

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

Г. Б. Кожемякін, А.В. Вагін

ПРОЄКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

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

Запоріжжя
2025

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №13

Тема: Аналіз джерел газових викидів та вибір методів їх очищення

Мета заняття: Навчити студентів визначати основні джерела газових викидів на промислових підприємствах, класифікувати забруднювачі, аналізувати їх властивості та обґрунтовувати вибір методів очищення газів залежно від складу, концентрації й агрегатного стану шкідливих речовин.

Навчальні питання:

1. Класифікація джерел газових викидів на підприємствах різних галузей.
2. Основні види забруднювачів повітря та їх характеристики.
3. Огляд методів очищення газових викидів (механічні, вологі, електрофізичні, хімічні, каталітичні тощо).
4. Критерії вибору технології очищення газів.

Хід виконання завдання:

1. Визначити типові джерела газових викидів для заданого підприємства (за варіантом).
2. Описати основні забруднювачі (агрегатний стан, концентрація, токсичність).
3. Визначити вимоги до ступеня очищення відповідно до чинних нормативів ГДВ (гранично допустимих викидів).
4. На основі характеристик викидів підібрати оптимальний метод очищення.
5. Побудувати блок-схему технологічного процесу очищення.

Приклад варіантів завдань:

№ варіанта	Галузь	Основні забруднювачі	Орієнтовний метод очищення
1	Цементний завод	Пил, оксиди кальцію	Циклон, рукавний фільтр
2	Коксохімічне виробництво	Бензол, фенол, пил	Абсорбційна, адсорбційна система
3	ТЕЦ (спалювання вугілля)	Зола, SO ₂ , NO _x	Електрофільтр, скруббер, каталітична установка
4	Хімічне виробництво аміаку	NH ₃ , пил каталізаторів	Скрубер, фільтр тонкого очищення
5	Асфальтобетонний завод	Пил, органічні пари	Циклон, термічне спалювання

Індивідуальне завдання:

Скласти короткий звіт (1–2 стор.) з описом:

- джерела викидів;
- вибраного методу очищення;
- принципу роботи обладнання;
- очікуваної ефективності очищення.

Контрольні запитання:

1. Які основні типи джерел газових викидів?
2. За якими критеріями обирається технологія очищення?
3. У чому різниця між абсорбційними та адсорбційними методами?
4. Які фактори впливають на ефективність газоочистки?

Оцінювання:

Критерій	Балів
Повнота аналізу даних	1
Аргументованість висновку	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №14

Тема: Розрахунок ефективності систем очищення газових викидів і підбір обладнання

Мета заняття: Опанувати методику розрахунку ефективності очищення газових викидів, навчитися вибирати відповідне обладнання та оцінювати його техніко-економічні характеристики.

Навчальні питання:

1. Основні параметри газоочисних установок.
2. Формули для розрахунку ефективності очищення.
3. Визначення енергетичних витрат та продуктивності обладнання.
4. Порівняльна оцінка різних типів систем за ефективністю та вартістю.

Хід виконання завдання:

1. Вихідні дані:
 - об'єм газів;
 - концентрація пилу до очищення;
 - концентрація пилу після очищення.

2. Розрахувати ефективність очищення.
3. Для кількох типів обладнання (циклон, скруббер, електрофільтр, рукавний фільтр) обчислити орієнтовну ефективність і витрати енергії.
4. Порівняти результати в таблиці:

Тип обладнання	Ефективність, %	Енергоспоживання, кВт·год	Орієнтовна вартість, тис. грн	Висновок
Циклон	85	5	120	Недостатня ефективність
Скрубер Вентурі	96	18	250	Рекомендовано
Електрофільтр	99	20	400	Висока ефективність
Рукавний фільтр	98	15	300	Оптимальний варіант

5. Визначити рекомендовану систему для даного підприємства з обґрунтуванням вибору.

Самостійне завдання:

Підготувати коротку презентацію (5–7 слайдів) або звіт про одну сучасну установку очищення газів (на вибір):

- скруббер Вентурі,
- рукавний фільтр,
- електрофільтр,
- каталітичний реактор SCR.

Необхідно описати принцип дії, конструкцію, ефективність, переваги та недоліки.

Контрольні запитання:

1. Як визначається ефективність очищення газів?
2. Які основні типи обладнання застосовуються для пилових викидів?
3. Що впливає на вибір газоочисної технології?
4. У чому переваги електрофільтрів порівняно зі скрубберами?
5. Які показники характеризують техніко-економічну ефективність системи очищення?

Оцінювання:

Критерій	Балів
Точність розрахунків	1
Аргументованість вибору	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №15

Тема: Аналіз властивостей вловлених продуктів та вибір систем видалення

Мета заняття: Закріпити знання студентів про фізико-хімічні властивості вловлених продуктів, навчитися обґрунтовувати вибір типу обладнання для їх видалення та транспортування.

Теоретичні положення для повторення:

1. Види вловлених продуктів (пил, зола, шлам, конденсат).
2. Основні характеристики: щільність, вологість, абразивність, токсичність.
3. Класифікація систем видалення:
 - механічні (шнекові, стрічкові транспортери),
 - пневматичні (вакуумні, напірні),
 - гідравлічні (гідротранспорт, шламонасоси).
4. Основні критерії вибору обладнання.

Завдання для виконання:

Завдання 1.

Заповнити таблицю, обравши оптимальний тип обладнання для кожного типу відходів:

№	Тип вловленого продукту	Основні властивості	Рекомендоване обладнання	Обґрунтування
1	Зола суха	...	...	...
2	Вологий шлам	...	...	...
3	Металевий пил	...	...	...
4	Кислотний конденсат	...	...	...

Завдання 2.

Порівняти три типи систем видалення за основними показниками (заповнити таблицю):

Показник	Пневматична	Механічна	Гідравлічна
Енергоспоживання			
Герметичність			
Довжина траси транспортування			
Екологічна безпека			
Потреба в обслуговуванні			

Контрольні запитання для обговорення:

1. Які типи вловлених продуктів найчастіше утворюються у промислових процесах?
2. Які головні відмінності між пневмотранспортом і гідротранспортом?
3. Які екологічні ризики можуть виникати при неправильному видаленні шламів?
4. Як властивості пилу впливають на вибір транспортувального обладнання?

Критерії оцінювання:

Критерій	Балів
Повне і точне виконання всіх завдань	1
Аргументовані обґрунтування, самостійні висновки	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №16**Тема: Розрахунок параметрів обладнання для видалення вловлених продуктів**

Мета заняття: Навчитися проводити базові інженерні розрахунки параметрів пневматичних, механічних і гідравлічних систем транспортування уловлених продуктів.

Теоретичні положення для повторення:

1. Основні формули для розрахунків:
 - Пневмотранспорт
 - Гідротранспорт
 - Шнековий транспортер
2. Вибір швидкості потоку в залежності від типу матеріалу.
3. Розрахунок об'єму бункера

Завдання для виконання:**Завдання 1. Розрахунок пневмотранспортної системи**

Потрібно транспортувати сухий пил із фільтра в силос.

Відомо:

- Витрата матеріалу: $G = 1800$, кг/год
- Густина пилу: 1500 , кг/м³
- Необхідна швидкість потоку: $v = 22$, м/с.

Визначити:

- а) мінімальний діаметр трубопроводу,
- б) об'ємну витрату повітря (Q).

Завдання 2. Розрахунок шнекового транспортера

Дано:

- ($D = 0.3$, м),
- ($S = 0.25$, м),
- ($n = 2$, об/с),
- ($\rho_0 = 1200$, кг/м³).

Розрахувати продуктивність транспортера (Q) у кг/год.

Завдання 3. Розрахунок бункера для зберігання золи

Відомо:

- Масова витрата ($G = 500$, кг/год),
- Густина золи ($\rho_0 = 1400$, кг/м³),
- Необхідний час зберігання — 8 год.

Визначити необхідний об'єм бункера (V).

Контрольні запитання для обговорення:

1. Які параметри впливають на ефективність пневмотранспорту?
2. Як збільшення вологості матеріалу впливає на продуктивність шнека?
3. Чому важливо враховувати густину при розрахунку об'єму бункера?
4. Які заходи підвищують енергоефективність систем видалення пилу?

Оцінювання:

Критерій	Балів
Точність розрахунків	1
Аргументованість вибору	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №17

Тема: Аеродинамічний розрахунок газового тракту промислової установки

Мета заняття: Навчити студентів виконувати розрахунок втрат тиску в системах транспортування промислових газів, визначати параметри потоку та будувати аеродинамічну схему газоходу.

Теоретичні відомості:

Газовий тракт включає систему трубопроводів, апаратів і пристроїв для відведення газів від джерела до системи очищення та димової труби.

Основним завданням є забезпечення необхідної витрати газу при мінімальних енергетичних затратах.

Порядок виконання завдання:

1. Скласти схему газопроводу із зазначенням усіх елементів (труб, колін, клапанів, апаратів).
2. Поділити систему на ділянки з однаковими параметрами.
3. Визначити для кожної ділянки:
 - довжину (L);
 - діаметр (D);
 - швидкість (v);
 - коефіцієнти (λ) і (ξ).
4. Розрахувати втрати тиску на кожній ділянці.
5. Побудувати таблицю результатів.
6. Підрахувати загальні втрати тиску в системі.
7. Зробити висновки щодо ефективності газопроводу.

Контрольні запитання:

1. Які основні елементи входять до складу газового тракту?
2. Яка різниця між всмоктувальною та нагнітальною схемами?
3. Які фактори впливають на коефіцієнт тертя в трубах?
4. Як визначити місцеві втрати тиску?
5. Чому важливо оптимізувати швидкість потоку газу?

Звіт з практичного заняття повинен містити:

- схему газопроводу;
- таблицю розрахунків втрат тиску;
- пояснення розрахункових формул;
- висновок щодо отриманих результатів.

Оцінювання:

Критерій	Балів
Точність розрахунків	1
Правильність аеродинамічної схеми	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №18

Тема: Підбір тягодуттєвого обладнання для системи очищення газів

Мета заняття: Навчити студентів підбирати тип вентилятора або димососа на основі результатів аеродинамічного розрахунку, враховуючи продуктивність, тиск і температуру газів.

Теоретичні відомості:

Тягодуттєве обладнання забезпечує необхідний рух газів у системі. Його вибір залежить від:

- продуктивності (витрати газу, $\text{м}^3/\text{год}$);
- повних втрат тиску (Па або мм вод. ст.);
- температури та складу газів;
- розташування очисних апаратів.

Типові пристрої:

- **Радіальні вентилятори** — для створення середнього або високого тиску;
- **Осьові вентилятори** — для великих обсягів при малому опорі;
- **Димососи** — для гарячих газів після котлів;
- **Ежектори** — у випадках агресивних або вибухонебезпечних газів.

Порядок виконання завдання:

1. Використати результати попереднього практичного заняття (втрати тиску та витрата газу).
2. Визначити повний тиск, необхідний для роботи системи.
3. Знайти у довіднику або каталозі тип вентилятора, що відповідає:
 - потрібній продуктивності (Q);
 - тиску (Δp);
 - температурі газу (T).
4. Побудувати графік характеристики системи і вентилятора, визначити робочу точку.
5. Зробити висновок щодо відповідності обладнання вимогам системи.

Контрольні запитання:

1. Які основні параметри враховують при виборі вентилятора?
2. Що таке робоча точка системи?
3. Як змінюється ККД вентилятора при відхиленні від робочої точки?
4. Які особливості мають димососи порівняно з вентиляторами?
5. Які фактори впливають на вибір тягодуттєвого обладнання?

Звіт з практичного заняття повинен містити:

- вихідні дані для розрахунку;
- характеристику обраного вентилятора (тип, марка, параметри);
- побудований графік робочої точки;
- висновки про ефективність підбору обладнання.

Оцінювання:

Критерій	Балів
Точність розрахунків	1
Аргументованість вибору	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №19

Тема: Аналіз складу та характеристик виробничих стічних вод. Вибір методів очищення

Мета заняття: Навчитися аналізувати склад виробничих стічних вод різного походження, визначати типи забруднень та обґрунтовувати вибір оптимальних методів і стадій очищення.

Завдання для виконання:

1. **Вивчити вихідні дані** (обсяг стічних вод, хімічний склад, коливання концентрацій).
2. Визначити **категорію забруднення** (слабке, середнє, сильне).
3. Побудувати **схему потоків** води для обраного типу виробництва (металургія, харчова промисловість, текстиль, нафтопереробка тощо).
4. Обґрунтувати необхідність застосування механічного, фізико-хімічного або біологічного очищення.
5. Підібрати можливу **комбінацію технологічних методів** очищення, що забезпечує нормативну якість очищеної води.
6. Підготувати **таблицю характеристик забруднень** і відповідних методів їх видалення.

Тип забруднення	Джерело утворення	Концентрація, мг/л	Рекомендований метод очищення	Тип обладнання
Завислі речовини	Механічна обробка	200	Відстоювання	Радіальний відстійник
Нафтопродукти	Машинобудування	50	Флотація	Флотаційна установка
Іони важких металів	Гальваніка	20	Іонний обмін	Колона з катіонітом

Питання для обговорення:

1. Як змінюється склад стічних вод залежно від типу виробництва?
2. Чому важливо комбінувати декілька методів очищення?
3. Які фактори впливають на вибір типу очисної споруди?
4. Які екологічні ризики можуть виникати при скиданні неочищених вод?

Форма звіту:

- Короткий опис типу виробництва;
- Таблиця характеристик стічних вод;
- Обґрунтована схема очищення (з етапами);
- Висновки.

Оцінювання:

Критерій	Балів
Повнота аналізу даних	1
Аргументованість висновку	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №20

Тема: Проектування технологічної схеми системи очищення виробничих стічних вод

Мета заняття: Опанувати методику проектування технологічних схем систем очищення та підбору очисного обладнання відповідно до складу стічних вод.

Завдання для виконання:

1. Виходячи з результатів попереднього заняття, **розробити технологічну схему** очищення стічних вод обраного виробництва.
2. Виконати **попередній гідравлічний розрахунок** об'єму відстійників або реакторів (за заданою витратою води Q , часом відстоювання t , об'ємом V).

3. Визначити **тип та кількість обладнання**, необхідного для кожної стадії очищення.
4. Підготувати **ескіз або блок-схему** очисної установки.
5. Провести **порівняльний аналіз** двох варіантів схеми (наприклад, з флотацією і без неї) та вибрати оптимальний.
6. Розрахувати **питомі витрати реагентів** (коагулянтів, флокулянтів) для фізико-хімічного очищення.

Контрольні питання:

1. Які параметри враховуються при гідравлічному розрахунку очисних споруд?
2. Які фактори визначають вибір типу відстійника чи біофільтра?
3. Як визначити ефективність роботи системи очищення?
4. Які показники якості очищеної води підлягають контролю?
5. Як можна підвищити енергоефективність очисних систем?

Форма звіту:

- Технологічна схема системи очищення (графічно або у вигляді блок-схеми);
- Таблиця розрахунків об'ємів і параметрів обладнання;
- Порівняльний аналіз двох схем;
- Висновки щодо ефективності та доцільності запропонованого рішення.

Оцінювання:

Критерій	Балів
Точність розрахунків	1
Аргументованість вибору	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №21

Тема: Аналіз і вибір допоміжного обладнання систем очищення виробничих стічних вод

Мета заняття: Закріпити знання про види допоміжного обладнання, навчитися виконувати техніко-економічне обґрунтування вибору насосного, дозувального та змішувального обладнання для систем очищення стічних вод.

Завдання для виконання:

1. Проаналізувати технологічну схему очищення стічних вод заданого підприємства (варіант згідно з індивідуальним завданням).
2. Визначити потребу у допоміжному обладнанні:
 - насосні станції;
 - дозувальні системи реагентів;
 - змішувачі (механічні або гідравлічні).
3. Вибрати конкретні моделі насосів або дозаторів з урахуванням:
 - продуктивності (Q , м³/год);
 - напору (H , м);
 - хімічної стійкості матеріалів;
 - енергоспоживання.
4. Скласти таблицю характеристик обраного обладнання.
5. Побудувати спрощену схему розміщення вибраного обладнання у системі очищення.

Контрольні запитання:

1. Які фактори визначають вибір насосного обладнання?
2. Чим відрізняються механічні змішувачі від гідравлічних?
3. Які вимоги висуваються до матеріалів конструкції дозаторів?
4. Як визначається продуктивність насоса?
5. Які переваги має автоматичне дозування реагентів?

Форма звіту:

- Таблиця характеристик обраного обладнання;
- Розрахунок продуктивності;
- Схема розміщення;
- Висновки щодо доцільності вибору.\

Оцінювання:

Критерій	Балів
Точність розрахунків	1
Аргументованість вибору	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №22

Тема: Проектування комплексу допоміжного обладнання для системи очищення стічних вод

Мета заняття: Навчитися проектувати взаємопов'язану систему допоміжного обладнання — насосів, компресорів, дозаторів, аераторів — з урахуванням технологічних параметрів процесу.

Завдання для виконання:

1. Вихідні дані: об'єм стічних вод — 800 м³/добу; концентрація завислих речовин — 250 мг/л; необхідний рівень очищення — 95 %.
2. Розробити технологічну схему руху води через очисні споруди (з урахуванням допоміжного обладнання).
3. Провести розрахунок:
 - кількості насосів і їх параметрів (Q, H, η);
 - витрати повітря для аерації;
 - параметрів дозаторів коагулянтів.
4. Вибрати тип компресорів і аераційних систем (з обґрунтуванням).
5. Розробити схему автоматизації роботи насосної станції та дозування реагентів.

Контрольні запитання:

1. Як визначається кількість резервних одиниць обладнання?
2. Які фактори впливають на енергоефективність компресорів?
3. У чому полягає призначення аераційних систем у біореакторах?
4. Як здійснюється контроль і автоматизація подачі реагентів?
5. Які переваги комплексного проектування допоміжного обладнання?

Форма звіту:

- Розрахункові таблиці параметрів обладнання;
- Технологічна схема системи очищення;
- Графічне відображення зв'язків між елементами;
- Короткі висновки (ефективність, енергоспоживання, резервування).

Оцінювання:

Критерій	Балів
Точність розрахунків	1
Аргументованість вибору	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №23

Тема: Аналіз складу та класифікація твердих промислових відходів

Мета: Закріпити знання про класифікацію та властивості твердих відходів, навчитися проводити аналіз їх складу і визначати можливі шляхи утилізації.

Теоретичні положення:

1. Тверді відходи як об'єкт технологічного проектування.
2. Класифікація відходів за походженням, безпекою, складом і можливістю утилізації.
3. Основні властивості, що впливають на вибір технології утилізації (гранулометричний склад, вологість, теплотворність, токсичність).
4. Методи попереднього аналізу відходів (хімічний, фізико-механічний, термічний, біологічний).

Хід роботи:

1. Провести збір даних про склад і кількість твердих відходів певного підприємства (за вибором або з наданої таблиці).
2. Визначити їхню класифікаційну групу (походження, ступінь небезпеки, можливість утилізації).
3. Запропонувати попередній варіант напрямів оброблення чи повторного використання.
4. Побудувати таблицю класифікації відходів підприємства.

Таблиця 1. Класифікація твердих відходів

№	Назва відходу	Джерело утворення	Основні компоненти	Клас небезпеки	Можливість утилізації
1					
2					

Питання для обговорення:

1. Які основні критерії визначають вибір методу утилізації відходів?
2. Чим відрізняються токсичні відходи від інертних?
3. Які властивості впливають на вибір технологічного обладнання?

Індивідуальні завдання:

- Провести оцінку складу твердих відходів конкретної галузі (металургія, хімічна промисловість, енергетика, харчова промисловість).
- Побудувати схему класифікації відходів і вказати їх потенційну цінність як вторинної сировини.

Звітність:

У звіті повинні бути наведені:

- коротка характеристика обраного підприємства або галузі;
- таблиця класифікації відходів;
- схема потоків утворення відходів;
- висновки щодо можливих шляхів утилізації.

Оцінювання:

Критерій	Балів
Повнота аналізу даних	1
Аргументованість вибору	1
Разом	2 бали

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ №24

Тема: Розроблення технологічної схеми утилізації твердих промислових відходів

Мета: Навчитися розробляти технологічну схему утилізації твердих відходів, підбирати відповідне обладнання та обґрунтовувати екологічні й економічні аспекти.

Теоретичні положення:

1. Етапи проєктування технологічних процесів утилізації.
2. Вибір напрямку оброблення — механічне, термічне, хімічне, біотехнологічне.
3. Основні типи обладнання для перероблення твердих відходів.
4. Принципи екологічної безпеки та енергозбереження в технологіях утилізації.

Хід роботи:

1. Обрати вид відходів для утилізації (на основі попереднього заняття).
2. Визначити оптимальний напрям перероблення (механічний, термічний, біохімічний тощо).
3. Розробити технологічну схему з описом кожного етапу (оброблення, транспортування, знешкодження, утилізація).
4. Виконати попередній підбір обладнання для основних операцій (дробарка, сепаратор, піч, фільтр, прес тощо).
5. Провести порівняльну оцінку двох можливих варіантів технологій за критеріями: енергоємність, екологічна безпека, економічна ефективність.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика технологій утилізації

№	Назва технології	Основні операції	Тип обладнання	Екологічна оцінка	Економічна оцінка	Висновок
1						
2						

Питання для обговорення:

1. Як впливає вибір технологічного процесу на кількість залишкових відходів?
2. Які методи дозволяють досягти комплексної утилізації?
3. У чому полягає роль енергетичного балансу у виборі технології?
4. Як визначити економічну ефективність технології утилізації?

Індивідуальні завдання:

- Розробити спрощену технологічну схему переробки певного виду промислових відходів.
- Підібрати обладнання за технічними параметрами (продуктивність, потужність, енерговитрати).
- Виконати порівняльний аналіз двох варіантів технологій за критеріями «вартість – ефективність – екологічна безпечність».

Звітність:

Студент повинен представити:

- опис вибраного процесу утилізації;
- графічну схему технологічного процесу (у вигляді блок-схеми або структурної діаграми);
- таблицю порівняння технологій;
- висновки щодо ефективності обраного варіанту.

Оцінювання:

Критерій	Балів
Точність розрахунків	1
Аргументованість вибору	1
Разом	2 бали