

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання курсового проєкту з курсу
«Обладнання захисту біосфери» для студентів
спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології
захисту навколишнього середовища» усіх форм
навчання**

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету,
пр.№1 від 28.01.2022 р.

Харків
НТУ «ХП»
2022

Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з курсу «Обладнання захисту біосфери» для студентів спеціальностей 101 «Екологія» та 183 «Технології захисту навколишнього середовища» усіх форм навчання/ уклад.:
Н. М. Самойленко, Т. Б. Новожилова, А. О. Баранова,
В. Д. Катенін – Харків: НТУ «ХПІ», 2022. – 44 с.

Укладачі: Н. М. Самойленко,
Т.Б. Новожилова,
А.О. Баранова,
В.Д. Катенін

Рецензент І.Л. Красніков

Кафедра Хімічна техніка та промислова екологія

ПЕРЕДМОВА

Виготовлення продукції на підприємствах супроводжується утворенням забруднюючих речовин, для видалення яких із забруднених потоків, що надходять у доквілля, застосовуються різноманітні методи та технічні засоби. Метою курсового проекту є розробка інженерних рішень щодо використання очисного обладнання чи споруд задля підвищення екологічної безпеки діяльності об'єктів промислової та непромислової сфери. Завданням курсового проекту є розробка системи очистки забруднених викидів і скидів, обґрунтування вибору найефективнішого очисного обладнання чи споруд та проведення інженерних розрахунків запропонованих технічних засобів.

У даних вказівках приводяться методики розрахунку найбільш поширеного обладнання та споруд, що призначені для очищення викидів та скидів.

1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

1.1 Структура та оформлення проекту

Курсовий проект включає текстову та графічну частини. Загальний його обсяг складає: 2 – 3 аркуші креслень формату А1 та 20 – 25 сторінок тексту, представленого у форматі А4. Шрифт - TimesNewRoman. Розмір шрифту - 14пт.Інтервал - 1,5.

Оформлення пояснювальної записки (текстової частини проекту) відповідає вимогам стандарту СТЗВО-ХПП-3.01-2021.

У загальному випадку проект містить:

- титульний аркуш;
- аркуш–завдання;
- реферат;
- зміст;
- перелік познач та скорочень (за наявності);
- вступ;
- основну частину;
- висновки;
- список джерел інформації;
- додатки (за наявності).

Реферат та зміст розробляються у відповідності зі стандартом СТЗВО-ХПП-3.01-2021.

Основна частина пояснювальної записки включає:

- вступ;
- текстовий блок, що розриває суть проєкту ;
- висновки;
- список джерел інформації;
- додатки (за необхідності).

Структура і склад основної частини проєкту може змінюватись в залежності від специфіки теми та відповідного напрямку роботи за обраною темою.

У відповідності з індивідуальним завданням на проєктування, що видається викладачем, графічна частина проєкту може включати:

- принципovu схему очистки викидів (скидів);
- кресленики очисних апаратів (споруд).

1.2 Завдання курсового проєкту

За темою проєкту викладач розробляє завдання на курсовий проєкт, у якому вказується мета та висвітлюється зміст пояснювальної записки.

1.3 Зміст проєкту

Конкретний зміст частин проєкту, який направлений на вирішення індивідуального завдання, визначає керівник; при цьому студентом виконуються основні вимоги щодо структури проєкту. Рекомендується у розділах пояснювальної записки розглянути наступні складові.

1.4 Вступ

Зміст вступу повинен включати актуальність теми проєкту, а також його мету та завдання. Крім того, у вступі доцільно вказати новизну та практичне значення результатів, які можуть бути одержані при проєктуванні.

1.5 Огляд літературних джерел

Проводиться огляд (аналіз) літературних джерел щодо теми проєкту. Представляється коротка характеристика обладнання, яке використовується у техніці очищення викидів (скидів). Аналізуються сучасні та найбільш перспективні розробки щодо природоохоронних технологій та очисного обладнання, які відповідають темі або напрямку досліджень у проєкті.

Для літературного огляду використовується достовірна інформація технічного, науково-технічного та наукового характеру, у

тому числі що представлена у формі електронного ресурсу. При цьому в тексті на всі літературні джерела приводяться посилання, що вказуються у списку джерел інформації, який приводиться в кінці пояснювальної записки. Посилання зазначаються у квадратних дужках, наприклад, [10], де 10 – порядковий номер літературного джерела у списку джерел інформації. При посиланні на окремий фрагмент тексту вказується номер сторінки: [10, с.28]. Запис с. 28 означає, що цитата приведена на сторінці 28 джерела 10.

Для літературного огляду використовується інформація з публікацій останніх 5 років. Якщо матеріалу недостатньо, то допускається звертання до видань більш пізнього періоду. Водночас даних видань у загальному списку повинно бути не більше 30-35 % від усього переліку джерел інформації.

1.6 Характеристика виробничого процесу та його вплив на довкілля

Коротко описується виробництво продукції чи надання послуг. Визначаються джерела утворення забруднюючих речовин та характеризується їх негативна дія на навколишнє середовище.

1.7 Система очищення викидів(скидів) та характеристика обладнання (споруд)

Описується проект системи очищення забруднених викидів (скидів). Приводиться детальна характеристика очисних апаратів та споруд схеми очистки викидів або скидів.

1.8 Розрахунки очисного обладнання

У відповідності з вихідними даними до курсового проекту виконуються розрахунки апаратів системи очистки. За визначеними розмірами виконуються кресленники апаратів, що представляються у графічній частині проекту.

1.9 Висновки

Висновки узагальнюють одержаний при виконання курсового проекту результат. У них коротко представляються основні висновки по кожному розділу пояснювальної записки проекту. Рекомендується абзаци висновків нумерувати та представляти у них окремі етапи роботи.

1.10 Список джерел інформації

Список джерел інформації повинен включати не менше ніж 10-15 публікацій. Оформлення даного списку відповідає вимогам СТЗВО-ХПП-3.01-2021.

2 ПЕРЕЛІК ТЕМ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

Тематика курсових проєктів розробляється на кожен навчальний рік. При цьому студент обирає її самостійно або може запропонувати свою тему проєкту та обґрунтувати її доцільність.

Перелік тем курсового проєкту

1. Вибір та обґрунтування обладнання для очищення викидів чавуноливарного цеху.
2. Розробка системи очистки викидів конверторного виробництва та обґрунтування вибору очисного обладнання.
3. Розробка системи очистки викидів процесу збагачення мінеральної сировини та обґрунтування вибору очисних апаратів.
4. Розробка системи очистки викидів виробництва мінеральних добрив та обґрунтування вибору очисних апаратів.
5. Розробка системи очистки викидів виробництва хлору та обґрунтування вибору очисних апаратів.
6. Розробка системи очистки викидів виробництва сульфатної кислоти та обґрунтування вибору очисних апаратів.
7. Розробка системи очистки викидів цементного виробництва та обґрунтування вибору очисних апаратів.
8. Розробка системи очистки викидів цеху виробництва фосфатної кислоти та обґрунтування вибору очисних апаратів.
9. Розрахунок установки зворотного осмосу для очищення стічних вод від розчинених домішок.
10. Вибір та розрахунок параметрів технологічної схеми очистки стічних вод від зважених речовин та обґрунтування вибору очисних апаратів.
11. Розробка схеми очищення стічних вод теплової електричної станції та обґрунтування вибору очисних апаратів.
12. Біохімічна очистка стічних вод нафтопереробного підприємства та обґрунтування вибору очисних апаратів та споруд.
13. Розробка схеми очищення стічних вод гальванічної дільниці та обґрунтування вибору очисних апаратів.
14. Вибір та обґрунтування обладнання для очистки стічних вод підприємства по виробництву м'ясних виробів.

15. Розробка схеми очищення стічних вод машинобудівного підприємства та обґрунтування вибору очисних апаратів

3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ЗАБРУДНЕНИХ ВИКИДІВ ТА РОЗРАХУНКУ ОБЛАДНАННЯ

3.1 Принципові підходи до вибору способу та технічного засобу очистки викидів

Найбільш ефективним рішенням забезпечення захисту довкілля від шкідливого впливу діяльності об'єктів виробничої та невиробничої сфери є використання екологічно чистих технологій, альтернативних та відновлювальних джерел енергії та ін. Водночас за неможливості реалізувати у теперішній час дані напрямки актуальною є розробка і застосування високоефективних систем очистки викидів.

Загальною вимогою щодо роботи очисного обладнання є дотримання встановленої величини ГДВ. Це забезпечує надходження у повітряний басейн забруднюючої речовини на рівні, який не перевищує її ГДК за межами санітарно-захисної зони. Враховуючи значення вхідної (початкової) та кінцевої (вихідної) концентрації забруднюючої речовини у пилогазовому потоці, що подається у очисний апарат, розраховується необхідний ступінь очищення викиду від конкретного забруднювача. На його основі проводиться орієнтовний вибір очисного апарату, який відповідає необхідному діапазону ефективності очистки викидів.

При розробці системи очистки та вибору апарату необхідно аналізувати інформацію щодо умов утворення викидів, складу та властивостей забруднювачів, а також подальшої переробки та утилізації продуктів, які утворюються у процесі очистки. Крім того, сучасні системи очистки викидів повинні передбачати відбір тепла нагрітих потоків, яке може бути корисно використане як для технологічних, так і господарчо-побутових цілей. На вибір очисного обладнання впливають і економічні характеристики: чим вище ефективність очищення пилогазових потоків в апараті, тим вище його вартість.

У теперішній час розроблені різні методи та технічні засоби, що дозволяють провести грубу і тонку очистку викидів від пилу, а також з високою ефективністю очистити забруднений потік від газо- та пароподібних домішок. При виборі очисного апарату доцільно надавати перевагу сухим методам очищення газопилових потоків. Позитивними характеристиками таких методів у порівнянні з мокрими є: відсутність споживання води, систем водопостачання та шламової каналізації; зменшення операцій підготовки уловленого продукту в процесі утилізації;

зниження витрат електроенергії та зменшення корозійного руйнування обладнання і комунікацій, покращення умов розсіювання шкідливих викидів в атмосфері. Водночас мокре пиловловлювання може мати переваги в умовах утворення вибухонебезпечних газів, які підлягають подальшій очистці. Також особливістю даного пиловловлювання є застосування в системах очищення нагрітих газопилових потоків, що потребують охолодження і зволоження. В умовах лімітування виробничих площ мокрим пиловловлювачам надається перевага у порівнянні з рукавними фільтрами, а в деяких випадках і електрофільтрами, якщо останні неможливо розмістити зовні будівлі (рукавні фільтри та електрофільтри відносяться до досить громіздких апаратів).

Ступінь ефективності очищення у пиловловлюючих апаратах залежить від дисперсності пилу і враховується при виборі технічного засобу очищення. Так, наприклад, у сухих циклонах добре вловлюється часточки пилу розміром приблизно 10 -15 мкм, порожнинних скруберах – 15-20 мкм, у пінних апаратах – 3-5 мкм та ін. Дрібнодисперсний пил рекомендується уловлювати у скруберах Вентурі, рукавних фільтрах та електрофільтрах. Таким чином, апарати газоочищення слід вибирати на основі не тільки необхідної ефективності очищення викидів, але й відповідній їй дисперсності пилу.

Технологічні і аспіраційні викиди промислових підприємств є складними аерозольними системами, які містять забруднювачі різного агрегатного складу: пил сировини або готового продукту, газо- та пароподібні компоненти і ін. При цьому дисперсний склад твердих частинок міняється у широких межах. Дані особливості викидів ускладнюють вибір очисного обладнання, а також його експлуатацію у оптимальному режимі та потребують застосування багатоступінчастих систем очищення. У промислових системах очистки викидів використовується паралельне і послідовне з'єднання апаратів. На практиці більш поширеним є послідовне з'єднання, при якому не відбувається поділ проміжних потоків, а ефективність очистки викидів збільшується. Паралельне ж з'єднання застосовують при необхідності очищення великих обсягів газу і відносно малій продуктивності одиничних апаратів.

Основними характеристиками очисного апарату є продуктивність по забрудненому газу, ефективність очистки викиду від конкретного забруднювача, гідравлічний опір, експлуатаційна надійність, вартість очистки, а також енергоємність (витрати енергії на очистку 1000 м³ газу). Для здійснення проектування очисних систем або окремого апарату

замовник надає розробнику перелік вихідних даних у необхідному для цього обсязі.

Звичайно газоочисні апарати характеризуються певними технічними характеристиками та робочими параметрами, які вказуються виробниками та які визначають експлуатаційні особливості. Наприклад, при виборі рукавного фільтру розглядають такі характеристики як продуктивність за газовим середовищем, площа фільтрації, дисперсність пилу, ефективність знепилювання, температура потоку, метод очищування рукавів, фільтрувальний матеріал та ін.

Розглянуті підходи до вибору обладнання та проектування систем очищення є загальними. Остаточний вибір проводиться з урахуванням режиму роботи апарату, перспектив зміни виробничих потужностей та ін.

3.2 Методики проведення розрахунків та вибору газоочисних апаратів

3.2.1 Розрахунок основних характеристик рукавних фільтрів

При проведенні технологічного розрахунку рукавного фільтру враховуються такі основні дані:

- характеристика забруднених газів на вході у фільтр: середня об'ємна витрата газу при робочих та нормальних умовах, склад газів та їх вибухонебезпечність, температура і тиск, допустимість підсосу, вміст вологи;

- ефективність очищення викиду від пилу;

- властивості пилу: розподіл часток за розмірами, середня і максимальна масова концентрації, хімічний склад пилу та вміст токсичних речовин, гігроскопічність та схильність до злипання, вибуховість і горючість, щільність, електризованість, абразивність, величина ГДК;

- характеристика джерела виділення пилу (відомості щодо технологічного процесу та обладнання, у тому числі його періодичність);

- вимоги щодо поводження з уловленим пилом: ресурсна цінність, можливість та умови утилізації;

- вимоги до фільтру, який розраховується: допустимий опір апарату, задана величина вихідної концентрації, габаритні розміри, місце розташування та кліматичні умови, допоміжне обладнання, капітальні та експлуатаційні витрати і ін.

У даному підрозділі приводиться методика розрахунку найбільш поширеного рукавного фільтру з імпульсною регенерацією типу ФРІР.

Сучасні фільтри ФРІР мають широке використання, а саме: чорна та кольорова металургія, гірничодобувна галузь, промисловість виробництва будівельних матеріалів, енергетика, машинобудування (ливарне виробництво, металообробка); хімічна промисловість; харчова та переробна галузь; виробництво паперу, деревообробка, меблеве виробництво та ін.

Величина ефективності очищення приймається по інформації, що приводиться у каталогах підприємств з виготовлення даного обладнання і є оцінною.

Площа фільтрації тканинного фільтру розраховується за формулою:

$$F_{\phi} = V_n / 60 \cdot Q \quad (3.1)$$

де F_{ϕ} – площа фільтрації в одночасно працюючих секціях, m^2 ; V_n – об'ємна витрата газів, що очищаються, $m^3/год$; Q – питома газове навантаження на тканину, $m^3/m^2 \cdot хв$.

Питома газове навантаження на фільтрувальну перегородку коливається для рукавних фільтрів від 0,3 до 6 $m^3/(m^2 \cdot хв)$. Всередині цього діапазону вибір оптимального значення залежить від багатьох факторів, до яких в першу чергу, відносяться властивості уловлюваного пилу, спосіб регенерації фільтрувальних елементів, концентрація пилу в газі, структура фільтрувального матеріалу, температура газів, що очищаються. З достатньою для практичних розрахунків точністю питома газове навантаження в рукавних фільтрах визначають з наступного виразу:

$$Q = Q_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5, \quad (3.2)$$

де Q_n – нормативне питома газове навантаження, $m^3/(m^2 \cdot хв)$ (додаток 1); C_1 – коефіцієнт, що характеризує систему регенерації фільтруючих елементів (додаток 2); C_2 – коефіцієнт, що враховує вплив вхідної концентрації пилу на питома газове навантаження (додаток 3); C_3 – коефіцієнт, що враховує вплив дисперсного складу пилу в газі (додаток 4); C_4 – коефіцієнт, що враховує вплив температури забрудненого газу (додаток 5); C_5 – коефіцієнт, що враховує вимоги до якості очищення газу від пилу (при концентрації пилу у забрудненому газі до $30 \text{ мг}/m^3$ дорівнює 1, при концентраціях пилу, що не перевищує $10 \text{ мг}/m^3$, дорівнює 0,95).

Основні властивості найбільш поширених фільтрувальних тканин приведені у додатку 6.

Для коефіцієнта C_1 , що враховує вплив особливостей регенерації фільтрувальних елементів, приймається фільтр з імпульсною продувкою стисненим повітрям з рукавами з тканини. Для цього апарата коефіцієнт $C_1 = 1$.

Регенерація фільтрів з імпульсною продувкою проводиться автоматизовано і відключення камер не потрібно. Загальна фільтруюча поверхня приймається як такою, що дорівнює робочій.

При виборі рукавних фільтрів важливим є оцінка очікуваного гідравлічного опору, що визначає енергетичні витрати на фільтрування.

Гідравлічний опір фільтра в Па складається з опору корпусу ΔP_k і опору фільтрувальної перегородки ΔP_n :

$$\Delta P_\phi = \Delta P_k + \Delta P_n. \quad (3.3)$$

В загальному виді гідравлічний опір може бути оцінений коефіцієнтом опору корпусу апарату, який віднесений до швидкості газу у вхідному патрубку:

$$\xi_k = \Delta P_k / (V_{ex}^2 \cdot \rho_g), \quad (3.4)$$

де V_{ex} – швидкість газу у вхідному патрубку, м/с;

ρ_g – густина газу, кг/м³

Величина ξ_k при конструюванні фільтрів звичайно приймається рівною 1,5 – 2,0.

$$V_{вк} = V_n / (3600 \cdot S_{вк}), \quad (3.5)$$

де $V_{вк}$ – швидкість газу у вхідному патрубку, м/с;

$S_{вк}$ – площа вхідного перерізу патрубка, м.

Гідравлічний опір фільтрувальної перегородки включає втрати напору за рахунок самої перегородки (ΔP_n^I) і втрати за рахунок осілого на перегородку пилу (ΔP_n^{II}):

$$\Delta P_n = \Delta P_n^I + \Delta P_n^{II}. \quad (3.6)$$

Величину ΔP_n^I (в Па) обчислюють за виразом:

$$\Delta P_n^1 = K_n \cdot \mu \cdot w^n, \quad (3.7)$$

де K_n – коефіцієнт, що характеризує опір фільтрувальної перегородки, м^{-1} ; μ – динамічна в'язкість газу, Па с; w – швидкість фільтрування, $\text{м} / \text{с}$; n – показник ступеню, що залежить від режиму течії газу крізь перегородку (для ламінарного режиму $n = 1$, для турбулентного $n > 1$).

Коефіцієнт K_n , який залежить від товщини та проникливості фільтрувальної перегородки, властивостей і кількості пилу, що залишився після регенерації на перегородці, визначається експериментально.

Для фільтрувальних тканин з лавсану, що вловлюють цементний або кварцовий пил з медіанним діаметром часток в межах 10–20 мкм, $K_n = (1100–1500) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, для тих же матеріалів при вловлюванні відгонів від сталеплавильних дугових печей з медіанним діаметром часток 2,5–3,0 мкм $K_n = (2300–2400) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Для більш щільних тканин (скло-тканина) для такого пилу коефіцієнт K_n збільшується в 1,2–1,3 рази. При уловлюванні пилу розміром частинок менше 1 мкм коефіцієнт K_n збільшується в 2–3 рази. При уловлюванні відгонів кремнію з медіанним діаметром 0,6 мкм він становить $(13000–15000) 10^5 \text{ м}^{-1}$. Наведені значення коефіцієнтів не ураховують можливе збільшення його в присутності вологи.

Опір в Па, викликаний пилом, що осів на перегородку, розраховується за рівнянням:

$$\Delta P_n^{11} = \mu \cdot \tau \cdot C_{\text{ex}} \cdot V^2 K_1, \quad (3.8)$$

де τ – тривалість фільтрувального циклу, с; C_{ex} концентрація пилу на вході у фільтр, $\text{кг}/\text{м}^3$; V – швидкість потоку запиленого повітря у вихідному патрубку, $\text{м}/\text{с}$; K_1 – параметр опору шару пилу, $\text{м}/\text{кг}$.

Величина K_1 залежить від властивостей пилу і пористості шару пилу на перегородці. Для цементу з медіанним діаметром часток $d_m = 12–20$ мкм $K_1 = (6,5–16) \cdot 10^9 \text{ м}/\text{кг}$, для частинок кремнію з $d_m = 0,7$ мкм $K_1 = 330 \cdot 10^9 \text{ м}/\text{кг}$, для відгонів сталеплавильної дугової печі з $d_m = 3$ мкм $K_1 = 80 \cdot 10^9 \text{ м}/\text{кг}$.

Якщо загальний гідравлічний опір фільтру перевищує допустиму величину (2800 Па), то необхідно змінити марку фільтру на таку, що має більшу площу, та провести повторні розрахунки.

Вибір марки фільтру з імпульсною регенерацією проводиться за каталогом очисного обладнання підприємства [15].

3.2.2 Розрахунок і вибір електрофільтру

Для розрахунку сухого електрофільтру може бути використано декілька методик з різним ступенем деталізації. Обов'язковим при цьому є визначення площі активної зони фільтру та необхідної ефективності очистки забрудненого газу.

Густина газу при робочих умовах (ρ_z) розраховується за формулою:

$$\rho_z = \rho_o \cdot [(P_a - P_e) / P_a] \cdot [273 / (273 + T)], \quad (3.9)$$

де ρ_o – густина газу перед електрофільтром, кг/м³; P_a – атмосферний тиск, кПа; P_e – розрідження газу в електрофільтрі, кПа; T – температура газу на вході в електрофільтр, °С.

Об'єм забрудненого газу (Q_p) складає:

$$Q_p = (Q_0 \rho_0) / 3600 \cdot \rho_z, \quad (3.10)$$

де Q_0 – витрати газу перед електрофільтром, м³/год.

Для часток розміром $d_u = 2-50$ мкм швидкість дрейфу часток (w_0) розраховується за рівнянням:

$$w_0 = (0,059 \cdot 10^{-10} E^2 d_u) / \mu, \quad (3.11)$$

де E – напруженість електричного поля, В/м.

Для електрофільтрів сухої очистки $E = 30 \cdot 10^4$ В/м.

μ – в'язкість газів, Па·с.

Швидкість дрейфу визначається окремо для найменших та найбільших часток, які присутні у викиді.

Активний переріз електрофільтру S складає:

$$S = K \cdot Q_p / V, \quad (3.12)$$

де $K = 1,1$ — коефіцієнт запасу, який враховує підсмоктування атмосферного повітря; V — швидкість газу в активному перетині, м/с.

По знайденій площі з каталогу [16] вибирається марка електрофільтру.

Питома поверхня осадження електрофільтру (f):

$$f = S^1 / Q_p, \quad (3.13)$$

де S^1 — площа осаджувальних електродів, м²

Ступінь очистки газу в електрофільтрі (η) доцільно визначати для часток, що мають найменший розмір:

$$\eta = [1 - \exp(-w_o \cdot f)] 100\% \quad (3.14)$$

3.2.3. Розрахунок скрубера Вентурі

При розрахунку скрубера Вентурі визначають наступні основні характеристики: ступінь очистки, питому енергію, що витрачається на пиловловлювання; витрати зрошувальної рідини, гідравлічний опір труби та швидкість газу в ній, а також діаметр труби Вентурі.

Необхідний ступінь очистки газу у скрубери η знаходиться за формулою:

$$\eta = (C_{вх} - C_{вих}) / C_{вх}, \quad (3.15)$$

де $C_{вх}$ і $C_{вих}$ — відповідно вхідна та вихідна концентрація забруднюючої речовини у викиді, г/м³.

Питома енергія K_v в кДж, яка витрачається на пиловловлювання 1000 м³ газу, визначається з виразу:

$$K_v = \exp \left\{ \left[\ln^{-\ln(1-\eta)/B} \right] / X \right\}, \quad (3.16)$$

де B та X — параметри, що залежать від виду пилу (додаток 7).

Загальний гідравлічний опір скрубера ΔP складає:

$$\Delta P = K_v - P_g m, \quad (3.17)$$

де P_g – напір рідини, яка подається на зрошення, кДж;

m – питома витрата рідини, що подається на зрошення, $\text{дм}^3/\text{м}^3$.

При вловлюванні мілкодисперсного пилу та центральній подачі рідини через сопло значення m приймають рівним $0,005\text{--}0,007 \text{ м}^3/\text{м}^3$; при уловлюванні грубодисперсного пилу у низьконапірних трубах $m = 0,001\text{--}0,002 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Напір рідини, що розпилюється, дорівнює $300\text{--}350$ кПа.

Питомі витрати води залежать від швидкості газів у скрубєрі. Рекомендується приймати наступні значення величини m :

– при швидкості газу $70\text{--}100$ м/с m приймається в межах $(0,25\text{--}0,4) 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$;

– при швидкості газу $40\text{--}70$ м/с m складає $(0,4\text{--}1,25) 10^{-3} \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Густина газу ρ_r на вході у скрубєр при робочих умовах дорівнює:

$$\rho_r = \rho_o \cdot [273(101,3 - P_1)] / [(273 + T_c)101,3], \quad (3.18)$$

де ρ_o – густина газу, що поступає на очистку при н.у., $\text{кг}/\text{м}^3$;

P_1 – розрідження перед трубою Вентурі, кПа;

T_c – температура газу, $^\circ\text{C}$.

Об'ємна витрата газу, який поступає на очистку при робочих умовах V_p , визначається як:

$$V_p = V_o \rho_o / \rho_r, \quad (3.20)$$

де V_o – витрати газу, що поступає на очистку, $\text{м}^3/\text{год}$

Витрати зрошувальної рідини M складають: $M = mV_p$.

Гідравлічний опір труби Вентурі ΔP_{mp} розраховується за формулою:

$$\Delta P_{mp} = \Delta P - P_{кр}, \quad (3.21)$$

де $P_{кр}$ – гідравлічний опір краплєвловлювача, Па.

Температура газу на виході із труби Вентурі T_k обчислюється за формулою:

$$T_k = (0,133 - 0,041m) T_c + 35 \quad (3.22)$$

Густина газу на виході із труби ρ_k складає:

$$\rho_k = \rho_o \cdot \left[273(101,3 - P_1 - \Delta P_{mp}) / (273 + T_k) 101,3 \right] \quad (3.23)$$

Об'ємні витрати газу на виході із труби $V_{вих}$ визначаються за формулою:

$$V_{вих} = V_o \rho_o / \rho_k \quad (3.24)$$

Діаметр циклона – краплевлловлювача D знаходиться при швидкості газу у циклоні $W_u = 2,5$ м/с:

$$D = 1,13 \sqrt{\frac{V_{вих}}{W_u}} \quad (3.25)$$

Висота циклону H дорівнює $2,5 \cdot D$

Гідралічний опір циклону ΔP_u розраховується за формулою:

$$\Delta P_u = (\xi_c W_u^2 \rho_k) / 2, \quad (3.26)$$

де ξ – коефіцієнт опору циклону-краплевлловлювача

Коефіцієнт опору, який зумовлений введенням рідини, що зрошує, для нормалізованої труби Вентурі:

$$\xi_{жк} = 0,63 \xi_c m^{-0,3}, \quad (3.27)$$

де $\xi_c = 0,145$ – коефіцієнт опору «сухої» нормалізованої труби Вентурі.

Необхідна швидкість газів у горловині труби Вентурі W_z :

$$W_z = \left[(2\Delta P_{mp}) / (\xi_c \rho_k + \xi_{жк} \rho_{жк} m) \right]^{1/2}, \quad (3.28)$$

де $\rho_{жк}$ – густина рідини, що зрошує. Для води $\rho_{жк} = 1000$ кг/м³.

Діаметр горловини труби Вентурі d розраховується за формулою:

$$d = 1,13 (V_{вих} / W_z)^{1/2} \quad (3.29)$$

Одержаний результат діаметра горловини (мм) округлюють до найближчого стандартного діаметру, наприклад: 115, 135, 155, 180, 200, 240, 280, 320, 370, 420. За довідниковими даними вибирають марку скрубера Вентурі, а також відповідний циклон – краплевловлювач.

4. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА РОЗРАХУНКУ ОБЛАДНАННЯ І СПОРУД

4.1 Методи та обладнання для очищення стічних вод

Стічні води за своїм фазово-дисперсним станом не однорідні і являють собою суспензії, колоїдні, молекулярні та іонні розчини. Відповідно цьому забруднюючі речовини, що містяться в них, різноманітні за своїм типом та властивостями. Для видалення забруднюючих речовин зі стічних вод необхідно використання різного роду методів та відповідного їм очисного обладнання.

Вибір методу та технології, за якою здійснюється очищення забруднених стічних вод, залежить від показників стічних вод та відхилень цих показників відносно природних вод. У загальному випадку розглядаються:

- вимоги щодо якості очищених вод, ефективності видалення кожної домішки;
- склад стічних вод, фазово-дисперсний стан забруднюючих речовин, їх властивості та концентрації;
- обсяги забруднених вод та продуктивність обладнання (пропускна здатність споруд);
- площа, що виділяється для розташування обладнання чи будівництва споруд;
- характеристика матеріальних та енергетичних ресурсів, необхідних для проведення процесу очищення.

У теперішній час розроблено та практично використовується досить багато методів очищення стічних вод. При цьому системи очистки

забруднених вод можуть включати використання як одного з них, так і комбінування певних методів, що дозволяє досягати заданої ефективності покомпонентного очищення домішок.

Очищення стічних вод за ознакою призначення включає методи видалення грубодисперсних і диспергованих нерозчинних домішок, тонкодиспергованих і розчинних домішок та, крім цього, знезараження. Для видалення зі стічних вод грубодисперсних домішок використовується відстоювання, проціджування, фільтрація, освітлення у зваженому шарі осаду, а також застосування центробіжних сил. Очищення стічних вод від дрібнодисперсних речовин здійснюється коагуляцією, флокуляцією, електрохімічними методами (електрокоагуляцією, електрофлотацією, електрофлотокоагуляцією, гальванокоагуляцією), а також із застосуванням мембранних технологій. Неорганічні речовини видаляються зі стоків іонним обміном, зворотнім осмосом, електродіалізом. Також може бути використано виморожування та хімічне очищення, що передбачає взаємодію забруднюючої речовини і реагенту. Очищення забруднених вод від органічних речовин здійснюється багатьма методами, серед яких знаходять застосування адсорбція, екстракція, ректифікація, зворотний осмос, ультрафільтрація, електрохімічне та рідкофазне окиснення, а також біологічне очищення.

Для підвищення ефективності очищення стічних вод додатково може бути використана магнітна, електромагнітна обробка, іонізуюче випромінювання. Оброблення води у магнітному полі дозволяє зменшити концентрацію солей магнію, кальцію та окремих органічних сполук. Іонізуючий вплив направлений на знешкодження вод від токсичних домішок.

Стічні води можуть підлягати і очищенню, і знезараженню. Так, вода, очищена на очисних спорудах, перед скидом у водойму обов'язково проходить знезараження. Також цей процес має місце на підприємствах

при очищенні стічних вод у замкнутій системі водозабезпечення Фізичний спосіб знезараження включає ультразвукову, ультрафіолетову та іонізуючу обробку, хімічний – застосування озону, діоксиду хлору, гіпохлориту натрію та інших реагентів. Використовується комбінування способів.

У таблиці 4.1 приведені відомості щодо використання методів очищення стічних вод від найбільш розповсюджених типів забруднюючих речовин.

Таблиця 4.1 – Методи очищення стічних вод від різних типів забруднюючих речовин.

Тип забруднюючої речовини	Метод очищення стічних вод
Грубодисперсні завислі речовини (більше 0,5 мм)	Первинне відстоювання Проціжування Фільтрування Освітлення у зваженому шарі осаду Очищення у полі центробіжних сил
Грубодисперсні емульговані частинки (органічні домішки)	Гравітаційне очищення Фільтрування Флотація Електрофлотація
Мікрочастинки (більше ніж 0,01 мм)	Фільтрування Коагуляція Флокуляція Напірна флотація
Загальна лужність, загальна кислотність	Нейтралізація
Стабільні емульсії (нафтопродукти)	Тонкошарова седиментація

в невеликій концентрації)	Напірна флотація Електрофлотація
Колоїдні часточки (0,1-10 мкм)	Мікрофільтрація Електрофлотація
Феноли (концентрація 0,5-5 мг/л)	Біологічне очищення та озонування Адсорбція на активованому вугіллі
Феноли (концентрація 5-500 мг/л)	Біологічне очищення Флотація та біологічне очищення Коагуляція та озонування
Іони важких металів: Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , $Fe_{заг}$, Cd^{2+} (концентрація 5 - 100 мг/л)	Електрофлотація Реагентний Електродіаліз Електрокоагуляція
Іони важких металів: Cu^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , $Fe_{заг}$, Cd^{2+} (концентрація 0,5 - 5 мг/л)	Іонний обмін Ультрафільтрація
Хром (VI) (концентрація 1 – 100 мг/л)	Хімічне відновлення Електрофлотація Електрохімічне відновлення Електро- та гальванокоагуляція
Сульфати (концентрація SO_4^{2-} < 2000 мг/л)	Нанофільтрація Зворотний осмос
Хлориди (концентрація Cl^- > 300 мг/л)	Зворотний осмос Вакуумне випарювання Електродіаліз

Аніонні та неіоногенні ПАР	Флотація Електрофлотація Сорбція на активованому вугіллі
Аніонні, катіонні та неіоногенні ПАР	Ультрафільтрація Нанофільтрація Озонування

Кожен із методів очищення стічних вод характеризується перевагами та недоліками, що впливають на вибір технології очищення та відповідних їй апаратів (споруд).

До складових механічної очистки стічних вод відносять решітки, сита, піскоуловлювачі, відстійники, прояснювачі, фільтри різної конструкції, апарати центробіжної дії. Обладнання, що використовується для фізико-хімічної очистки забруднених вод, – змішувачі, флотатори та електрофлотатори, коагулятори та електрокоагулятори, флокулятори, адсорбери, іонообмінні апарати і ін. Споруди для біологічної очистки стічних вод включають аеротенки, біофільтри.

4.2Методики розрахунку очисного обладнання (споруд) для очищення стічних вод

4.2.1 Розрахунок піскоуловлювачів та його особливості

Для очищення стічних вод від грубодисперсних домішок використовуються такі типи піскоуловлювачів: з горизонтальним прямолінійним рухом рідини, горизонтальні піскоуловлювачі з коловим рухом рідини, з гвинтовим рухом рідини по колу (тангенційні піскоуловлювачі), з горизонтальним гвинтовим рухом рідини (аеровані піскоуловлювачі) та вертикальні.

Розрахунок піскоуловлювачів усіх типів здійснюється за гідравлічною крупністю піску, який затримується у них.

При розрахунку горизонтальних піскоуловлювачів (відстійників-уловлювачів) визначається довжина споруди L_s , м:

$$L_s = 1000 \cdot K_s \cdot H_s \cdot V_s / u_0, \text{ м} \quad (4.1)$$

де K_s – коефіцієнт, що приймається за таблицею 4.2; H_s – розрахункова глибина піскоуловлювача, м, яка приймається для аерованих піскоуловлювачів рівною половині загальної глибини; V_s – швидкість руху стічних вод, м/с.

V_s приймається на основі виробничих даних або з урахуванням наступного: при мінімальному припливі для горизонтальних піскоуловлювачів $V_s=0,15$ м/с; при мінімальному припливі для горизонтальних піскоуловлювачів – 0,30, аерованих – 0,08–0,12 м/с.

u_0 – гідравлічна крупність піску, яка приймається в залежності від необхідного діаметру піску, що утримується у піскоуловлювачі (мм/с). Гідравлічна крупність піску(мм/с) для горизонтального піскоуловлювача складає 18,7–24,2; аерованого – 13,2–18,7; тангенціального – 18,7–24,2.

Таблиця 4.2–Значення коефіцієнта K_s

Діаметр часток піску, який затримується, мм	Значення K_s в залежності від типу піскоуловлювачів та відношення ширини B до глибини H аерованих піскоуловлювачів			
	горизонтальні	аеровані		
		$B:H = 1$	$B:H = 1,25$	$B:H = 1,5$
0,15	-	2,62	2,50	2,39
0,20	1,7	2,43	2,25	2,08
0,25	1,3	-	-	-

Глибина H горизонтального піскоуловлювача складає 0,5-2,0 м, аерованого – 0,7 – 3,5.

Час перебування води у пісколовці при максимальному припливі t , хв. складає:

$$t = L_s / V_{Smax} \quad (4.2)$$

Швидкість протікання води у піскоуловлювачі V_{Smax} , м /хв при максимальному припливі q_{max} визначається як:

$$V_{Smax} = q_{max} / b \cdot Hs \cdot n, \quad (4.3)$$

де b – ширина одного відділення пісколовки, м;

n – кількість відділень (приймається 2)

$$b = q / Hs \cdot Vs \quad (4.4)$$

Швидкість протікання води у піскоуловлювачі при мінімальному припливі:

$$V_{Smin} = q_{min} / b \cdot Hs \quad (4.5)$$

4.2.2 Розрахунок основних розмірів вертикального відстійника

Вертикальні відстійники використовуються при витраті стічних вод до 20000 м³/добу. Розрахункова висота зони осадження відстійників H складає 2,8–3,8 м.

У даному розрахунку розглядається вертикальний відстійник, швидкість руху води в центральній трубі якого – не більше 30 мм/с.

Ефективність очищення стічних вод E , % від важких механічних домішок, а також від легких домішок (нафтопродуктів, мастил та ін.) з густиною менше ніж 1 г/см³ визначається за формулою:

$$E = (C_{вх} - C_{вих}) / C_{вх}, \quad (4.6)$$

де $C_{вх}$ та $C_{вих}$ – концентрація важких механічних домішок у стічній воді відповідно до та після очищення, мг/л.

Середні секундні витрати на відстійник Q_c визначаються за формулою, м³/с:

$$Q_c = Q_d / (24 \cdot 3600), \quad (4.7)$$

де Q_d – витрати стічних вод, м³/добу.

Максимальні секундні витрати води $Q_{c \text{ макс}}, \text{м}^3/\text{с}$ з врахуванням коефіцієнта нерівномірності K_n складають:

$$Q_{c \text{ макс}} = Q_c K_n \quad (4.8)$$

Гідравлічна крупність частинок U_o (мм/с) визначається за формулою:

$$U_o = (1000 K_{H1}) / [\alpha \cdot t \cdot (K_{H1}/h)^n], \quad (4.9)$$

де α – в'язкість води, $\text{МПа} \cdot \text{с}$ (табл.4.4);

t – тривалість відстоювання, с (табл.4.6);

n – коефіцієнт, що залежить від властивостей зважених речовин

Таблиця 4.4 – Залежність в'язкості води від температури T

$T, \text{°C}$	10	15	20	25	30
α	1,3	1,14	1,0	0,9	0,8

Таблиця 4.5 – Значення $(K_{H1}/h)^n$

Висота відстійника, $H_1, \text{м}$	2	3	4
Значення $(K_{H1}/h)^n$	1,11	1,21	1,29

Площа однієї секції відстійника (F_c), м^2 :

$$F_c = Q_{c \text{ макс}} / (N \cdot K \cdot U_o) + (Q_{c \text{ макс}} / N \cdot V_{\text{тр}}), \quad (4.10)$$

де N – кількість секцій відстійника;

K – коефіцієнт використання об'єму, рівний 0,35

Таблиця 4.6 – Тривалість відстоювання зважених речовин, схильних до коагулювання, при концентрації, мг/л

Ефект освітлення, %	Тривалість відстоювання, $t, \text{с}$, зважених речовин при їх концентрації ($n = 0,25$)			
	100	200	300	500
20	600	300	-	-

30	900	540	320	260
40	1320	650	450	390
50	1900	900	640	450
60	3800	1200	970	680
70	-	3600	2600	1830
80	-	-	-	5260

$V_{тр}$ – швидкість руху води в центральній трубі, приймається 15 мм/с:

$$(Q_{с макс} / N \cdot V_{тр}) = f_{ц.тр.}, \quad (4.11)$$

де $f_{ц.тр.}$ – площа центральної трубки, m^2 .

Діаметр секції D , м:

$$D = \sqrt{(4F/\pi)} \quad (4.12)$$

Діаметр центральної трубки $d_{ц.р.}$, м:

$$d_{ц.р.} = \sqrt{(4f_{ц.тр.}/\pi)} \quad (4.13)$$

Діаметр розтруба, d_p , м:

$$d_p = d_{ц.р.} \cdot 1,35 \quad (4.14)$$

Висота щілини між нижньою кромкою центральної труби і поверхнею відбивного щита ($h_{щ}$), м:

$$h_{щ} = Q_{с макс} / (n \cdot \pi \cdot d_p \cdot V_{щ}) \quad (4.15)$$

де $V_{щ}$ – швидкість руху води, м/с (приймається 0,02 м/с).

Висота шару між низом відбивного щита і поверхнею осаду приймається $h_{ос} = 0,3$ м. Загальна висота циліндричної частини $H_{ц}$ при висоті борту відстійника $h_{борт} = 0,5$ м.

$$H_{ц} = H_1 + h_{ш} + h_{ос} + h_{борт}, \quad (4.16)$$

де H_1 – висота зони осадження (приймається 2,7-3,8 м).

Кут нахилу стінок конусної частини до горизонту приймається 60° . Тоді висота конусної частини:

$$h_k = D\sqrt{3}/2 \quad (4.17)$$

Об'єм конусної частини:

$$V_k = 1/3 (\pi R^2 h_k), \quad (4.18)$$

де R – радіус основи секції, м

Маса затриманого осаду за добу M , т/добу:

$$M = C_{п} \cdot E \cdot K \cdot Q_d / 10^{-6} \quad (4.19)$$

де $C_{п}$ – вміст завислих речовин у воді, мг/л;

E – необхідний коефіцієнт очищення, %

Об'єм уловленого всіма секціями відстійника осаду W , м³/добу:

$$W = (M \cdot 100) / (100 - P) p, \quad (4.20)$$

де p – густина осаду, т/м³;

P – вологість осаду, %.

Осаджувальна частина відстійників буде заповнюватися осадом за t , діб:

$$t = NV_k / W \quad (4.21)$$

4.2.3 Визначення довжини горизонтального відстійника

Горизонтальні відстійники на очисних спорудах використовуються при витраті стічних вод до 15000 м³/добу та звичайно мають прямокутну форму. Глибина проточної частини складає 1,5 – 4 м. Довжина варіюється в залежності від типу вод та залежить від значення глибини. Для виробничих стічних вод довжина у порівнянні з глибиною

збільшується у 20 разів, а для побутових – у 8-12. Ширина дорівнює 6-9 м. Швидкість потоку стічних вод приймається рівною 5-10 мм/с.

Довжина відстійника L , м розраховується за формулою:

$$L = (V \cdot H) / U_{oc} \quad (4.22)$$

де L – довжина відстійника, м;

V – швидкість руху води у відстійнику, м/с;

H – глибина відстійника, м;

U_{oc} – швидкість осадження часток у відстійнику, м/с.

U_{oc} знаходиться по формулі:

$$U_{oc} = 1/18 \cdot (d_r \cdot \rho_c \cdot g) / \mu_p \quad (4.23)$$

де d_r – мінімальний еквівалентний діаметр часток, що осаджуються м;

ρ_c – уявна густина часток, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с²;

μ_p – динамічна в'язкість рідини, Па·с.

4.2.4 Розрахунок фільтру з зернистим навантаженням

Фільтри з зернистим навантаженням представляють розширений клас апаратів, що використовуються для очищення і знебарвлення води, знезалізнення та демангізації, видалення органічних і хлороорганічних домішок, а також нафтопродуктів зі стічних вод. Дані фільтри також застосовуються для очищення вод від важких металів та деяких неорганічних елементів. В залежності від типу домішок, які видаляються, фільтруючим середовищем можуть бути: антрацит, активоване вугілля, пісок, багатошарові середовища, гранульований гідроксид заліза, катіоніти, аніоніти та ін.

Розрахунок фільтру здійснюється за різними методиками, але визначенню, як правило, підлягають: площа фільтрування (загальна та

кожного фільтра), діаметр фільтра, об'єм води, необхідної для відмивання фільтра.

Розрахункова витрата стічної води, що подається на фільтр Q_p , $m^3/год$ складає:

$$Q_p = 24 \cdot q_w, \quad (4.24)$$

де q_w – максимальний приток стічної води, $m^3/год$.

Кількість промивок n кожного фільтра за добу, раз складає:

$$n = 24/T_\phi, \quad (4.25)$$

де T_ϕ – тривалість фільтроциклу, год

Промивна витрата Q_n , $m^3/добу$ залежить від концентрації домішок та добового числа промивок фільтрів.

У запропонованому варіанту розрахунку приймається концентрація домішки > 20 мг / л, а $n=2$. Тоді

$$Q_n = 0,05 Q_p,$$

Розрахункова швидкість фільтрування V_p , $m/год$, визначається з урахуванням кількості працюючих фільтрів N та числа фільтрів m , які не працюють (перебувають у ремонті чи на промиванні):

$$V_p = V_\phi (N - m) / N, \quad (4.26)$$

де V_ϕ – швидкість фільтрування при форсованому режимі, $m/год$.

V_ϕ приймається від 12 до 14 $m/год$. Також приймається, що $N < 20$ при $m=2$, а при $N \geq 20$ $m=3$.

Сумарна площа фільтрів F_Σ , m^2 складає:

$$F_\Sigma = (Q_p + Q_n) / (24 V_p - n V_\phi t), \quad (4.27)$$

де t – тривалість простою одного фільтра при промиванні, год (приймається 0,5-0,6 год).

Площа одного фільтра F , m^2 :

$$F = F_\Sigma / N \quad (4.28)$$

Конструктивно приймається, що площа одного фільтра повинна бути не більше 50 м².

Діаметр одного фільтра D, м:

$$D = \sqrt{4 \cdot \pi} \quad (4.29)$$

Висота фільтра H, м визначається з урахуванням висоти завантаження та висоти шару води. Висота завантаження залежить від концентрації домішки та розміру зерен матеріалу. Так, наприклад, при розмірі зерен гравію 10-20 мм та концентрації механічної домішки 30-35 мг/л висота шару може складати 0,2-0,3 м. При використанні піску з розміром зерен 1-2 мм рекомендована висота шару складає 1,3-1,5 м.

4.2.5 Розрахунок мікрофільтрів

Мікрофільтри з сітчастими елементами знаходять своє використання для механічної очистки господарчо-побутових стічних вод, стічних вод паперової та хімічної промисловості та ін. Важливою умовою застосування фільтрів є відсутність у забруднених водах в'язких домішок, що викликають замулювання чи заростання сітки. Фільтри можуть використовуватись у якості первинних відстійників при видаленні з промислових вод волокнистих домішок. Очищена у мікрофільтрах вода може бути використана повторно.

Основними характеристиками, що визначаються при розрахунку даних фільтрів, є ефективність очищення від забруднюючих речовин, площа фільтрування, об'єм промивної води.

Ефективність очищення стічних вод по зваженим речовинам $E_{зв}$ визначається як:

$$E_{зв} = (C_{вх} - C_{вих}) / C_{вх}, \quad (4.30)$$

де $C_{вх}$ та $C_{вих}$ – вміст зважених речовин до та після очищення

Ефективність очищення стічних вод по БПК_{повн} ($E_{БПК}$) складає :

$$E_{\text{БПК}} = (C_{\text{БПК}}^{\text{вх}} - C_{\text{БПК}}^{\text{вих}}) / C_{\text{БПК}}^{\text{вх}}, \quad (4.31)$$

де $C_{\text{БПК}}^{\text{вх}}$ та $C_{\text{БПК}}^{\text{вих}}$ – БПК_{повн} у стічній воді до та після очищення.

Корисна площа фільтрування F , м² знаходиться по формулі:

$$F = k_1 \cdot Q / k_2 \cdot T \cdot V_{\text{ф}}, \quad (4.32)$$

де Q – пропускна здатність очисної станції м³/добу;

k_1 – коефіцієнт, що враховує збільшення продуктивності фільтра за рахунок промивної води (1,03–1,05);

k_2 – коефіцієнт, який враховує площу поверхні фільтрування, що знаходиться над водою: при зануренні барабану на 0,6 діаметру k_2 дорівнює 0,55, а при зануренні на 0,7 діаметра – 0,63;

T – тривалість роботи станції на протязі доби, год;

$V_{\text{ф}}$ – швидкість фільтрування, м/год. При доочищенні біологічно очищених вод складає 20–25 м/год.

Добова кількість промивної води $Q_{\text{п}}$, м³/добу дорівнює:

$$Q_{\text{п}} = 0,04 \cdot Q.$$

4.2.6 Розрахунок електрокоагуляторів для очистки стічних вод від іонів кольорових металів та мастильних емульсій

Для промислової очистки стічних вод використовують електрокоагулятори зі сталевими та алюмінієвими електродами. При цьому електрокоагулятори із сталевими електродами застосовуються для очищення стічних вод від шестивалентного хрому та інших металів. Витрати стічних вод повинні бути не більше 50 м³/год, а концентрація шестивалентного хрому – до 100 мг/л. У випадку використання електрокоагуляції для іонів інших кольорових металів концентрація кожного забруднювача лімітується 30 мг/л. Загальний вміст солей металів не повинен бути вище 300 мг/л.

Електрокоагулятори з алюмінієвими електродами застосовуються для очищення стічних вод, які містять нафтопродукти, емульсії олійних мастил.

Розрахунок електрокоагуляторів для двох видів електродів включає визначення електричних параметрів роботи установки та знаходження її габаритів.

Корисний об'єм електрокоагулятора $V, \text{м}^3$:

$$V = N \cdot Q \cdot \tau, \quad (4.33)$$

де N – кількість електрокоагуляторів (не менше 2);

Q – витрати стічної води, $\text{м}^3/\text{год}$;

τ – тривалість обробки стічної води, год. Оптимальна тривалість обробки становить $\tau = 1-5$ хв.

Загальна висота електрокоагулятора H , розраховується за формулою, м:

$$H = h + h_1 + h_2, \quad (4.34)$$

де h – робоча висота шару рідини (0,8-1,0 м);

h_1 – висота шару піни (0,05-0,1 м);

h_2 – висота бортів електрокоагулятора над рівнем піни (0,2-0,3 м).

Загальна кількість електродів, шт.:

$$m = (B - 2a) / (c + b) \quad (4.35)$$

де B – ширина установки, м (вказується завихідними даними);

a – відстань від стінки установки до крайнього електрода (0,05 м);

c – відстань між електродами (0,01-0,02 м);

b – товщина електрода (0,01-0,02 м).

Площа одного електрода F , м^2 :

$$F = (L - 0,1)h, \quad (4.36)$$

де L – поперечний розмір установки, м:

$$L=V/(B \cdot h \cdot N), \quad (4.37)$$

Загальна маса електродної системи M , кг:

$$M= F \cdot m \cdot b \cdot \rho \quad (4.38)$$

де ρ – густина матеріалу електродів, $\text{кг}/\text{м}^3$. Густина сталі (заліза) $\rho = 7900 \text{ кг}/\text{м}^3$, густина алюмінію $\rho = 2700 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Сила струму I визначається за формулою, А:

$$I= k \cdot Q, \quad (4.39)$$

де k – питома кількість електрики, що необхідна для розчинення металу електродної системи, $\text{А} \cdot \text{год}/\text{м}^3$ (для сталевих електродів k приймається рівним $73,4 \text{ А} \cdot \text{год}/\text{м}^3$, а для алюмінієвих – $55 \text{ А} \cdot \text{год}/\text{м}^3$);

Q – витрати стічної води, $\text{м}^3/\text{год}$.

Густина анодного струму приймається $20\text{-}150 \text{ А}/\text{м}^2$, напруга для сталевих електродів – 3В , а алюмінієвих – 4В .

Витрата матеріалу електродів G , складає, $\text{г}/\text{м}^3$:

$$G= k \cdot \eta \cdot N, \quad (4.40)$$

де η – $0,4$ – коефіцієнт виходу по струму;

N – електрохімічний еквівалент металу, $\text{г}/\text{А} \cdot \text{год}$. Для сталі (в розрахунку для заліза) $N=0,695 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{год}$, для алюмінію $N=0,336 \text{ г}/\text{А} \cdot \text{год}$.

Тривалість роботи електродної системи T_d , діб:

$$T_d = (1000 \cdot M \cdot k) / (Q_{\text{доб}} \cdot G), \quad (4.41)$$

де k – коефіцієнт використання електродної системи ($0,8\text{-}0,9$);

$Q_{\text{доб}}$ – добова витрата стічної води $\text{м}^3/\text{доб}$.

$$Q_{\text{доб}}= Q \cdot T_{\text{год}}, \quad (4.42)$$

де $T_{\text{год}}$ – тривалість роботи апарата за 1 добу, $\text{год}/\text{добу}$.

4.2.7 Розрахунок аеротенків

Аеротенки розраховують на таку орієнтовну продуктивність очисної станції, м³/доб: до 5000, 10000, 30000 та більше 50000. БПК_{повн} стічних вод, які поступають на очищення в аеротенки, не повинно перевищувати 1 000 – 1 200 мг О₂/л. Аеротенки-витиснювачі доцільно застосовувати при БПК_{повн} стічної води до 300мг/л, а аеротенки - змішувачі - при БПК_{повн} до 1000мг/л.

У загальному виді розрахунок аеротенків включає визначення ємності й розмірів споруди, об'єму необхідного повітря і надлишкового активного мулу (у даній методиці не розглядається).

Вихідними даними для розрахунку аеротенків є наступні:

- БПК_{повн} стічної води, яка надходить у очисні споруди, та БПК_{повн} очищеної води (мг/л);
- витрати стічної води, м³/год;
- температура стічної води, °С;
- швидкість окиснення забруднення на 1г сухої біомаси, мг (БПК)/(г·год);
- концентрація мулу в аеротенку, г/л;
- коефіцієнти якості води та впливу температури.

Крім того, у методиках розрахунку аеротенків доцільно розглядати активність мікроорганізмів активного мулу та гідравлічну структуру потоків у спорудах.

Основні конструктивні розміри споруди розраховуються за визначеними технологічними параметрами (тривалість аерації, витрата повітря, об'єм аеротенку). Типові аеротенки мають такі розміри, м:

- число коридорів – 2, 3 і 4;
- ширина коридорів – 1, 4,5; 6 і 9 ;
- робоча глибина – 2,3,2; 4,4; 5,0;

- довжина – 36 - 78;
- крок довжини коридору – 6 м.

Водночас довжина аеротенків може сягати 114 м, ширина – 36 м, глибина – 6 м.

Тривалість аерації t складає, год:

$$t = (L_0 - L_1) / (a \cdot \rho) \quad (4.43)$$

де L_0 – БПК_{повн} стічної води, що надходить на очищення, мг/л;

L_1 – БПК_{повн} очищеної води, мг/л;

a – концентрація мулу в аеротенку, г/л;

ρ – швидкість окиснення забруднення на 1 г сухої біомаси, мг (БПК)/(г·год).

Питома витрата повітря D , м³ повітря/м³ стічної води:

$$D = [z(L_0 - L_1) / 100 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 n_2 (c - b)] \quad (4.44)$$

де z – питома витрата кисню, мг О₂/л;

k_1 – коефіцієнт, що враховує тип аератора і є функцією площі, яку займають аератори стосовно площі дзеркала води в аеротенку; ;
приймається для середньобульбашкової та низьконапірної - 0,75, а для дрібнобульбашкової аерації у залежності від співвідношення площ аерованої зони та аеротенка (для попереднього розрахунку приймається 1,68);

c – розчинність кисню повітря у воді, яка визначається у залежності від глибини занурення аераторів, мг/л;

b – припустима мінімальна концентрація кисню, яка не лімітує швидкість окиснення (приймаємо $b = 3$ мг/л);

n_1 – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод, який визначається в залежності від середньомісячної температури стічних вод за літній період ($T_{сер.літ}$) за виразом: $n_1 = 1 + 0,02(T_{сер.літ} - 20)$

n_2 – коефіцієнт якості води, який приймається для міських стічних вод 0,85

Коефіцієнт, що враховує вплив температури й розчинність кисню залежно від температури, наведений у табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Значення коефіцієнта, що враховує вплив температури й розчинність кисню залежно від температури

$t, ^\circ\text{C}$	5	10	12	14	16	18	20	22	24	26
$C, \text{ мг/л}$	12,8	11,3	10,8	10,3	9,8	9,4	9,0	8,7	8,3	8,0

Об'єм аеротенка V , м^3 знаходиться як:

$$V = Q \cdot t \quad (4.45)$$

де Q – витрати стічних вод, $\text{м}^3/\text{год}$

На основі визначеного об'єму приймаються конструктивні розміри споруди.

Робоча глибина H приймається з ряду типових розмірів ($H=2;3,2;4,4;5,0$ м).

Площа дзеркала води в аеротенку $S, \text{м}^2$ визначається зі співвідношення:

$$S = Q/H \quad (4.46)$$

Довжина аеротенка L , м дорівнює :

$$L = 1,5\sqrt{S} \quad (4.47)$$

Отримане значення L округляється до найближчого значення, кратного кроку довжини коридору (6 м).

Ширина аеротенка $B, \text{м}$:

$$B = S/L \quad (4.48)$$

Визначене значення ширини споруди B округляється до найближчого значення, кратного типовим розмірам ширини коридорів (B_{min}).

Число коридорів повинне становити 2, 3 або 4:

$$N = B/B_{min} \quad (4.49)$$

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Северин Л. І., Петрук В. Г., Безвозюк І. І., Васильківський І. В. Природоохоронні технології. Ч. 1. Захист атмосфери : навч. посіб. / Л.І.Северин, В.Г.Петрук, І.І.Безвознюк, І.В. Васильківський. — Вінниця: ВНТУ, 2012. — 388 с.

2. Василенко І.А., Скиба М.І., Півоваров О.А., Воробйова В.І. Теоретичні основи охорони навколишнього середовища: підруч. /І.А.Василенко, М.І.Скиба, О.А.Півоваров, В.І.Воробйова. — Дніпро: Акцент ПП, 2017. — 204 с.

3. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища: навч. пос. / О.І.Герасимов. — Одеськ.держ.екол.ун-т. Одеса:ТЕС, 2018. — 228 с.

4. Ратушняк Г.С., Лялюк О.Г. Засоби очищення газових викидів: навч.посіб./ Г.С.Ратушняк, О.Г.Лялюк. — Київ: ІВНВКП «Укреліотех», 2009. — 204 с.

5. Зацеркляний М. М. Процеси захисту навколишнього середовища: підручник / М. М. Зацеркляний, О. М. Зацеркляний, Т. Б. Столевич ; Одес. нац. акад. харч. технологій. Одеса : Фенікс, 2017. — 454 с.

6. Петрук В.Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І. Природоохоронні технології:навч. посіб. Ч.2 : Методи очищення стічних вод / В.Г.Петрук, Л.І.Северин, І.В.Васильківський, І.І.Безвознюк. — Вінниця : ВНТУ, 2014. — 258 с.

7. Сучасні технології захисту атмосфери: навч.посіб.для студентів вищих навчальних закладів екологічного профілю /Укл. Мартиненко С.А. Кропивницький: ЦНТУ, 2019. — 155 с.

8. Донченко М. І., Фроленкова С. В. Екологічна безпека гальванотехніки. Ч. 1. Стічні води. Механічна та сорбційна очистка: навч. посіб. / М. І. Донченко, С. В. Фроленкова. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 202 с.

9. Даус М.Є., Захарова М.В., Катинська І.В. Технології захисту довкілля: конспект лекцій / М.Є.Даус, М.В.Захарова, І.В.Катинська. – Одеса, ОДЕКУ, 2014. – 422 с.

10. Державні будівельні норми України. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5-75:2013. Київ. Мінрегіон України, 2013.

11. ДБН В.2.5 - 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Київ. Мінрегіон України, 2013.

12. Водопостачання та водовідведення: Курс лекцій. Для студентів денної форми навчання. Спеціальність 101 «Екологія». Освітньо-кваліфікаційний ступінь «магістр». / Укладач: О.В. Рибалова. – Х: НУЦЗУ, 2017. - 195с.

13. Айрапетян Т. С. Конспект лекцій з дисципліни «Технологія очистки промислових стічних вод» для студентів 4 курсу денної та 5 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.060103 – Гідротехніка (Водні ресурси), фахове спрямування «Раціональне використання і охорона водних ресурсів». Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 73 с.

14. Методичні вказівки до виконання розрахункової частини курсового проекту з курсу «Обладнання захисту біосфери» для студентів усіх форм навчання спеціальності 101 «Екологія». Ч.1. Захист

атмосферного повітря / Уклад.: Самойленко Н. М., Аверченко В. І. – Харків : НТУ «ХП», 2016. – 40 с.

15. Каталог очисного обладнання. Фільтри рукавні. ВАТ НПП «Дніпроенергосталь». – Режим доступу : <http://destal.net/filtry-rukavnye-frir/106075/>.

16. Каталог очисного обладнання. ВАТ НПП «Дніпроенергосталь». – Режим доступу: <http://www.progress.ua/catalog/elektrofiltry/elektrofiltry-tipa-egu/>

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
1 ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ 3	
1.1 Структура та оформлення проєкту.....	3
1.2 Завдання курсового проєкту	4
1.3 Зміст проєкту.....	4
1.4 Вступ.....	4
1.5 Огляд літературних джерел	4
1.6 Характеристика виробничого процесу та його вплив на довкілля....	5
1.7 Система очищення викидів (скидів) та характеристика обладнання (споруд).....	5
1.8 Розрахунки очисного обладнання	5
1.9 Висновки.....	5
1.10 Список джерел інформації.....	6
2 ПЕРЕЛІК ТЕМ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ	6
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО РОЗРОБКИ СИСТЕМИ ОЧИСТКИ ЗАБРУДНЕНИХ ВИКИДІВ ТА РОЗРАХУНКУ ОБЛАДНАННЯ.....	7
3.1 Принципові підходи до вибору способу та технічного засобу очистки викидів	7
3.2 Методики проведення розрахунків та вибору газоочисних апаратів 9	
3.2.1 Розрахунок основних характеристик рукавних фільтрів	9
3.2.2 Розрахунок і вибір електрофільтру	13
3.2.3. Розрахунок скрубера Вентурі.....	14
4. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ТА РОЗРАХУНКУ ОБЛАДНАННЯ І СПОРУД.....	17

4.1	Методи та обладнання для очищення стічних вод	17
4.2	Методики розрахунку очисного обладнання (споруд) для очищення стічних вод	21
4.2.1	Розрахунок піскоуловлювачів та його особливості	21
4.2.2	Розрахунок основних розмірів вертикального відстійника	23
4.2.3	Визначення довжини горизонтального відстійника	26
4.2.4	Розрахунок фільтру з зернистим навантаженням	27
4.2.5	Розрахунок мікрофільтрів	29
4.2.6	Розрахунок електрокоагуляторів для очистки стічних вод від іонів кольорових металів та мастильних емульсій	30
4.2.7	Розрахунок аеротенків.....	33
	СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	36
	ДОДАТКИ.....	41

ДОДАТКИ

Додаток 1 – Значення нормативного питомого газового навантаження Q_n залежно від виду пилу

Значення Q_n , $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$				
3,5	2,6	2,0	1,7	1,2
Мука	Азбест	Глинозем	Кокс	Активоване
Пил шкіри	Гіпс	Цемент	Летка зола	вугілля
Тирса	Сіль	Керамічні	Оксиди	Миючі
Картонний пил	Пісок	барвники	металів	засоби
Полівінілхлорид	Тальк	Вугілля	Металеві	Возгони
Борошно	Гума	Плавииковий	порошки	кольорових
Зерно	Каолін	шпат	Пластмаси	та чорних
Тютюн	Пил при	Гума	Барвники	металів
	вибиванні	Каолін	Силікати	
	виплинок	Вапняк	Крохмаль	
	Піщаний	Цукор	Смоли	
	абразивний	Пил гірських		
	пил	порід		

Додаток 2 – Значення коефіцієнта C_1 залежно від особливостей регенерації фільтрувальних елементів

Спосіб регенерації	C_1
Регенерація фільтрувальних елементів з тканини імпульсним продуванням стислим газом	1,0
При використанні рукавів з нетканих матеріалів значення C_1 може збільшуватися на 5–10 %	
Регенерація шляхом зворотного продування і одночасного струшування або похитування рукавів	0,70–0,85
Регенерація шляхом зворотного продування	0,55–0,70

Додаток 3 – Значення коефіцієнта C_2 , що враховує вплив вхідної концентрації пилу $C_{вх}$

$C_{вх}$, $\text{г}/\text{м}^3$	2	5	10	20	40	60	80	100
C_2	1,5	1,04	1,0	0,96	0,9	0,87	0,85	0,83

Додаток 4 – Значення коефіцієнта C_3 , що враховує вплив дисперсного складу пилу на питоме газове навантаження

Медіанний діаметр часток пилу d_m , мкм	C_3
Більше 100	1,2–1,4
50–100	1,1
10–50	1,0
3–10	0,9
Менше 3	0,7–0,9

Додаток 5 – Значення коефіцієнта C_4 , який враховує вплив температури газу, що очищується

Температура газу, °С	20	40	60	80	100	120	140	160
C_4	1,0	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

Додаток 6 – Термостійкість фільтрувальних тканин

Тканина	Термостійкість, °С	
	при тривалій дії	при короткочасній дії
Фільтробельтинг	80	
Поліпропилен	90	110
Нітрон	120–130	150
Поліакрилонітрил	120	145
Лавсан	130	160
Поліефірне волокно (ПЕТ, терилен)	130	150
Поліестер	140	160
Поліфеніленсульфід	180	190-200
Полівінілосульфід	190	220

Поліамід	245	255
Мета-Арамід	200	220
Скловолокно та змішаний фільтруючий матеріал (Nomex, PPS, P84, PTFE тощо)	<260	280
Склотканина ТССНФ	250	315
Стегляна тканина з мембраною з ПТФЕ	250	260-280
Політетрафторетилен (Тефлон)	250	280

Додаток 7 – Значення коефіцієнтів *B* та *X* для різного роду пилу

Вид пилу	<i>B</i>	<i>X</i>
Ваграночний пил	$1,355 \cdot 10^{-2}$	0,6210
Пил доменної печі	0,1925	0,3255
Пил вапнякових печей	$6,5 \cdot 10^{-4}$	1,0529
Пил мартенівських печей, що працюють на кисневому дутті	$1,565 \cdot 10^{-6}$	1,619
Пил мартенівських печей, що працюють на повітряному дутті	$1,74 \cdot 10^{-6}$	1,594
Зола димових газів ТЕС	$4,34 \cdot 10^{-3}$	0,3

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання курсового проєкту з курсу
«Обладнання захисту біосфери»
для студентів спеціальностей 101 «Екологія»
та 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
усіх форм навчання**

Укладачі:

САМОЙЛЕНКО Наталія Миколаївна
НОВОЖИЛОВА Тетяна Борисівна
БАРАНОВА Антоніна Олегівна
КАТЕНІН Вадим Дмитрович

Відповідальний за випуск доц.Шестопалов О.В.
Роботу рекомендувала до видання проф. Зінченко М.Г.

Комп'ютерна верстка

План 2022 р., п.13

Підп. до друку __10.2022 р._____

Гарнітура Times New Roman. Обсяг 2,9 авт.арк.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну
реєстрацію ДК № 5478 від 21.08.2017 р. 61002, Харків, вул.
Кирпичова, 2

Електронна версія