

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

Г. Б. Кожемякін, А.В. Вагін

**ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ
АТМОСФЕРИ ТА ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ**

Практичні заняття до модулю 1
для здобувачів ступеня вищої освіти магістра
спеціальності G2 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійної програми
«Технології захисту навколишнього середовища»

Запоріжжя
2025

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №1

• Тема: Розрахунок систем очищення агломераційних та доменних газів

Мета заняття:

Набути практичних навичок з інженерного розрахунку параметрів систем газоочищення на підприємствах чорної металургії. Ознайомитися з технологічними схемами очищення агломераційних і доменних газів, методами визначення ефективності роботи пиловловлювальних апаратів, розрахунком гідравлічного опору та вибором оптимальної схеми очищення.

Методичні вказівки:

Перед виконанням розрахунків студент повинен:

- проаналізувати склад і обсяг агломераційних та доменних газів;
- вибрати раціональну систему очищення (суху або мокру);
- ознайомитися з конструкціями основних апаратів — циклону, рукавного фільтра, електрофільтра, скрубера Вентурі.

Вихідні дані для розрахунку (індивідуальні):

Показник	Варіант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Об'єм газів, тис.м ³ /год	180	250	220	240	200	190	230	210
Початкова концентрація пилу, г/м ³	6	4	5	7	4	6	7	5
Температура, °С	200	220	230	210	200	210	230	220

Завдання до виконання:

1. Розрахувати параметри системи очищення агломераційних газів:

- Вибрати тип апарата для первинного очищення (циклон або інерційний пиловловлювач);
- Розрахувати діаметр циклону, швидкість потоку газу, гідравлічний опір та ефективність уловлювання пилу;
- Визначити необхідну кількість апаратів при заданій продуктивності газопотоку;
- Провести розрахунок фільтра другої ступені (рукавного або електрофільтра) з визначенням площі фільтраційної поверхні.

2. Розрахувати систему очищення доменних газів:

- Скласти схему очищення (пиловловлювач — скруббер Вентурі — відстійник);
- Розрахувати швидкість газу в горловині скруббера та витрату води на зрошення;
- Визначити ефективність уловлення дрібнодисперсних частинок;
- Обчислити загальну ефективність очищення двоступеневої системи.

3. Побудувати баланс маси пилу:

- Визначити кількість пилу до і після очищення;
- Розрахувати загальну кількість вилученого пилу, кг/год;
- Оцінити відповідність отриманих результатів екологічним нормативам викидів.

4. Зробити висновок:

- Обґрунтувати вибір типів апаратів;
- Порівняти ефективність очищення агломераційних і доменних газів;
- Навести рекомендації щодо підвищення ефективності газоочищення.

Контрольні питання:

1. Які основні забруднювачі містяться в агломераційних та доменних газах?
2. Які чинники впливають на ефективність роботи пиловловлювачів?
3. У чому переваги та недоліки сухого і мокрого очищення газів?
4. Як визначається ефективність багатоступеневої системи очищення?
5. Які сучасні технології газоочищення застосовуються у металургії?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Тема: Розрахунок систем очищення мартенівських та конверторних газів

Мета заняття

Опанувати методику розрахунку систем очищення газів, що утворюються під час мартенівського та конверторного виробництва сталі; визначити ефективність роботи пилогазоочисних апаратів та обґрунтувати вибір оптимальної схеми очищення для конкретних умов виробництва.

Завдання для виконання

1. Аналіз вихідних даних.
2. Вибір системи газоочищення.
3. Розрахунок параметрів пиловловлювача.
4. Розрахунок системи газоохолодження.
5. Оцінка ефективності очищення.
6. Висновки.

Індивідуальні варіанти завдань

Варіанти розподіляються між студентами залежно від типу виробництва:

1. Мартенівський процес — гази після нагрівання металу.
2. Конверторний процес — гази після продувки киснем.
3. Комбінована схема (мартен + конвертор).

Вихідні дані для розрахунків:

№ варіанту	Об'ємна витрата газу, м ³ /год	Запиленість, г/м ³	Температура, °С	Допустима концентрація пилу, мг/м ³
1	45000	8.5	450	100
2	60000	10.2	420	75
3	52000	6.8	400	50
4	70000	12.0	480	90
5	48000	9.0	430	70

Методичні рекомендації

- Використати довідкові таблиці для вибору апаратів і розрахункових коефіцієнтів.
- Для перевірки результатів застосовувати аналітичні та графічні методи.

- Розрахунки оформити у вигляді пояснювальної записки з графічним додатком (схема системи очищення).

Контрольні запитання

1. Які особливості складу мартенівських і конверторних газів визначають вибір системи очищення?
2. У чому полягає принцип роботи циклонів, електрофільтрів та рукавних фільтрів?
3. Як визначається ефективність пиловловлення апаратів?
4. Які основні вимоги до очищення газів перед викидом в атмосферу?
5. Як здійснюється утилізація пилу та шламів, що утворюються після очищення газів?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Тема: Розрахунок систем очищення газів дугових та руднотермічних печей

Мета заняття:

Набути практичних навичок інженерного розрахунку систем очищення газів, що утворюються при роботі дугових та руднотермічних печей. Ознайомитися з особливостями складу та обсягів газопилових викидів, технологічними схемами газоочищення, а також з методами оцінки ефективності пиловловлення й зниження концентрацій шкідливих речовин у викидах.

Методичні вказівки:

Перед виконанням розрахунків студент повинен:

- проаналізувати фізико-хімічний склад газів дугових і руднотермічних печей;
- визначити джерела утворення пилу та його гранулометричний склад;
- ознайомитися з конструкціями апаратів сухого (циклон, електрофільтр,

рукавний фільтр) і мокрого очищення (скруббер Вентурі, пінний апарат);
- вибрати оптимальну схему очищення залежно від умов процесу.

Вихідні дані для розрахунку (індивідуальні):

Показник	Варіант							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Об'єм газів, тис.м ³ /год	180	25	22	13	200	19	80	210
Початкова концентрація пилу, г/м ³	2	4	5	7	3	6	4	3
Температура, °С	80	150	230	960	110	950	140	120

Завдання до виконання:

1. Аналіз складу та властивостей газів:

- Визначити основні компоненти газів дугових і руднотермічних печей;
- Навести орієнтовну концентрацію CO, CO₂, SO₂, NO_x та пилу;
- Обґрунтувати вибір типу системи газоочищення.

2. Розрахунок системи сухого очищення:

- Виконати інженерний розрахунок циклону або батарейного циклону: визначити діаметр, швидкість потоку, втрати тиску та ефективність уловлювання пилу;
- Провести розрахунок рукавного фільтра або електрофільтра другої ступені очищення: визначити площу фільтраційної поверхні, кількість фільтрувальних елементів, гідравлічний опір.

3. Розрахунок системи мокрого очищення (за варіантом):

- Розрахувати параметри роботи скруббера Вентурі або пінного апарата;
- Визначити витрату води на зрошення та швидкість газу у горловині;
- Розрахувати ефективність уловлення дрібнодисперсного пилу (<5 мкм).

4. Баланс маси пилу:

- Визначити кількість пилу до та після кожного ступеня очищення;
- Розрахувати загальну ефективність системи;
- Визначити кількість уловленого пилу та порівняти з гранично допустимими концентраціями (ГДК).

5. Висновки:

- Обґрунтувати вибір типу системи очищення (сухої або мокрої);
- Оцінити доцільність застосування багатоступеневої схеми;
- Надати рекомендації щодо підвищення ефективності роботи системи газоочищення.

Контрольні питання:

1. Які основні забруднювачі містяться в газах дугових та руднотермічних печей?
2. У чому полягають особливості процесу очищення гарячих газів?
3. Які чинники впливають на вибір типу газоочисного обладнання?
4. Як визначається ефективність пиловловлення у циклоні, фільтрі та скрубєрі?
5. Які сучасні технологічні рішення використовуються для очищення газів дугових та руднотермічних печей?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Тема: Розрахунок систем очищення газів прокатного виробництва

Мета заняття

Набути практичних навичок у розрахунку параметрів систем очищення газів, що утворюються при нагріванні металу у прокатних цехах, обґрунтувати вибір оптимальних апаратів та оцінити ефективність очищення з урахуванням екологічних вимог.

Завдання для виконання

1. Аналіз вихідних даних.
2. Вибір системи очищення.

3. Розрахунок параметрів пиловловлювача.
4. Розрахунок системи охолодження газів.
5. Оцінка ефективності системи очищення.
6. Розрахунок утворення та утилізації пилу.
7. Висновки.

Індивідуальні варіанти завдань

№ варіанту	Об'ємна витрата газу, м³/год	Запиленість, г/м³	Температура, °С	Допустима концентрація пилу, мг/м³
1	35000	3.5	350	100
2	50000	5.0	400	75
3	42000	4.2	380	50
4	55000	6.0	420	90
5	48000	5.5	390	60

Методичні рекомендації

- Для розрахунків використовувати довідкові таблиці характеристик пилу та коефіцієнтів очищення.
- Застосовувати рівняння гідравлічного опору для оцінки енерговитрат.
- Виконати креслення структурної схеми системи очищення у масштабі.
- Оформити роботу у вигляді пояснювальної записки з розрахунками та висновками.

Контрольні запитання

1. Які особливості складу газів прокатного виробництва впливають на вибір системи очищення?
2. Які апарати застосовуються для очищення газів у нагрівальних печах?
3. Як визначається ефективність пиловловлення та втрати тиску в апараті?
4. Які вимоги до якості очищення газів перед викидом в атмосферу?
5. Які способи утилізації пилу, що утворюється у процесі очищення газів, є найбільш доцільними?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №5

Тема: Розрахунок систем очищення газів при виробництві коксу та виробництва вогнетривів

Мета заняття

Опанувати методику розрахунку параметрів систем очищення газів, що утворюються при коксуванні вугілля та у процесах випалу, сушіння й спікання у виробництві вогнетривів; визначити ефективність роботи газоочисних апаратів і забезпечити відповідність викидів нормативам екологічної безпеки.

Завдання для виконання

1. Аналіз вихідних даних.
2. Вибір системи газоочищення.
3. Розрахунок параметрів пиловловлювача.
4. Розрахунок системи газоохолодження та знепилення.
5. Оцінка ефективності очищення.
6. Розрахунок утворення та утилізації пилу і шламів.
7. Висновки.

Індивідуальні варіанти завдань

№ варіанту	Джерело газів	Об'ємна витрата, м³/год	Запиленість, г/м³	Температура, °C	Допустима концентрація пилу, мг/м³
1	Коксова батарея	45000	5.0	400	100
2	Сушильний барабан (вогнетриви)	35000	4.2	350	75
3	Випалювальна піч шамоту	50000	6.0	450	70
4	Газ від уловлювання смол	30000	3.0	300	50
5	Відхідні гази спікання магнезитових виробів	55000	7.0	480	90

Методичні рекомендації

- Використати довідкові дані щодо складу коксового та вогнетривкого пилу.
- Для розрахунків гідравлічного опору та ефективності очищення застосовувати стандартні інженерні формули.
- Здійснити порівняльний аналіз різних типів апаратів (циклон, електрофільтр, рукавний фільтр, скруббер).
- Розробити структурну схему системи газоочищення та виконати її у вигляді креслення.
- Оформити результати у вигляді пояснювальної записки з розрахунками, таблицями та висновками.

Контрольні запитання

1. Які основні джерела утворення газових викидів при виробництві коксу та вогнетривів?
2. Які типи апаратів використовують для очищення коксових і вогнетривких газів?
3. Як визначається ефективність пиловловлення у системах сухого та мокрого очищення?
4. Які показники характеризують ступінь очищення від токсичних компонентів?
5. Які способи утилізації побічних продуктів очищення застосовують у промисловості?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №6

Тема: Розрахунок систем очищення газів титано-магнієвого виробництва

Мета заняття

Ознайомитися з технологічними особливостями утворення газових викидів у титано-магнієвому виробництві, навчитися розраховувати параметри систем очищення пилогазових потоків, визначати ефективність роботи апаратів та забезпечувати екологічну безпеку виробництва.

Завдання для виконання

1. Аналіз вихідних даних.
2. Вибір системи газоочищення.
3. Розрахунок параметрів пиловловлюючого апарата.
4. Розрахунок системи газоохолодження.
5. Розрахунок ефективності очищення.
6. Розрахунок кількості уловлених твердих частинок.
7. Висновки.

Індивідуальні варіанти завдань

№ варіанту	Джерело газів	Об'ємна витрата, м ³ /год	Запиле ність, г/м ³	Темпе ратура, °С	Допустима концентрація пилу, мг/м ³
1	Хлорування титанового концентрату	40000	5.5	450	80
2	Відновлення магнію з хлоридів	35000	4.0	400	70
3	Електротермічне відновлення титану	50000	6.5	480	60
4	Очищення газів після абсорбера HCl	30000	3.2	350	50
5	Випал магнієвих шлаків	55000	7.0	500	90

Методичні рекомендації

- Використати довідкові дані щодо властивостей титаномангнієвих газів та складу пилу.
- Для розрахунків гідравлічного опору та ефективності очищення скористатись

аналітичними залежностями для циклонів, електрофільтрів, рукавних фільтрів.

- При оцінці токсичності врахувати присутність хлору та хлороводню.
- Розробити структурну схему системи очищення у вигляді креслення або блок-схеми.
- Оформити результати у вигляді пояснювальної записки з розрахунками, таблицями та висновками.

Контрольні запитання

1. Які основні джерела утворення пилогазових викидів у титано-магнієвому виробництві?
2. Які типи апаратів застосовують для очищення таких газів?
3. Як визначається ефективність очищення газів від оксидів титану та магнію?
4. Які хімічні процеси відбуваються при абсорбційному очищенні газів від хлору та хлороводню?
5. Які способи утилізації уловлених пилових фракцій доцільно використовувати у цьому виробництві?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №7

Тема: Розрахунок системи очищення газів печей спікання глинозему

Мета заняття

Ознайомитись із процесами утворення газових викидів у технології виробництва глинозему, навчитися проводити інженерні розрахунки систем очищення пилогазових потоків від твердих та газоподібних компонентів, визначати ефективність роботи апаратів очищення та відповідність викидів екологічним нормам.

Завдання для виконання

1. Аналіз вихідних даних.
2. Вибір системи газоочищення.
3. Розрахунок пиловловлюючого апарата.
4. Розрахунок газоохолоджувача.
5. Оцінка ефективності системи очищення.
6. Розрахунок утворення та утилізації пилу.
7. Висновки.

Індивідуальні варіанти завдань

№ варіанту	Джерело газів	Об'ємна витрата, м³/год	Запиленість, г/м³	Температура, °С	Допустима концентрація пилу, мг/м³
1	Газ печі спікання бокситу	45000	6.0	450	100
2	Відхідні гази після охолодження глинозему	38000	4.5	380	80
3	Витяжні гази сушильного барабана	42000	3.8	350	75
4	Викиди з апарату кальцинації	55000	7.0	500	90
5	Газ із системи пневмотранспорту глиноземного пилу	30000	5.0	320	70

Методичні рекомендації

- Використати довідкові дані про властивості пилу глинозему (густина, розмір частинок, питома поверхня).
- Для розрахунків ефективності застосовувати формули для циклонів, електрофільтрів або фільтраційних установок.
- При розрахунку гідравлічного опору врахувати сумарні втрати тиску в системі.
- Порівняти кілька варіантів схем очищення для вибору оптимальної.
- Оформити результати у вигляді пояснювальної записки з таблицями, схемами та висновками.

Контрольні запитання

1. Які основні джерела утворення пилогазових потоків при виробництві глинозему?
2. Які фактори впливають на запиленість газів печей спікання?

3. Які типи апаратів використовуються для очищення таких газів?
4. Як визначається ефективність очищення у системах сухого та мокрого типу?
5. Які способи утилізації пилу глинозему?

Критерії оцінювання:

Критерій	Макс. бал
Обґрунтованість схеми очистки	1
Повнота та точність розрахунків	1
Разом	2 бали