і систем повторного водообігу.

ЛЕКЦІЯ №16

Тема: Технології та техніка очистки стічних вод доменного виробництва

1. Вступ

Доменне виробництво є основним процесом у чорній металургії, де здійснюється відновлення заліза з руди. У ході цього процесу утворюються значні обсяги стічних вод, що містять шкідливі домішки — завислі речовини, сполуки заліза, марганцю, кальцію, магнію, фториди, хлориди та інші неорганічні сполуки.

Основним завданням є мінімізація впливу цих стічних вод на гідросферу шляхом впровадження ефективних технологій очищення.

2. Джерела утворення стічних вод у доменному виробництві

Основні джерела включають:

- охолодження доменних печей та газоочисного обладнання;
- гідрозоловидалення;
- промивання газів після очищення;
- відходи гідросистем пиловловлювачів;
- поверхневі стоки виробничих площадок.

3. Характеристика стічних вод

Стічні води доменних цехів мають високий вміст завислих речовин (до 2000 мг/л), сполук заліза (до 300 мг/л), фторидів, сульфатів та нафтопродуктів. Вони часто мають лужну реакцію (рН 8–9) і значну температуру (до 40–50 °С).

4. Основні технологічні схеми очищення

Технології очищення поділяються на кілька основних етапів:

- механічне очищення (відстоювання, фільтрація, гідроциклонування);
- фізико-хімічне очищення (коагуляція, флокуляція, нейтралізація);
- хімічне очищення (осадження металів, окиснення);
- біологічне очищення (для вод із нафтопродуктами або органічними домішками);
- замкнені системи оборотного водопостачання.

5. Механічне очищення

На початковій стадії стічні води проходять через решітки та пісковловлювачі для видалення грубих домішок. Потім вода надходить до горизонтальних або вертикальних відстійників, де відбувається осадження частинок шламу. Отриманий осад зневоднюється у шламонакопичувачах або фільтр-пресах.

6. Фізико-хімічне очищення

На цьому етапі застосовують реагенти — коагулянти (сульфат алюмінію, хлорид заліза) та флокулянти. Коагуляція дозволяє видалити колоїдні частинки та знизити мутність. У деяких випадках здійснюють нейтралізацію кислотних стоків вапняним молоком.

7. Хімічне очищення

Використовується для видалення іонів важких металів, фторидів і фосфатів. Реагентне осадження дозволяє перетворити розчинні сполуки на малорозчинні форми, які видаляються у вигляді осаду.

8. Оборотні системи водопостачання

Більшість сучасних доменних цехів використовують системи повторного використання води. Після очищення вона знову надходить у процеси охолодження, що зменшує витрати свіжої води та практично усуває скиди у природні водойми.

10. Обладнання для очищення стічних вод

До типового обладнання входять: решітки, пісковловлювачі, відстійники, гідроциклони, фільтри, коагуляційні реактори, флотатори, насосні станції. Для автоматичного контролю застосовуються датчики мутності, рН-метри та витратоміри.

11. Висновки

Комплексне очищення стічних вод доменного виробництва включає комбінацію механічних, фізико-хімічних та хімічних методів із переходом до замкнених водних циклів. Це дозволяє мінімізувати вплив металургійних підприємств на довкілля, забезпечуючи стале виробництво.

ЛЕКЦІЯ №17

Тема: Технології очистки стічних вод коксохімічного виробництва

Вступ

Коксохімічне виробництво є одним із найбільш екологічно небезпечних процесів металургійного комплексу. Під час виробництва коксу утворюються значні обсяги стічних вод, які містять органічні та неорганічні забруднювачі, зокрема феноли, ціаніди, тіоціаніди, амонійні сполуки, сірководень, масла, смоли та інші токсичні речовини. Технології очищення цих стічних вод мають вирішальне значення для запобігання негативному впливу на водні екосистеми.

1. Джерела утворення та склад стічних вод коксохімічного виробництва

Основними джерелами утворення стічних вод у коксохімічному виробництві є процеси охолодження газів, промивання газоочисних апаратів, відокремлення побічних продуктів (бензолу, аміаку, фенолів), а також очищення коксового газу. Стічні води характеризуються високою концентрацією органічних речовин (фенолів, смол), неорганічних сполук (ціанідів, тіоціанідів), а також високою токсичністю для живих організмів.

2. Основні забруднювачі та їх вплив на довкілля

До основних забруднювачів коксохімічних стічних вод належать:

- Феноли – отруйні речовини, що порушують роботу біоценозів у водоймах;
- Ціаніди – надзвичайно токсичні сполуки, які блокують дихальні ферменти

організмів;

- Амонійні солі – сприяють евтрофікації водойм;
- Тіюціаніди і сульфіді – надають воді неприємного запаху, токсичні для риб;
- Смоли та масла – утворюють плівку на поверхні води, що зменшує насичення киснем.

3. Технологічні схеми очищення стічних вод коксохімічного виробництва

Очищення стічних вод на коксохімічних заводах здійснюється в декілька етапів:

1. Механічне очищення – видалення зважених речовин і масел у відстійниках або нафтовловлювачах.
2. Фізико-хімічна обробка – коагуляція, флотація, нейтралізація та видалення ціанідів хімічним окисненням.
3. Біохімічне очищення – аеробна або анаеробна обробка води у біореакторах, аеротенках або біофільтрах.
4. Остаточне доочищення – застосування сорбційних фільтрів з активованим вугіллям або мембранних технологій (ультрафільтрація, осмос).
5. Рециркуляція очищених вод – повторне використання у технологічних процесах для зменшення скидів у навколишнє середовище.

4. Хімічні методи знешкодження фенолів і ціанідів

Хімічна обробка стічних вод включає такі основні процеси:

- Окиснення фенолів – за допомогою гіпохлориту натрію, перманганату калію або пероксиду водню;
- Знешкодження ціанідів – лужним хлоруванням або озонуванням;
- Нейтралізація – регулювання рН за допомогою вапняного молока або кислоти;
- Осадження важких металів – додаванням коагулянтів (FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

5. Біологічні методи очищення

Біологічні методи ґрунтуються на здатності мікроорганізмів розкласти органічні речовини. Для очищення коксохімічних стічних вод використовують спеціальні мікробні асоціації, стійкі до фенолів і ціанідів. Процес здійснюється в аеротенках або біофільтрах при подачі повітря. Біологічне очищення зменшує концентрацію фенолів до 0,002–0,005 мг/л, а ціанідів – до 0,01 мг/л.

6. Мембранні та сорбційні методи доочищення

Для глибокого очищення після біологічного етапу застосовуються сучасні технології:

- Адсорбція на активованому вугіллі – ефективна для видалення залишкових органічних сполук;
- Зворотний осмос і нанофільтрація – дозволяють отримати воду, придатну для

повторного використання;

- Електрохімічне очищення – окиснення забруднювачів на анодах.

Ці методи забезпечують високий ступінь очищення, до 99%, і дозволяють досягти безстічного водообігу.

7. Екологічна ефективність і сучасні тенденції

Впровадження комплексних систем очищення дозволяє зменшити споживання свіжої води на 80–90% і практично усунути скид токсичних речовин. Сучасні тенденції включають автоматизацію процесів, біоелектрохімічні системи очищення та використання біополімерів як коагулянтів.

Висновки

Очищення стічних вод коксохімічного виробництва потребує поєднання механічних, хімічних, біологічних і фізичних методів. Використання замкнутих систем водообігу та сучасних мембранних технологій забезпечує екологічну безпеку підприємств і зменшує вплив на гідросферу.

ЛЕКЦІЯ №18

Тема: Технології очистки стічних вод мартенівського виробництва

Вступ

Мартенівське виробництво сталі є одним із традиційних процесів чорної металургії, який супроводжується утворенням значних обсягів промислових стічних вод. Ці води містять широкий спектр забруднювачів — від зважених речовин і масел до солей важких металів і оксидів. Очищення таких вод є важливим елементом системи екологічного менеджменту металургійних підприємств.

1. Джерела утворення та склад стічних вод мартенівського виробництва

Стічні води мартенівського цеху утворюються при охолодженні газів, промиванні димових каналів, зрошенні шлакових відвалів, охолодженні домішок та обладнання, а також у процесах пилогазоочистки. Основні забруднювачі таких вод:

- Зважені частинки (шлаки, пил, оксиди заліза);
- Масла і мастильні матеріали;
- Солі важких металів (Fe, Mn, Cr, Ni, Zn, Pb);
- Сполуки амонію, нітрати, фосфати;
- Продукти корозії і миючі засоби.

2. Класифікація методів очищення стічних вод мартенівського виробництва

Для очищення мартенівських стічних вод застосовують комбінації механічних, фізико-хімічних та біологічних методів. Основні з них:

- Механічні – відстоювання, фільтрація, гідроциклони;
- Фізико-хімічні – коагуляція, флотація, сорбція, іонний обмін;
- Хімічні – окиснення, нейтралізація, осадження;

3. Технологічна схема очищення стічних вод мартенівського виробництва

Типова технологічна схема очищення містить кілька послідовних етапів:

1. Механічне очищення – у пісколовках, відстійниках, нафтовловлювачах видаляють зважені частинки, масла та пісок.
2. Фізико-хімічна обробка – введення коагулянтів (FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) та флокулянтів для осадження дрібних домішок.
3. Хімічне очищення – нейтралізація кислотних або лужних стоків, осадження важких металів у вигляді гідроксидів.
4. Рециркуляція очищених вод – повторне використання у технологічному циклі (наприклад, для охолодження печей).

4. Очищення стічних вод від масел і нафтопродуктів

Масла і мастильні матеріали видаляють переважно у нафтовловлювачах, де вони спливають на поверхню у вигляді плівки. Для тонкодисперсних емульсій застосовують флотаційні установки (повітряна або напірна флотація), а також коагуляційно-сорбційні методи. Додатково можливе використання фільтрів з активованим вугіллям або синтетичних сорбентів.

5. Очищення від важких металів і солей

Видалення сполук важких металів проводять хімічним осадженням у вигляді гідроксидів або сульфідів. При цьому рН регулюють до 8,5–10 для максимального осадження заліза, марганцю, цинку і нікелю. Для хрому застосовують відновлення Cr(VI) до Cr(III) із подальшим осадженням. Іоннообмінні смоли використовують для доочищення та концентрування металів з можливістю їх повторного використання.

6. Приклади реалізації на металургійних підприємствах

На вітчизняних підприємствах, таких як «Запоріжсталь», «Каметсталь», «Азовсталь», впроваджено багатоступеневі системи очищення з оборотним водопостачанням. Вони включають механічне відстоювання, хімічне осадження і фільтраційне доочищення. Завдяки цьому досягається повторне використання до 95% води та мінімізація скидів у природні водойми

7. Екологічна ефективність систем очищення

Сучасні системи очищення дозволяють зменшити вміст зважених речовин до 10–20 мг/л, масел – до 0,5 мг/л, а концентрацію важких металів – до рівня, що відповідає санітарним нормам. Використання замкнутих водообігів і біотехнологій забезпечує сталий розвиток підприємств і відповідність екологічним стандартам ISO 14001.

Висновки

Очищення стічних вод мартенівського виробництва є складним і багатоступеневим процесом, який поєднує фізико-хімічні, хімічні та біологічні методи. Ефективна реалізація таких технологій сприяє зменшенню техногенного навантаження на гідросферу і підвищує екологічну безпеку металургійного комплексу.

ЛЕКЦІЯ №19

Тема: Технології очистки стічних вод конверторного виробництва

Вступ

Конверторне виробництво сталі є важливою складовою сучасної металургії, яке характеризується високими обсягами водоспоживання. Вода використовується для охолодження агрегатів, газоочищення, промивки пилогазових потоків та обладнання. У результаті утворюються промислові стічні води, що містять механічні, хімічні та термічні забруднення. Ефективне очищення таких стоків є ключовим завданням для забезпечення екологічної безпеки та зменшення негативного впливу на гідросферу.

1. Джерела утворення і склад стічних вод конверторного виробництва

Основними джерелами утворення стічних вод у конверторному виробництві є:

- системи охолодження конверторів і газоочисного обладнання;
- мокре очищення конверторних газів;
- змивання пилу та шлаку з робочих майданчиків;
- гідрозоловидалення.

Основними забруднювачами таких вод є:

- тверді зважені частинки (оксиди заліза, кальцію, кремнію, марганцю);
- сполуки важких металів (Fe, Mn, Cr, Ni, Zn, Pb);
- масла, нафтопродукти та смоли;
- солі кальцію, магнію, натрію;
- продукти корозії і лужні реагенти.

2. Класифікація методів очищення стічних вод конверторного виробництва

Для очищення таких вод застосовується комплекс методів, що забезпечують багатоступеневе видалення забруднень:

- Механічні методи – відстоювання, фільтрація, гідроциклонування;
- Фізико-хімічні методи – коагуляція, флотація, сорбція, іонний обмін;
- Хімічні методи – осадження важких металів, нейтралізація, окиснення;

3. Типова технологічна схема очищення стічних вод конверторного виробництва

Типова схема очищення складається з кількох етапів:

1. Механічне очищення – видалення зважених частинок у гідроциклонах, пісколовках і відстійниках.
2. Фізико-хімічна обробка – введення коагулянтів (FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) та флокулянтів для осадження дрібних частинок.
3. Хімічне очищення – нейтралізація лужних або кислотних стоків, осадження металів у вигляді гідроксидів.
4. Рециркуляція очищеної води – повторне використання у виробничих циклах, що забезпечує зменшення водоспоживання на 85–95%.

4. Методи видалення зважених речовин і шламів

Зважені частинки (оксиди Fe , SiO_2 , CaO , Al_2O_3) видаляються у спеціальних шламовловлювачах або гідроциклонах. Отриманий шлам після зневоднення може бути повернений у технологічний цикл (як залізовмісна добавка у шихту) або утилізований. Це дозволяє знизити втрати металу і зменшити кількість відходів.

5. Очищення від масел і нафтопродуктів

Для видалення масел використовуються нафтовловлювачі, флотаційні установки або комбіновані системи коагуляційно-сорбційного типу. При наявності емульгованих масел застосовується напірна флотація з використанням реагентів, що сприяють коалесценції крапель. Залишкові концентрації масел після обробки не перевищують 0,3–0,5 мг/л.

6. Видалення важких металів

Важкі метали (Cr , Ni , Zn , Pb) видаляються переважно хімічним осадженням у вигляді гідроксидів або сульфідів. Процес здійснюється при $\text{pH} = 8,5\text{--}10$. Для хрому застосовується попереднє відновлення Cr(VI) до Cr(III) за допомогою сірчистого натрію або залізного купоросу. Іоннообмінні фільтри та мембранні процеси використовуються для доочищення та концентрування залишкових металів.

7. Приклади впровадження систем очищення

На металургійних комбінатах України, таких як «АрселорМіттал Кривий Ріг», «Інтерпайп Сталь», «Запоріжсталь», застосовуються оборотні системи водопостачання з багатоступеневим очищенням. Використання таких систем дозволяє зменшити скид стічних вод у природні водойми до мінімуму та повторно використовувати понад 90% очищеної води.

8. Екологічна ефективність та сучасні тенденції

Впровадження сучасних технологій очищення сприяє зниженню вмісту зважених речовин до 10 мг/л, масел – до 0,3 мг/л, а концентрації металів – до рівнів, що не перевищують гранично допустимі концентрації.

Висновки

Очищення стічних вод конверторного виробництва потребує комплексного підходу, що поєднує механічні, фізико-хімічні та хімічні методи. Використання замкнутих систем водообігу дозволяє зменшити екологічне навантаження, забезпечити ресурсозбереження та відповідність сучасним екологічним стандартам.

ЛЕКЦІЯ №20

Тема: Технології очистки стічних вод електросталеплавильного виробництва

Вступ

Електросталеплавильне виробництво є сучасним і енергоефективним способом отримання сталі, яке забезпечує високу якість металопродукції та можливість використання вторинної сировини. Водночас, процес супроводжується утворенням значних обсягів промислових стічних вод, що містять широкий спектр забруднювачів. Очищення таких стоків є важливою складовою системи екологічного менеджменту металургійного підприємства.

1. Джерела утворення і склад стічних вод електросталеплавильного виробництва

Основними джерелами утворення стічних вод є:

- системи охолодження електродугових печей (ЕДП) та установок позапічної обробки сталі;
- мокрі газоочисні системи;
- гідрозмивання пилу з робочих зон;
- промивання шлакових відвалів і устаткування.

Типовий хімічний склад стічних вод електросталеплавильного виробництва:

- зважені частинки (оксиди Fe, Al, Si, Ca, Mg);
- продукти корозії металів;

- важкі метали (Zn, Cr, Ni, Pb, Cu);
- іони Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} .

Залежно від конкретної технології, концентрація зважених речовин може коливатися в межах 200–1500 мг/л.

2. Особливості очищення стічних вод електросталеплавильного виробництва

Особливість таких стоків полягає у наявності великої кількості тонкодисперсних частинок оксидів металів та емульгованих масел. Тому очищення повинно бути багатоступеневим і включати механічну та фізико-хімічну обробку.

Основні цілі очищення:

- зниження вмісту завислих речовин до <10 мг/л;
- видалення масел і важких металів;
- забезпечення можливості рециркуляції води у виробничий цикл.

3. Технологічна схема очищення стічних вод

Типова технологічна схема очищення стічних вод електросталеплавильного виробництва включає такі етапи:

1. Грубе очищення – уловлення великих механічних домішок у решітках і пісколовках.
2. Відстоювання – видалення зважених частинок у горизонтальних або вертикальних відстійниках.
3. Гідроциклонування – для розділення дрібнодисперсних твердих частинок.
- 4.*Флотація (напірна або електрофлотація) – видалення масел, емульсій та дрібних зважених речовин.
5. Хімічне очищення – введення коагулянтів ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_3) і флокулянтів для осадження важких металів.
6. Фільтрація – через піщані фільтри.
7. Рециркуляція – повернення очищеної води в систему охолодження.

4. Методи видалення основних забруднювачів

- Зважені речовини – осадження у відстійниках, гідроциклонування, фільтрація.
- Масла і нафтопродукти – флотація.
- Важкі метали – осадження у вигляді гідроксидів при рН 9–10 або сульфідне осадження.
- Солі твердості – усунення за допомогою іонного обміну або вапнування

5. Приклади впровадження систем очищення

На електросталеплавильних заводах України, таких як «Інтерпайп Сталь» (Дніпро) та «Дніпроспецсталь» (Запоріжжя), функціонують замкнуті оборотні системи водопостачання. Вони забезпечують зниження споживання свіжої води на

90–95%, а концентрації забруднювачів у скидах не перевищують гранично допустимих норм.

6. Екологічна ефективність

Після багатоступеневої очистки досягаються такі показники якості води:

- Зважені речовини – до 10 мг/л;
- Масла і нафтопродукти – до 0,3–0,5 мг/л;
- Залізо загальне – до 0,1 мг/л;
- Важкі метали – менше 0,05 мг/л.

Таким чином, очищена вода може бути повторно використана для технічних потреб або скинута у водойми без порушення екологічних нормативів.

Висновки

Ефективна очистка стічних вод електросталеплавильного виробництва є невід’ємною частиною екологічної безпеки металургійних підприємств. Використання комбінованих технологій – механічних та фізико-хімічних – забезпечує високий ступінь очищення та можливість замкнутого циклу водопостачання. Це відповідає сучасним вимогам сталого розвитку та принципам циркулярної економіки.

ЛЕКЦІЯ №21

Тема: Технології очистки стічних вод виробництва холодного прокату

Вступ

Виробництво холодного прокату є важливою галуззю чорної металургії, що забезпечує отримання високоякісних сталевих листів та стрічок для автомобільної, машинобудівної, будівельної та інших галузей промисловості. Однак процес холодного прокату супроводжується утворенням значних обсягів промислових стічних вод, які містять мастильно-охолоджувальні рідини, зважені частинки металів, кислоти та луги. Ефективне очищення таких вод є ключовим завданням для зниження антропогенного навантаження на гідросферу.

1. Джерела утворення і склад стічних вод виробництва холодного прокату

Основні джерела утворення стічних вод у процесі холодного прокату сталі:

- мийні та травильні лінії;
- установки знежирення та фосфатування металу;
- системи охолодження прокатних станів;
- промивання устаткування після нанесення мастильно-охолоджувальних емульсій.

Типовий склад стічних вод:

- зважені речовини (оксиди Fe, Al, Zn, Si);
- емульговані масла і мастила (до 500 мг/л);
- кислоти (H_2SO_4 , HCl, HNO_3), луги (NaOH, NH_4OH);
- солі важких металів (Cr, Ni, Zn);
- фосфати та поверхнево-активні речовини (ПАР).

2. Особливості очищення стічних вод холоднопрокатного виробництва

Головна особливість полягає в наявності емульгованих масел і кислотно-лужних компонентів, які утворюють стійкі системи. Тому процес очищення повинен включати комбіновані фізико-хімічні методи: нейтралізацію, коагуляцію, флотацію та фільтрацію.

Метою очищення є:

- зниження концентрації масел до $<0,3$ мг/л;
- усунення зважених речовин до <10 мг/л;
- знешкодження кислот і лугів до нейтрального рівня pH (6,5–8,5);
- видалення важких металів до нормативних показників.

3. Типова технологічна схема очищення стічних вод

1. Механічне очищення – уловлення великих частинок і шламу в решітках, пісколовках та відстійниках.
2. Фізико-хімічне очищення – нейтралізація стічних вод лугами або кислотами до pH 7,0–7,5.
3. Коагуляція і флотація – введення коагулянтів ($FeCl_3$, $Al_2(SO_4)_3$) та ПАР для видалення масел та емульсій.
4. Фільтрація – через піщано-гравійні або активовані вугільні фільтри для доочищення.
5. Іонний обмін або мембранна доочистка – для видалення важких металів і мінералізованих компонентів.
6. Рециркуляція води – повернення очищеної води в технологічний цикл.

4. Методи видалення основних забруднювачів

- Масла та емульсії – флотація, ультрафільтрація, сорбція активованим вугіллям;
- Зважені речовини – осадження, гідроциклонування, фільтрація;
- Кислоти та луги – хімічна нейтралізація;
- Важкі метали – коагуляція, осадження у вигляді гідроксидів, іонний обмін;
- ПАР – адсорбція на активованому вугіллі або біологічна деградація.

5. Приклади сучасних систем очищення

На підприємствах «Запоріжсталь» і «ММК ім. Ілліча» реалізовано комбіновані схеми очищення стічних вод холоднопрокатного виробництва, які включають електрофлотацію, коагуляцію та мембранну фільтрацію. Сучасні

системи дозволяють досягати показників очищення, що відповідають міжнародним екологічним стандартам ISO 14001.

6. Екологічна ефективність

Після комплексного очищення якість води відповідає таким параметрам:

- зважені речовини – до 10 мг/л;
- масла і нафтопродукти – до 0,3 мг/л;
- важкі метали – <0,05 мг/л;
- рН – 6,5–8,5.

Таким чином, очищена вода може бути повторно використана у виробництві, що дозволяє скоротити споживання свіжої води на 85–90%.

7. Сучасні тенденції

- використання нанофільтрації для видалення мікроемульсій;
- автоматизація контролю якості стічних вод;
- повторне використання концентратів мастил після регенерації.

Висновки

Технології очищення стічних вод холоднопрокатного виробництва базуються на поєднанні механічних, фізико-хімічних та мембранних процесів. Їх впровадження дозволяє досягти високих екологічних стандартів, зменшити водоспоживання і мінімізувати скиди забруднених вод у навколишнє середовище.

ЛЕКЦІЯ №22

Тема: Технології очистки стічних вод виробництва гарячого прокату

Вступ

Виробництво гарячого прокату є одним із ключових етапів металургійного циклу, що передбачає перетворення сталевих зливків у прокат різних профілів. Під час прокатного процесу використовуються значні обсяги води для охолодження валків, заготовок, а також для змиву окалини та очищення обладнання. У результаті утворюються стічні води, які містять механічні, хімічні та мастильно-емульсійні забруднення. Ефективна очистка цих вод є необхідною умовою для забезпечення екологічної безпеки виробництва.

1. Джерела утворення і склад стічних вод гарячого прокату

Основними джерелами утворення стічних вод у гарячепрокатному виробництві є:

- системи охолодження валків і прокатних станів;
- лінії гідрозмивання окалини;

- злизові води виробничих майданчиків;
- промивання обладнання.

Типовий склад стічних вод:

- зважені речовини (оксиди заліза, частинки шламу, окалина);
- мастильно-охолоджувальні рідини (емульсії масел і ПАР);
- продукти корозії металів;
- важкі метали (Fe, Zn, Cr, Ni);
- незначні кількості нафтопродуктів і органічних речовин

2. Особливості очищення стічних вод гарячопрокатного виробництва

Стічні води гарячого прокату характеризуються високим вмістом зважених частинок окалини (до 2000 мг/л) і масла (до 100 мг/л). Тому технологічна схема очищення повинна забезпечувати ефективне відділення твердих домішок та емульгованих масел.

Основні цілі очищення:

- видалення зважених речовин;
- видалення нафтопродуктів і масел;
- зниження концентрацій важких металів;
- можливість повторного використання очищеної води у замкнутому циклі.

3. Технологічна схема очищення стічних вод

Типова схема очищення стічних вод гарячопрокатного виробництва включає наступні етапи:

1. Грубе механічне очищення – решітки, пісколовки для видалення великих частинок і окалини.
2. Гідроциклонування – розділення води та окалини під дією відцентрових сил.
3. Відстоювання – осадження дрібнодисперсних частинок у відстійниках.
4. Флотація (напірна або електрофлотація) – видалення масел, емульсій і тонкодисперсних домішок.
5. Коагуляція – введення реагентів (FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) для осадження колоїдних частинок.
6. Фільтрація – через піщано-гравійні або вугільні фільтри.
7. Рециркуляція – очищена вода повертається у виробничий цикл.

4. Методи видалення основних забруднювачів

- Зважені речовини – гідроциклонування, осадження у відстійниках, фільтрація;
- Масла і емульсії – флотація, коагуляція, сорбція активованим вугіллям;
- Важкі метали – осадження гідроксидів при регулюванні pH;
- Органічні речовини – окиснення або адсорбція.

5. Приклади промислових схем очищення

На металургійних комбінатах, таких як «АрселорМіттал Кривий Ріг» і «Запоріжсталь», застосовуються замкнуті цикли водопостачання з гідроциклонами, відстійниками та флотаційними установками. Такі системи дозволяють повторно використовувати до 95% води та зменшити обсяги скидів у водоймища до мінімуму.

6. Екологічна ефективність

Після багатоступеневої очистки досягаються такі показники якості води:

- зважені речовини – до 10 мг/л;
- масла і нафтопродукти – до 0,3 мг/л;
- залізо загальне – до 0,1 мг/л;
- важкі метали – менше 0,05 мг/л.

Очищена вода повертається у виробничий цикл, що забезпечує економію свіжої води та зниження навантаження на довкілля.

7. Сучасні тенденції розвитку технологій очищення

- впровадження автоматизованих систем керування процесами очищення;
- використання мембранних технологій для доочищення;
- утилізація осадів окालини як залізовмісної сировини;
- енергозбереження та повторне використання тепла очищених стічних вод.

Висновки

Очищення стічних вод гарячопрокатного виробництва є важливою складовою екологічної безпеки металургійних підприємств. Використання комплексних систем механічного, фізико-хімічного та мембранного очищення дозволяє досягти високого ступеня очищення та організувати замкнутий цикл водопостачання, що відповідає принципам сталого розвитку.

Лекція №23

Тема: Технології очистки стічних вод гірничо-рудного виробництва

Вступ

Гірничо-рудне виробництво є важливою складовою металургійної галузі, проте воно супроводжується значними обсягами водоспоживання та утворенням стічних вод, що містять механічні, хімічні та біологічні забруднення. Основними джерелами стічних вод у гірничорудній промисловості є процеси збагачення руди, промивання, гідротранспортування, зливі води шахт і кар'єрів. Відповідно, очищення таких вод є ключовим завданням у системі екологічного менеджменту підприємства.

1. Джерела утворення і склад стічних вод гірничо-рудного виробництва

Основні джерела утворення стічних вод:

- шахтні і кар'єрні води, які відкачуються для запобігання затопленню виробок;
- збагачувальні фабрики, де використовуються флотаційні реагенти;
- зливові води промислових майданчиків;
- стічні води гідротранспортних систем.

Типовий склад стічних вод:

- зважені речовини (глина, пісок, уламки руди);
- солі важких металів (Fe, Mn, Cu, Zn, Pb);
- реагенти флотації (ксантати, піногасники, колектори);
- нафтопродукти, мастильні матеріали;
- сульфати, хлориди, карбонати.

2. Класифікація стічних вод гірничо-рудних підприємств

Стічні води поділяються на три основні категорії:

1. Шахтні (дренажні) води – мають підвищений вміст солей і мінералізацію.
2. Збагачувальні води – характеризуються наявністю флотаційних реагентів і зважених частинок.
3. Промислово-зливові води – змішаного складу, що утворюються на поверхні підприємства.

3. Основні методи очищення стічних вод гірничо-рудного виробництва

Технологічна схема очищення стічних вод включає комбінацію механічних, фізико-хімічних і біохімічних методів:

1. Механічне очищення – відстоювання, гідроциклонування, фільтрація для видалення зважених частинок.
2. Фізико-хімічне очищення – коагуляція та флотація для видалення емульгованих і колоїдних речовин.
3. Хімічне очищення – нейтралізація кислотних вод вапном або содою, осадження важких металів у вигляді гідроксидів.
4. Мембранні технології – ультрафільтрація, зворотний осмос, електродіаліз для доочищення і повторного використання води.

4. Приклад типової технологічної схеми очищення

1. Грубодисперсне очищення у відстійниках.
2. Гідроциклонування для видалення мінеральної суспензії.
3. Коагуляція із застосуванням солей алюмінію або заліза.
4. Флотація для видалення реагентів і масел.
5. Фільтрація через пісчані або цеолітові фільтри.
6. Хімічне осадження важких металів при рН = 8–9.
7. Мембранна доочистка (за потреби) для повторного використання.

5. Особливості очищення шахтних і кар'єрних вод

Шахтні води часто мають підвищену мінералізацію (до 20 г/л) і містять іони кальцію, магнію, сульфатів. Для їх очищення застосовуються:

- вапняно-содовий метод для зменшення жорсткості;
- зворотний осмос для знесолення;
- іонний обмін для видалення специфічних іонів (наприклад, Fe^{2+} , Mn^{2+}).

6. Екологічні аспекти та утилізація осадів

Осади, утворені під час очищення, містять мінеральні частки та гідроксиди металів. Їх зневоднюють і направляють на полігони або повторно використовують у рекультиваційних роботах. Важливим напрямом є переробка шламів для вилучення кольорових металів.

7. Сучасні тенденції у технологіях очищення

- впровадження систем замкнутого водопостачання;
- використання біореакторів для розкладання реагентів флотації;
- застосування нанофільтраційних мембран;
- автоматизація систем очищення та моніторинг складу стічних вод у реальному часі.

Висновки

Ефективна система очищення стічних вод у гірничо-рудному виробництві базується на поєднанні фізичних, хімічних та біологічних методів. Це дозволяє забезпечити повторне використання води, зменшення навантаження на природні водойми та дотримання екологічних стандартів.

ЛЕКЦІЯ №24

Тема: Технології очиски стічних вод коксохімічного виробництва

Вступ

Коксохімічне виробництво є невід'ємною частиною металургійного комплексу, забезпечуючи отримання коксу для доменного процесу. Разом із тим, воно характеризується значним утворенням стічних вод, що містять токсичні органічні та неорганічні забруднення. До основних джерел утворення стічних вод належать процеси гасіння коксу, конденсації газів, очищення коксового газу, а також промивання обладнання. Очищення таких вод є складним завданням через наявність фенолів, ціанідів, аміаку, сульфідів і смолистих речовин, які мають високий рівень токсичності.

1. Джерела утворення і склад стічних вод коксохімічного виробництва

Основні джерела утворення стічних вод:

- води після гасіння коксу (так звані «гасильні» води);
- води після охолодження коксового газу;
- конденсат з аміачно-фенольного відділення;
- промивні води від очищення газів та апаратури.

Типовий склад стічних вод:

- феноли – 0,5–2,5 г/л;
- аміак – 0,5–1,5 г/л;
- ціаніди – 10–200 мг/л;
- сульфіді – до 100 мг/л;
- смолисті речовини, тіоціаніди, нафтопродукти, завислі речовини.

2. Особливості очищення стічних вод коксохімічного виробництва

Очищення стічних вод коксохімічного виробництва є багатоступеневим процесом, який включає механічні, фізико-хімічні та біологічні методи. Через наявність високотоксичних органічних сполук (феноли, ціаніди) необхідно застосовувати спеціалізовані реагенти та методи глибокої біологічної очистки.

3. Технологічна схема очищення стічних вод

Типова схема очищення стічних вод коксохімічного виробництва складається з таких основних етапів:

1. Механічне очищення – видалення завислих речовин у решітках, пісколовках, відстійниках.
2. Фізико-хімічне очищення – нейтралізація кислотності, коагуляція, флотація для видалення смол та масел.
3. Хімічне окиснення – руйнування фенолів і ціанідів за допомогою гіпохлориту, озону або перманганату калію.
4. Біологічна очистка – здійснюється у біореакторах (аеротенках, біофільтрах) із застосуванням мікроорганізмів, що розкладають фенольні та аміачні сполуки.
5. Доочистка – адсорбція на активованому вугіллі, мембранні методи (ультрафільтрація, зворотний осмос).

4. Методи видалення основних забруднювачів

- Феноли – видаляються окисненням (озонуванням, хлоруванням) або біологічною деструкцією;
- Аміак – видаляється за допомогою десорбції (видування повітрям) або нітрифікаційно-денітрифікаційного процесу;
- Ціаніди – окиснюються хлором, озоном або пероксидом водню;
- Смолисті речовини – вилучаються флотацією або сорбцією;
- Сульфіді – нейтралізуються окисненням до сульфатів.

5. Приклади промислових схем очищення

На великих коксохімічних підприємствах, таких як «Азовсталь», «Запоріжжкокс», «Дніпровський коксохімічний завод», застосовуються багатоступеневі системи очищення. Спочатку проводиться попереднє окиснення стоків гіпохлоритом натрію, потім біологічна очистка в аеротенках із підвищеною концентрацією активного мулу. Додатково здійснюється адсорбційна доочистка на активованому вугіллі.

6. Екологічна ефективність очищення

Після повної очистки показники якості води становлять:

- феноли – до 0,001 мг/л;
- аміак – до 0,5 мг/л;
- ціаніди – до 0,01 мг/л;
- завислі речовини – до 5 мг/л.

Очищена вода може бути використана повторно для технічних потреб або скинута у водойми відповідно до нормативів.

7. Сучасні тенденції розвитку технологій очищення

- Використання комбінованих методів – озонування + біофільтрація;
- Рециклінг і повторне використання води у замкнутих системах;
- Застосування біокаталітичних технологій з використанням адаптованих штамів мікроорганізмів.

Висновки

Очищення стічних вод коксохімічного виробництва є складним технологічним процесом, що вимагає комплексного підходу. Поєднання механічних, хімічних та біологічних методів дозволяє досягти високого ступеня очищення, мінімізувати шкідливий вплив на довкілля та забезпечити повторне використання очищеної води у виробничих циклах.