

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

## **ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ЗАХИСТУ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

Методичні вказівки до практичних занять  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 101 Екологія. Освітня програма «Екологія»

Обговорено і рекомендовано  
на засіданні кафедри  
харчових технологій  
*Протокол № 5*  
*від 18.12.2023р.*

Чернігів 2024

Технічні засоби захисту навколишнього середовища. Методичні рекомендації до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 101 Екологія. Освітня програма «Екологія» / Укл.: Костенко І.А.– Чернігів: НУ “Чернігівська політехніка”, 2024. – 39 с.

В методичних вказівках наведені практичні роботи з дисципліни “Технічні засоби захисту навколишнього середовища”. Вони містять: короткі теоретичні відомості, приклади розв'язання задач, практичні завдання за варіантами та необхідний довідковий матеріал для успішного виконання кожної роботи.

Укладач: КОСТЕНКО ІГОР АНДРІЙОВИЧ,  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри харчових технологій

Відповідальний за випуск: ЧЕЛЯБІЄВА ВІКТОРІЯ МИКОЛАЇВНА, завідувач  
кафедри харчових технологій та екології, кандидат  
технічних наук

Рецензент: БУЯЛЬСЬКА НАТАЛІЯ ПАВЛІВНА,  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри харчових технологій

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Практична робота 1. Розрахунок параметрів пилоосаджувальної камери.....	5
Практична робота 2. Оцінка ефективності роботи форсункового скрубера...	9
Практична робота 3. Оцінка параметрів роботи абсорбер.....	13
Практична робота 4. Оцінка ефективності роботи електрофільтрів.....	19
Практична робота 5. Розрахунок напірного зернистого фільтру .....	24
Практична робота 6. Розрахунок флотаційної установки .....	29
Практична робота 7. Розрахунок аеротенку .....	33
Рекомендована література.....	39

## Вступ

Комплекс екологічно орієнтованих заходів щодо захисту навколишнього середовища охоплює методи та засоби, спрямовані на охорону і раціональне використання природних ресурсів, які забезпечують нормативні санітарно-гігієнічні параметри навколишнього середовища.

На сьогоднішньому рівні розвитку технології використання організаційно-технічних методів захисту довкілля є основним способом боротьби з забруднювачами. Вони полягають в повній очистці чи до допустимих концентрацій викидів (скидів), які надходять в біосферу за допомогою спеціальних технічних устаткувань і апаратів, які використовують фізичні, хімічні, фізико-хімічні і біохімічні способи очистки та знезараження забруднювачів.

Під час виконання практичних робіт ЗВО має набути або розширити наступні загальні та спеціальні компетентності, передбачені освітньою програмою:

К01. Знання та розуміння предметної області та професійної діяльності.

К08. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.

К14. Знання та розуміння теоретичних основ екології, охорони довкілля та збалансованого природокористування.

К15. Здатність до критичного осмислення основних теорій, методів та принципів природничих наук.

К18. Здатність до оцінки впливу процесів техногенезу на стан навколишнього середовища та виявлення екологічних ризиків пов'язаних з виробничою діяльністю.

К20. Здатність проводити екологічний моніторинг та оцінювати поточний стан навколишнього середовища.

Під час виконання практичних робіт ЗВО має досягти або вдосконалити наступні програмні результати навчання (ПР), передбачені освітньою програмою:

ПР02. Розуміти основні екологічні закони, правила та принципи охорони довкілля та природокористування.

ПР03. Розуміти основні концепції, теоретичні та практичні проблеми в галузі природничих наук.

ПР16. Вибирати оптимальну стратегію проведення громадських слухань щодо проблем та формування територій природнозаповідного фонду та екологічної мережі.

ПР22. Брати участь у розробці проектів і практичних рекомендацій щодо збереження довкілля.

# Практична робота 1

## Розрахунок параметрів пилоосаджувальної камери

**1. 1 Мета роботи:** ознайомитися з принципом роботи та методикою розрахунку основних технологічних характеристик пилоосаджувальних камер.

### 1.2 Короткі теоретичні відомості

Пилоосаджувальні камери застосовують як елементи попередньої системи пиловловлення. Їх використовують для гравітаційного грубого очищення газових викидів від частинок пилу розміром 30...100 мкм. Ці камери застосовують для уловлення великих частинок сировинних матеріалів після обортових цементних печей, печей для обпалювання магнезиту і доломіту тощо.

Принцип роботи пилоосаджувальних камер ґрунтується на виведенні частинок пилу з газопилового потоку шляхом їх осадження під дією сили гравітації.

Перевагою пилоосаджувальних камер є простота виготовлення. Матеріалом для їх виготовлення є цегла, збірний залізобетон, сталь та дерево для холодних газів. Перевагою також є незначний гідравлічний опір 50...100 Па.

Недоліком пилоосаджувальних камер є низька ефективність пилоуловлення (40...50%), особливо при вловленні дрібнодисперсного пилу ( $d < 20$  мкм), а також їх громіздкість.

Принципова конструктивна схема пилоосаджувальних камер наведена на рисунку 1.1.

Конструктивно пилоосаджувальні камери являють собою короб, який може бути усередині порожнистим, або мати полиці. При цьому, в нижній частині розміщується бункер, який призначений для збору пилу. Принцип роботи наступний: потік повітря, який потрібно очистити, потрапляє в камеру, проходить через неї з невеликою швидкістю, не більше 0,2-1,5 м/с. Таким чином, зважені частинки, що знаходяться в повітрі під силою тяжіння, осідають на дно бункера. Наявність ланцюгової чи дротяної завіси, вертикальних чи горизонтальних відхиляючих перегородок до гравітаційного ефекту додає ефект інерційного осадження при обтіканні газовим потоком різних перешкод. В результаті чого збільшується ефективність роботи пилоосаджувальних камер.

**Методика розрахунку.** Витрати газу, м<sup>3</sup>/с, при робочих умовах визначають за формулою:

$$Q_{ГР} = (Q_{Г} \cdot T_{р}) / T_{0}, \quad (1.1)$$

де  $T_{р} = (t_{Г} + T_{0})$  – температура газів в робочих умовах, °К;  
 $T_{0} = 273^{\circ}\text{К}$  – абсолютна температура.

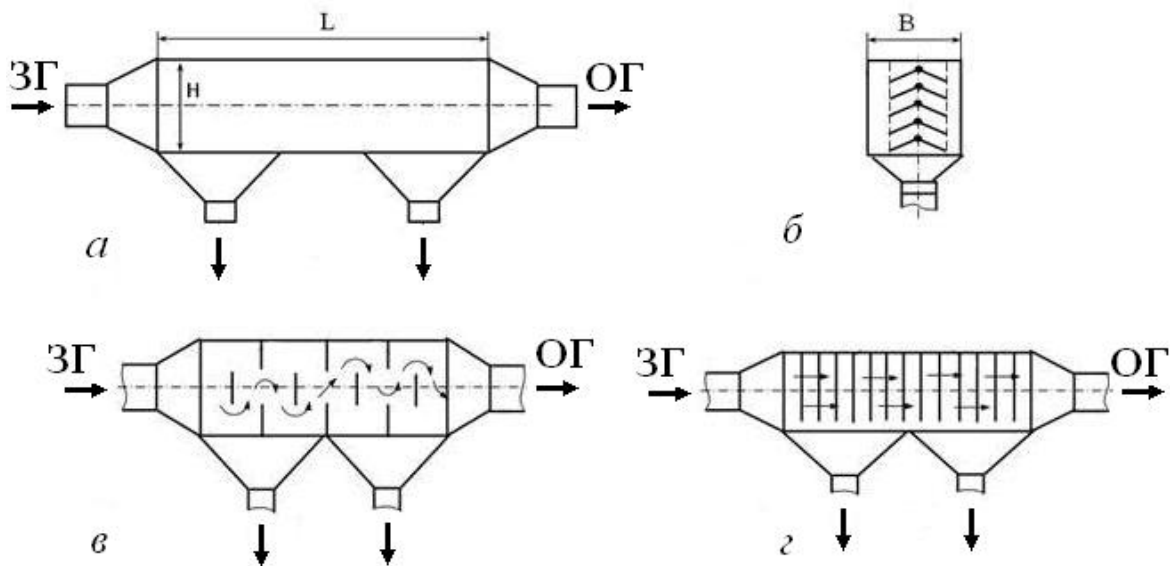


Рисунок 1.1 – Схеми пилоосаджувальних камер: *а* – найпростіша конструкція з розширенням пилопроводу; *б* – багатополична; *в* – з перегородками; *г* – з ланцюговими чи дротяними завісами; ЗГ – рух забрудненого газу; ОГ – рух очищеного газу

Визначають площу дна пилоосаджувальної камери через витрати газу,  $\text{м}^2$ :

$$S_{\text{д}} = V_{\text{к}} \cdot L_{\text{к}} = 18 \mu_{\text{Г}} Q_{\text{Гр}} / d_{50}^2 g \rho_{\text{ч}}, \quad (1.2)$$

де  $V_{\text{к}}$ ,  $L_{\text{к}}$  – відповідно ширина й довжина пилоосаджувальної камери, м;  
 $\mu$  – в'язкість газу,  $\text{Па} \cdot \text{с}$  ( $\mu_{\text{Г}} = 34 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$ );  $d_{50}$  – діаметр часток пилю, м;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – гравітаційна стала;  $\rho_{\text{ч}}$  – густина часток пилю,  $\text{кг/м}^3$ .

Обчислюють площу вертикального перерізу пилоосаджувальної камери через витрати газу,  $\text{м}^2$ :

$$S_{\text{в}} = V_{\text{к}} \cdot H_{\text{к}} = Q_{\text{Гр}} / V_{\text{Г}}, \quad (1.3)$$

де  $H_{\text{к}}$  – висота камери, м;  $V_{\text{Г}}$  – швидкість газів в пилоосаджувальній камері,  $0,2 \dots 1,5 \text{ м/с}$ .

Задавшись значенням висоти пилоосаджувальної камери  $H_{\text{к}}$ , визначають її ширину й довжину:

$$V_{\text{к}} = S_{\text{в}} / H_{\text{к}}, \quad (\text{м}) \quad (1.4)$$

$$L_{\text{к}} = S_{\text{д}} / V_{\text{к}}, \quad (\text{м}) \quad (1.5)$$

Для зменшення довжини пилоосаджувальної камери в ній передбачають полиці. Це еквівалентно збільшенню площі дна камери  $S_{\text{д}}$ .

При наявності  $n$  полиць площа однієї полиці дорівнює,  $m^2$ :

$$S_{\Pi} = S_{\text{д}} / n. \quad (1.6)$$

Знаходять загальну висоту камери з врахуванням розміщення полиць, м:

$$H_3 = n \cdot h_{\Pi} \quad (1.7)$$

де  $h_{\Pi}$  – відстань між полицями, 0,2...0,3 м.

Проводиться уточнення ширини камери з врахуванням розміщення полиць, м:

$$B_{\text{кз}} = S_{\Pi} / H_3. \quad (1.8)$$

Визначають зменшену довжину пилоосаджувальної камери за рахунок розміщення полиць, м:

$$L_{\text{кз}} = S_{\Pi} / B_{\text{кз}}. \quad (1.9)$$

Мінімальний розмір частинок, які будуть повністю осаджені в камері після встановлення полиць, визначається за залежністю, м:

$$d_{\text{мін}} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot \mu_{\Gamma} \cdot Q_{\Gamma\text{Р}}}{L_{\text{кз}} \cdot g \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot B_{\text{кз}}}} \quad (1.10)$$

**Приклад 1.1.** Розрахувати основні параметри пилоосаджувальної камери для часток пилу діаметр яких 40 мкм, витрата газу  $Q = 2 \text{ м}^3/\text{с}$  при температурі  $50^{\circ}\text{C}$ . Густина часток пилу  $4000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

**Розв'язання.** Витрати газу при робочих умовах:  $Q_{\Gamma\text{Р}} = 2 \cdot 323 / 273 = 2,336 \text{ м}^3/\text{с}$ . Площа дна пилоосаджувальної камери:  $S_{\text{д}} = 18 \cdot 34 \cdot 10^{-6} \cdot 2,336 / ((40 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 9,81 \cdot 4000) = 22,77 \text{ м}^2$ . Площа вертикального перерізу пилоосаджувальної камери (при  $V_{\Gamma} = 0,5 \text{ м}/\text{с}$ ):  $S_{\text{в}} = 2,336 / 0,5 = 4,672 \text{ м}^2$ . Висоту пилоосаджувальної камери приймаємо 2 м. Тоді. Визначаємо ширину та довжину камери:  $B_{\text{к}} = 2,336 / 2 = 1,168 \text{ м}$ ,  $L_{\text{к}} = 22,77 / 1,168 = 19,495 \text{ м}$ . Для зменшення довжини пилоосаджувальної камери приймаємо кількість полиць – 2. Тоді, площа однієї полиці буде дорівнювати:  $S_{\Pi} = 22,77 / 2 = 11,385 \text{ м}^2$ . Знаходимо загальну висоту камери при відстані між полицями 0,2 м:  $H_3 = 2 \cdot 0,2 = 0,4 \text{ м}$ . Уточнюємо ширину камери з врахуванням розміщення полиць:  $B_{\text{кз}} = 11,385 / 0,4 = 28,462 \text{ м}$ . Визначаємо зменшену довжину камери:  $L_{\text{кз}} = 11,385 / 28,462 = 0,4 \text{ м}$ . Вточнюємо мінімальний розмір частинок:  $d_{\text{мін}} = (18 \cdot 34 \cdot 10^{-6} \cdot 2,336 / (0,4 \cdot 9,81 \cdot 4000 \cdot 28,462))^{0,5} = 56 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ . Тобто бачимо, що умови завдання не виконуються (розмір часток 40 мкм). Необхідні повторні обрахунки. Тоді, без додаткових полиць мінімальний

діаметр часток пилю:  $d_{\min}=(18 \cdot 34 \cdot 10^{-6} \cdot 2,336 / (19,495 \cdot 9,81 \cdot 4000 \cdot 1,168))^{0,5} = 40 \cdot 10^{-6}$  м, що вдовольняє умовам завдання. При неможливості конструктивно розмістити на виробництві пилоосаджувальну камеру рекомендується перейти до обрання інших засобів захисту атмосфери.

### 1.3 Завдання до практичної роботи

За індивідуальним завданням розрахувати параметри роботи пилоосаджувальної камери відповідно до варіанта завдання, наведеного в таблиці 1.1. Решту параметрів для розрахунку взяти з вихідних даних, зазначених у методиці розрахунку.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів пилоосаджувальних камер

Варіант	Витрати газу, м <sup>3</sup> /с	Температура викиду, °С	Діаметр часток пилю, мкм	Густина часток пилю, кг/м <sup>3</sup>
1	1,0	50	30	1000
2	1,5	75	35	1500
3	2,0	100	40	2000
4	2,5	125	45	2500
5	3,0	150	50	3000
6	3,5	175	55	1000
7	4,0	200	60	1500
8	4,5	225	65	2000
9	5,0	250	70	2500
10	5,5	275	75	3000

### 1.4 Висновки. Зробити висновки за роботою.

### 1.5 Тестові питання для контролю самостійної роботи

1. Для очистки від яких забруднень застосовуються пилоосаджувальні камери?
2. В яких виробництвах застосовуються пилоосаджувальні камери?
3. Вкажіть розмір часток пилю від яких відбувається очистка в пилоосаджувальних камерах.
4. Вкажіть ступінь очистки від забруднень в пилоосаджувальних камерах.
5. Наведіть схему пилоосаджувальної камери з розширенням пилопроводу.
6. Наведіть схему багатополічної пилоосаджувальної.
7. Наведіть схему пилоосаджувальної камери з ланцюговими чи дротяними завісами.



8. У чому полягають переваги та недоліки пилоосаджувальних камер різ-них типів?
9. Вкажіть принцип роботи пилоосаджувальних камер.
10. Яка ефективність очищення пилоосаджувальних камер та від яких фак-торів вона залежить?

## **Практична робота 2**

### **Оцінка ефективності роботи форсункового скрубера**

**2.1 Мета роботи:** ознайомитися з принципом роботи та розрахувати основні параметри форсункового скрубера.

#### **2.2 Короткі теоретичні відомості.**

В порожнинних апаратах мокрої очистки повітря запилені гази пропускають через завісу розпилюваної рідини. При цьому, частки пилу захоплюються краплинами промивної рідини і осаджуються в промивачі, а очищені гази видаляються з апарата.

Найбільш розповсюдженим апаратом цього класу є порожнинний форсунковий скрубер. Він широко застосовується як для очищення газів від достатньо великих частинок пилу (більше 5 мкм), так і для охолодження газів, виконуючи в різних схемах пиловловлювання важливу роль апарата, який забезпечує підготовку (кондиціювання) газів.

Порожнинні форсункові скрубери (рисунок 2.1) – це колони круглого чи прямокутного перетину, в яких здійснюється контакт між газами і краплинами рідини, розпилюваної форсунками. За напрямком руху рідини і газів порожнинні газопромивники поділяються на прямострумні, протиструмні і з поперечним підведенням рідини. При мокрому знепилюванні звичайно застосовують апарати з протинаправленим рухом газів і рідини, і рідше – з поперечним зрошенням. Прямострумні порожнинні апарати широко застосовують при випарювальному охолодженні газів.

В протиструмному газопромивачі краплини з форсунок подають назустріч запиленому потоку газів. Вони повинні бути достатньо великими, щоб не бути винесеними газовим потоком, швидкість якого складає від 0,6 до 1,2 м/с. При більших швидкостях газів після газопромивника необхідно встановлювати краплеуловлювач. Форсунки встановлюють в апараті в одному або декількох перетинах: деколи рядами (до 14...16 шт. в перетині), деколи тільки за віссю апарата.

Факел розпилювання форсунок може бути направлений вертикально зверху вниз або під деяким кутом до горизонтальної площини. При розташуванні форсунок у декілька ярусів можливе комбіноване улаштування розпилювачів: частина факелів направлена за ходом газів, друга частина – в протилежному напрямку. Для кращого розподілення газів в перетині апарата в нижній частині газопромивника встановлюється газорозподільна решітка.

Ефективність очищення, що досягається в форсункових скруберах, невисока і складає 0,6-0,7 для частинок з розміром понад 10 мкм.

Перевагами таких апаратів є те, що одночасно з очищенням газ, який проходить через порожнистий форсунковий скрубер, охолоджується і зволожується до стану насичення, а також очистка від вибухопожежонебезпечних сумішей. Недоліком є утворення рідкого шламу, який необхідно в подальшому утилізувати.

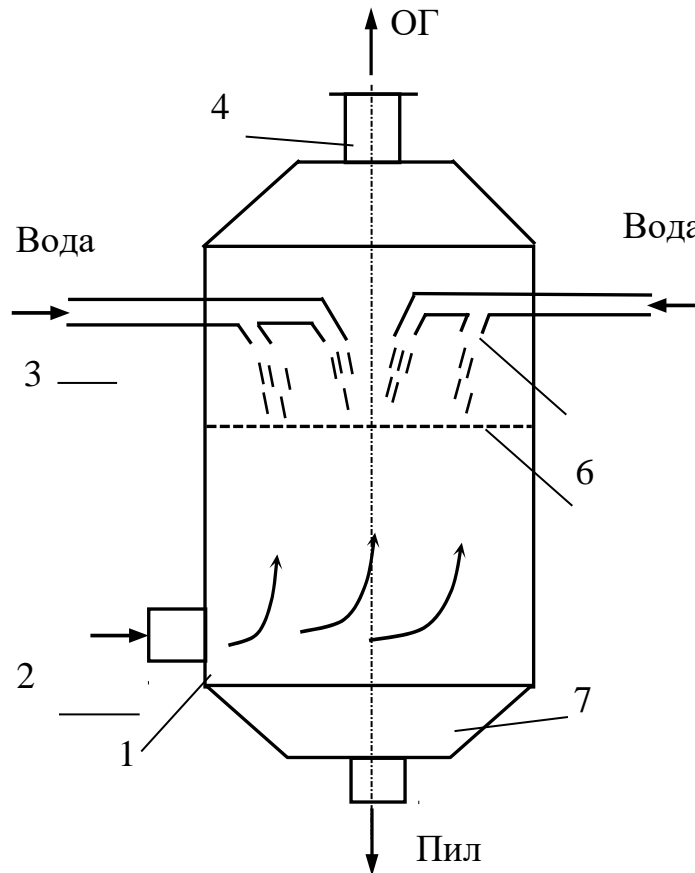


Рисунок 2.1 – Порожнинний форсунковий скрубер: 1 – корпус; 2 – патрубок подання запиленого газу; 3 – патрубок подання води; 4 – патрубок відведення очищеного газу; 5 – форсунки; 6 – газорозподільна решітка; 7 – бункер для шламу

**Визначення розмірів форсункового скрубера.** При розрахунку порожнинних скруберах визначається площа перетину  $S$ ,  $m^2$  і витрати рідини  $Q_{\delta}$ ,  $kg/s$ , яка подається на зрошення, за формулами:

$$S = Q_{\Gamma} / \omega_{\Gamma}, \quad (2.1)$$

$$Q_{\delta} = m \cdot Q_{\Gamma}, \quad (2.2)$$

де  $Q_{\Gamma}$  – кількість газу, що очищується при робочих умовах,  $m^3/s$ ;

$\omega_{\Gamma}$  – швидкість руху газів в апараті,  $m/s$ ;

$m$  – питомі витрати рідини,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ; якщо концентрація пилу на вході  $c' = 10 \dots 12 \text{ г}/\text{м}^3$ , то приймаємо  $m = 6 \dots 8 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

Висота порожнинного *протиструмного* газопромивача вибирається з умови:

$$H \geq 2,5D. \quad (2.3)$$

Діаметр  $D$  повинен бути таким, щоб забезпечити проходження забрудненого газу через газопромивник. Це визначається площею перетину газопромивача.

Діаметр корпусу апарата  $D$  розраховується за формулою:

$$D = (4S/\pi)^{0,5} \quad (2.4)$$

**Приклад 2.1.** Розрахувати основні параметри протиструмного газопромивача з витратою газу  $2 \text{ м}^3/\text{с}$  та швидкістю його руху  $0,95 \text{ м}/\text{с}$ .

**Розв'язання.** Визначаємо площа перетину газопромивача:  $S = 2/0,95 = 2,1 \text{ м}^2$ . Приймаємо витрати рідини  $m = 7 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Тоді,  $Q_{\delta} = 7 \cdot 2 = 14 \text{ м}^3/\text{с}$ . Діаметр корпусу апарата:  $D = (4 \cdot 2,1/\pi)^{0,5} = 1,635 \text{ м}$ . Висота порожнинного протиструмного газопромивача:  $H \geq 2,5 \cdot 1,635 = 4,088 \text{ м}$ .

Визначення ступеня очищення газу у форсункових скруберах.

*Ступінь очищення газів* у форсункових скруберах визначають за формулою:

$$\eta = 1 - \exp(-1,5 \cdot d_{\text{ч}} \eta_{\text{з}} \omega_0 H Q_{\text{ж}} / (\omega_{\text{к}} d_{\text{к}} Q_{\text{г}})) \quad (2.5)$$

де  $\eta_{\text{з}}$  – коефіцієнт захвату, частки од.;

$\omega_0$  – відносна швидкість рідини й газу,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$H$  – активна висота скрубера,  $\text{м}$ ;

$\omega_{\text{к}}$  – швидкість краплі води,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$d_{\text{к}}$  – діаметр краплі води,  $\text{м}$ ;

$Q_{\text{ж}}/Q_{\text{г}}$  – питома витрата води.

*Відносна швидкість рідини і газу* визначається залежно від того, як рухаються краплі води й пилу відносно одна одної.

У разі однонаправленого руху (газ і краплі рухаються в одному напрямку)  $\omega_0 = \omega_{\text{г}} - \omega_{\text{к}}$ .

У разі різнонаправленого руху (газ і краплі рухаються назустріч одне одному)  $\omega_0 = \omega_{\text{г}} + \omega_{\text{к}}$ .

*Коефіцієнт захвату* визначають залежно від питомої витрати води:

а) коли  $Q_{\text{ж}}/Q_{\text{г}}$  строго дорівнює 2:

$$\eta_3 = 1 - 0,15Stk^{-1,24} \quad (2.6)$$

де  $Stk$  – критерій Стокса (критерій подібності, що використовується в гідродинаміці суспензій, який визначає співвідношення між кінетичною енергією завислих частинок і енергією їх взаємодії з рідиною).

б) коли  $Q_{ж}/Q_г$  не дорівнює 2:

$$\eta_3 = Stk^2 / (Stk + 0.35)^2 \quad (2.7)$$

$$Stk = d_{ч} \omega_0^2 \rho_{ч} / (18 \mu d_{к}), \quad (2.8)$$

**Приклад 2.2** Розрахувати ступінь очистки форсункового скрубера для часток діаметром 10 мкм з витратою газу 2 м<sup>3</sup>/с та швидкістю його руху 4 м/с за наступними даними:  $\rho_{ч}=1100$  кг/м<sup>3</sup>,  $\rho_{г}=1,5$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu_{г}=20 \cdot 10^{-6}$ , Н·с/м<sup>2</sup>,  $\omega_{к}=1$  м/с,  $d_{к}=2$  мм,  $H=8$  м,  $Q_{ж}/Q_{г}=5$ . Рух газу і крапель рідини є різнонаправленим.

**Розв'язання.** Аналізуючи вихідні дані, бачимо, що співвідношення  $Q_{ж}/Q_{г}$  не дорівнює 2 л/м<sup>3</sup>. Тоді, коефіцієнт захвату визначаємо за формулою 2.7. Відносна швидкість руху рідини і газу:  $\omega_0=4+1=5$  м/с. Критерій Стокса буде дорівнювати:  $Stk=10 \cdot 10^{-6} \cdot 5^2 \cdot 1100 / (18 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 0,002) = 381\,944,4$ . Тоді, коефіцієнт захвату:  $\eta_3 = 381\,944,4^2 / (381\,944,4 + 0.35)^2 = 1$ . Витрата рідини –  $Q_{ж}=5 \cdot 2=10$  м<sup>3</sup>/с.

Ступінь очистки форсункового газопромивача складає:

$$\eta = 1 - \exp(-1,5 \cdot 10 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 5 \cdot 8 \cdot 10 / (1 \cdot 0,002 \cdot 2)) = 0,78.$$

## 2.3 Завдання до практичної роботи.

2.3.1 Розрахувати основні параметри протиструмного газопромивача згідно свого варіанту завдання за даними таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів газопромивача

Варіант	Витрати газу, м <sup>3</sup> /с	Швидкість руху часток пилу, м/с
1	1,0	0,90
2	1,5	0,91
3	2,0	0,92
4	2,5	0,93
5	3,0	0,94
6	3,5	0,95
7	1,0	0,96
8	1,5	0,97
9	2,0	0,98
10	2,5	0,99

2.3.2 Розрахувати ступінь очистки форсункового скрубера користуючись даними таблиці 2.2. Рух газу і крапель рідини є різнонаправленим. Витрати газу для всіх варіантів – 2 м<sup>3</sup>/с.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані до розрахунку форсункового скрубера

Номер варіант у	$d_{\text{ч}}$ , мкм	$\rho_{\text{ч}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho_{\text{г}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$\omega_{\text{г}}$ , м/с	$\mu_{\text{г}} \times 10^{-6}$ , Н·с/м <sup>2</sup>	$\omega_{\text{к}}$ , м/ с	$d_{\text{к}}$ , мм	H, м	$Q_{\text{ж}}/$ $Q_{\text{г}}$
1	10	1200	1,39	3,5	21	5,5	1,0	2	2,5
2	15	1200	1,45	4,2	22	6,2	1,2	3	3,0
3	20	1200	1,39	2,5	23	4,8	1,5	5	3,5
4	25	1200	1,45	1,9	24	3,5	2,0	6	4,0
5	30	1200	2,15	4,0	20	4,2	2,5	7	4,5
6	21	2400	2,25	3,5	21	5,1	0,8	8	5,0
7	16	2400	1,85	2,8	22	6,2	1,0	9	2,5
8	13	2400	1,65	3,7	23	5,4	1,2	3	3,0
9	21	2400	2,25	2,8	21	3,5	1,0	5	3,5
10	17	2400	2,14	3,5	22	4,1	1,5	6	4,0

## 2.4 Висновки. Зробити висновки за кожним завданням.

### 2.5 Тестові питання для контролю самостійної роботи

1. Для очистки від яких забруднень застосовуються порожнинні апарати?
2. Вкажіть розмір часток пилу від яких відбувається очистка у форсункових скруберах.
3. Вкажіть ступінь очистки від забруднень в форсункових скруберах.
4. Наведіть схему форсункового скрубера.
5. У чому полягають недоліки застосування форсункових скруберів?
6. У чому полягають переваги застосування форсункових скруберів?
7. Опишіть конструкцію форсункових скруберів.
8. Вкажіть принцип роботи форсункових скруберів.
9. Як за напрямком руху рідини і газів поділяються порожнинні газопромивники?
10. Опишіть роботу протиструмного газопромивоча.

## Практична робота 3 Оцінка параметрів роботи абсорберів

**3.1 Мета роботи:** ознайомитися з принципом роботи та методикою розрахунку основних технологічних характеристик адсорберів.

### 3.2 Короткі теоретичні відомості

Абсорбція знаходить широке застосування в техніці, головним чином для розділення газоподібних сумішей на складові частини шляхом розчинення одного чи декількох компонентів цієї суміші в рідині, яка називається *абсорбентом*. Фізична сутність процесу абсорбції пояснюється плівковою теорією, згідно з якою при стиканні рідини і газоподібних речовин на поверхні поділу обох фаз утворюються рідинна і газова плівки. Розчинний в рідині компонент газоподібної суміші проникає шляхом дифузії спочатку крізь газову плівку, а потім крізь рідинну і надходить у внутрішні шари адсорбенту. Для здійснення дифузії необхідно, щоб концентрація розчиненого компонента в газовій суміші перевищувала його рівноважну концентрацію над рідиною. Якщо концентрація розчинного компонента в газоподібній суміші менша його рівноважної концентрації над рідинною, дифузія відбувається у зворотному напрямку. В цьому випадку замість поглинання розчиненого компонента відбувається виділення його з розчину в газоподібному стані. Такий процес називається десорбцією і застосовується в техніці для витягання поглинених речовин з абсорбенту.

Типова схема промислової абсорбційної установки наведена на рисунку 3.1. Апарат для поділу суміші газів на складові частини шляхом розчинення одного чи декількох компонентів цієї суміші в рідині називається абсорбером.

Вирішальною умовою при виборі абсорбенту є розчинність в ньому компонента, який витягується та його залежність від температури і тиску. Якщо розчинність газів при 0°C і парціальному тиску складає сотні грамів на 1 кг розчинника, то такі гази називають добре розчинними. Для видалення з технологічних викидів таких газів, як аміак, хлористий або фтористий водень доцільно застосовувати як поглинальну рідину воду, тому що розчинність їх у воді складає сотні грамів на 1 кг H<sub>2</sub>O. При поглинанні ж з газів сірчаного ангідриду чи хлору витрати води будуть значними, тому що розчинність їх складає соті частки грама на 1 кг води. В деяких спеціальних випадках замість води застосовують водні розчини таких хімічних речовин, як сірчана кислота (для вловлювання водяних парів), в'язкі масла (для вловлювання ароматичних вуглеводнів із коксового газу) тощо.

Ступінь очистки в більшості абсорберів складає 90-95%. Перевагами використання абсорберів:

- 1) розвинута поверхня контакту фаз;
- 2) низький гідравлічний опір;
- 3) можуть функціонувати в різних гідродинамічних режимах. Самим ефективним є перехід від режиму підвисання до емульгування;
- 4) простота конструкції.

Недоліки абсорберів:

- 1) труднощі з організацією відводу теплоти, не завжди добра змочуванність насадки при низькій щільності зрошення;
- 2) насадкові колони недоцільно застосовувати при роботі з забрудненими рідинами, вони досить чутливі до змін навантаження по газу.

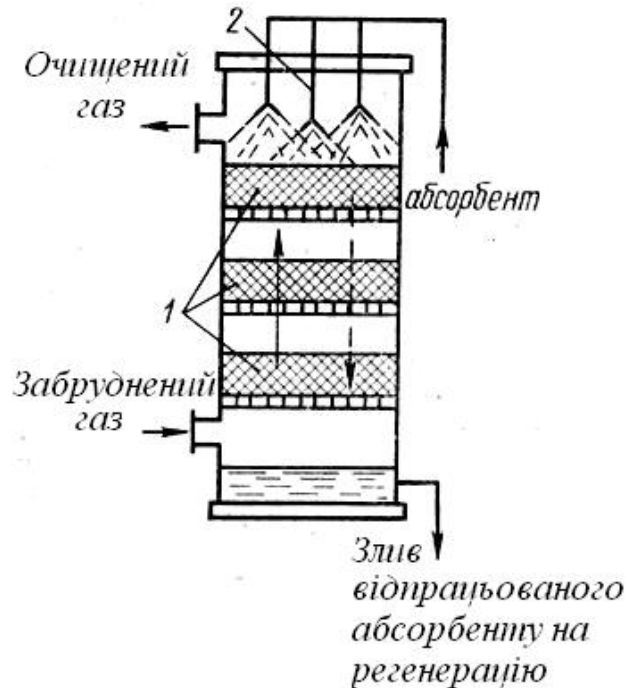


Рисунок 3.1 – Схема абсорбційної колони: 1 – подача абсорбенту; 2 – насадка

**Ступінь очистки димового газу** в абсорбері визначається за формулою:

$$\eta = (y_1 - y_2) / y_1 \quad (3.1)$$

де  $y_1$  – концентрація домішки на вході до апарату, г/м<sup>3</sup>;

$y_2$  – концентрація домішки на виході з апарату, г/м<sup>3</sup>.

**Концентрація домішки на виході** знаходиться за допомогою рівняння матеріального балансу:

$$Q_G (y_1 - y_2) = Q_P (x_2 - x_1), \quad (3.2)$$

де  $Q_G$  – витрата димового газу, м<sup>3</sup>/год;

$Q_P$  – витрата зрошуючої рідини, м<sup>3</sup>/год;

$x_1$  – початкова концентрація домішки у воді, г/м<sup>3</sup>;

$x_2$  – кінцева концентрація домішки у воді, г/м<sup>3</sup>.

**Визначення габаритних розмірів абсорбера.** Масова витрата газу  $G$  дорівнює:

$$G = Q \cdot \rho_o, \quad (3.3)$$

де  $Q$  – витрата повітря, м<sup>3</sup>/год;

$\rho_o$  – густина повітря за нормальних умов ( $\rho_o = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>).

Площа поперечного перетину абсорбера, м<sup>2</sup>:

$$S = G/(3600 \omega \rho_{\Gamma}) \quad (3.4)$$

де  $\omega$  – робоча швидкість газу, м/с.

Діаметр корпусу абсорбера  $D$ , м:

$$D = (4S/\pi)^{0,5} \quad (3.5)$$

Необхідна висота насадки, м:

$$H = V/S \quad (3.6)$$

де  $V$  – вільний об'єм абсорбера, м<sup>3</sup>.

**Приклад 3.1.** Розрахувати габаритні розміри та ступінь очистки димового газу в абсорбері при витратах димового газу та зрошувальної рідини відповідно: 200 м<sup>3</sup>/год та 10 м<sup>3</sup>/год. Концентрація домішки на вході апарату – 0,5 г/м<sup>3</sup> при початковій та кінцевій її концентраціях у рідині – 1 г/м<sup>3</sup> та 10 г/м<sup>3</sup>. Вільний об'єм абсорбера 1 м<sup>3</sup>, швидкість руху газу 0,5 м/с, густина газу 1,35 кг/м<sup>3</sup>.

**Розв'язання.** З рівняння 3.2 знаходимо  $y_2$ . Концентрація домішки на виході з апарату  $y_2 = y_1 - Q_P(x_2 - x_1)/Q_{\Gamma} = 0,5 - 10(10 - 1)/200 = 0,05$ . Звідки  $\eta = (0,5 - 0,05)/0,5 = 0,9$ . Ступінь очистки відповідає заявленій для абсорберів.

Знаходимо масову витрату газу  $G = 200 \cdot 1,293 = 258,6$  кг/год. Площа поперечного перетину абсорбера  $S = 258,6/(3600 \cdot 0,5 \cdot 1,35) = 0,106$  м<sup>2</sup>. Діаметр абсорбера  $D = (4 \cdot 0,106/\pi)^{0,5} = 0,367$  м. Необхідна висота насадки  $H = 1/0,367 = 2,724$  м.

**Приклад 3.2.** Розрахувати баланс процесу очистки в абсорбері з парами 1% сульфатної кислоти. Її очищення здійснюють за допомогою 5% розчину амоніаку. Витрата суміші  $Q = 1000$  м<sup>3</sup>/год, ефективність очистки 0,9.

**Розв'язання.** Знайдемо масу сірчаної кислоти, яка міститься в 1000 м<sup>3</sup> газу, беручи до уваги, що концентрація забруднювача становить 1 %, таким чином:



$$V(\text{газу}) = 1000 \text{ м}^3; C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1\%; V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 10 \text{ м}^3;$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) \quad - \quad M(\text{H}_2\text{SO}_4) \quad 98 \text{ г/моль}$$



$$10 \text{ м}^3 \quad V(\text{H}_2\text{SO}_4) \quad - \quad 22,4 \text{ л/моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = [V(\text{H}_2\text{SO}_4) \times M(\text{H}_2\text{SO}_4)] / 22,4 = [10 \times 98] / 22,4 = 43,75 \times 10^3 (\text{г}) \\ = 43,75 (\text{кг}).$$

Цей розрахунок відповідає 100% ступеню звільнення повітря від амоніаку, що на практиці дуже важко досягти використовуючи один контур очищення. В умовах завдання передбачено 90% ступінь очищення, тому фактична маса кислоти, що вступила в реакцію,

$$m_{(\text{факт})}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 43,75 \times 0,9 = 39,375 \text{ кг}.$$

Знайдемо, яка маса амоніаку необхідна для реакції:

$$\begin{array}{rclcl} 17 \text{ г/моль} & M(\text{NH}_3) & - & M(\text{H}_2\text{SO}_4) & 98 \text{ г/моль} \\ & m(\text{NH}_3) & - & m(\text{H}_2\text{SO}_4) & 39,375 \text{ кг} \end{array}$$

$$m(\text{NH}_3) = m(\text{H}_2\text{SO}_4) \times M(\text{NH}_3) / M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 39,375 \times 17 / 98 = 6,83 \text{ кг}.$$

Як і в попередньому випадку, розрахунок стосується 100% концентрації амоніаку, на практиці ж використовують робочі розчини 2–10 %.

Так, для реакції необхідно:

$$5 \text{ г NH}_3 \quad - \quad 100 \text{ г 5\%-ного розчину}$$

$$6,83 \text{ кг NH}_3 \quad - \quad x \text{ кг розчину}$$

$$x = 6,83 \times 100 / 5 = 136,6 \text{ кг 5\%-ного розчину NH}_3.$$

Визначимо масу солі  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , яка утворюється внаслідок реакції нейтралізації. При цьому розрахунок продукту ведемо, беручи до уваги речовину, якої бракує, а саме:

$$\begin{array}{rclcl} 98 \text{ г/моль} & M(\text{H}_2\text{SO}_4) & - & M(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 & 122 \text{ г/моль} \\ 39,375 \text{ кг} & m(\text{H}_2\text{SO}_4) & - & m(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 & \end{array}$$

$$m(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 39,375 \times 122 / 98 = 49,018 \text{ кг}.$$

Отже, для очищення  $1000 \text{ м}^3$  газу, який містить 1 % сульфатної кислоти, необхідно  $136,6 \text{ кг 5\%-ного розчину амоніаку}$ .

Після очищення отримують  $49,018 \text{ кг солі } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ .

Для реального технологічного процесу, як правило, використовують надлишкову кількість робочого розчину, приблизно на 10 % більше розрахованих значень.

### 3.3 Завдання до практичної роботи

**3.1.1.** Розрахувати габаритні розміри та ступінь очистки димового газу в абсорбері за індивідуальним завданням згідно варіанту таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні данні до завдання 3.3.1

Номер варіанту	$Q_G$ , м <sup>3</sup> /год	$Q_P$ , м <sup>3</sup> /год	$y_1$ , г/м <sup>3</sup>	$x_1$ , г/м <sup>3</sup>	$x_2$ , г/м <sup>3</sup>	$V$ , м <sup>3</sup>	$\omega$ , м/с	$\rho_G$ , кг/м <sup>3</sup>
1	200	9	0,7	1	15	1	0,5	1,30
2	300	10	1,4	2	10	0,9	0,6	1,31
3	400	30	1,4	2	5	0,8	0,7	1,32
4	200	15	0,8	4	14	0,7	0,8	1,33
5	300	20	0,1	4	3	0,6	0,9	1,34
6	400	30	1,8	3	13	0,5	1,1	1,35
7	500	50	1,0	1	10	1	1,2	1,36
8	600	60	1,1	5	15	0,9	1,3	1,37
9	500	40	1,0	10	20	0,8	1,4	1,38
10	200	50	1,5	5	13	0,7	1,5	1,39

**3.1.2.** Розрахувати баланс процесу очистки в абсорбері з парами 1% сульфатної кислоти, відповідно до варіанта завдання (таблиця 3.2). Її очищення здійснюють за допомогою 5% розчину амоніаку.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для розрахунку абсорбційного очищення газової суміші

Варіант	Витрата газової суміші $Q$ , м <sup>3</sup> /год	Вміст $H_2SO_4$ у газі, об. %	Ефективність очищення $\eta$ , %
1	1000	0,5	85
2	1500	0,6	86
3	2000	0,7	87
4	2500	0,8	88
5	3000	0,9	89
6	3500	1,0	90
7	4000	1,1	91
8	4500	1,2	92
9	5000	1,3	93
10	5500	1,4	94

**3.4. Висновки.** Зробити висновки завданням роботи.

### 3.5 Тестові питання для контролю самостійної роботи

1. В чому полягає процес абсорбції?
2. Для очистки від яких забруднень застосовуються абсорбери?
3. Які речовини можуть бути абсорбентами?
4. Що є головною умовою при виборі абсорбенту?
5. Поясніть, коли виникає десорбція? Для чого цей процес можна використовувати?
6. Вкажіть ступінь очистки від забруднень в абсорберах.
7. Наведіть схему абсорбера.
8. Наведіть схему тарілчастого абсорбера.
9. У чому полягають переваги використання абсорберів?
10. У чому полягають недоліки використання абсорберів?

## Практична робота 4 Оцінка ефективності роботи електрофільтрів

**4.1 Мета роботи:** ознайомитися з принципом роботи та провести розрахунки основних параметрів роботи електрофільтрів.

### 4.2 Короткі теоретичні відомості.

Електричне очищення – є одним з найефективніших видів очищення газів від пилу та туману. Газопилова суміш, яка очищується, пропускається через неоднорідне електричне поле, що утворюється між коронувальним 4 і осаджувальним 1 електродами (рисунок 4.1).

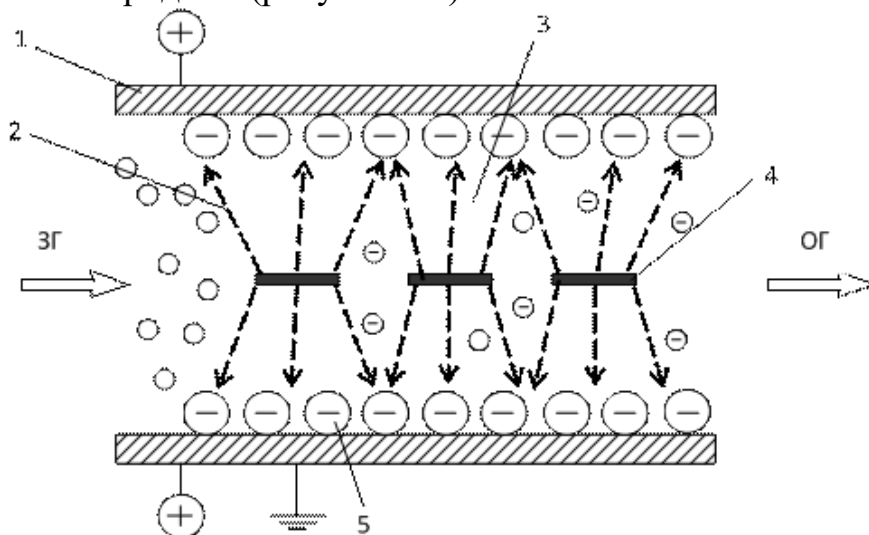


Рисунок 4.1 – Принцип роботи електрофільтра: 1 – осаджувальний електрод; 2 – електричне поле; 3 – заряджена зона; 4 – коронувальний електрод; 5 шар осівшого пилу

Коронувальні електроди ізолювані від землі і до них підводиться випрямлений струм негативної полярності напругою 50...80 кВ; осаджувальні

електроди заземлені і підключені до позитивного полюсу. Як осаджувальні електроди використовуються циліндричні чи шестигранні труби і профільовані пластини. Коронувальні електроди конструктивно часто виконуються у вигляді тонкого дроту. Під дією електричного поля, яке виникає між електродами, вільні електрони і позитивно заряджені молекули починають переміщуватися за направленням силових ліній електричного поля.

Напруженість електричного поля, В/м, на відстані  $x$  метрів від вісі коронувального електрода визначається за формулою:

$$E_K = U/2,3 \lg(R_2/R_1), \quad (4.1)$$

де  $U$  – напруга, прикладена до електродів, В;  $R_1, R_2$  – радіуси коронувального і осаджувального електродів, м.

Широке використання електрофільтрів в різних галузях промисловості привело до створення різних типів і конструкцій апаратів. За розміщенням зон зарядки і осаджування електрофільтри поділяються на однозонні та двозонні. В однозонних (рисунок 4.2) зони зарядки і осадження суміщені, а в двозонних зарядка проходить в іонізаторі, а осаджування – в осаджувачі.

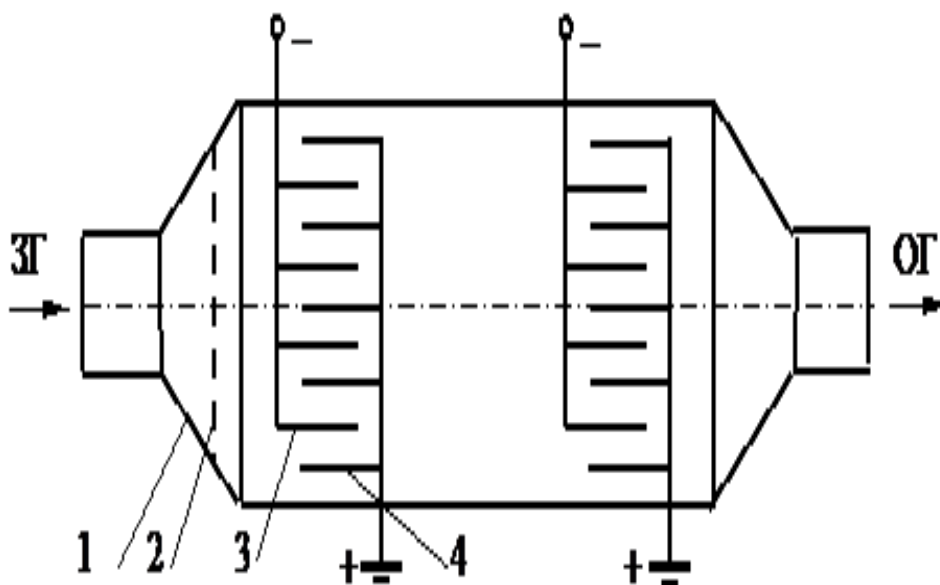


Рисунок 4.2 – Конструктивна схема однозонного двосекційного електрофільтра: 1 – корпус; 2 – газорозподільна решітка; 3 – система коронувальних електродів; 4 – осаджувальні електроди

Залежно від направлення газів в активній зоні електрофільтри поділяються на вертикальні та горизонтальні. За способом видалення осаджених на електродах частинок розрізняють сухі та мокрі електрофільтри. В сухих електрофільтрах частинки, які осіли на електродах, видаляються за допомогою струшування, а в мокрих – змиваються водою.

*Переваги використання електрофільтрів:*

- висока ефективність видалення часток забруднювачів (99-99,9%) у широкому діапазоні розмірів частинок (0,05-5 мкм);
- вилучення сухих і мокрих забруднювачів;
- мінімальні енергетичні витрати (до 0,8 кВт на 1000 м<sup>3</sup> газу);
- очищення газу виконується при підвищених температурах;
- процес очищення системи – автоматизований.

*Недоліки використання електрофільтрів:*

- високі капітальні витрати;
- необхідний великий простір для встановлення електрофільтра;
- не гнучкі для перелаштування після встановлення;
- вони не можуть бути використані для збору вибухопожежонебезпечних речовин.

Процес очищення речовин в електрофільтрах описується так званим *німецьким рівнянням*, для якого прийнято такі припущення:

- газ (і частинки в ньому) рухається в напрямку вісі  $X$  зі швидкістю  $v$ ;
- частинки розподіляються в напрямках осей  $Y$  та  $Z$  у кожній точці уздовж вісі  $X$ ;
- під дією електричного поля частинки пилу переміщуються із швидкістю  $w$  у напрямку осі  $Y$ .

При цьому концентрація твердих частинок вздовж вісі  $X$  постійно зменшується, тоді матеріальний баланс процесу виражається в такий спосіб:

$$M = vHDC_x/2 - vHDC_{x+\Delta x}/2 \quad (4.2)$$

де  $M$  – маса видалених частинок пилу;  $v$  – швидкість переміщення газу, м/хв;  $H$  – висота електрода, м;  $D$  – ширина каналу, м;  $C$  – концентрація твердих частин у газовому потоці в певній точці вздовж вісі  $X$ , г/м<sup>3</sup>.

Рівняння може бути перетворено з огляду на зміну концентрації в процесі руху частинок по вісі  $X$ , тобто

$$\frac{vHD}{2} \cdot \frac{dC}{dx} = wHC \quad (4.3)$$

де  $w$  – поперечна швидкість частинок у напрямку вісі  $Y$ .

У цьому рівнянні можна задіяти довжину всієї камери  $L$  замість певної точки простору вздовж осі  $X$ , використавши початкову й кінцеву величини концентрації твердих частинок, а саме:

$$\ln(C_L/C_0) = 2 wHL/(vHD) \quad (4.4)$$

або

$$\ln(C_L/C_0) = -wA_p/Q_c \quad (4.5)$$

де  $A_p$  – площа одного електрода з обох боків каналу, м<sup>2</sup>;  $Q_c$  – витрата газоповітряної суміші, м<sup>3</sup>/хв.

Тоді в застосуванні до всього електрофільтра:

$$C_L/C_0 = e^{(-\frac{wA}{Q})} \quad (4.6)$$

Якщо прийняти, що відношення  $C_L/C_0$  означає вміст твердих частинок пилу у викиді ( $P_t = 1 - \eta$ ), то одержуємо німецьке рівняння такого вигляду:

$$\eta = 1 - e^{(-\frac{wA}{Q})} \quad (4.7)$$

де  $\eta$  – фракційна ефективність уловлювання пилу.

Загальна площа осадження часток в електрофільтрі обчислюється за формулою:

$$A = A_p(n-1)N_s = A_p(N - N_s), \quad (4.8)$$

де  $A_p$  – площа одного електрода з обох боків ( $A_p = 2HL_p$ ), м<sup>2</sup>;  $n$  – кількість осаджувальних електродів у секції;  $N$  – загальна кількість осаджувальних електродів в електрофільтрі;  $N_s$  – кількість секцій.

**Приклад 4.1.** Обчислити загальну площу осадження частинок в електрофільтрі, ефективність якого  $\eta = 99\%$ , а також визначити кількість осаджувальних електродів, якщо витрата газоповітряної суміші  $Q = 10000$  м<sup>3</sup>/хв. Ефективна поперечна швидкість руху часток у напрямку вісі  $Y$   $w = 5,0$  м/хв. Беруть до уваги такі розміри осаджувальних електродів: довжина – 4 м, висота – 8 м, фільтр двосекційний.

**Розв'язання.** Обчислюємо загальну площу осадження часток в електрофільтрі:  $\ln(C_L/C_0) = \ln(1 - \eta) = -wA_p/QC$ ;  $A = -Q \ln(1 - \eta)/w = -1000 \ln(1 - 0,99)/5 = 9210,3$  м<sup>2</sup>. Визначаємо кількість осаджувальних електродів:  $A = A_p(N - N_s) = A_p(N - 2)$ ;  $N = A/A_p + 2 = 9210,3/(2 \cdot 4 \cdot 8) + 2 = 145,9$ . Приймаємо загальну кількість електродів 146. Таким чином, кожна секція електрофільтра має 73 електроди.

**Приклад 4.2.** Розрахувати кінцеву концентрацію пилу в технологічних газах та ефективність пилоочищення в електрофільтрі: витрата газоповітряної суміші  $Q = 10000$  м<sup>3</sup>/хв; початкова запиленість газу  $C_0 = 1$  г/м<sup>3</sup>. Розміри електрода: довжина – 4 м, висота – 8 м. Електрофільтр має дві секції, у складі кожної секції 80 електродів. Ефективна поперечна швидкість частинок, що рухаються у напрямку осі  $Y$ ,  $w = 5,0$  м/хв.

**Розв'язання.** Обчислюємо загальну площу осадження часток в електрофільтрі:  $A_p = 2 \cdot 8 \cdot 4 \cdot 80 \cdot 2 = 10\,240$  м<sup>2</sup>. Розраховуємо кінцеву концентрацію пилу. З формули 4.6 знаходимо:  $C_L = C_0 e^{(-\frac{5 \cdot 10240}{10000})} = 0,006$  г/м<sup>3</sup>. Визначаємо ефективність пилоочищення в електрофільтрі:  $\eta = (1 - 0,006)/1 = 0,994$ . Ступінь очистки в електрофільтрі відповідає заявленому.

### 4.3 Завдання до практичної роботи.

#### 4.3.1 Визначити кількість осаджувальних електродів в трьохсекційному

електрофільтри згідно свого варіанту завдання за даними таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів електрофільтра

Варіант	Q, м <sup>3</sup> /хв.	w, м/хв.	L, м	H, м	$\eta$
1	10000	5	3	6	0,999
2	11000	6	4	8	0,998
3	12000	7	5	10	0,997
4	13000	8	6	12	0,996
5	14000	9	7	6	0,995
6	15000	10	8	8	0,994
7	16000	5	9	10	0,993
8	17000	6	2	12	0,992
9	18000	7	3	6	0,991
10	19000	8	4	7	0,990

**4.3.2** Розрахувати кінцеву концентрацію пилу в пилоповітряній суміші та ефективність пилоочищення в двосекційному електрофільтрі згідно свого варіанту завдання за даними таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні дані до розрахунку форсункового скрубера

Варіант	Q, м <sup>3</sup> /хв.	w, м/хв.	L, м	H, м	C <sub>0</sub> , г/м <sup>3</sup>
1	10000	5	3	6	1
2	11000	6	4	8	2
3	12000	7	5	10	3
4	13000	8	6	12	4
5	14000	9	7	6	5
6	15000	10	8	8	6
7	16000	5	9	10	7
8	17000	6	2	12	8
9	18000	7	3	6	9
10	19000	8	4	7	10

**4.4. Висновки.** Зробити висновки за кожним завданням.

#### 4.5 Тестові питання для контролю самостійної роботи

1. Опишіть принцип роботи електрофільтра.
2. Наведіть схему роботи електричного фільтру.
3. За якою формулою визначається напруженість електричного поля в електрофільтрі?
4. Вкажіть ступінь очистки від забруднень в електрофільтрах.
5. Як поділяються електрофільтри за розміщенням зон зарядки і осаджування?
6. Наведіть конструктивну схему однозонного електрофільтра.
7. Як поділяються електрофільтри в залежності від напрямлення газів

в активній зоні?

8. Як поділяються електрофільтри за способом видалення осаджених на електродах частинок?

9. Наведіть матеріальний баланс для електрофільтрів.

10. Вкажіть переваги використання електрофільтрів.

## **Практична робота 5**

### **Розрахунок напірного зернистого фільтру**

**5.1 Мета роботи:** ознайомитися з принципом роботи та провести розрахунки основних параметрів зернистого фільтру.

#### **5.2 Короткі теоретичні відомості.**

Зернисті фільтри застосовують для глибокого очищення вод від дрібнодисперсних частинок, а також для доочищення стічних вод після біологічної або фізико-хімічної очистки. Ступінь очистки в таких фільтрах може досягати 95%, а в окремих випадках 97%.

Фільтри з зернистим шаром поділяють на повільні (швидкість фільтрування до 0,3 м/год) і швидкісні (швидкі – 2–15 м/год і надшвидкі – більше 25 м/год); відкриті і закриті (напірні); з дрібнозернистим фільтруючим завантаженням (розмір часток 0,4 мм), середньозернистим (0,4–0,8 мм) і грубозернистим (більше 0,8 мм); одношарові і багатшарові; вертикальні і горизонтальні.

Висота шару у відкритих фільтрах дорівнює 1–2 м, в закритих 0,5–1 м. Напір води в закритих фільтрах забезпечується насосами.

Найбільш широко застосовуються фільтруючі матеріали: кварцовий пісок, подрібнений антрацит, керамічна крихта та інші.

Промивання фільтрів, як правило, здійснюють очищеною водою (фільтратом), подаючи її знизу вгору. При цьому зерна завантаження переходять у завислий стан і звільняються від прилиплих частинок забруднень. Може бути проведено водоповітряне промивання, при якому спочатку зернистий шар продувають повітрям для розпушування, а потім подають воду.

Схема вертикального напірного зернистого фільтру представлена на рисунку 5.1. Основними частинами фільтру є: корпус, зборно-розподільча система, розміщений всередині корпусу шар фільтруючого матеріалу. Зовні фільтра розташовані трубопроводи підведення і відведення води та стисненого повітря.

Підготовка фільтру до роботи полягає в промиванні шару фільтруючого завантаження від затриманих забруднень. Для якісного промивання необхідно, щоб зерна фільтруючого матеріалу знаходилися в завислому стані. При цьому необхідно створити такі умови, при яких зерна фільтруючого матеріалу стикалися б між собою і відбувалося б повне відтирання з їх поверхні налиплих забруднень.



Промивання фільтруючого матеріалу здійснюють висхідним потоком води. Необхідною умовою промивання є розширення обсягу шару фільтруючого матеріалу на 40–50%, що дозволяє зернам фільтруючого матеріалу вільно переміщатися в потоці води.

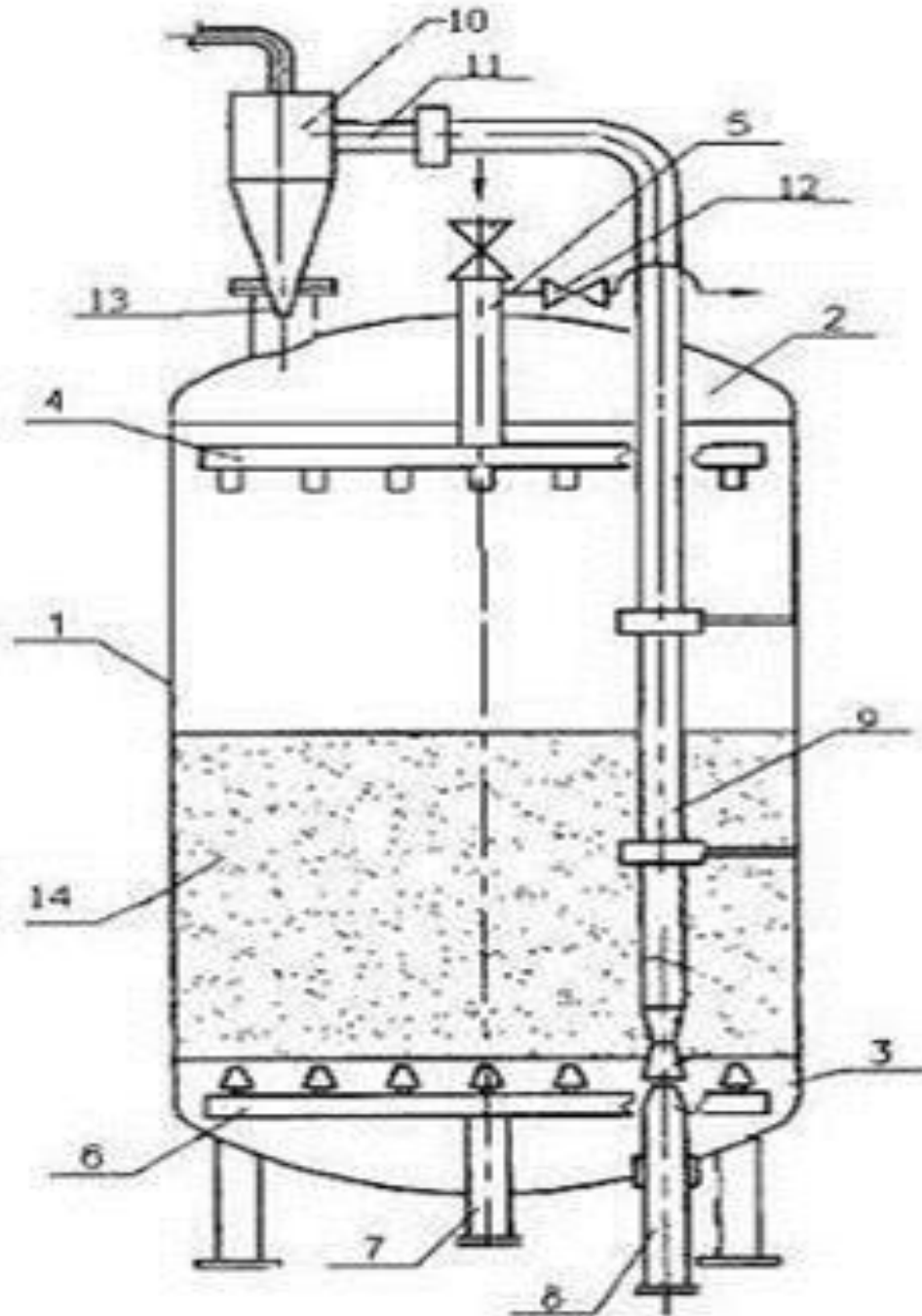


Рисунок 5.1 - Напірний зернистий фільтр SPF-2,0/0,25-RO: 1 - корпус фільтра; 2 - кришка; 3 - піддон; 4 - зборно-розподільча система; 5 - подача води на фільтрування; 6 - дренажна система; 7 - відвод очищеної води; 8 - подача води на гідроелеватор; 9 - гідроелеватор; 10 - напірний гідроциклон; 11 - подача пісчаної пульпи в напірний гідроциклон з гідроелеватора; 12 - відвод забрудненої промивочної води; 13 - конус вигрузки відмитих відновлених часток; 14 - загрузка фільтра.

Відлітаючи з поверхні фільтруючих зерен частки забруднень разом з висхідним потоком води відводяться з фільтру.

Необхідне розширення фільтруючого шару досягається при відповідній швидкості потоку води, яка характеризується інтенсивністю промивання.

Якість промивання контролюють, аналізуючи проби води, що виходить з фільтру, на мутність.

Для підвищення якості промивання у фільтр через нижній розподільний пристрій подають стиснене повітря. Фільтруючий шар обробляють стисненим повітрям протягом 3–5 хв до подачі у фільтр промивної води.

Після закінчення промивання мутний фільтрат скидають або в дренаж, або в ємність повторного використання промивної води.

Під час роботи фільтру вода подається на шар зернистого фільтруючого матеріалу, проходить його, збирається і відводиться з фільтру в загальний колектор.

При зниженні прозорості фільтрату, а також при досягненні максимально допустимого перепаду тиску на шарі фільтруючого матеріалу фільтр відключають на промивання.

При продуктивності установки до 70 м<sup>3</sup>/год встановлюється не менше трьох фільтрів, понад 70 м<sup>3</sup>/год – не менше чотирьох фільтрів.

Переваги використання зернистих фільтрів полягають в доступності та розповсюдженості фільтруючих матеріалів, витримувати великі механічні навантаження. Недоліки: велика металоємність, стирання стінок трубопроводів, подрібнення і винесення піску, складність експлуатації.

Основним розрахунковим фактором для зернистих фільтрів є оцінка їх продуктивності, яка окрім заданої величини повинна враховувати витрату на власні потреби всіх наступних стадій обробки води.

Необхідна (наближено) загальна площа фільтрування  $F$ , м<sup>2</sup>, при нормальному режимі роботи визначається наступним чином:

$$F = Q \cdot \alpha / v \quad (5.1)$$

де  $Q$  – продуктивність фільтраційної установки за освітленою водою, м<sup>3</sup>/год;  $v$  – допустима швидкість фільтрування, при нормальному режимі роботи  $v = 5$  м/год;  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує витрату води на власні потреби, приймається  $\alpha = 1,1$ .

Площа фільтрування  $f$ , м<sup>2</sup>, кожного фільтру визначається зрівняння:

$$f = F / (a - 1) \quad (5.2)$$

де  $a$  – кількість фільтрів, мінімальна кількість фільтрів  $a = 3$ .

Визначається діаметр фільтру  $D$ , м:

$$D = (4F/\pi)^{0,5} \quad (5.3)$$

Отримане значення діаметра одного фільтра коригується відповідно з діаметром стандартного фільтра (діаметри стандартних фільтрів  $D$ , мм: 700, 1000, 1500, 2000, 2600, 3000, 3400).

Об'єм води  $V$ , м<sup>3</sup>, на одне відмивання освітлювального фільтру дорівнює:

$$V = 60 \cdot i \cdot t \cdot f / 1000 \quad (5.4)$$

де  $i$  і  $t$  – відповідно інтенсивність (л/(с·м<sup>2</sup>)) і тривалість (хв.) розпушуючого промивання фільтру, залежно від прийнятого режиму промивання (водою або з повітрям).

Середньогодинна витрата води на власні потреби  $q$ , м<sup>3</sup>/год, дорівнює:

$$q = V \cdot n \cdot a / 24 \quad (5.5)$$

де  $n$  – число промивань на добу освітлювального фільтру, приймається  $n=2$ .

Для вибраних стандартних фільтрів визначається швидкість фільтрування  $v$ , м/год:

$$v = (Q + q) / (f(a-1)) \quad (5.6)$$

Якщо швидкість фільтрування перевищує допустиму ( $v = 5-6$  м/год), то необхідно збільшити діаметр або кількість встановлених фільтрів.

**Приклад 5.1.** Розрахувати напірний зернистий фільтр при продуктивності фільтраційної установки  $Q = 250$  м<sup>3</sup>/хв. Режим розпушуючого промивання: промивання водою з інтенсивністю подачі води  $i = 12$  л/(с·м<sup>2</sup>) та тривалості подачі води  $t = 20$  хв.

**Розв'язання.** За формулою 5.1 розраховуємо необхідну загальну площу фільтрування  $F = 250 \cdot 1,1/5 = 55$  м<sup>2</sup>. Приймаємо загальну кількість фільтрів – 10. Тоді площа фільтрування для кожного фільтра буде складати:  $f = 55/(10-1) = 6,1$  м<sup>2</sup>. Визначаємо діаметр фільтру  $D = (4 \cdot 6,1/3,14)^{0,5} = 2,788$  м. Отримане значення одного фільтра корегуємо у відповідності з діаметром стандартного фільтра, яке буде дорівнювати 3000 мм. За формулою 5.4 визначаємо об'єм води на одне відмивання освітлювального фільтру:  $V = 60 \cdot 12 \cdot 20 \cdot 6,1/1000 = 87,8$  м<sup>3</sup>. Тоді, середньогодинна витрата води на власні потреби  $q = 87,8 \cdot 2 \cdot 8/24 = 58,5$  м<sup>3</sup>/год. Швидкість фільтрування дорівнює:  $v = (250 + 58,5)/(6,1 \cdot (10 - 1)) = 5,6$  м/год, що відповідає допустимому значенню.

### 5.3 Завдання до практичної роботи.

Розрахувати напірний зернистий фільтр згідно свого варіанту завдання за даними таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів зернистого фільтра

Варіант	Продуктивність фільтраційної установки, $Q$ , м <sup>3</sup> /год.	Режим розпушуючого промивання
1	100	С
2	110	В
3	120	С
4	130	В
5	140	С
6	150	В
7	160	С
8	170	В
9	180	С
10	190	В

#Режим розпушуючого промивання:

- 1) С - спільна водоповітряне промивання:
  - інтенсивність подачі води  $i = 5$  л/(с·м<sup>2</sup>);
  - тривалість подачі води  $t = 2$  хв.;
- 2) В - промивання водою:
  - інтенсивність подачі води  $i = 10$  л/(с·м<sup>2</sup>);
  - тривалість подачі води  $t = 10$  хв.

### 5.4. Висновки. Зробити висновки за завданням.

#### 5.5 Тестові питання для контролю самостійної роботи

1. Для очистки від яких забруднень використовуються зернисті фільтри?
2. Опишіть принцип роботи зернистого фільтра.
3. З яких основних частин складається зернистий фільтр?
4. Вкажіть якими способами проводиться промивання фільтрів.
5. Як проводиться промивання фільтруючого шару?
6. Вкажіть ступінь очистки для зернистих фільтрів.
7. Як можна класифікувати фільтри з зернистим шаром?
8. Які матеріали найбільш широко застосовуються в якості фільтруючих?
9. Вкажіть переваги використання зернистих напірних фільтрів.
10. Вкажіть недоліки використання зернистих напірних фільтрів.

## Практична робота 6 Розрахунок флотаційної установки

**6.1 Мета роботи:** ознайомитися з принципом роботи та провести розрахунки основних параметрів флотаційної установки.

### 6.2 Короткі теоретичні відомості.

Флотація – це ефективний спосіб очищення стічних вод, який є дуже простим і економічним, і в той же час має високу продуктивність і характеризується якісною очисткою стоків.

Флотація – це процес молекулярного прилипання частинок забруднювальних речовин до поверхні розподілу двох фаз: вода – повітря, вода – тверда речовина. Процес очищення стічних вод від легкоспливаючих речовин (розчинників, нафтопродуктів та ін.), волокнистих матеріалів за допомогою флотації полягає в утворенні системи "частинки забруднень – бульбашки повітря", які спливають на поверхню та утилізуються.

Ефект розділення флотацією залежить від розміру й кількості бульбашок повітря. Дослідами встановлено, що оптимальним слід вважати розмір бульбашок 15—30 мкм. При цьому необхідний високий ступінь насичення води повітряними бульбашками. Питома витрата повітря знижується з підвищенням концентрації домішок, оскільки збільшується ймовірність зіткнення і прилипання частинок забруднювальних речовин до повітряних бульбашок. Важливе значення має стабілізація розмірів бульбашок у процесі флотації. Для цього у воду вводять різні піноутворювачі, що зменшують поверхневу енергію розділення фаз. До них належать: соснове масло, крезол, феноли, алкілсульфат натрію та ін.

Процес флотації відбувається в три етапи:

- наближення бульбашки до частки забруднювача;
- зіткнення бульбашки і частки;
- прилипання частки забруднювача до поверхні бульбашки.

На міцність і тривалість з'єднання цих елементів впливають:

- розмір частки забруднювача і бульбашки;
- маси забруднювача;
- фізико-хімічних особливостей частки, повітря і стічної води;
- гідродинамічних умов і т.д.

Безпосередньо процес флотації відбувається наступним чином. Найчастіше і потік рідини, і повітряний потік рухаються в одному напрямку. Зважені забруднюючі частки розподілені по всьому об'єму стоків, і під час спільного руху з бульбашками вони стикаються і з'єднуються. У тому випадку, якщо розмір повітряної бульбашки занадто великий, в порівнянні з розмірами частинки, то і швидкість руху у нього буде набагато нижче, що робить процес з'єднання цих елементів практично неможливим. А ще великі бульбашки нерідко стають винуватцями розриву вже існуючих зв'язків між бульбашкою і часткою. Через те у флотаторі повинні знаходитися бульбашки не більше певного розміру.

Вакуумна флотація. Процес вакуумної флотації ґрунтується на зниженні тиску в флотаторній камері. Цей процес супроводжується виділенням повітря, який міститься в стоках. Вакуумна флотація відбувається в спокійному середовищі, а значить зв'язок між комплексом «бульбашка-частка» буде міцніше і довговічніше. Іншими словами цей зв'язок руйнується вже тоді, коли частка досягла поверхні.

Напорна флотація. Напорна флотація протікає в дві стадії. Перша - насичення стоків повітрям під тиском, друга - відділення бульбашок повітря відповідного розміру і підйом на поверхню зважених і емульгованих речовин. У тому випадку, коли цей процес не супроводжується додаванням реагентів, напірну флотацію вважають механічним способом очищення стоків.

Імпелерна флотація. Імпелерні флотатори часто використовуються для очищення нафтовмісних стоків, але можуть застосовуватися і для очищення інших промислових стічних вод. Але слід сказати, що такий спосіб флотації є не дуже поширеним.

Флотація з подачею повітря через пористі матеріали. Щоб бульбашки повітря мали невеликі розміри, часто використовують спеціальні пористі матеріали, які мають певну відстань між отворами, і не пропускають бульбашки більшого розміру в систему. Також на розмір бульбашок впливає швидкість подачі повітря, чим вище швидкість, тим більший розмір матимуть бульбашки, що є небажаним.

Електрофлотація. Стоки насичуються повітрям за рахунок бульбашок, які утворюються на катоді. Електричний струм при цьому впливає на хімічний склад рідини, стан і особливості нерозчинних у воді домішок. Ці зміни можуть носити як позитивний, так і негативний характер.

Переваги флотації: безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невеликі капітальні й експлуатаційні витрати, проста апаратура, селективність виділення домішок, у порівнянні з відстоюванням велика швидкість процесу, а також можливість одержання шламу більш низької вологості (90-95 %), високий ступінь очищення (95-98 %), можливість рекуперації речовин, які видаляються. Флотація супроводжується аерацією стічних вод, зниженням концентрації ПАВ і речовин, які легко окислюються, бактерій і мікроорганізмів. Усе це сприяє успішному проведенню наступних стадій очищення стічних вод.

Один із поширених типів флотаторів (рисунок 6.1) побудований на принципі пневматичного диспергування повітря. Такі установки застосовують для видалення з мастильно охолоджуючої рідини дрібних механічних частинок. Флотатор є резервуаром, на дні якого укладені повітророзподільні труби. На трубах розташовані сопла.

Розрахунок основних елементів флотаційних установок зводиться до визначення площі флотатора, кількості сопел, числа труб, кількості сопів на одній трубі та відстані між соплами.

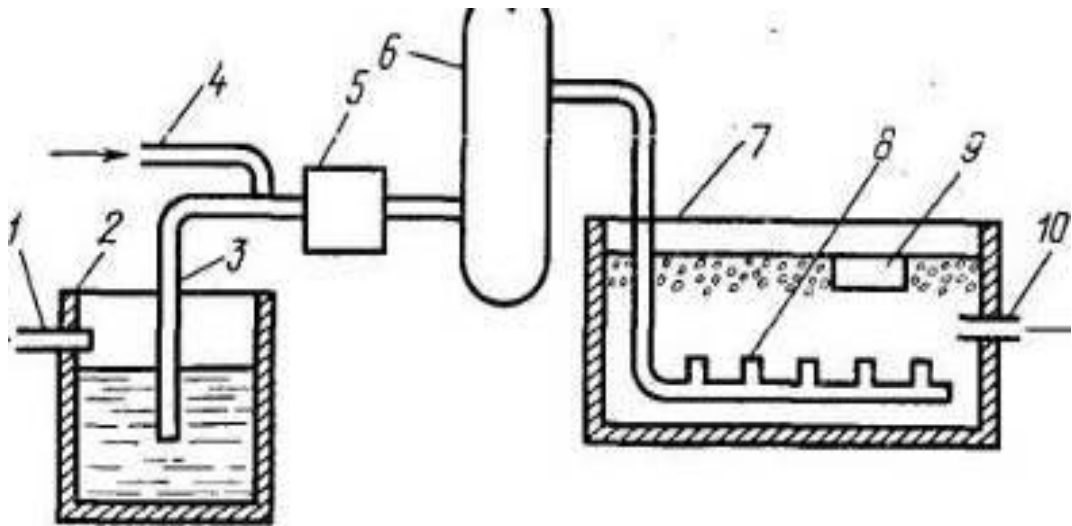


Рисунок 6.1 – Напірний флотатор: 1 - труба стока; 2 – приймальний резервуар; 3 - всмоктуюча труба; 4 – труба; 5 – насос; 6 – сатуратор; 7 - флотаційна камера; 8 - сопло, 9 – пінозбірник; 10 - труба (очищена вода).

Об'єм флотатора  $W$ ,  $m^3$ , визначаємо за формулою:

$$W=Q \cdot t / (1-a) \quad (6.1)$$

де -  $Q$  – кількість стічної води, яка потрапляє до флотатора,  $m^3/год$ ;  $t$  - час флотації, год.;  $a$  - коефіцієнт аерації.

Площа  $F$ ,  $m^2$ , флотатора:

$$F=W/H \quad (6.2)$$

де  $H$  - робоча глибина флотатора, м.

Об'єм повітря  $V$ ,  $m^3$ , яке необхідно подавати до флотатора:

$$V=I \cdot F \quad (6.3)$$

де -  $I$  - інтенсивність аерації,  $m^3/(m^2 \cdot год)$ .

Кількість сопел  $n$ :

$$n=V / (3600 \cdot f_i \cdot s) \quad (6.4)$$

де -  $f_i$  - площа перетину одного сопла;  $s$  – швидкість виходу повітря, м/с.

Визначаємось з кількістю секцій флотатора  $m$ , його шириною  $B$ , м та довжиною  $L$ , м кожної секції і визначаємо кількість труб  $z$  в кожній секції:

$$z = L / l \quad (6.5)$$

де  $l$  – відстань між трубами у флотаторі.

Кількість сопел  $n_{тр}$  на одній трубі визначаємо за формулою:

$$n_{тр} = n / (m \cdot z) \quad (6.6)$$

де  $m$  - кількість секцій флотатора.

Відстань  $r$ , м між соплами розраховується за формулою:

$$r = B / n_{тр} \quad (6.7)$$

**Приклад 6.1.** Розрахувати основні параметри напірного флотатора при кількості стічної води, яка надходить до флотатора  $20 \text{ м}^3/\text{год.}$ , часі флотації  $20$  хвилин Інтенсивність аерації  $20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$  та коефіцієнті аерації  $0,2$ .

**Розв'язання.** Загальний об'єм флотатора дорівнює  $W = 20 \cdot (20/60) / (1 - 0,2) = 8,3 \text{ м}^3$ . Приймаємо робочу глибину флотатора  $H = 1,5 \text{ м}$ . Тоді його площа буде складати:  $F = 8,3 / 1,5 = 5,5 \text{ м}^2$ . Знаходимо кількість повітря, яке необхідно подавати у флотатор  $V = 20 \cdot 5,5 = 110 \text{ м}^3/\text{год}$ . При діаметрі отвору сопла  $d = 1 \text{ мм}$ , площа перетину одного сопла буде складати  $f_i = 0,000000785 \text{ м}^2$ . Приймаючи швидкість виходу повітря із сопел  $s = 100 \text{ м/с}$ , знаходимо кількість сопел:  $n = 110 / (3600 \cdot 0,000000785 \cdot 100) = 389$ . Приймаємо кількість секцій флотатора  $m = 2$ , шириною  $B = 1 \text{ м}$  і довжиною  $L = 3,5 \text{ м}$  кожна  $((3,5 \times 1 \times 1,5) \cdot 2 = 10,5 \text{ м}^3$ , що більше необхідного загального об'єму флотатора). Повітряні труби покладемо поперек секцій флотатора на відстані  $l = 0,1 \text{ м}$  одна від одної. Тоді число труб  $z = 3,5 / 0,1 = 35$ . Кількість сопел на одній трубі:  $n_{тр} = 389 / (2 \cdot 35) = 6$ . Відстань між соплами:  $r = 1 / 6 = 0,17 \text{ м}$ .

### 6.3 Завдання до практичної роботи.

Розрахувати основні параметри флотатора згідно свого варіанту завдання за даними таблиці 6.1. Для всіх варіантів: тиск перед соплами  $5 \text{ атм.}$ , діаметр одного сопла  $1 \text{ мм}$ , швидкість виходу повітря  $100 \text{ м/с}$ . Всі інші конструктивні параметри флотатора вибираються ЗВО самостійно.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів флотатора

Варіант	Кількість стічної води, $Q$ , $\text{м}^3/\text{год.}$	Час флотації, $t$ , хв.	Коефіцієнт аерації	Інтенсивність аерації, $I$ , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$
1	10	5	0,4	50
2	15	10	0,3	40
3	20	15	0,2	30
4	25	20	0,1	20
5	30	25	0,4	10
6	10	30	0,3	50
7	15	10	0,2	40
8	20	15	0,1	30
9	25	20	0,3	20



10	30	25	0,2	10
----	----	----	-----	----

#### **6.4 Висновки.** Зробити висновки за завданням.

#### **6.5 Тестові питання для контролю самостійної роботи**

1. Опишіть суть процесу флотації.
2. Якого розміру мають бути частки повітря для найбільш ефективної очистки стічної води методом флотації?
3. Які речовини вводять у стічну воду для стабілізації розмірів бульбашок у процесі флотації?
4. Вкажіть етапи за яких відбувається процес флотації.
5. Які чинники впливають на міцність і тривалість з'єднання частки забруднювача та бульбашки повітря?
6. Вкажіть суть вакуумної флотації.
7. В чому полягає напірна флотація?
8. В чому полягає імпелерна флотація?
9. Вкажіть суть електрофлотації.
10. Вкажіть переваги використання флотаторів для очистки стічних вод.

### **Практична робота 7** **Розрахунок аеротенку**

**7.1 Мета роботи:** ознайомитися з принципом роботи та провести розрахунки основних параметрів аеротенку.

#### **7.2 Короткі теоретичні відомості.**

Аеротенки являють собою резервуар, у якому повільно рухається суміш активного мулу і стічної води, що очищається. Для кращого і безупинного контакту вони постійно переміщуються за допомогою стиснутого повітря, яке надходить від спеціальних пристроїв. Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів-мініралізаторів в аеротенк повинний безупинно надходити кисень повітря.

Активний мул складається з живих організмів і твердого субстрату. Живі організми представлені скупченнями бактерій і окремими бактеріями, найпростішими хробаками, пліснявими грибами, дріжджами, актиноміцетами і рідко - личинками комах, рачків, а також водоростями і ін. Зазвичай біоценоз активного мулу в основному представлений дванадцятьма видами мікроорганізмів і найпростіших. Якісний активний мул має компактні пластівці середньої величини. В активному мулі знаходяться організми різних груп. Виникнення таких груп залежить від складу стічних вод, утримання в них кисню, температури, реакції середовища, вмісту солей, окислювально-відновного потенціалу та інших факторів. У ньому мають бути розвинуті коловертки, присутні сувійка *Opercularia*, а також розвинуті сувійки *Vorticella convalaria*. Присутність нитчастих форм бактерій, гіпертрофних коловороток,

сувоєк і дрібних амеб показує на погіршення якості мулу.

Якість мулу визначається багатьма факторами. За інших рівних умов вона залежить від співвідношення між масою активного мулу (за сухою речовиною) і масою забруднених речовин, що знаходяться у воді, яка очищається. Це співвідношення характеризує навантаження на мул. Виражається воно кількістю витягнутих зі стічних вод забруднень за БПК<sub>5</sub>, що приходить на 1 г знзольованої речовини активного мулу.

Як правило, 1 г мулу зберігає свою нормальну активність при завантаженні до нього 200 – 400 мг кисню. При більш високих навантаженнях (1000 – 1200 кг/т), тобто при роботі аеротенків на неповне очищення, активний мул обов'язково регенерують.

Показник якості активного мулу – його здатність до осідання. Ця здатність оцінюється величиною мулового індексу, що представляє собою об'єм активного мулу в мл після 30-хвилинного відстоювання, 100 мл мулової суміші, що припадає на 1 г сухої речовини мулу.

Суміш стічної рідини з активним мулом повинна аеруватися по всій довжині аеротенку. Це необхідно не тільки для того, щоб забезпечити мікроорганізми-мініралізатори достатньою кількістю кисню повітря, але і для підтримки мулу в зваженому стані. Кисень нагнітається в аеротенк із повітрям повітродувками або засмоктується із атмосфери при сильному перемішуванні вмісту аеротенку.

Відмінна риса аеротенку (рисунок 7.1) як споруди для біологічного очищення полягає в тому, що процес очищення можна регулювати до необхідного, виходячи з місцевих умов, ступеня. Чим довший процес аерації, чим більше повітря й активного мулу, тим краще очищується вода.

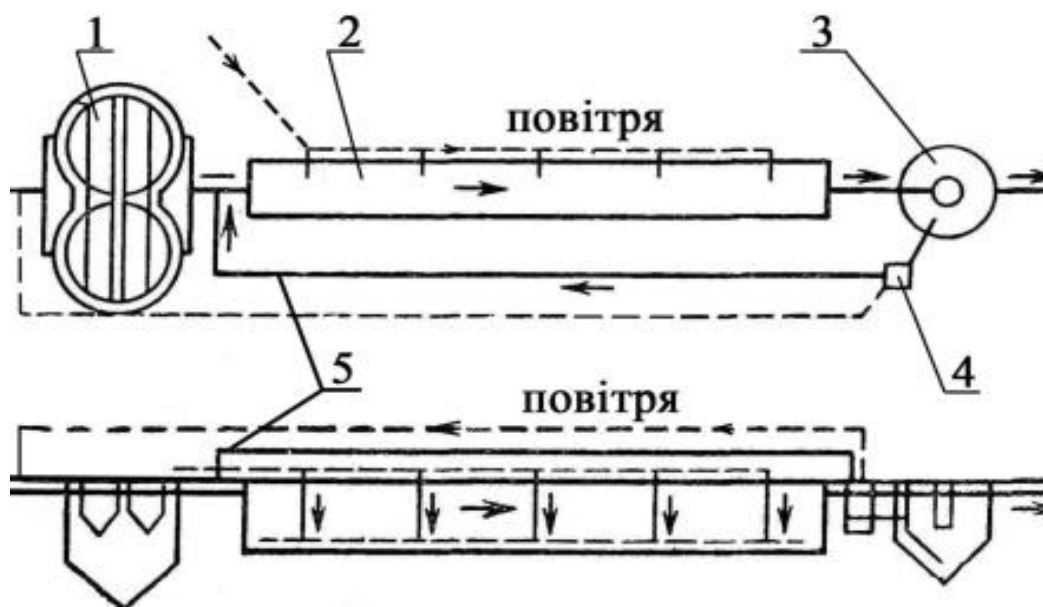


Рисунок 7.1 – Схема аеротенку розрахованого на повне очищення: 1 – двоярусний басейн; 2 – аеротенк; 3 – вторинний відстійник; 4 – насосна станція; 5 – активний мул, який циркулює

За принципом роботи аеротенки розрізняють: аеротенки-змішувачі, аеротенки-витискувачі, і аеротенки проміжного типу. В залежності від місцевих умов аеротенки проектують або на повну, або на часткове біологічне очищення.

Стічна вода, що пройшла крізь аеротенк разом з активним мулом надходить у вторинний відстійник, де активний мул відокремлюється від очищеної стічної води. Відділений активний мул знову перекачується в канал перед аеротенком для подальшого використання. Цей мул називається циркуляційним. У процесі окислювання ним органічної речовини кількість мулу в зв'язку з ростом мікроорганізмів і наявністю органічних забруднень безупинно зростає, тому частина мулу доводиться увесь час видаляти.

Наступну обробку мулу, що видаляється, виконують разом з обробкою осаду з первинних відстійників у метантенках. Однак мул через його велику вологість попередньо ущільнюють у спеціальних спорудженнях, що називаються мулоущільнювачами.

На самому початку процесу при змішанні стічної рідини з активним мулом забруднення на активному мулі сорбуються і частково окисляються. У результаті різко знижується біохімічна потреба стічної рідини в кисні. Власне кажучи забруднення витягаються досить швидко, приблизно в плинні двох годин. Часткова сорбція нерозчинних і колоїдних речовин може відбуватися і при недостатці кисню, на цьому заснований принцип попередньої аерації стічних вод.

На другій стадії процесу активний мул регенерується, тобто відновлюється його сорбційна здатність, а також окисляються затримані раніше на мулі забруднення. Швидкість споживання кисню на цій стадії процесу значно менша, ніж у першій.

На третій стадії процесу йде нітрифікація амонійних солей – швидкість споживання кисню тут знову зростає.

Уже сам хід споживання кисню в часі при біохімічному окислюванні в аеротенку вказує на те, що можна розділити споруду на дві частини відповідно до фаз окислювання. Якщо, наприклад, за місцевих санітарних умов стічну воду можна спустити у водойму без повного її очищення, то конструкцію аеротенку можна розрахувати на тривалість перебування в них води відповідно до першої фази окислювання. Такий аеротенк буде очищати стічну рідину тільки частково.

При частковому очищенні стічної рідини сорбуюча здатність активного мулу відновлюється додатковою аерацією в резервуарах, які називаються регенераторами.

Аеротенки підрозділяються в залежності від способу подачі і розподілу повітря в них на аеротенки:

- 1) із пневматичною подачею;
- 2) з поверхневою чи механічною аерацією;
- 3) з аерацією змішаного типу.

В аеротенки з пневматичною аерацією повітря подається повітродувками і надходить у рідину. Механічна аерація здійснюється спеціальними механічними аераторами, які інтенсивно перемішують рідину і засмоктують

повітря з атмосфери. У практиці найбільше поширення одержала пневматична аерація, але для маленьких установок застосовують і механічну аерацію.

Для повного біологічного очищення побутових стічних чи вод їхньої суміші з виробничими стічними водами раніш частіше застосовували звичайні одноступінчаті аеротенки. У порівнянні з іншими вони відносно прості в експлуатації, але недостатньо економічні. У цих аеротенках очищення стічної рідини і регенерація активного мулу здійснюється в одній споруді, тому при залповому надходженні стічних вод, які містять токсичні домішки, життєдіяльність активного мулу й робота аеротенку може різко порушитися.

Аеротенки, що працюють із регенераторами, не мають подібних недоліків. В основу їхню роботу покладена стабільність процесу біохімічного очищення стічних вод. Процес видалення забруднення з води відділений від окиснювання їх в активному мулі. Власне аеротенки проектується на менший час перебування в них стічної води, їхня задача - витягати забруднення.

У регенераторах окиснюються забруднювачі, затримані на активному мулі. У них активний мул знаходиться більш тривалий час. Такий спосіб очищення, коли власне у аеротенках протікає перша фаза процесу, а в регенераторі – друга і третя стадії, дозволяє збільшити концентрацію забруднень, яка приходить на мул. В аеротенку підтримується звичайне навантаження на мул, у регенераторі підвищене. Таким чином, середнє навантаження на мул зростає і ці спорудження працюють більш продуктивно.

Застосування аеротенків із регенераторами дозволяє зменшити загальний будівельний обсяг цих споруджень на 10 – 20% у порівнянні з обсягом одноступінчатих аеротенків.

Розрахунок аеротенків полягає у визначенні його основних параметрів: тривалості аерації, витраті повітря та об'єму, за яким встановлюють розміри споруди. Типові аеротенки мають розміри 36–114 м у довжину, 8–36 м завширшки й 3–5 м у глибину.

Тривалість аерації  $\tau$ , год. розраховуємо за формулою:

$$\tau = (L_0 - L_1)/(a \cdot \rho) \quad (7.1)$$

де  $L_0$  і  $L_1$  – БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить на очищення і очищеної води відповідно, мг/л;  $a$  – концентрація мулу в аеротенку, г/л;  $\rho$  – швидкість окиснення забруднення на 1 г сухої біомаси, мг (БПК)/(г·год).

Питома витрата повітря  $D$ , м<sup>3</sup> повітря/м<sup>3</sup> стічної води:

$$D = \frac{z(L_0 - L_1)}{100k_1k_2n_1n_2(c - b)} \quad (7.2)$$

де  $z$  – питома витрата кисню, мг O<sub>2</sub>/мг БПК ( $z = 2$  мг/мг);

$k_1$  – коефіцієнт, що враховує тип аератора і є функцією площі, яку займають аератори стосовно площі дзеркала води в аеротенку;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує глибину ( $h$ ) занурення аератора (оцінюється,

виходячи з вибору стандартних робочих глибин занурення аеротенка – 3,2; 4,4 і 5 м,  $k_2=h^{0,65}$ );

$n_1$  – коефіцієнт, що враховує вплив температури;

$n_2$  – коефіцієнт якості води;

$c$  – розчинність кисню, мг/л (приймається 9,4 мг/л);

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

Об'єм аеротенка  $V$ , м<sup>3</sup>:

$$V = Q \cdot \tau \quad (7.3)$$

де  $Q$  – витрати стічної води, м<sup>3</sup>/год.

Конструктивні розміри аеротенка беруться з конструкційних міркувань залежно від об'єму спорудження.

Робоча глибина  $h$  береться з ряду типових розмірів (див. пояснення до формули 7.2).

Тоді площа дзеркала води в аеротенку  $S$ , м<sup>2</sup>:

$$S = Q / h \quad (7.4)$$

Довжину аеротенка  $L$  (м) визначають за формулою:

$$L = 1,5 \sqrt{S} \quad (7.5)$$

Ширина аеротенка  $B$ , м:

$$B = S / L \quad (7.6)$$

Отримане значення  $B$  округляють до найближчого значення, кратного типовим розмірам ширини коридорів ( $B_{min} = 4, 5, 6$  або  $9$  м) –  $6$  м (довжина стандартної будівельної панелі) при цьому число коридорів повинно становити  $2, 3$  або  $4$ . Тоді загальна кількість коридорів з урахуванням кроку довжини коридору –  $6$  м (довжина стандартної будівельної панелі):

$$N = B / B_{min} \quad (7.7)$$

**Приклад 7.1.** Розрахувати основні параметри аеротенка при кількості стічної води  $Q = 400$  м<sup>3</sup>/год,  $L_0 = 600$  мг/л,  $L_1 = 4$  мг/л,  $\rho = 12$  мг(г·год),  $n_1 = 0,91$ ,  $n_2 = 0,35$ ,  $k_1 = 0,35$ ,  $a = 5$ .

**Розв'язання.** Визначаємо тривалість аерації:  $\tau = (600-4)/(6 \cdot 12) = 10$  год. Питома витрата повітря складає:  $D = (2(600-4))/(100 \cdot 0,35 \cdot 2,85 \cdot 0,91 \cdot 0,35(9,4 - 3)) = 4,1$  м<sup>3</sup><sub>пов</sub>/м<sup>3</sup><sub>ст</sub> води. Попередньо оцінюємо  $k_2 = 5^{0,65} = 2,85$ , вибираючи глибину занурення аеротенка зі стандартних робочих глибин –  $5$  м. Об'єм аеротенка дорівнює:  $V = 400 \cdot 10 = 4000$  м<sup>3</sup>. При робочій глибині аеротенка  $5$  м його площа дзеркала води буде складати:  $S = 4000/5 = 800$  м<sup>2</sup>. Тоді довжина аеротенка буде:  $L = 1,5 \cdot 800^{0,5} = 42$  м. Ширина аеротенка  $B = 800/42 = 19$  м. Отримане значення  $B$  округляють до найближчого значення –  $18$  м. Вибираємо  $2$  коридори:  $2 \cdot 9 = 18$  м. Звідки загальна кількість коридорів з урахуванням кроку

довжини коридору:  $N = 18/6 = 3$  шт.

### 7.3 Завдання до практичної роботи.

Розрахувати основні параметри аеротенка згідно свого варіанту завдання за даними таблиці 7.1. Для всіх варіантів  $n_1 = 0,91$ .

Таблиця 7.1 – Вихідні дані для розрахунку параметрів аеротенка

Варіант	$Q$ , м <sup>3</sup> /год	$L_0$ , мг/л	$L_1$ , мг/л	$\rho$ , мг(г·год)	$n_2$	$k_1$	$a$
1	410	500	5	10	0,33	0,33	4
2	420	600	6	10	0,33	0,33	5
3	430	700	7	10	0,33	0,33	6
4	440	300	8	11	0,34	0,34	4
5	450	400	9	11	0,34	0,34	5
6	460	500	10	11	0,34	0,34	6
7	470	600	5	12	0,35	0,35	4
8	480	700	6	12	0,35	0,35	5
9	490	350	7	12	0,35	0,35	6
10	500	450	8	11	0,35	0,35	4

### 7.4. Висновки. Зробити висновки за завданням.

#### 7.5 Тестові питання для контролю самостійної роботи

1. Опишіть принцип роботи аеротенка.
2. Що являє собою активний мул?
3. Від чого залежить якість активного мулу?
4. Що характеризує показник якості активного мулу?
5. Як за принципом роботи поділяють аеротенки?
6. Вкажіть етапи обробки активного мулу.
7. Як відбувається відновлення активного мулу?
8. Для яких цілей використовуються в аеротенках регенератори?
9. Як поділяються аеротенки в залежності від способу подачі і розподілу повітря в них?
10. Які переваги експлуатації аеротенків з регенераторами?

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Бедрій Я. І. Промислова екологія. / Я. І. Бедрій, Б. О. Білінський, Р. М. Івах, М. М. Козяр Навчальний посібник. Видання 4-е, перероблене. – К.: Кондор, 2010. – 374 с.
2. Жигуц Ю.Ю. Інженерна екологія / Ю.Ю. Жигуц, В.Ф. Лазар – К.: КондорВидавництво, 2012. – 170 с.
3. Зацеркляний, М. М. Процеси захисту навколишнього середовища [Текст] : підручник / М. М. Зацеркляний, О. М. Зацеркляний, Т. Б. Столевич ; Одес. нац. акад. харч. технологій. - Одеса : Фенікс, 2017. - 454 с.
4. Інженерна екологія : підручник / В. М. Ісаєнко, К. О. Бабікова, Ю. М. Саталкін, М. С. Романов ; за заг. ред. д-ра біол. наук, проф. В. М. Ісаєнка. — 2-е вид., актуалізоване на принципах сприяння сталому інноваційному розвитку та засадах синергетичного і компетентнісного підходів. — Київ : НАУ, 2019. — 452 с.
5. Промислова екологія : навч. посібник / В.Л. Филипчук, М.О. Клименко, К.К. Ткачук, С.Б. Проценко, В.М. Радовенчик, І.І. Залеський / за ред. В.Л. Филипчука. Рівне: НУВГП, 2013. 495 с.
6. Процеси та апарати природоохоронних технологій. Теоретичні основи. Пляцук Л.Д., Гурец Л. Л. – К.: Університетська книга, 2023. – 270 с.
7. Сторожук В.М. Промислова екологія. – Львів: Видавництво Української академії друкарства, 2005. – 547 с.
8. Сухарев С.М. Техноекологія та навколишнього середовища С.М. Сухарев, С.Ю. Чундак, О.Ю. Сухарева. – Львів: Новий Світ-2000, 2011. – 302 с.
9. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 1. Захист атмосфери: підручник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В., Крусір Г. В., та ін. – Херсон : Олді-плюс, 2019. – 432 с.
10. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 2. Методи очищення стічних вод : підручник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В., Сакалова Г. В. та ін. – Херсон : Олді-плюс, 2019. – 298 с.