

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет природоохоронний  
Кафедра загальної та теоретичної фізики

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

на тему: Сучасні методи очищення та захисту питної води від шкідливих забруднень

Виконав студент 4 року навчання  
групи ТЗ-19і  
спеціальності 183 «Технології  
захисту навколишнього  
середовища»  
Рижих Олексій Сергійович

Керівник к.ф-м. н., доцент  
Курятников Владислав  
Володимирович  
Рецензент к.ф-м. н., доцент  
Орловська Світлана Георгіївна

Одеса 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний  
Кафедра загальної та теоретичної фізики  
Рівень вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»  
(шифр і назва)  
Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри загальної**  
**та теоретичної фізики**  
**професор Герасимов О.І.**

“02”\_березня\_2022\_року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

студенту Рижиху Олексію Сергійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1.Тема роботи Сучасні методи очищення та захисту питної води від шкідливих забруднень

керівник роботи Курятников Владислав Володимирович к.ф-м. н., доцент  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “\_21\_” грудня 2021 року  
№\_267 – «С»\_\_

2.Строк подання студентом роботи 14.06.2021

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз методів визначення характерних показників якості питної води

2. Опис методів та інженерних засобів очищення питної води

3. Вивчення технології санації шахтних колодязів та вимог щодо знезараження води

4. Засоби очищення питної води в домашніх умовах.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Таблиця 1.1 Показники питомої сумарної альфа- і бета-активності питної води. Таблиця 1.2 . Радіаційні показники безпечності питної води.

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Немає		

7. Дата видачі завдання 02.03.2022 р. \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
<b>1</b>	Огляд базових літературних джерел за темою дипломного проекту	02.03.22.- 20.03.22	75	4 добре
<b>2</b>	Узагальнення основних теоретичних положень проекту	16.05.- 22.05.22	75	4 добре
<b>3</b>	Рубіжна атестація	23- 27.05.22р	75	4 добре
<b>4</b>	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення електронної версії роботи. Перевірка на плагіат. Складання протоколу та авторського договору	28.05- 31.05.22 01.06.21	75	4 добре
<b>5</b>	Підготовка паперової версії і презентаційного матеріалу до процедури предзахисту. Внесення коректив. Рецензування роботи. Підготовка до публічного захисту.	02.06- 15.06.2022	75	4 добре
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		75	4 добре

Студент \_\_\_\_\_ Рижих О.С.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Курятников В.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

### **Рижих О. С. «Сучасні методи очищення та захисту питної води від шкідливих забруднень»**

**Актуальність теми.** Тема роботи пов'язана з технологіями очищення питної води та присвячена питанням сучасних методів очищення та захисту питної води від шкідливих забруднень. У бакалаврській роботі розкриті актуальність теми та практичне значення роботи, яке полягає у вдосконаленні методів контролю якості та технології очищення питної води від різних джерел надходження.

**Мета роботи** - вивчення методів та інженерних засобів контролю та очищення питної води. У роботі розглянуті показники безпечності та якості води.

Згідно законів України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» 1994 р., та "Про питну воду та питне водопостачання", які розглянуті у бакалаврській роботі, в Україні у 2017р. введені Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною".

#### **Основні задачі:**

- вивчення методів визначення характерних показників якості питної води, серед яких – органолептичні, фізичні, фізико-хімічні, мікробіологічні;
- вивчення методів визначення радіаційних показників якості питної води та норм, які стосуються питомої радіаційної активності питної води;
- вивчення методів та інженерних засобів очищення питної води;
- вивчення технології санації шахтних колодязів та вимог щодо знезараження води в колодязі за допомогою дозуючих патронів;
- особливості міжнародних технологій очищення питної води та очищення води в Україні у зв'язку з введенням режиму надзвичайного стану і встановленням карантину;
- засоби очищення питної води в домашніх умовах.

**Висновки роботи та рекомендації** стосуються вдосконалення методів контролю якості та технології очищення питної води від різних джерел надходження.

**Ключові слова:** питна вода, методи очищення, показники якості, технології очищення, радіаційна активність

Робота містить:

Сторінок – 83

Кількість формул – 15

Кількість таблиць – 2

Літературних посилань – 16

## З М І С Т

	стор.
Вступ	7
1. Вивчення методів визначення характерних показників якості питної води	9
1.1 Показники якості питної води:	9
1.2 Гігієнічні вимоги до безпечності та якості питної води, призначеної для споживання людиною	10
1.3 Радіаційні показники якості питної води та норми, які стосуються питомої радіаційної активності питної води. Радіаційна безпечність питної води	11
1.4 Виробничий контроль безпечності та якості питної води, призначеної для споживання людиною	13
1.5 Державний санітарно-епідеміологічний нагляд у сфері питного водопостачання населення та показники епідемічної безпеки питної води	14
2. Вивчення методів та інженерних засобів очищення питної води	19
2.1 Класифікація води і стадії підготовки води для споживання, включаючи очищення і знезараження.	19
2.2 Існуючі методи очищення води	21
2.3 Гідромеханічні способи очищення стічних вод	31
3. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод	39
4. Хімічні методи очищення стічних вод	61
5. Вивчення технології санації шахтних колодязів та вимог щодо знезараження води	74
6. Засоби очищення питної води в домашніх умовах.	79
Висновки	81
Перелік посилань	82

## ВСТУП

Тема роботи пов'язана з технологіями очищення питної води.

Очищення питної води - спосіб підготовки питної води з метою поліпшення її показників безпечності та якості механічними, хімічними, фізичними та біологічними методами (освітлення, пом'якшення, знесолення, знезалізнення, знезараження тощо). Зміст технологій очищення - підготовка питної води до споживання людиною. Водопідготовка, (обробка води) - це складний технологічний процес, який здійснюється для доведення показників безпечності та якості питної води до рівнів гігієнічних нормативів.

Актуальність цієї теми не має заперечень. З ростом промисловості зростає забруднення навколишнього середовища і як наслідок приходить забруднення води.

Якість питної води пов'язана із здоров'ям людини. Згідно законів України [3] «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» 1994 р., та [4] "Про питну воду та питне водопостачання" в Україні у 2017р. введені Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" [7].

Мета роботи - вивчення методів та інженерних засобів контролю та очищення питної води.

Постановка задачі.

Задачі, які обумовлені метою роботи:

- вивчення методів визначення характерних показників якості питної води, серед яких – органолептичні, фізичні, фізико-хімічні, мікробіологічні;
- вивчення методів визначення радіаційних показників якості питної води та норм, які стосуються питомої радіаційної активності питної води;
- вивчення технології санації шахтних колодязів та вимог щодо знезараження води в колодязі за допомогою дозуючих патронів;

- особливості міжнародних технологій очищення питної води та очищення води в Україні у зв'язку з введенням режиму надзвичайного стану і встановленням карантину;
- засоби очищення питної води в домашніх умовах.

Практичне значення роботи полягає у вдосконаленні методів контролю якості та технології очищення питної води від різних джерел надходження.

Питна вода, яка використовується в Україні має різноманітні джерела. У містах України - це перш за все вода з водопроводу (водопровідна).

Використовується також вода з бюветів, пунктів розливу, шахтних колодязів та каптажів джерел, фасована вода. Каптаж джерела - інженерна водозабірна споруда, призначена для збирання джерельної води в місцях її довільного виходу на поверхню, до складу якої входять камери каптажу (приймальна та освітленої води), каптажне приміщення або павільйон.

Вода призначена для забезпечення фізіологічних, санітарно-гігієнічних, побутових та господарських потреб населення, а також для виробництва продукції, що потребує використання питної води.

Вода має відповідати вимогам державних стандартів та санітарного законодавства.

Висновки роботи стосуються рекомендацій вдосконалення в умовах регіональних особливостей та особливостей теперішнього часу в Україні, карантину та воєнного стану методів організації контролю, очищення та збереження води, поліпшення показників якості питної води.



## ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

### 1.1 Показники якості питної води:

- фізичні, зокрема, радіаційні показники- характеризують властивість води, зумовлену наявністю дисперсних частинок або радіонуклідів;
- санітарно-токсикологічні показники - хімічні показники, що нормуються за санітарно-токсикологічною ознакою шкідливості;
- органолептичні показники (запах, смак і присмак, забарвленість, каламутність) –фізико-хімічні властивості питної води, що сприймаються органами чуття;
- мікробіологічні показники - показники епідемічної безпеки питної води, перевищення яких може призвести до виникнення інфекційних хвороб у людини;
- паразитологічні показники - показники епідемічної безпеки питної води, перевищення яких може призвести до виникнення паразитарних інвазій у людини;
- перманганатна окиснюваність - кількість кисню, що потрібна для хімічного окиснення перманганатом калію легкоокиснюваних органічних і неорганічних речовин (солей двовалентного заліза, сірководню, амонійних солей, нітритів тощо), які містяться у 1 куб.дм води;
- сухий залишок - показник, що характеризує кількість нерозчинених речовин, передусім мінеральних солей, в 1 куб.дм води.

У водопровідній питній воді визначаються:

- хлороформ - якщо питна вода з поверхневих вододжерел;
- хлор залишковий вільний та зв'язаний, озон, поліакриламід- у разі застосування в процесі водопідготовки відповідних реагентів;
- формальдегід - у разі озонування води в процесі водопідготовки;

- діоксид хлору та хлорити - у разі обробки води діоксидом хлору в процесі водопідготовки;

- поліакриламід - у разі використання в процесі водопідготовки водопровідної питної води з поверхневого джерела питного водопостачання.

У питній воді фасованій, з пунктів розливу та бюветів визначаються:

- хлороформ та хлор залишковий - якщо вода хлорується в процесі водопідготовки або використовується хлорована вихідна вода;

- формальдегід - у разі озонування води в процесі водопідготовки або якщо використовується озонована вихідна вода;

- срібло та діоксид вуглецю - у разі застосування в процесі водопідготовки відповідних реагентів чи речовин;

## **1.2 Гігієнічні вимоги до безпечності та якості питної води, призначеної для споживання людиною**

Питна вода, призначена для споживання людиною, повинна відповідати таким гігієнічним вимогам: бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мати сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад.

Для виробництва питної води слід надавати перевагу воді підземних джерел питного водопостачання населення, надійно захищених від біологічного, хімічного та радіаційного забруднення.

Гігієнічну оцінку безпечності та якості питної води проводять за показниками епідемічної безпеки (мікробіологічні, паразитологічні), санітарно-хімічними (органолептичні, фізико-хімічні, санітарно-токсикологічні) та радіаційними показниками.

Під час вибору вододжерела та технології водопідготовки у разі будівництва чи реконструкції підприємства питного водопостачання населення слід надавати перевагу джерелам та

технологіям, що забезпечать виробництво питної води з оптимальним вмістом мінеральних речовин за показниками фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води).

Вміст у питній воді шкідливих речовин, не зазначених у Санітарних нормах, не повинен перевищувати їх граничнодопустимих концентрацій (ГДК), визначених санітарними нормами для поверхневих вод.

За наявності у питній воді декількох речовин з однаковою лімітуючою ознакою шкідливості, що належать до I та II класів небезпеки, сума відношення концентрацій  $C$  кожної із речовин до відповідної ГДК не повинна перевищувати одиницю:

$$\frac{C_1}{GDK_1} + \frac{C_2}{GDK_2} + \dots + \frac{C_n}{GDK_n} \leq 1$$

### **1.3 Радіаційні показники якості питної води та норми, які стосуються питомої радіаційної активності питної води. Радіаційна безпечність питної води**

Під час гігієнічної оцінки радіаційної безпечності питної води у місцях водозаборів поверхневих та підземних джерел питного водопостачання попередньо визначаються питомі сумарні альфа- і бета-активності за показниками, наведеними у таблиці 1. У разі встановлення перевищення одного або обох показників слід проводити радіологічні дослідження питної води за радіаційними показниками, наведеними у таблиці 2.

При цьому у разі встановлення перевищення питомої сумарної альфа-активності у питній воді з підземних джерел водопостачання необхідно визначати питому сумарну активність природної суміші ізотопів урану (U), питомі активності радію ( $^{226}\text{Ra}$ ) та радону ( $^{222}\text{Rn}$ ), а

у разі встановлення перевищення питомої сумарної бета-активності у питній воді з поверхневих та підземних джерел водопостачання - питомі активності цезію ( $^{137}\text{Cs}$ ) та стронцію ( $^{90}\text{Sr}$ ).

Радіаційні показники якості питної води та норми, які стосуються питомої радіаційної активності питної води наведені у таблицях 1 і 2:

Таблиця 1.1 - Показники питомої сумарної альфа- і бета-активності питної води

N з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи	Методики визначення
1	Сумарна альфа-активність	Бк/куб.дм	$\leq 0,1$	5, 6
2	Сумарна бета-активність	Бк/куб.дм	$\leq 1,0$	6

Таблиця 1.2 - Радіаційні показники безпечності питної води

N з/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Нормативи	Методики визначення
1	2	3	4	5
1	Сумарна акт-сть природної суміші ізотопів U	Бк/куб.дм	$\leq 1$	6
2	Питома активність $^{226}\text{Ra}$	Бк/куб.дм	$\leq 1$	6
3	Питома активність $^{226}\text{Ra}$	Бк/куб.дм	$\leq 1$	6
4	Питома активність $^{222}\text{Rn}$	Бк/куб.дм	$\leq 100$	6

5	Питома активність	Бк/куб.дм	<= 2	6
	<sup>137</sup> Cs			
6	Питома активність	Бк/куб.дм	<= 2	6
	<sup>90</sup> Sr			

#### **1.4 Виробничий контроль безпеки та якості питної води, призначеної для споживання людиною**

Виробничий контроль безпеки та якості питної води здійснюється підприємствами питного водопостачання відповідно до вимог Санітарних норм.

Виробничий контроль проводиться згідно з робочою програмою, що є складовою технологічного регламенту або іншого документа з описом технологічного процесу виробництва питної води, в якій повинно бути відображено: перелік показників, що потребують контролю, та порядок його здійснення, місця та календарні графіки відбору проб води для лабораторних досліджень. Періодичний контроль безпеки та якості питної води з бюветів, колодязів та каптажів джерел (нецентралізоване питне водопостачання населення).

Періодичний контроль безпеки та якості питної води здійснюється власниками бюветів, колодязів та каптажів джерел.

Повний контроль безпеки та якості питної води здійснюється за показниками один раз на рік у найбільш несприятливий період року, а також за відповідними показниками у разі погіршення епідемічної ситуації.

У підземних артезіанських та міжшарових безнапірних водах патогенні ентеробактерії (сальмонели, шигели), віруси та паразити під час проведення повного контролю не визначаються.

## 1.5 Державний санітарно-епідеміологічний нагляд у сфері питного водопостачання населення та показники епідемічної безпеки питної води

Державний санітарно-епідеміологічний нагляд у сфері питного водопостачання населення здійснює державна санітарно-епідеміологічна служба згідно з санітарним законодавством у порядку запобіжного та поточного нагляду.

Поточний державний санітарно-епідеміологічний нагляд здійснюється вибірковими перевірками дотримання санітарного законодавства на об'єктах водопостачання населення за планами органів, установ та закладів державної санітарно-епідеміологічної служби один раз на квартал, а також позапланово залежно від санітарної, епідемічної ситуації та за зверненнями громадян.

### ПОКАЗНИКИ епідемічної безпеки питної води

-----						
-----						
N	Найменування	Одиниці	Нормативи для питної води			
Методики	показників	виміру	-----			
з/п	визначення		водопровідної, з колодязів та фасованої			
			згідно з			
			з пунктів та каптажів			
додатком 5						
			розливу та джерел			
			бюветів			
-----						
-----						
1	2	3	4	5	6	
7						
-----						
-----						

## 1. Мікробіологічні показники

1	Загальне	КУО/куб.см	<= 100	не	<= 20	пп.
48, 57	мікробне		(<= 50)**	визначається		
	число при					
	t 37 град.С -					
	24 год*					
2	Загальне	КУО/куб.см	не	не	<= 100	
	мікробне		визначається	визначається		
	число при					
	t 22 град.С -					
	72 год					
3	Загальні	КУО/	відсутність	<= 1	відсутність	пп.
48, 56	коліформи***	100 куб.см				
4	E.coli***	КУО/	відсутність	відсутність	відсутність	пп.
48, 56		100 куб.см				
5	Ентерококи***	КУО/	відсутність	не	відсутність	п.
58						

		100 куб.см	визначається	
6	Синьогнійна	КУО/	не	не
52				відсутність   п.
	паличка	100 куб.см	визначається	визначається
	(Pseudomonas			
	aeruginosa)			
7	Патогенні	наявність	відсутність	відсутність
48				відсутність   п.
	ентеробактерії	в 1 куб.дм		
8	Коліфаги****	БУО/куб.дм	відсутність	відсутність
48				відсутність   п.
9	Ентеровіруси,	наявність	відсутність	відсутність
47				відсутність   п.
	аденовіруси,	в 10 куб.дм		
	антигени			
	ротавірусів,			
	реовірусів,			
	вірусу			
	гепатиту А та			
	інші			



## 2. Паразитологічні показники

-----					
-----					
10	Патогенні	клітини,	відсутність	відсутність	відсутність
49					п.
	кишкові	цисти в			
	найпростіші:	50 куб.дм			
	ооцисти				
	криптоспоридій,				
	ізоспор, цисти				
	лямблій,				
	дизентерійних				
	амеб,				
	балантидія				
	кишкового та				
	інші				
-----					
-----					
11	Кишкові	клітини,	відсутність	відсутність	відсутність
49					п.
	гельмінти	яйця,			
		личинки			
		в 50 куб.дм			
-----					

\* Для 95% проб води, відібраних з водопровідної мережі, що досліджувались протягом року.

\*\* Через 10 років з часу набрання чинності Санітарними нормами.

\*\*\* Для 98% проб води, відібраних з водопровідної мережі, що досліджувались протягом року.

\*\*\*\* Визначають додатково у питній воді з поверхневих вододжерел у місцях її надходження з очисних споруд в розподільну мережу, а також в ґрунтових водах.

**Примітка.** Дослідження питної води з поверхневих вододжерел чи ґрунтової води за показниками, передбаченими пунктами 7 та 9, проводяться у разі виявлення в двох послідовно відібраних пробах води загальних коліформ, E.coli, ентерококів чи коліфагів (пп. 3, 4, 5 та 8), а дослідження питної води з підземних артезіанських і міжшарових безнапірних водоносних шарів проводяться у разі виявлення в двох послідовно відібраних пробах води загальних коліформ, E.coli чи ентерококів.

При цьому дослідження води на вміст збудників інфекційних хвороб вірусної етіології проводяться у разі виявлення в її пробах коліфагів, а на вміст збудників бактеріальної етіології - у разі виявлення в її пробах загальних коліформ, E.coli чи ентерококів. Загальні коліформи, E.coli та ентерококи досліджуються в трьох об'ємах по 100 куб.см.

## 2 ВИВЧЕННЯ МЕТОДІВ ТА ІНЖЕНЕРНИХ ЗАСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

### **2.1 Класифікація води і стадії підготовки води для споживання, включаючи очищення і знезараження.**

Класифікація води проводиться за різними ознаками та, перш за все, за її призначенням [8–15]. Воду класифікують як питну і як технологічну.

У промисловості воду використовують як сировину і джерело енергії, як холодоагент, розчинник, екстрагент, для транспортування сировини і матеріалів. Воду, яка використовується у промисловості, розділяють на ту, що охолоджує, технологічну та енергетичну. У промисловості 65-80% води споживається для охолодження рідких і газоподібних продуктів в теплообмінних апаратах. У цих випадках вода не стикається з матеріальними потоками і не забруднюється, а лише нагрівається.

Технологічну воду підрозділяють на воду, яка утворюється в середовищі, промивну і реакційну. Воду, яка утворюється в середовищі, використовують для розчинення і утворення пульп, при збагаченні і переробці руди, гідротранспортуванні продуктів і відходів виробництва; промивну - для промивання газоподібних (абсорбція), рідких (екстракція) та твердих продуктів і виробів.

Реакційна вода знаходиться у складі реагентів, а також при відгоні і інших процесах. Технологічна вода безпосередньо контактує з середовищем. Енергетична вода споживається для отримання пари і нагрівання устаткування, приміщень, продуктів.

Для зменшення споживання свіжої води створюють зворотні і замкнуті системи водопостачання.

При зворотньому водопостачанні передбачають необхідне очищення стічної води, охолодження зворотної води, обробку і повторне використання стічної води.

Для запобігання біологічного обростання апаратів і споруд в зворотній

воді обмежується вміст органічних речовин і сполук біогенних елементів (азоту, фосфору), що є поживним середовищем для мікроорганізмів.

*Стічна вода* - це вода [8–11], що була в побутовому, виробничому або сільськогосподарському вживанні, а також пройшла через забруднену територію.

*Господарсько-побутові води* - це стоки душових, пралень, їдалень, туалетів, від миття підлог та ін. .

*Атмосферні води* утворюються в результаті випадання атмосферних опадів та стікають з територій підприємств. Вони забруднюються органічними і мінеральними речовинами.

*Промислові стічні води* - це рідкі відходи, які виникають при добуванні та переробці органічної і неорганічної сировини.

Стічні води забруднені різними речовинами: 1) біологічно нестійкими органічними сполуками; 2) малотоксичними неорганічними солями; 3) нафтопродуктами; 4) біогенними сполуками; 5) речовинами із специфічними токсичними властивостями, а також важкими металами, біологічно жорсткими органічними синтетичними сполуками, що не розкладаються.

Залежно від фізичного стану фаз розрізняють такі рідкі неоднорідні системи: суспензії, емульсії і піни.

*Суспензія* складається із рідини і завислих в ній твердих частинок. Залежно від розмірів частинок розрізняють грубі суспензії з частинками розміром  $> 100$  мкм, тонкі (0,5-100 мкм) і мути (0,1...0,5 мкм). Проміжне положення між суспензіями та істинними розчинами займають колоїдні розчини з розмірами частинок менше 0,1 мкм [1, 2, 5].

*Емульсія* складається з двох рідин, що не змішуються або частково змішуються, одна з яких розподілена в іншій у вигляді рідких крапель. Величина частинок дисперсної фази в емульсіях коливається в досить широких межах.

*Піна* - система, що складається з рідини і розподілених в ній бульбашок газу.

Неоднорідні системи характеризуються масовим або об'ємним співвідношенням фаз і розмірами частинок дисперсної фази. Дисперсну фазу, що складається з частинок неоднакового розміру, заведено характеризувати фракційним або дисперсним складом, тобто відсотковим вмістом частинок різного розміру. Стічні води є полідисперсними гетерогенними (неоднорідні) агреативно-нестійкими системами. В процесі осадження розмір, щільність, форма частинок, а також фізичні властивості частинок системи змінюються [8–11].

Властивості стічних вод відрізняються від властивостей чистої води. Вони мають більш високу густину і в'язкість [1, 2].

## 2.2 Існуючі методи очищення води

Традиційні методи очищенням води, такі як методи фільтрації вже не справляються. Потрібні більш інтенсивні методи для боротьби з сучасними забруднюючими речовинами.

Ймовірно, люди все ж вважають за краще використовувати сучасні методи такі як [фільтри зворотного осмосу](#). Але розгляньмо традиційні методи фільтрації. Вони можуть містити безліч варіантів, але ми розглянемо найбільш поширені - кип'ятіння і хімічне очищення. Хоча вони й ефективні як засіб дезінфекції, але все ще залишає за собою шкідливі речовини.

У цій роботі ми будемо розглядати очищення питної води, та різноманітні способи цього очищення. А також різні галузі де очищення води має важливу роль.

У процесі комунального водоочищення, вода, що згодом подається по системах централізованого водопостачання населених пунктів, очищується у відповідності з вимогами стандартів якості та санітарно-гігієнічних норм. Якісна промислова очистка води повинна бути комплексною.

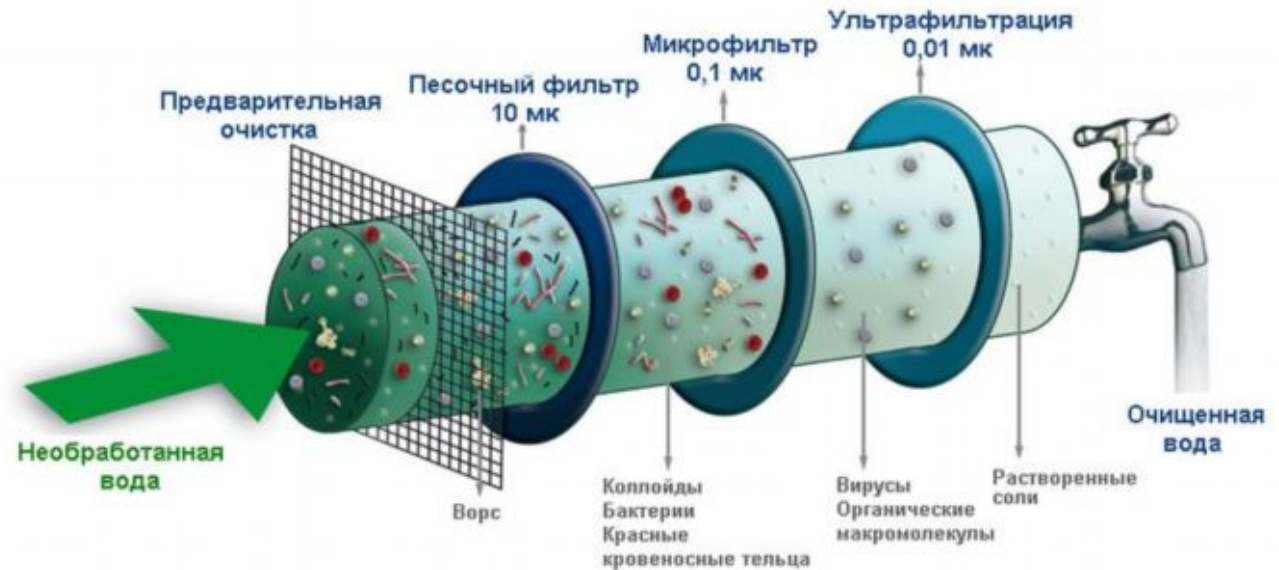


Рис.2.1

### Очищення води ділиться на 5 основних методів:

1. Механічне.
2. Знезараження води.
3. Пом'якшення.
4. Знезалізнення та видалення марганцю.
5. Видалення сірководню, аміаку/амонію.

### Механічне очищення води на водоканалах

Механічне очищення води у мережі центрального водопостачання – початкова стадія водопідготовки. Механічне очищення передбачає використання промислових фільтрів для води, які видаляють з неї різні домішки:

- фрагменти трубопроводів;
- іржу;
- глину;
- пісок та інші суспензії.

Сучасні промислові фільтри для механічного очищення води бувають різних розмірів та з різним завантаженням. Розмір та тип завантажувального

матеріалу повинен підбиратися у відповідності до результатів проведеного заздалегідь аналізу вихідної води.

### Знезараження води

Знезараження – останній етап очищення води. В процесі цього етапу в воді пригнічується життєдіяльність хвороботворних організмів.

*Методи знезараження води:*

1. Хімічний (реагентний) – вода знезаражується за допомогою біологічно активних хімічних сполук.
2. Фізичний (безреагентний) – метод очищення води за допомогою ультрафіолетових ламп.
3. Комбінований – включає в себе як реагентний, так і безреагентний методи знезараження води.

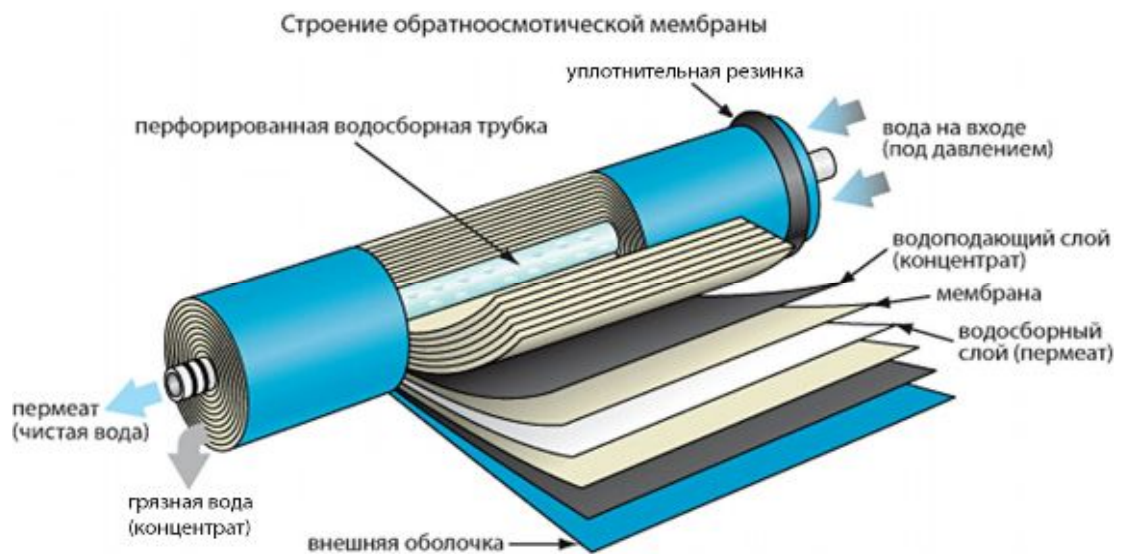


Рис.2.2

### Пом'якшення води

В процесі пом'якшення жорсткої води з неї видаляються катіони магнію та кальцію. Завдяки пом'якшенню води не утворюється накип, що впливає на ефективність роботи побутових приладів (кип'ятильників,

чайників, пральних машин) та сантехніки. Знижується ризик засмічення каналів пристроїв та систем, через які проходить вода. Це значно знижує енерговитрати, підвищує ефективність та терміни експлуатації обладнання.

### **Знезалізнення та видалення марганцю**

Залізо та марганець, що містяться у воді, негативно впливають на здоров'я людей: погіршують роботу нирок, печінки та викликають алергію. Тому при подачі води з власних свердловин або по старих водопровідних трубах її необхідно знезалізнювати та очищати від марганцю за допомогою промислових фільтрів для води.

Це не тільки поліпшить якість води. Видалення заліза з води завадить утворенню накипу та осаду. Це поліпшить роботу сантехніки, посудомийних, пральних машин, істотно знизить корозію металевих поверхонь обладнання та водопроводів.

### **Видалення сірководню, аміаку, амонію**

Велика концентрація сірководню, аміаку та амонію свідчить про бактеріальне забруднення води. Ці елементи також погіршують її смак та запах. Очищення води від амонію, аміаку та сірководню за допомогою промислових фільтрів для води робить її не тільки безпечною для здоров'я людей та придатною для пиття. Вода, насичена цими елементами, значно знижує ефективність і термін експлуатації теплових мереж та теплообмінників.

### **Системи зворотнього осмосу**

Системи зворотного осмосу створені для очищення води методом пропускання її крізь спеціальну зворотноосмотичну мембрану під високим тиском. В результаті споживач отримує перміат – кришталево чисту воду, домішки з якої видаляються через каналізацію, перетворюючись на концентрат.

Сьогодні зворотний осмос – це найдосконаліше рішення у сфері надання воді безпечних для здоров'я характеристик та її очищення. Метод



рекомендовано фахівцями для використання у країнах ЄС, Канаді, США та ін. Він активно використовується і в Україні.

### Етапи очистки

Перший-третій етапи – первинні. Для очистки індивідуально підбираються картриджі. З їхньою допомогою видаляються домішки заліза, солей, аміаку, хлору, а також органічні та механічні. Склад цих домішок попередньо визначають під час аналізу води.

Четвертий етап – вода під тиском проходить крізь мембрану діаметром до 1 ангстрема для видалення найдрібніших залишків, бактерій та вірусів.

П'ятий етап – смакові властивості води коригуються посткарбоном, вона стає смачною, приємною для пиття та безпечною для приготування їжі.

Шостий етап – не обов'язковий, за бажанням користувача. Вода у системі зворотного осмосу мінералізується, насичується корисними солями та мінералами, мікроелементами, що ідеально збалансовані для вживання навіть дитиною.

### Прогнозований розрахунковий склад очищеної води на основі прикладу вихідної води:

Показник	Одиниці виміру	До фільтру	Після фільтру	Вимоги до очищеної води (за ДСанПіН)
Твердість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	6,86	0,3...0,8	≤ 7,0
Залізо	мг/дм <sup>3</sup>	3,80	до 0,1	≤ 0,2
Аміак	мг/дм <sup>3</sup>	3,21	0,2...0,5	≤ 0,5

### Переваги встановлення системи зворотного осмосу

Власник такої установки виграє за багатьма пунктами, що стосуються якості життя та покращення побутових умов:

- Безперервне та постійне отримання води, що безпечна для здоров'я і за складом близька до води у нашому організмі.
- Очищення від шкідливих домішок та хвороботворних мікроорганізмів до 99%.
- Відмінна продуктивність установки: води з запасом вистачить на усіх членів родини.
- Широкий діапазон застосування.

Приватним використанням можливості системи зворотного осмосу не обмежуються. У теплоенергетиці та інших промислових галузях ця установка значно знижує витрати тепло- та електроенергії, водночас запас реагентів та регенерація, на відміну від іонообмінних апаратів, не потрібен.

### **Системи очищення води**

Все частіше ми стикаємося з тим, що вода не підходить для пиття прямо з крана та залишає сліди або плями на сантехнічному обладнанні, має неприємний запах, її потрібно очистити.

Неякісні трубопроводи - основна проблема води в Україні. Сучасні українські водопроводи досить старі і не можуть забезпечити чисту питну воду з крана кінцевому споживачу. Ми щодня бачимо проблеми з водою у нас в крані. Хоч вода і очищається водоканалами, зміни якості води відбуваються під час транспортування через мережу розподільних трубопроводів до споживача, які в більшості, побудовані ще за радянських або австро-угорський час.

Такі труби забруднюють воду шкідливими домішками і погіршують її смакові якості. Все це негативно відбивається на здоров'ї людей, а також на стані побутових приладів. Формування накипу тягне за собою вихід з ладу опалювальної техніки, засмічення батарей, утворення іржа на сантехніці. Нам нічого не залишається окрім як подбати про своє здоров'я і своїх близьких самостійно.

### **Склад системи очищення води**

Система має вигляд колони, що виготовлена з пластику підвищеної міцності, стійка до корозії. На неї встановлено автоматичний клапан керування виробництва Slack Corp (Сполучені Штати), що максимально полегшує використання та експлуатацію виробу. До комплекту також додано сольовий бак, щоб швидко здійснювати процес регенерації.

### **Система комплексного очищення води з засипкою Ecomix**

Наші системи мають чудові робочі характеристики, вони комплексно очищують воду навіть з великою твердістю та значним ступенем забруднення:

- 1) Залізо: максимально критичні концентрації заліза у воді мають бути не більш як 15 мг/л.
- 2) Жорсткість: система очищення води є ефективною з твердістю до 15 мг-екв/л
- 3) Марганець: дуже ефективно справляється з видаленням марганцю, концентрація якого не повинна перевищувати 3 мг/л.
- 4) Окиснюваність: ефективно зменшує природні органічні речовини. Максимальна допустима окиснюваність вихідної води - 20 мг O<sub>2</sub>/л.
- 5) Амоній: максимальна концентрація амонію у воді — не більше 4 мг/л.

## Робота системи комплексного очищення води ECOMIX



У системі використано суміш 5 синтетичних та природних складових з функціями іонообміну та сорбції. Вони відрізняються механізмами дії: сорбція чи фільтрація, а також ступенями щільності та гранулометричним складом.

Під час виготовлення установки фільтраційні компоненти ECOMIX® перемішують у кількостях, визначених рецептурою. Під час експлуатації, після проходження етапу першої регенерації, компоненти розподіляються на шари. Розшарування проходить у послідовності, що максимально ефективна для швидкого видалення шкідливих домішок з води.

### 2.3 Існуючі класифікації методів та інженерних засобів очищення води

Для створення замкнутих систем водопостачання промислові стічні води піддаються очищенню до необхідної якості механічними, хімічними, фізико-хімічними, біологічними і термічними методами [8–11]. Вказані методи очищення розділяються на рекупераційні і деструктивні. Методи рекупераційні передбачають витягання із стічних вод і подальшу переробку усіх цінних речовин. У деструктивних методах забруднювальні речовини

піддаються руйнуванню шляхом окислення або відновлення, а продукти руйнування видаляються з води у вигляді газів або опадів.

Основні методи очищення різної природи використовуються як для очищення стічної води від різних домішок, так і для очищення від розчинених домішок [1–2]. У свою чергу, перша група очищення гетерогенних систем розділяється на методи очищення від грубодисперсних домішок, куди входять способи відстоювання, проціджування та фільтрації, флотації, відцентрового осадження; і на методи очищення від дрібнодисперсних домішок шляхом коагуляції, флокуляції та електрофлотації [1–2].

У першу групу [1–2] також можна віднести методи усунення і знищення домішок шляхом закачування у свердловини, поховання і термічного знищення.

Друга група включає методи очищення води від мінеральних домішок шляхом дистиляції, іонного обміну, зворотного осмосу, електролізу; методи очищення від органічних домішок, що включають регенеративні способи екстракції, ректифікації, адсорбції, зворотного осмосу і ультрафільтрації, і деструктивні способи: біохімічні, рідкого- та парофазного окислення, радіаційного і електрохімічного окислення; а також методи очищення від розчинених газів, включаючи способи обдування, нагрівання та реагентні.

Механічні методи [1–2] видалення завислих частинок із стічних вод засновані на законах гідромеханічних процесів. Фізико-хімічні методи очищення стічних вод [1–2] використовують для видалення із стічних вод тонкодисперсних твердих і рідких зважених частинок, розчинних газів, мінеральних і органічних речовин. Механізми цих методів полягає в використанні законів фізико - хімічної гідромеханіки, фізичної і колоїдної хімії, електрохімії, процесів хімічної технології.

Хімічні методи [1–2] застосовують для видалення розчинних речовин в замкнених системах водопостачання.

Біохімічні методи [1–2] застосовують для очищення господарсько-побутових і промислових стічних вод від розчинених органічних і неорганічних речовин. Процес біохімічного очищення ґрунтується на здатності мікроорганізмів використати забруднюючі речовини для свого живлення в процесі життєдіяльності.

Термічні методи [1–2] застосовують для знешкодження стічних вод, що містять мінеральні солі.

Як відмічено авторами [1–2], вибір методу очищення здійснюється з урахуванням санітарних і технологічних вимог до якості очищених води, кількості стічних вод, наявності необхідних енергетичних і матеріальних ресурсів, ефективності процесу знешкодження.

Стічні води попадають в ґрунт та разом з ґрунтовними водами перемішуючись між собою являють продукт нашого споживання.

Механічне зневоднення осадів промислових стоків може виконуватися екстенсивними і інтенсивними методами.

Екстенсивні методи здійснюються в різного роду ущільнювачах, інтенсивне зневоднення і згущування виконується за допомогою фільтрування, центрифугування, гідроциклонування і тому подібне. У практиці обробки осадів промислових стічних вод найчастіше застосовуються хімічні (реагентні) методи обробки.

При використанні термоокислювального методу усі органічні речовини, що забруднюють стічні води, повністю окислюються киснем повітря при високих температурах до нетоксичних сполук. До цих методів відносять метод рідкофазного окислення, метод парофазного каталітичного окислення і полум'яний або «вогневий» метод.

Відносно широке поширення в області обробки осадів міських стічних вод отримала сушка (барабанні сушарки, сушка в зустрічних струменях).

### 2.3. Гідромеханічні способи очищення стічних вод

Для очищення води від завислих частинок використовують періодичні та неперервні гідромеханічні процеси проціджування, гравітаційного та відцентрового відстоювання і фільтрування.

Вибір методу залежить від розміру частинок суміші, фізико-хімічних властивостей і концентрації завислих частинок, витрати стічних вод та необхідного ступеня очищення.

Перед більш тонким очищенням стічні води направляють на проціджування через решітки та сита, які встановлюють перед відстійниками з метою вилучення з них крупної суміші.

Осадженням називають розділення рідких неоднорідних систем шляхом видалення із рідкої фази твердих або рідких завислих частинок під дією сили тяжіння, відцентрової сили. Відповідно розрізняють гравітаційне відстоювання і осідання за допомогою центрифугування [1-2].

Осадження відстоюванням відбувається під дією сили тяжіння. Для проведення процесу використовують пісколовки, відстійники та освітлювачі. У освітлювачах одночасно з відстоюванням відбувається фільтрація стічних вод крізь шар зважених частинок [2, 5].

Згідно авторам [1-2] розглянемо матеріальний баланс механічного розділення стічних вод від суміші.

При відсутності втрат речовини у процесі механічного розділення стічних вод від суміші рівняння матеріального балансу має вигляд:

за загальною кількістю речовини

$$G_{см} = G_{осв} + G_{ос}; \quad (2.1)$$

за дисперсною фазою

$$G_{см} \cdot x_{см} = G_{осв} \cdot x_{осв} + G_{ос} \cdot x_{ос}, \quad (2.2)$$

де  $G_{см}$ ,  $G_{осв}$ ,  $G_{ос}$  - маса початкової стічної води, освітленої води і осаду суміші, який отримуємо;  $x_{см}$ ,  $x_{осв}$ ,  $x_{ос}$  - вміст суміші у початковій стічній воді, освітленій воді та в осаді.

Сумісне розв'язання цих рівнянь дозволяє визначити масову кількість освітленої води  $G_{осв}$  і масу осаду  $G_{ос}$ , які отримуємо при заданому вмісті суміші в осаді і освітленій воді:

$$G_{осв} = G_{см} \cdot \frac{x_{ос} - x_{см}}{x_{ос} - x_{осв}}, \quad (2.3)$$

$$G_{ос} = G_{см} \cdot \frac{x_{см} - x_{осв}}{x_{ос} - x_{осв}}. \quad (2.4)$$

Вміст завислих частинок у освітленій воді і в осаді вибирається в залежності від конкретних технологічних умов процесу розділення.

Розглянемо відстоювання стічних вод.

Основним параметром, який використовують під час розрахунку осаду, є швидкість осадження частинок.

При падінні частинки під дією сили тяжіння сила, яка рухає частинку діаметром  $d_u$ , виражається різницею між її вагою:

$$G = m_u \cdot g = \pi \cdot \frac{d_u^3}{6} \cdot \rho_u \cdot g, \quad (2.5)$$

та виштовхувальною архімедовою силою, що дорівнює фазі рідини в об'ємі частинки

$$A = m_0 \cdot g = \pi \cdot \frac{d_u^3}{6} \cdot \rho_0 \cdot g; \quad (2.6)$$

$$G - A = \pi \frac{d_u^3}{6} g (\rho_u - \rho_0), \quad (2.7)$$

де  $\rho_u$  - щільність твердої частинки.

Швидкість осадження  $w_{ос}$  можна знайти із умови рівності сили, частинки яка рухається та сили опору водного середовища:

$$w_{ос} = \sqrt{\frac{4 \cdot d_u (\rho_u - \rho_0) \cdot g}{3\zeta \cdot \rho_0}}. \quad (2.8)$$



Є мінімальний розмір частинок, нижче якого спостерігається відхилення від закону Стокса і при  $Re_c < 10^{-4}$  на швидкість осадження дуже маленьких частинок впливає тепловий рух молекул середовища.

За таких умов розмір  $d$  частинок стає рівним із середньою довжиною вільного пробігу молекул середовища. Розрахунки показують, що при  $d \approx 0,1 \mu\text{м}$  частинки не осідають, а спостерігається лише хаотичний броунівський рух частинок.

Швидкість осадження частинок неколової форми менше швидкості осадження неколових частинок. Для неколових частинок у розрахункових формулах використовують еквівалентний діаметр  $d_e$ , який визначають за об'ємом  $V_c$  або масі  $G_c$  частинки.

При відстоюванні стічних вод спостерігається стиснене осідання, яке супроводжується зіткненням частинок, тертя між ними та зміна швидкостей великих і малих частинок. Швидкість стисненого осідання менша від швидкості вільного осідання в результаті виникнення вихідного потоку рідини та збільшення в'язкості середовища.

Для полідисперсної системи швидкість осідання неперервно змінюється з часом. Внаслідок агломерації частинок вона може змінюватися в декілька разів у порівнянні з теоретичною. Можливість до агломерації залежить від концентрації, форми, розміру і щільності завислих частинок, від співвідношення частинок різного розміру і в'язкості середовища.

Процес відстоювання використовують також для очищення виробничих стічних вод від нафти, масел, смол, жирів. Очищення від спливаючої суміші аналогічне осіданню твердих речовин. Різниця в тому, що щільність спливаючих частинок менша, ніж густина води. Для уловлювання частинок нафти використовують нафтовловлювачі, а для жирів – жировловлювачі.

Рух частинки легкої фази вгору викликає в стічній воді вторинні потоки, які зупиняють підйом. На процес розділу має вплив турбулентність,

коагуляція і гідродинамічне комплексоутворення. При введенні стічної води в пастки може відбутися подрібнення легкої рідини при ударі потоку об поверхню, що супроводжується зміною тиску.

Відношення числа частинок легкої рідини визначеного розміру, які відстоялися до загального числа частинок цієї рідини називають ефектом відстоювання. Відстоювання стічних вод проводять в апаратах, які називають відстійниками або згущувачами. Розрізняють горизонтальні, радіальні, вертикальні, трубчасті, пластинчасті відстійники з похилими перегородками.

Розглянемо відцентрове осідання домішок із стічних вод за описом автора [1-2] .

Швидкість розділення неоднорідних систем у полі відцентрових сил вища у порівнянні із швидкістю розділення цих систем у полі сили тяжіння.

Відношення відцентрової сили до сили тяжіння можна зробити порівнянням прискорень, які діють на частинки суміші у відцентровому та гравітаційному полях, оскільки як можна застосувати до частинки визначеної маси сили пропорційні прискоренням.

В загальному випадку відцентрова сила  $P_u(H)$  виражається рівністю:

$$P_u = \frac{m \cdot v_0^2}{r} = \frac{G \cdot v_0^2}{g \cdot r} , \quad (2.9)$$

де  $m$  - маса обертової частинки;  $G$  - вага частинки;  $v_0$  - обертова швидкість обертання;  $r$  - радіус обертання.

Відношення відцентрового прискорення до прискорення сили тяжіння називають фактором розділення:

$$K_p = \frac{v_0^2}{g \cdot r} . \quad (2.10)$$

Фактор розділення є важливою характеристикою гідроциклонів та центрифуг, так як, при інших рівних умовах, розділювальна дія при осідальному центрифугуванні збільшується пропорційно величині  $K_p$  .

Для очищення стічних вод використовують напірні та відкриті гідроциклони. Напірні гідроциклони застосовують для осадження твердих сумішей, а відкриті гідроциклони – для видалення суміші, яка осідає та спливає. При обертанні рідини у гідроциклонах на частинки діють відцентрові сили, які відкидають важкі частинки на периферію потоку, сили опору потоку, який рухається, гравітаційні сили та сили потоку. Сили інерції у потоці рідини незначні і ними можна знехтувати. При високих швидкостях обертання відцентрові сили значно більші за силу тяжіння.

Крім фізичних властивостей рідини на ефективність роботи гідроциклонів впливають конструктивні параметри: діаметр апарату, співвідношення вхідного та зливних патрубків.

Гідроциклони малого діаметра об'єднують в загальний агрегат, в якому вони працюють паралельно. Такі апарати називають мультигідроциклонами. Мультигідроциклони більш ефективні при очищенні невеликої кількості води від тонкодисперсійних сумішей [1, 2].

Відкриті гідроциклони застосовують для очищення стічних вод від крупної суміші. Від напірних гідроциклонів, вони відрізняються більшою продуктивністю та меншим гідравлічним опором [1].

Для знищення опадів із стічних вод використовуються відстійні та фільтруючі центрифуги. У відстійних центрифугах із суцільними стінками ротора відбувається розділ суспензій та емульсій за принципом відстоювання.

Розділення у відстійних центрифугах складається із стадій осідання твердих частинок на стінках ротора та щільності утворившогося осаду.

Перша з цих стадій протікає за законами гідродинаміки, друга - по закономірностях механіки ґрунтів (пористих середовищ). При малій концентрації твердих частинок в стічній воді (не більш 4% об.) спостерігається вільне осідання їх у роторі без утворення чіткої поверхні розділу між чистою рідиною і ще не розшарованою суспензією. При підвищеній концентрації утворюється чітка межа розділу внаслідок

обмеженого осідання твердих частинок. Внаслідок неоднорідності по радіусу інтенсивності поля відцентрових сил і площі осідання закономірності процесів осідання у відстійних центрифугах відрізняються від осідання у відстійниках.

Продуктивність відстійних центрифуг знижується порівняно з теоретичної внаслідок відставання швидкості обертання рідини від швидкості обертання ротора, нерівномірності течії рідини вздовж ротора, утворення вихрових зон, що затягують частинки, які осіли.

Одним з основних методів очищення води є метод фільтрування.

При процесі очищення забруднених вод доводиться мати справу з великою кількістю води, тому застосовують фільтри, для роботи яких не вимагається високих тисків. Виходячи з цього, використовують фільтри з сітчастими елементами (мікрофільтри і барабанні сітки) і фільтри з фільтруючим зернистим шаром [2].

Механізм вилучення частинок з води на фільтрах із зернистим перегородкою:

проціджування з механічним вилученням частинок;

гравітаційне осадження;

інерційне захоплення;

хімічна адсорбція;

фізична адсорбція;

адгезія;

коагуляційне осідання;

біологічне вирощування.

В загальному випадку ці механізми можуть діяти спільно, і процес фільтрування складається з 3-х стадій:

- перенесення частинок на поверхню речовини, утворюючого шару;
- прикріплення до поверхні;
- відривання від поверхні.

За характером механізму затримування зважених частинок розрізняють 2 види фільтрування:

- фільтрування крізь плівку (осад) забруднюючих речовин, що утворюються на поверхні зерен завантаження;
- фільтрування без утворення плівки забруднюючих речовин.

У першому випадку затримуються частинки, розмір яких більший від пор матеріалу, а потім утворюється шар забруднюючих речовин, який є також фільтруючим матеріалом.

Такий процес характерний для повільних фільтрів, які працюють при малих швидкостях фільтрування. У другому випадку фільтрування відбувається в товщі шару завантаження, де частинки затримуються на зернах фільтруючого матеріалу адгезійними силами. Такий процес характерний для швидкісних фільтрів. Величина сил адгезії залежить від розміру і форми зерен, від шорсткості поверхні та її хімічного складу, від швидкості потоку і температури рідини, від властивостей домішок.

При рівності числа частинок, що надходять в одиницю часу на поверхню фільтруючого шару і покидають її, настає насичення поверхні і вона перестає освітлювати стічні води.

Важливими характеристиками фільтра є пористість і питома поверхня. Пористість залежить від структури середовища і пов'язана з розміром зерен, а також і з їх формою і укладанням.

Питома поверхня шару визначається не тільки пористістю, але і пористістю окремих зерен, а також залежить від форми зерен.

Зважені речовини при проходженні через шар матеріалу зменшують пористість і змінюють поверхню. Опір фільтруючого шару зростає по мірі проходження стічної води.

Фільтри з зернистим шаром поділяються на повільні і швидкісні, відкриті і закриті. Висота шару у відкритих фільтрах дорівнює від 1 до 2 м, у закритих від 0,5 до 1 м. Напор води в закритих фільтрах створюється насосами.

Повільні фільтри використовують для фільтрування некоагулюємих стічних вод. Швидкість фільтрування залежить від концентрації завислих частинок: до 25 мг/л швидкість беруть 0,2-0,3 м/год; при 25-30 мг/л - 0,1-0,2 м/ч.

Швидкісні фільтри бувають одно-і багат шаровими. У одношарового фільтра шар складається з одного і того ж матеріалу, у багат шарових- з різних матеріалів (наприклад, з антрациту і піску).

Вибір типу фільтра для очищення стічних вод залежить від кількості фільтрівної води, концентрації забруднюючих речовин та ступеня їх дисперсності, фізико-хімічних властивостей твердої і рідкої фаз і від необхідного ступеня очищення.

### 3 ФІЗИКО-ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

До фізико-хімічних методів очищення стічних вод відносять коагуляцію, флотацію, адсорбцію, іонний обмін, екстракцію, ректифікацію, випаровування, дистиляцію, зворотний осмос і ультрафільтрацію, кристалізацію, десорбцію та ін. Ці методи використовують для видалення із стічних вод тонкодисперсних завислих твердих і рідких частинок, розчинних газів, мінеральних і органічних речовин.

Використання фізико-хімічних методів для очищення стічних вод порівняно з біохімічним має ряд переваг:

- 1) можливість видалення із стічних вод токсичних, біохімічно неокислювальних органічних забруднювальних речовин;
- 2) досягнення більш глибокого та стабільного ступеня очищення;
- 3) менші розміри споруд;
- 4) менша чутливість до змін навантаження;
- 5) можливість повної автоматизації; більш глибоке вивчення кінетики деяких процесів, а також питань моделювання, математичного опису і оптимізації, що важливо для правильного вибору і розрахунку апаратури;
- 6) методи, не пов'язані з контролем за діяльністю живих організмів;
- 7) можливість рекуперації речовин.

Вибір методу очищення визначається з урахуванням санітарних і технологічних вимог, що ставляться до очищених виробничих стічних вод з метою подальшого їх використання, а також з урахуванням кількості стічних вод і концентрації забруднюючих речовин в них.

Коагуляція і флокуляція забруднень взмученої води

Для прискорення відстоювання використовують коагуляцію частинок, тобто укрупнення їх за допомогою коагулянтів, які вводяться в суспензію, в

результаті чого під дією молекулярних сил зчеплення, відбувається злипання дрібних частинок у великі конгломерати (пластівці, флокули).

Коагуляція - це процес укрупнення дисперсних частинок в результаті їх взаємодії і об'єднання в агрегати. В очищенні стічних вод її застосовують для прискорення процесу осідання тонкодисперсних домішок і емульгованих речовин.

Коагуляція найбільш ефективна для видалення з води колоїдно-дисперсних частинок, тобто частинок розміром від 1 до 100 мкм. Коагуляція може відбуватися спонтанно або під впливом хімічних і фізичних процесів. В процесі очищення стічних вод коагуляція відбувається під впливом доданих до них спеціальних речовин - коагулянтів. Коагулянти у воді утворюють пластівці гідроксидів металів, які швидко осідають під дією сили тяжіння. Пластівці мають здатність вловлювати колоїдні і завислі частинки й агрегувати їх. Так як колоїдні частинки мають слабкий негативний заряд, а пластівці коагулянтів - слабкий позитивний заряд, то між ними виникає взаємне протягування [2, 5].

Для колоїдних частинок характерне утворення на поверхні частинок подвійного електричного шару. Одна частина подвійного шару фіксована на поверхні розділу фаз, а інша створює хмару іонів, тобто одна частина подвійного шару є нерухомою, а інша рухомою (дифузний шар). Різниця потенціалів, що виникає між нерухомою і рухомою частинами шару (в об'ємі рідини) називається дзета-потенціалом або електрокінетичним потенціалом, відмінним від термодинамічного потенціалу, який являє собою різницю потенціалів між поверхнею частинок і рідиною.

Малий розмір колоїдних частинок забруднюючих речовин і негативний заряд, розподілений на їх поверхні, обумовлює високу стабільність колоїдної системи. Щоб викликати коагуляцію колоїдних частинок, необхідно знизити величину їх дзета-потенціалу до критичного значення додаванням іонів, які мають позитивний заряд. Таким чином, при коагуляції відбувається дестабілізація колоїдних частинок внаслідок нейтралізації їх електричного



заряду. Ефект коагуляції залежить від валентності іона коагулянту, що несе заряд, протилежний знаку заряду частинок. Чим вище валентність, тим більш ефективна коагулююча дія [1, 2].

Для початку коагуляції частинки повинні наблизитися одна до одної на відстань, при якій між ними діють сили тяжіння і хімічної спорідненості. Зближення частинок відбувається в результаті броунівського руху, а також при ламінарному або турбулентному русі потоку води. Коагулюючою дією солей є результат гідролізу, який відбувається слідом за розчиненням.

Вибір коагулянту залежить від його складу, фізико-хімічних властивостей і вартості, концентрації домішок у воді, від рН і сольового складу води.

Швидкість коагуляції залежить від концентрації електроліту. При малих концентраціях електроліту ефективність зіткнення частинок, тобто відношення числа зіткнень, що закінчилися злипанням, до загального числа зіткнень, близька до нуля ( $y = 0$ ). В міру зростання концентрації швидкість коагуляції збільшується, але не всі зіткнення закінчуються злипанням частинок - таку коагуляцію називають повільною.

В полідисперсних системах коагуляція відбувається швидше, ніж в монодисперсних, оскільки великі частинки при осіданні захоплюють за собою більш дрібні. Форма частинок також впливає на швидкість коагуляції.

Крім коагулянтів до освітлювання рідини додають невеликі кількості флокулянтів, що сприяють злипанню агрегативно нестійких твердих частинок.

Флокуляція - процес агрегації зважених частинок при додаванні в стічну воду високомолекулярних сполук, які називаються флокулянтами. На відміну від коагуляції при флокуляції агрегація відбувається не тільки при безпосередньому контакті частинок, але і в результаті взаємодії молекул адсорбованого на частинках флокулянту [1, 2, 5].

Флокуляцію проводять для інтенсифікації процесу утворення пластівців гідроксидів алюмінію і заліза з метою підвищення швидкості їх

осідання. Використання флокулянтів дозволяє знизити дози коагулянтів, зменшити тривалість процесу коагуляції і підвищити швидкість осідання пластівців, які утворилися.

Для очищення стічних вод використовують природні та синтетичні флокулянти. До природних флокулянтів належить крохмаль, ефіри, целюлози та ін. Механізм дії флокулянтів заснований на явищі адсорбції молекул реагенту на поверхні колоїдних частинок, утворення сітчастої структури молекул реагенту, на злипанні колоїдних частинок за рахунок сил Ван-дер-Ваальса. При дії флокулянтів між колоїдними частинками утворюються тривимірні структури, здатні до більш швидкого і повного відокремлення від рідкої фази.

Розглянемо очищення забрудненої води у флотаційних процесах.

Флотація – це процес молекулярного прилипання частинок флотуємого матеріалу до поверхні розділу газу і рідини, обумовлений надлишком вільної енергії поверхневих граничних шарів, а також поверхневими явищами змочування.

Флотацію застосовують для видалення з води нерозчинних дисперсійних домішок, які самочинно погано відстоюються, а також для видалення розчинених речовин, наприклад, поверхнево-активних речовин (ПАР). Процес очищення стічних вод від ПАР називають пінною сепарацією або пінним концентруванням. Флотацію застосовують для очищення стічних вод нафтопереробних виробництв, штучного волокна, целюлозно-паперового, шкіряного, харчових, хімічних виробництв. Її використовують також для виділення активного мулу після біохімічного очищення [1, 2].

Перевагами флотації є неперервність процесу, широкий діапазон застосування, невисокі капітальні та експлуатаційні витрати, проста апаратура, селективність виділення домішок, велика швидкість процесу у порівнянні з відстоюванням, можливість отримання шламу більш низької вологості, висока ступінь очищення, можливість рекуперації видалених речовин. Флотація супроводжується також аерацією стічних вод, зниженням

концентрації ПАР і легкоокислювальних речовин, бактерій та мікроорганізмів.

Процес очищення стічних вод, що містять ПАР, нафтопродукти, масла, волокнисті матеріали, методом флотації, полягає в утворенні комплексів "частинки - бульбашки", спливання цих комплексів і видалення утвореного пінного шару з поверхні оброблюваної рідини.

Прилипання до поверхні частинки газового пухирця можливо тільки тоді, коли спостерігається незмочування або погане змочування частинки рідиною.

Зовнішнім проявом здатності рідини до змочування є величина поверхневого натягу на межі з газовою фазою, а також різниця полярностей на межі рідкої та твердої фаз. Процес флотації йде ефективно при поверхневому натягу води не більше 60.65 мН/м. Чим більший кут, тим більша гідрофобія поверхні частинки, тобто збільшується ймовірність прилипання до неї і міцність утримання на її поверхні повітряних бульбашок. Такі частинки мають малу змочуванність і легко флотуються.

Елементарний акт флотації полягає в наступному: при зближенні піднімаючої у воді бульбашки повітря з твердою гідрофобною частинкою розділяючий їх прошарок води проривається при деякій критичній товщині і відбувається злипання бульбашки з частинкою. Потім комплекс "бульбашка-частинка" піднімається на поверхню води, де бульбашки збираються і виникає пінний шар з більш високою концентрацією частинок, ніж у вихідної стічної воді [1, 2].

При закріплені бульбашки утворюється трифазний периметр-лінія, що обмежує площу прилипання бульбашки і є кордоном трьох фаз - твердої, рідкої і газоподібної [1].

ПАР - реагенти-збирачі, адсорбуючись на частинках, що знижують їх змочуваність, тобто є гідрофобними. В якості реагентів - збирачів використовують масла, жирні кислоти і їх солі, ксантогенати, алкілсульфати,

аміни. Підвищення гідрофобності частинок можна досягти також адсорбцією молекул розчинених газів на їх поверхні [1, 2].

Ефект поділу флотацією залежить від розміру і кількості бульбашок повітря. При цьому необхідний високий ступінь насичення води бульбашками, або великий вміст газу. Підвищення концентрації домішок збільшує ймовірність зіткнення і прилипання частинок до бульбашок. Для стабілізації розмірів бульбашок в процесі флотації вводять різні піноутворювачі, які зменшують поверхневу енергію розділу фаз: соснове масло, феноли, алкілсульфат натрію, які мають узагальнюючі та пеноутворюючі властивості.

Розрізняють наступні способи флотаційної обробки стічних вод:

- з виділенням повітря з розчинів;
- з механічним диспергуванням повітря;
- з подачею повітря крізь пористі матеріали;
- електрофлотацію;
- хімічну флотацію.

Флотація з виділенням повітря з розчину. Цей спосіб застосовують для очищення стічних вод, які містять дуже дрібні частинки забруднюючих речовин. Сутність способу полягає у створенні пересиченого розчину повітря в стічній рідині. При зменшенні тиску із розчину виділяються бульбашки повітря, які флотують забруднюючі речовини. В залежності від способу створення перенасиченого розчину повітря у воді розрізняють, вакуумну, напірну і ерліфтну флотацію.

При вакуумній флотації - стічну воду попередньо насичують повітрям при атмосферному тиску в аераційній камері, а потім направляють у флотаційну камеру, де вакуум-насосом підтримується розрідження 29,9...39,3 кПа (225...300 мм рт.ст). Найдрібніші бульбашки, які виділяються в камері виносять частину забруднюючих речовин. Процес флотації триває близько 20 хвилин. Перевагами цього способу є: утворення бульбашок газу і їх злипання з частинками відбувається в спокійному середовищі, що зводить до мінімуму

ймовірність руйнування агрегатів "бульбашка-частинка"; витрата енергії на процес мінімальна. Недоліки: незначний ступінь насичення стоків бульбашками газу, тому цей спосіб не можна застосовувати при високій концентрації зважених частинок (не більше 250-300 мг/л); необхідність створювати герметично закриті флотатори і розміщувати в них скребкові механізми [1].

Напірні флотаційні установки мають більше поширення, ніж вакуумні. Вони прості і надійні в експлуатації. Напірна флотація дозволяє очищати стічні води. Для збільшення ступеня очищення у воду додаються коагулянти. Апарати напірної флотації забезпечують порівняно з нафтопастками у 5-10 разів менше залишковий вміст забруднень та мають у 5-10 разів менші габарити.

Процес здійснюється в дві стадії:

- 1) насичення води повітрям під тиском;
- 2) виділення розчиненого газу під атмосферним тиском.

У разі необхідності одночасного окислення забруднень, воду насичують повітрям, збагаченим киснем або азотом. Для усунення процесу окислення замість повітря на флотацію подають інертні гази.

Ерліфтні установки застосовують для очищення стічних вод хімічної промисловості. Вони прості щодо устаткування, витрата енергії на проведення процесу в них в 2,4 рази менше, ніж у напірних установках. Недолік цих установок - необхідність розміщення флотаційних камер на великій висоті.

Флотація з механічним диспергуванням повітря. Механічне диспергування повітря у флотаційних машинах забезпечується турбінками насосного типу - імPELLера, що представляють собою диск з радіальними, оберненими вгору, лопатками. Такі установки застосовуються для очищення стічних вод з високим вмістом завислих частинок. Ступінь подрібнення вихрових газових потоків на бульбашки і ефективність очищення залежать

від швидкості обертання імелера: чим більша швидкість, тим менша бульбашка і тим більша ефективність процесу.

Пневматичні установки застосовують для очищення стічних вод, що містять розчинені домішки, агресивні до рухомих механізмів. Подрібнення бульбашок повітря досягається при пропусканні його через спеціальні сопла з отворами діаметром 1-1,2 мм, з тиском перед ними 0,3-0,5 МПа. Швидкість потоку повітря на виході з сопла 100-200 м/с. Тривалість флоатації - в межах 15-20 хв.

Флоатація за допомогою пористих пластин. При пропусканні повітря крізь керамічні пористі пластини або ковпачки, виходять дрібні бульбашки. Цей метод має наступні переваги: проста конструкція флоатаційної камери; менші витрати енергії через відсутність насосів, імелера. Недоліки способу: часте засмічення і заростання отворів пористого матеріалу; неоднорідність розмірів отворів пористого матеріалу.

Адсорбційне очищення води належить теж до фізико-хімічних методів і може бути регенеративним, тобто з витягом речовини з адсорбенту і його утилізацією, і деструктивною, при якій витягнуті з води речовини знищуються разом з адсорбентом [1, 2].

У якості сорбентів використовують активоване вугілля, синтетичні сорбенти і деякі відходи виробництва (золу, шлаки, тирса). Найбільш універсальними з адсорбентів є активоване вугілля, але воно повинно мати певні властивості. Активоване вугілля повинно слабо взаємодіяти з молекулами води і добре - з органічними речовинами, бути відносно крупнопористими, щоб його поверхня була доступна для органічних молекул. При малому часі контакту з водою його молекули повинні мати високу адсорбційну ємність, високу селективність і малу утримуючу здатність при регенерації.

Речовини, які добре адсорбуються із водних розчинів активованим вугіллям, мають опуклу ізотерму адсорбції, а ті, що погано адсорбуються -

увігнуту. Ізотерму адсорбції речовини, що міститься у стічній воді, визначають дослідним шляхом.

Якщо у стічній воді присутні кілька видобутих компонентів, то для визначення можливості їх спільної адсорбції для кожної речовини знаходять значення стандартної диференціальної вільної енергії.

Швидкість процесу адсорбції залежить від концентрації, фізико-хімічної природи і структури розчинених речовин, температури води, виду і властивостей адсорбенту. У загальному випадку процес адсорбції складається із трьох стадій: перенесення речовини із стічної води до поверхні зерен адсорбенту, власне адсорбційний процес, перенесення речовини всередині зерен адсорбенту. Лімітуючими стадіями процесу може бути зовнішня або внутрішня дифузія, або обидві ці стадії.

У зовнішній дифузійній області швидкість масопереносу визначається турбулентністю потоку рідини, яка залежить від швидкості руху рідини. У внутрішньо дифузійній області інтенсивність масопереносу залежить від виду і розмірів пор адсорбенту, від форм і розміру його зерен, від розміру молекул адсорбуючих речовин, від коефіцієнту масопровідності. Оптимальний процес адсорбції доцільно проводити при інтенсивних гідродинамічних режимах, щоб він лімітувався у внутрішньо дифузійній області, опір якої можна знизити, змінюючи структуру адсорбенту, зменшуючи розміри зерна.

Процес адсорбційного очищення стічної води ведуть при інтенсивному перемішуванні адсорбенту з водою, при фільтруванні води через шар адсорбенту або псевдозрідженому шарі на установках періодичної і безперервної дії.

Статична одноступінчата адсорбція знаходить застосування у випадках, коли адсорбент дуже дешевий або є відходом виробництва. При використанні багатоступінчастої установки процес протікає при меншій витраті адсорбенту.

Адсорбовані речовини з вугілля вилучають десорбцією насиченою або перегрітою водяною парою, або нагрітим інертним газом. Температура перегрітого пару при надлишковому тиску 0,3-0,6 МПа дорівнює 200-3000 С, а температура інертних газів 120-1400 С. Витрата пари при відгонці легколеткої речовини дорівнює 2,5-3 кг на 1 кг відганяємої речовини, для висококиплячих – у 5-10 разів більша.

Після десорбції, пари конденсують і речовину вилучають з конденсату.

Розглянемо процес іонного обміну в розчинах стічних вод.

Іонообмінне очищення застосовується для вилучення із стічних вод важких металів (цинку, міді, хрому, нікелю, свинцю, ртуті, кадмію, ванадію, марганцю), а також сполук миш'яку, фосфору, ціаністих сполук і радіоактивних речовин. Метод дозволяє рекуперувати цінні речовини при високому ступені очищення води. Іонний обмін широко поширений при знесоленні в процесі водопідготовки [1].

Іонний обмін є процес взаємодії розчину з твердою фазою, що має властивості обмінювати іони, які містяться в ній, на інші іони, присутні в розчині. Речовини, що становлять цю тверду фазу, називаються іонітами.

Вони практично не розчиняються у воді. Ті з них, які здатні поглинати з розчинів електролітів позитивні іони, є катіонітами, поглинати негативні іони - аніонітами. Катіоніти мають кислотні властивості, а аніоніти - основними властивостями. Якщо іоніти обмінюють і катіони і аніони, то їх називають амфотерними.

Поглинальна здатність іонітів характеризується обмінною ємністю, яка визначається числом еквівалентів іонів, що поглинаються одиницею маси або об'єму іоніту. Розрізняють повну, статичну і динамічну обмінні ємності. Повна ємність - це кількість речовини, що поглинається при повному насиченні одиниці об'єму або маси іоніту. Статична ємність - це обмінна ємність іоніту при рівновазі в даних робочих умовах. Статична обмінна ємність зазвичай менша ніж повна. Динамічна обмінна ємність - це ємність



іоніту до "проскакування" іонів у фільтрат, що визначається в умовах фільтрації. Динамічна ємність менша за статичну.

Іоніти бувають неорганічні (мінеральні) і органічні. Це можуть бути природні речовини або штучно отримані речовини.

До неорганічних природних іонітів відносяться цеоліти, глинисті мінерали, польові шпати, різні слюди. Органічні природні іоніти - це гумінові кислоти ґрунтів і вугілля. Вони виявляють слабокислотні властивості. Для посилення кислотних властивостей і обмінної ємності, вугілля подрібнюють і сульфірують в надлишку олеуму.

Сульфовуглі є дешевими поліелектролітами, що містять сильно - і слабокислотні групи. До недоліків таких іонітів відноситься їх мала хімічна стійкість і низька механічна міцність зерен, а також невелика обмінна ємність, особливо в нейтральних середовищах.

До органічних штучних іонітів відносяться іонообмінні смоли з розвиненою поверхнею. Вони мають найбільше практичне значення для очищення стічних вод. Синтетичні іонообмінні смоли являють собою високомолекулярні сполуки, вуглеводневі радикали яких утворюють просторову сітку з фіксованими на ній іонообмінними функціональними групами. Просторова вуглеводнева сітка (каркас) називається матрицею, а іони які обмінюються - протиіонами. Кожен протиіон з'єднаний з протилежно зарядженими іонами, які називаються фіксованими або анкерними. Полімерні вуглеводневі ланцюги, які є основою матриці, пов'язані (зшиті) між собою поперечними зв'язками, що надає міцність каркасу [1, 2].

Іоніти, що містять однакові активні групи, називаються монофункціональними, а іоніти, які містять функціональні групи різної хімічної природи - поліфункціональними. Вони можуть мати змішані сильно - і слабоосновні властивості.

Катіоніти в якості протиіонів можуть містити іони водню.

Іони металів можуть перебувати в сольовій формі. Так само і аніони можуть бути в сольовій формі, якщо в якості протиіонів вони не містять іони гідроксиду, а іони кислот.

При нагріванні іонітів у воді і на повітрі можливе руйнування їх зерен, відщеплення активних груп, що призводить до зменшення їх ємності.. Термічна стійкість аніонітів нижче, ніж катіонітів.

Селективність іонного обміну залежить від величини тиску набухання в порах смоли і від розміру пір іоніту. При малому розмірі пір великі іони не можуть досягти внутрішніх активних груп. З метою підвищення селективності іонітів до певних металів до складу смоли вводять речовини, здатні створювати з іонами цих металів внутрішньокмплексні сполуки (хелати).

Іонний обмін відбувається в еквівалентних відносинах і є найчастіше оборотним. Реакції іонного обміну протікають внаслідок різниці хімічних потенціалів обмінюючих іонів. Реакція йде до встановлення іонообмінної рівноваги. Швидкість встановлення рівноваги залежить від зовнішніх і внутрішніх факторів: гідродинамічного режиму рідини; концентрації обмінюючих іонів; структури зерен іоніту; його проникненості для іонів.

Швидкість іонного обміну визначається самою повільною з цих стадій - дифузією в плівці рідини або дифузією в зерні іоніту. Хімічна реакція іонного обміну відбувається швидко і не визначає загальну швидкість процесу.

Функціональну залежність протиіонного складу іоніту від протиіонного складу зовнішнього розчину при постійних температурі і тиску називають ізотермою іонного обміну. Форма ізотерми іонного обміну залежить від величини коефіцієнту селективності.

Регенераційні розчини - елюати містять катіони. Потім після розпушування і промивання катіоніти заряджаються шляхом пропускання через них розчину кухонної солі. Елюати містять у сконцентрованому вигляді всі витягнуті із стічних вод аніони. Це розчини кислот і лугів, які

нейтралізують або обробляють з метою рекуперації цінних продуктів. Нейтралізацію проводять шляхом змішування кислих і лужних елюатів, а також додатковим введенням кислоти або лугу [1].

Розглянемо згідно [1, 2] очищення стічних вод екстракцією забруднювальних речовин

Очищення стічних вод екстракцією складається з трьох стадій [1, 2]. Перша стадія - суміш стічної води з екстрагентом (органічним розчинником). При цьому утворюються дві рідкі фази. Одна фаза - екстракт містить вилучену речовину і екстрагент, інша фаза - рафінат містить стічну воду і екстрагент. Друга стадія - поділ екстракту і рафінату; третя стадія - регенерація екстрагенту з екстракту і рафінату. При виборі розчинника слід враховувати його селективність, фізико-хімічні властивості, вартість і можливі способи регенерації [2].

Екстрагент повинен [1]:

- розчиняти вилучену речовину значно краще, ніж вода, тобто мати високий коефіцієнт розподілу;
- мати велику селективність розчинення, тобто чим менше екстрагент буде розчиняти компоненти, які повинні залишитися в стічній воді, тим більш повно будуть вилучатися речовини, які необхідно видалити;
- мати, по можливості, найбільшу розчинюючу здатність по відношенню до вилученого компонента, чим вона вище, тим менше буде потрібно екстрагенту;
- мати низьку розчинність у стічній воді і не утворювати стійких емульсій;
- значно відрізнятися за щільністю від стічної води, для забезпечення швидкого і повного поділу фаз;
- мати великий коефіцієнт дифузії; чим він більше, тим вища швидкість масообміну;
- мати температуру кипіння, яка відрізняється від температури екстрагуємої речовини;
- мати невелику питому теплоту випаровування і невелику теплоємність;

- не взаємодіяти з вилученими речовинами, т. к. це може затруднювати регенерацію екстрагенту;
- не бути шкідливим, вибухо- і вогненебезпечним і не викликати корозії матеріалу апаратів.

Швидкість подачі екстрагенту в стічну воду повинна бути мінімальною. Вона залежить від ступеня очищення і коефіцієнта розподілу, який виражається відношенням розчиненої речовини в екстрагенті і воді. Цей вираз є законом рівноважного розподілу і характеризує динамічну рівновагу між концентраціями екстрагуємої речовини в екстрагентів і воді при даній температурі.

Коефіцієнт розподілу встановлюють дослідним шляхом, він залежить від природи компонентів системи, вмісту домішок у воді та екстрагентів і температури. Це співвідношення справедливе, якщо екстрагент зовсім не розчиняється у стічній воді. Однак екстрагент частково розчиняється в стічній воді, тому коефіцієнт розподілу буде залежати не тільки від температури, але й від концентрації речовини, що витягується в рафінат, тобто буде величиною змінною [1, 2].

При одночасній екстракції декількох речовин зі стічної води екстрагент не повинен мати селективність вилучення, а мати близькі й досить високі коефіцієнти розподілу для всіх видобутих речовин. Проведення такого процесу очищення ускладнює вибір екстрагенту і його регенерацію.

Регенерація екстрагенту може проводитись із застосуванням вторинної екстракції - з іншим розчинником, а також випаровуванням, дистиляцією, хімічною взаємодією або осіданням.

Так як абсолютно нерозчинних у воді рідин немає, то в процесі екстракції частина екстрагенту розчиняється в стічній воді, тобто він стає новою її забруднюючою речовиною, тому необхідно видаляти екстрагент із рафінату. Втрати розчинника з рафінатом припустимі лише за умови його розчиненості у воді не вище ГДК, але тільки при дуже низькій вартості.

Найбільш поширеним способом вилучення розчинника із рафінату є адсорбція або вигонка парою (газом).

Для очищення стічних вод найбільш часто застосовують процеси протиструминної багатоступінчастої екстракції і безперервної протиструминної екстракції.

Свіжий екстрагент і стічна вода надходять з протилежних сторін. По-перше стічна вода з невеликим вмістом домішок перемішується зі свіжим екстрагентом, а в останньому етапі вихідна стічна вода змішується з екстрагентом, який вже містить значну кількість вилученої речовини. Такий рух потоків сприяє створенню великої рушійної сили процесу екстракції та ефективного очищення стічних вод.

Процеси фільтрування розчинів через напівпроникні мембрани, називаються зворотнім осмосом і ультрафільтрацією в розчинах стічних вод.

Напівпроникні мембрани вибірково пропускають розчинник і повністю або частково затримують молекули розчинених в них речовин, під тиском, що перевищує осмотичний тиск.

У основі цього методу лежить явище осмосу - мимовільного переходу розчинника (води) в розчин крізь напівпроникну мембрану. Тиск  $\pi$  в розчині, що змушує розчинник переходити крізь мембрану, називають осмотичним. Створивши над розчином тиск  $P_1$ , який дорівнює осмотичному, осмос зупиняється і настає стан рівноваги. Якщо над розчином створити додатковий тиск  $P_2$ , що перевищує осмотичний тиск  $\pi$  на величину  $\Delta P$ , то перехід розчинника буде відбуватися у зворотному напрямку і тоді процес називають зворотним осмосом [1].

Величина осмотичного тиску  $\pi$  для розчинів визначається за рівнянням Вант-Гоффа:

$$\pi = \beta \cdot R \cdot T \frac{C}{M}, \quad (3.1)$$

де  $\beta = (1 + \alpha)$  - коефіцієнт Вант-Гоффа;  $\alpha$  - ступінь дисоціації розчиненої речовини;  $R$  - газова стала;  $T$  - абсолютна температура розчину;  $C$  - концентрація розчиненої речовини;  $M$  - молекулярна маса розчиненої речовини.

Механізм фільтрування через пористу мембрану пояснюється тим, що пори такої мембрани досить великі, щоб пропускати молекули розчинника, але занадто малі, щоб пропускати молекули розчинених речовин. При зворотному осмосі відокремлюються частинки (молекули), розміри яких не перевищують розмірів молекул розчинника. В процесі ультрафільтрування мембраною затримуються високомолекулярні речовини, а низькомолекулярні речовини і розчинник вільно проходять через пори мембрани. При зворотному осмосі мембраною затримуються як високомолекулярні речовини, так і більша частина низькомолекулярних речовин, а проходить крізь пори мембрани тільки майже чистий розчинник[1].

Зворотній осмос і ультрафільтрування принципово відрізняються від звичайного фільтрування. Якщо при звичайному фільтруванні осад відкладається на фільтрувальній перегородці, то при зворотному осмосі і ультрафільтруванні утворюється два розчини, один з яких збагачений розчиненою речовиною. Зворотній осмос широко використовується для знесолення води в системах водопідготовки теплоелектроцентралій (ТЕЦ) та підприємств з виробництва напівпровідників, кінескопів, медикаментів, для очищення деяких промислових і міських стічних вод [1, 2].

Механізм зворотного осмосу полягає в тому, що мембрани збирають воду, яка в поверхневому шарі не має розчинювальної здатності, і через пори мембрани буде проходити тільки чиста вода, незважаючи на те, що розмір багатьох іонів забруднюючих речовин менший, ніж розмір молекул води. Це пояснюється явищем адсорбції молекул води біля поверхні мембрани.

При ультрафільтрації розчинені речовини затримуються на мембрані тому, що розмір молекул їх більший, ніж розмір пор, або внаслідок великого тертя їх молекул об стінки пор мембрани.

Ефективність процесу залежить від властивостей мембран. Вони повинні мати високу селективність, велику прозорість, стійкість до дії середовища, постійність характеристик у процесі експлуатації, достатньо механічну міцність, низьку вартість.

Для проведення процесу застосовують непористі - динамічні та дифузійні мембрани, що представляють собою квазігомогенні гелі, і пористі мембрани у вигляді тонких плівок, виготовлені з полімерних матеріалів. Найбільш поширені полімерні мембрани з ацетатцелюлози, поліетилену, політетрафторетилену, пористого скла.

Процес мембранного розділення залежить від тиску, гідродинамічних умов і конструкції апарату, фізико-хімічної природи та концентрації стічних вод, вмісту в них домішок, від температури. Збільшення концентрації розчину призводить до зростання осмотичного тиску розчинника, підвищення в'язкості розчину і зростання концентрації поляризації, тобто до зниження проникності та селективності.

Переваги методу: відсутність фазових переходів при відокремленні домішок; можливість проведення процесу при кімнатних температурах без застосування або з невеликими добавками хімічних реагентів; проста конструкція апаратури. Недоліки методу: явище концентраційної поляризації, тобто зростання концентрації розчиненої речовини біля поверхні мембрани, що призводить до зниження продуктивності установки, ступеня поділу компонентів і терміну служби мембран; проведення процесу при підвищених тисках, що потребує спеціальних ущільнень апаратури.

Природа розчиненої речовини впливає на селективність. При однаковій молекулярній масі неорганічні речовини затримуються на мембрані краще, ніж органічні. З підвищенням тиску питома продуктивність мембрани збільшується. Однак при високих тисках відбувається ущільнення матеріалу

мембран, що викликає зниження проникності, тому для кожного виду мембран встановлюють максимальний робочий тиск. З ростом температури збільшується проникність мембран, але при цьому підвищується осмотичний тиск, який зменшує проникність; також починається усаджування та стягування пір мембрани, що також знижує проникність; зростає швидкість гідролізу, скорочуючи термін служби мембран. Наприклад, ацетатцелюлозні мембрани при 50°C руйнуються, тому необхідно працювати при температурі 20...30°C.

Конструкція апаратів для проведення процесів зворотного осмосу і ультрафільтрації повинна забезпечувати більшу поверхню мембран в одиниці об'єму, механічну міцність і герметичність. За способом укладання мембран апарати поділяються на чотири основні типи:

- 1) фільтр-прес з плоскопаралельними фільтрувальними пристроями;
- 2) трубчасті фільтруючі елементи;
- 3) рулонні або спіральні елементи;
- 4) мембрани у вигляді порожнистих волокон.

#### Десорбція, дезодорація і дегазація розчинених домішок

Багато стічної води забруднюється леткими неорганічними і органічними домішками.

При пропусканні повітря або іншого інертного малорозчинного у воді газу (азот, діоксид вуглецю) крізь стічну воду летючий компонент дифундує у газову фазу.

Десорбція зумовлена більш високим парціальним тиском газу над розчином, ніж в навколишньому повітрі. Рівноважний парціальний тиск видаленого газу знаходять за законом Генрі. Кількість речовини, що перейшла з рідкої фази в газову, визначають за рівнянням масопередачі:

$$M = K_y \cdot F \cdot \Delta C_{cp} , \quad (3.2)$$



де  $K_y$  - коефіцієнт масопередачі;  $F$  - поверхня контакту фаз;

$\Delta C_{cp}$  - середня рухома сила процесу десорбції.

Ступінь видалення летких речовин із стічної води збільшується з ростом температури газорідної суміші, коефіцієнту масовіддачі і поверхні контакту фаз. Десорбуюча із води речовина направляється на адсорбцію або на каталітичне спалювання [1].

Дезодорування проводять для очищення стічних вод, які погано тхнуть. Для цього можна використовувати аерацію, хлорування, ректифікацію, дистиляцію, обробку димовими газами, окислювання киснем під тиском, озонування, екстракцію, адсорбцію та мікробіологічне окислення [1, 2].

Найбільш ефективним вважається метод аерації, який полягає у продуванні повітря через стічну воду. Недолік методу полягає в тому, що деякі забруднюючі речовини не видаляються методом аерації і залишаються в стічній воді. Стічні води, які погано тхнуть, очищають також продуванням гострою парою.

Промислове застосування має і хлорування стічних вод, які погано тхнуть. При цьому відбувається окислення хлором сірководневих сполук.

Очищення стічних вод від сірководню проводять також окисленням киснем повітря при атмосферному тискові у присутності каталізатора. Високий ступінь очищення досягається при використанні рідкофазного окислення сірчастих речовин киснем повітря під тиском. Сірководень з води можливо видалити гідроксидом заліза, в лужному і нейтральному середовищі.

Більш ефективно відбувається очищення при одночасному введенні у воду озону та діоксиду хлору та фільтруванні води через шар активного вугілля [1, 2].

Дегазацією видаляють з води розчинені гази, яку здійснюють хімічними, термічними і десорбційними (аераційними) методами.

Найбільш повна дегазація досягається при розбризкуванні у вакуумі і одночасному підігріванні води.

При термічній дегазації води від розчиненого діоксиду вуглецю або кисню пропускають пар через воду і нагрівають її до температури кипіння при зовнішньому тискові. У цьому випадку парціальний тиск газу над водою знижується до нуля і розчинність його також падає до нуля. Внаслідок порушення рівноваги в системі відбувається виділення надлишкових газів з води (фізична десорбція). Для інтенсивної дегазації необхідно, щоб вода безперервно контактувала з новими порціями пару при великій поверхні контакту фаз протягом достатнього часу. Температура води повинна бути близька до температури насиченої пари при даному тискові.

Аміак із стічних вод видаляють продуванням водяною парою або повітрям. Швидкість переходу газоподібного аміаку з води в атмосферу залежить від поверхневого натягу на межі повітря-вода і від різниці концентрацій аміаку у воді і повітрі.

Хімічні методи дегазації застосовують при низькій концентрації газів у воді або у разі недоцільності їх використання, а також за умови, що продукти обробки не ускладнюють подальше очищення або використання води. Методи ґрунтуються на проведенні реакцій, в результаті яких відбувається хімічне зв'язування розчинених газів.

#### Електрохімічні методи очищення забрудненої води

Для очищення *забрудненої води* від різних розчинних і диспергованих домішок застосовуються процеси анодного окислення і катодного відновлення, електрокоагуляції, електрофлокуляції і електродіалізу. Всі ці процеси протікають на електродах при проходженні через стічну воду постійного електричного струму. Електрохімічні методи дозволяють витягувати зі стічних вод цінні продукти при відносно простій технологічній схемі очищення, без використання хімічних реагентів. Основним недоліком цих методів є велика витрата електроенергії. Очищення стічних вод

електрохімічними методами можна проводити періодично або безперервно [1, 2].

Ефективність електрохімічних методів оцінюється густиною струму, напругою, коефіцієнтом корисного використання напруги, виходом за струмом, виходом енергії.

В електролізері на позитивному електроді – аноді, іони віддають електрони, тобто протікає реакція електрохімічного окислення; на негативному електроді – катоді, відбувається приєднання електронів, тобто протікає реакція відновлення.

В якості анодів використовують електрохімічні нерозчинні матеріали: графіт, магнетит, діоксид свинцю, марганцю та рутенію, які наносять на титанову основу.

Крім основних процесів електроокислення і відновлення одночасно можуть протікати електрофлотація, електрофорез і електрокоагуляція.

При використанні нерозчинних електродів коагуляція може відбуватися в результаті електрофоретичних явищ і розряду заряджених частинок на електродах, утворенні у розчині речовин, що руйнують сольватні оболонки на поверхні частинок забруднюючих речовин. Такий процес можна використовувати для очищення стічних вод при невисокому вмісті колоїдних частинок і низькій стійкості забруднюючих речовин.

Для очищення промислових стічних вод, що містять високостійкі забруднюючі речовини, проводять електроліз з використанням розчинних сталевих або алюмінієвих анодів. Під дією струму відбувається розчинення металу, в результаті чого у воду переходять катіони заліза або алюмінію, які, зустрічаючись з гідроксильними групами, утворюють гідроксиди металів у вигляді пластівців, і настає інтенсивна коагуляція.

Переваги електрокоагуляції: відсутність потреби в реагентах, мала чутливість до зміни умов процесу очищення, отримання шламу з хорошими

структурно-механічними властивостями. Недолік методу - підвищена витрата металу і електроенергії [1].

Електрофлотація. У цьому процесі очищення стічних вод проходить за допомогою бульбашок газу, що утворюються при електролізі води. На аноді виникають бульбашки кисню, а на катоді - водень. При використанні розчинних електродів відбувається утворення пластівців коагулянтів і бульбашок газу, що сприяє більш ефективній флотації.

Електродіаліз. Процес очищення стічних вод електродіалізом базується на поділі іонізованих речовин під дією електрорушійної сили, створюваної в розчині по обидві сторони мембран. Цей процес широко використовують для опріснення солоної води.

При використанні електрохімічно активних (іонообмінних) діафрагм ефективність процесу підвищується і знижується витрата електроенергії. Іонообмінні мембрани проникні тільки для іонів, що мають заряд того ж знаку, що і у рухливих іонів.

Для знесолення води застосовують гомогенні і гетерогенні мембрани. Гомогенні мембрани являють собою порошок іоніту, змішаний зі сполучною речовиною. Мембрани повинні мати малий електричний опір.

Основним недоліком електродіалізу є концентраційна поляризація, що призводить до осадження солей на поверхні мембран і зниження показників очищення.

## 4 ХІМІЧНІ МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

До хімічних методів очищення стічних вод відносять нейтралізацію, окислення і відновлення. Їх застосовують для видалення розчинних речовин у замкнених системах водопостачання. Хімічне очищення проводять іноді як попередню перед біологічним очищенням або після неї як метод доочищення стічних вод [2].

Нейтралізацію води можна здійснювати різним шляхом: змішуванням кислих та лужних стічних вод, додаванням реагентів, фільтруванням кислих вод через нейтралізуючі матеріали, абсорбцією кислих газів лужними водами або абсорбцією аміаку кислими водами. В процесі нейтралізації можуть утворюватися опади [2].

При нейтралізації вапняним молоком стічних вод, що містять сірчану кислоту, в осад випадає гіпс  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ , що викликає відкладення його на стінках трубопроводів.

Для нейтралізації лужних стічних вод використовують різні кислоти або кислі гази. Застосування кислих газів дозволяє не лише нейтралізувати стічні води і одночасно проводити очищення самих газів від шкідливих компонентів.

Нейтралізація лужних вод димовими газами є ресурсозберігаючою технологією, т. к. при цьому ліквідується скидання стічних вод, скорочується споживання свіжої води, економиться теплова енергія на підігрів свіжої води, а також димові гази очищаються від кислих компонентів і від пилу [1].

### Окислення забруднювальних речовин

Для очищення вод використовують такі окислювачі: газоподібний і розріджений хлор, діоксид хлору, хлорат кальцію, гіпохлорити кальцію і натрію, перманганат калію, біхромат калію, пероксид водню, кисень повітря, озон, і ін[1,2]. В процесі окислення токсичні забруднюючі речовини, які

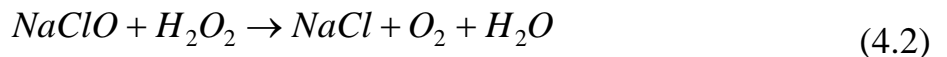
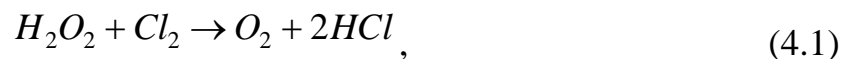
містяться в стічних водах, в результаті хімічних реакцій переходять у менш токсичні, які видаляють із води.

Активність речовини як окислювача визначається величиною окислювального потенціалу.

Хлор і речовини, що містять "активний" хлор, є найбільш поширеними окислювачами. Їх використовують для очищення стічних вод від сірководню, гідросульфату, та ін. [1].

Пероксид водню використовується для окислення нітритів, альдегідів, фенолів, ціанідів, сірковмісних відходів, активних барвників.

У процесах водообробки використовують також відновлювальні властивості пероксиду водню. В нейтральному і слабкоолужному середовищах він легко взаємодіє із хлором і гіпохлоритами, переводячи їх у хлориди:



Ці реакції використовують при дехлоризація води. Кисень повітря використовують при очищенні води від заліза. Піролюзит є природним матеріалом, що складається в основному з діоксиду марганцю. Його використовують для окислення тривалентного миш'яку в п'ятивалентний.

Окислення озоном дозволяє одночасно забезпечити знебарвлення води, усунення присмаків і запахів і знезаражує. Озон окисляє як неорганічні, так і органічні речовини, розчинені в стічній воді [1, 2].

При обробці води озоном відбувається розкладання органічних речовин і знезараження води; бактерії гинуть у кілька тисяч разів швидше, ніж при обробці води хлором.

Дія озону в процесах окислення може відбуватися в трьох різних напрямках: безпосереднє окислення з участю одного атома кисню; приєднання цілої молекули озону до окислюваної речовини з утворенням озонідів; каталітичне посилення окислюючої дії кисню, присутнього в

озонованому повітрі. Окислення речовин може бути пряме і непряме, а також здійснюватися каталізом і озонолізом.

Непряме окислення - це окислення радикалами, що утворюються в результаті переходу озону із газової фази в рідину і його саморозкладу.

Каталіз - каталітичний вплив озонування полягає в посиленні окислювальної здатності кисню, який присутній в озонованому повітрі[1,5].

Озоноліз являє собою процес фіксації озону на подвійному або потрійному вуглецевому зв'язку з подальшим розривом і утворенням озонідів, які, як і озон є нестійкими сполуками і швидко розкладаються.

Озонування – це процес абсорбції, що супроводжується хімічною реакцією в рідкій фазі.

Процес очищення забрудненої води значно збільшується при спільному використанні ультразвуку та озону, ультрафіолетового опромінення та озону.

### Очищення вод відновленням

Методи відновлювального очищення стічних вод застосовують для видалення зі стічних вод сполук ртуті, хрому, миш'яку. В процесі очищення неорганічні сполуки ртуті відновлюють до металевої ртуті, яку відокремлюють від води відстоюванням, фільтруванням або флотацією [2]. Найбільш поширеним способом видалення миш'яку із стічних вод є осадження його у вигляді важкорозчинних сполук діоксидом сірки.

Метод очищення стічних вод від речовин, що містять шестивалентний хром, заснований на відновленні його до тривалентного з подальшим осадженням у вигляді гідроксиду у лужному середовищі [1, 2].

В якості відновників використовують активоване вугілля, сульфат заліза, бісульфат натрію, водень, діоксид сірки, відходи органічних речовин.

Для відновлення хрому найбільш часто використовують розчини гідросульфату натрію. У присутності соди в стічних водах хром повністю видаляється з них.

## Очищення стічних вод від іонів важких металів

Для видалення зі стічних вод сполук ртуті, хрому, кадмію, цинку, свинцю, міді, нікелю, миш'яку та інших речовин найбільш поширені реагентні методи очистки, сутність яких полягає в перетворенні розчинних у воді речовин в нерозчинні при додаванні різних реагентів з наступним відокремленням їх від води у вигляді опадів [1, 2].

В якості реагентів для видалення із стічних вод іонів важких металів використовують гідроксиди кальцію і натрію, карбонат натрію, сульфід натрію, різні відходи.

Найбільш широко використовується гідроксид кальцію. Осадження металів відбувається у вигляді гідроксидів.

При обробці кислих вод оксидом кальцію і гідроксидом натрію іони цинку, міді, нікелю, свинцю, кадмію, кобальту, що містяться у стоках, зв'язуються в важкорозчинними сполуками.

При дії соди на стічні води, що містять солі цинку, утворюються гідроксокарбонати. Очищення стічних вод від міді пов'язане з осадженням у вигляді гідроксиду або гідроксидкарбонату.

Можливий процес вилучення міді із стічних вод осадженням ферроціанідом калію. Цей реагент може бути використаний і для осадження інших іонів важких металів.

Очищення стічних вод від нікелю заснована на виділенні його з розчину у вигляді важкорозчинних сполук.

Обробка стічних вод лужними реагентами дозволяє знизити вміст важких металів у розчині до величин, порівнянних з ГДК для водоймів санітарно-побутового користування. Більш глибока очистка від важких металів досягається при обробці стічних вод сульфідом натрію.

Для очищення води з високим вмістом миш'яку застосовують метод хімічного його осадження у вигляді важкорозчинних сполук. Для очищення



кисневмісних сполук миш'яку застосовують вапняне молоко. З сильноокислих розчинів, миш'як осаджують сульфідом натрію, сірководнем. Очищення сульфідно-лужних стоків від миш'яку проводять сульфатом заліза (залізним купоросом).

Сполуки тривалентного миш'яку перед осадженням окислюють до п'ятивалентного. В якості окислювачів використовують хлорне вапно, хлор, пероксид водню, азотну кислоту, озон.

Видалення з води марганцю може бути досягнуто наступним чином: обробкою води перманганатом калію; аерацією, поєднаної з вапнуванням; фільтруванням води через марганцевий пісок або марганцевий катіоніт; окислення озоном, хлором або діоксидом хлору.

### Процеси біохімічного очищення води

Біохімічні методи застосовують для очищення господарсько-побутових і промислових стічних вод від багатьох розчинених органічних і деяких неорганічних (сірководню, сульфідів, аміаку, нітритів) речовин. Процес очищення заснований на здатності мікроорганізмів використовувати ці речовини для живлення в процесі життєдіяльності, оскільки органічні речовини для мікроорганізмів є джерелом вуглецю [1].

Розглянемо основні показники біохімічного очищення забруднених вод

Контактуючи з органічними речовинами, мікроорганізми частково руйнують їх, перетворюючи на воду, діоксид вуглецю, нітрит - та сульфат-іони та ін. Інша частина речовини йде на утворення біомаси. Руйнування органічних речовин називають біохімічним окисленням [1, 2].

Стічні води, які направляються на біохімічну очистку, що характеризується величиною БПК і ХПК. БПК - це біохімічна потреба в кисні, тобто кількість кисню, використаного при біохімічних процесах окислення органічних речовин (не включаючи процесу нітрифікації) за

певний проміжок часу. ГПК - хімічна потреба в кисні, тобто кількість кисню, еквівалентний кількості витраченого окислювача, необхідного для окислення всіх відновників, що містяться у воді.

Біохімічною активністю мікроорганізмів називають [1, 2] біохімічну діяльність, пов'язану з руйнуванням органічних забруднюючих речовин стічних вод. Можливість біохімічного окислення характеризується через біохімічний показник. Біохімічний показник необхідний для розрахунку й експлуатації промислових споруд для очищення стічних вод.

Для можливості подачі стічних вод на біохімічну очистку встановлюють максимальні концентрації токсичних речовин, які не впливають на процеси біохімічного окислення і на роботу очисних споруд. Для неорганічних речовин, які практично не піддаються біохімічному окисленню, також встановлюють максимальні концентрації, при перевищенні яких воду можна піддавати біохімічному очищенню.

#### Метод аеробного біохімічного очищення.

Аеробний метод ґрунтується на використанні аеробних груп організмів, для життєдіяльності яких необхідний постійний приплив кисню і температура 20...40°C. При аеробному очищенні мікроорганізми культивуються в активному мулі або біоплівки. Анаеробні методи очищення протікають без доступу кисню; їх використовують в основному для знешкодження опадів [1].

Активний мул складається з живих організмів і твердого субстрату. Спільнота всіх живих організмів, що населяють іл, називають біоценозом. Якість мулу визначається швидкістю його осідання і ступенем очищення рідини. Стан мулу характеризує "муловий індекс", який є відношенням обсягу осідання частинок активного мулу до маси висушеного осаду після відстоювання протягом 30 хв. Чим гірше осідає іл, тим більше високий "муловий індекс" він має.

Біоплівка зростає на наповнювачі біофільтра, вона має вигляд слизових обростань товщиною від 1 до 3 мм і більше. Біоплівка складається з бактерій, грибів, дріжджів та інших організмів. Число мікроорганізмів у біоплівці менше, ніж в активному мулі.

### Механізм біохімічного розпаду органічних речовин

Приріст біомаси відбувається в процесі очищення стічних вод. Він залежить від хімічної природи забруднень, виду мікроорганізмів, БПК і ХПК, від концентрації фосфору і азоту в стічній воді, від її температури.

Для того, щоб відбувався процес біохімічного окислення органічних речовин, що знаходяться в стічних водах, вони повинні потрапити всередину клітин мікроорганізмів. До поверхні клітин речовини надходять за рахунок конвективної та молекулярної дифузії, а всередину клітин - дифузійно через напівпроникні цитоплазматичні мембрани. Але більша частина речовини потрапляє всередину клітин за допомогою специфічного білка - переносника. Утворюється розчинний комплекс "речовина-переносник" дифундує через мембрану в клітину, де він розпадається, і білок - переносник включається в новий цикл перенесення речовини [1].

Основну роль в процесі очищення стічних вод відіграють процеси перетворення речовини, що протікають всередині клітин мікроорганізмів. Ці процеси закінчуються окисленням речовини з виділенням енергії та синтезом нових речовин з затратою енергії.

### Кінетика біохімічного окислення

Ферменти, що представляють собою складні білкові сполуки, виконують роль каталізаторів. З підвищенням температури швидкість ферментативних процесів підвищується, але до певної межі. Для кожного ферменту існує оптимальна температура, вище якої швидкість реакції падає.

До числа речовин-активаторів, які підвищують активність ферментів, відносяться багато вітамінів і катіонів. У той же час солі важких металів, синильна кислота, антибіотики є інгібіторами, тобто знижують активність ферментів. Мікроорганізми здатні окислювати органічні речовини, але для цього потрібен різний час адаптації. [1, 2].

Речовини, що знаходяться в стічних водах в колоїдному або дрібнодисперсному стані, окислюються з меншою швидкістю, ніж речовини, розчинені у воді.

Для окислення органічних речовин мікроорганізмами необхідний кисень, але вони можуть його використовувати тільки в розчиненому у воді вигляді. Для насичення стічної води киснем проводять процес аерації, розбиваючи повітряний потік на бульбашки, рівномірно розподіляючи їх у стічній воді. З бульбашок повітря, кисень абсорбується водою, а потім переноситься до мікроорганізмів. Кількість абсорбованого кисню можна збільшити за рахунок зростання коефіцієнта масовіддачі або рушійної сили. На швидкість біохімічного окислення впливає турбулізація стічних вод на очисних спорудах, що сприяє розпаду пластівців активного мулу на більш дрібні і збільшує швидкість надходження поживних речовин і кисню до мікроорганізмів. Турбулізація потоку досягається інтенсивним перемішуванням, при якому активний мул знаходиться у зваженому стані, що забезпечує рівномірний розподіл його в стічній воді.

Доза активного мулу залежить від "мулового індексу". Чим менше "муловий індекс", тим більшу дозу активного мулу необхідно подавати на очисні споруди. Для очищення слід застосовувати свіжий активний мул, який добре осідає і більш стійкий до коливань температури і рН середовища.

Найбільш оптимальна температура біохімічної очистки стічних вод підтримується в межах 20-30°C. Перевищення температури може призвести до загибелі мікроорганізмів. При більш низьких температурах знижується швидкість очищення, сповільнюється процес адаптації мікробів до нових

видів забруднень, погіршуються процеси флокуляції та осадження активного мулу [1, 2].

### Анаеробні методи біохімічного очищення

Анаеробні методи знешкодження використовують для зброджування осадів, що утворюються при біохімічному очищенні виробничих стічних вод, а також як першу ступінь очищення дуже концентрованих промислових стічних вод, що містять органічні речовини, які руйнуються анаеробними бактеріями в процесах бродіння. Залежно від кінцевого продукту розрізняють види бродіння: спиртове, пропионовокисле, молочнокисле, метанове та ін. [1].

Для очищення стічних вод використовують метанове бродіння, процес складний і багатостадійний. Процес метанового бродіння складається з двох фаз: кислої і лужної (або метанового). У кислої фазі складних органічних речовин утворюються нижчі жирні кислоти, спирти, амінокислоти, аміак, гліцерин, ацетон, сірководень, діоксид вуглецю і водень. Ці проміжні продукти в лужній фазі утворюють метан і діоксид вуглецю [1, 2].

При певних умовах кінцевим продуктом може бути і аміак. Основними параметрами анаеробного зброджування є температура, доза завантаження осаду і ступінь його перемішування.

### Термічні методи очищення стічних вод

Термічними методами знешкоджуються стічні води, що містять мінеральні солі кальцію, магнію, натрію та ін, а також органічні речовини. Такі стічні води можуть бути знешкоджені [1]:

- концентруванням стічних вод з наступним виділенням розчинених речовин;
- окисленням органічних речовин у присутності каталізатора;
- рідиннофазним окисленням органічних речовин;

- вогневим знешкодженням.

### Концентрація стічних вод

Метод концентрації взагалі використовують для знешкодження мінеральних стічних вод. Він дозволяє виділяти із стоків солі з отриманням умовно чистої води, придатної для оборотного водопостачання. Процес розділення мінеральних речовин і води можна провести у дві стадії: стадія концентрування і стадія виділення сухих речовин [1].

Концентрування стічних вод можна провести випаровуванням, виморожуванням і кристалізацією.

Випарювання є енергоємним процесом. Енергія, що витрачається на випарювання, складається з енергії на нагрівання стічної води від початкової температури до температури випарювання; на деформування та перенесення центрів пароутворення; на роботу, витрачену на розділення розчинника і розчину; на формування поверхневих парових бульбашок при випарюванні; на подолання сил тиску при формуванні бульбашок; на подолання бульбашкою межі розділу фаз і на транспортування парових бульбашок до межі поділу фаз.

Процес виморожування полягає в тому, що при температурі нижчій від температури замерзання чиста вода утворює кристали прісного льоду, а розчин з розчиненими в ній солями розміщується в комірках між цими кристалами. Температура замерзання розсолу завжди нижче температури замерзання чистої води і залежить від концентрації розчинених солей. Для виключення утворення дрібних кристалів і відділення межкристалітного розсолу процес виморожування проводять при режимах повільного переохолодження. Виморожування можна проводити під вакуумом або за допомогою спеціальної холодильної установки.

## Кристалізація речовин з розчинів

Для виділення речовин з концентрованих розчинів використовують методи кристалізації і сушіння.

Речовини, розчинність яких істотно зростає з підвищенням температури, кристалізуються при охолодженні їх насичених розчинів - це політермічна або ізогідрична кристалізація, що йде при незмінному вмісті води в системі. Якщо із зростанням температури розчинність речовини зменшується, то кристалізацію проводять при нагріванні розчину.

Речовини, які мало що змінюють розчинність при зміні температури, кристалізують шляхом випаровування води при постійній температурі - ізотермічна кристалізація [1].

Кристалізацію солі можна також проводити введенням в концентрований розчин речовин, що зменшують її розчинність. Це речовини, які містять однаковий іон з даної сіллю або зв'язують воду. Кристалізацію такого типу називають висолюванням.

Поширеним видом кристалізації є хімічне осідання речовини з розчинів із застосуванням реагентів. Наприклад, домішки іонів металів осідають у вигляді гідроксидів, додаючи в розчин лугу.

Утворення кристалів складається з двох послідовних стадій:

- 1) виникнення в пересиченому розчині центрів кристалізації - зародків кристалів;
- 2) зростання кристалів на базі цих двох зародків.

Ймовірність утворення зародків зростає з підвищенням температури. Цьому процесу сприяє механічна вібрація, перемішування, вплив акустичного і магнітних полів. Зростання кристалів відбувається в результаті дифузії речовини з основної маси розчину до поверхні зростаючого кристала з подальшим включенням частинок розчиненої речовини в кристалічні ґратки. Деякі домішки в розчині збільшують швидкість кристалізації, інші зменшують.

## Термоокислювальні методи знешкодження забруднених вод

При використанні термоокислювального методу всі органічні речовини, що забруднюють стічні води, повністю окислюються киснем повітря при високих температурах до нетоксичних сполук. До цих методів відносять метод рідкофазного окислення, метод парофазного каталітичного окислення і полум'яним або "вогневим" методом. Вибір методу залежить від об'єму стічних вод, їх складу та теплотворної здатності, економічності процесу та вимог, що пред'являються до очищувальної води [1, 2].

Метод рідкофазного окислення. Цей метод очищення заснований на окисленні органічних речовин, розчинених у воді, киснем при температурах 100-350°C і тискові 2-28 МПа. При високих тисках розчиненість у воді кисню значно зростає, що сприяє прискоренню процесу окислення органічних речовин. Ефективність процесу окислення збільшується з підвищенням температури. Летючі речовини окислюються в основному у парогазовій фазі, а нелеткі - у рідкій фазі. Зі збільшенням концентрації органічних домішок у воді економічність процесу рідкофазного окислення зростає.

Метод парофазного каталітичного окислення. В основі методу знаходиться гетерогенне каталітичне окислення киснем повітря при високій температурі летких органічних речовин, що знаходяться в стічних водах. Процес протікає інтенсивно в паровій фазі в присутності міднохромового, цинк-хромового, мідно-марганцевого або іншого каталізатора. Основний недолік методу - можливість отруєння каталізаторів сполуками фосфору, фтору, сірки. Тому необхідно попереднє видалення каталітичних отрут із стічних вод.

Переваги методу: можливість очищення великого об'єму стічних вод без попереднього концентрування, відсутність в продуктах окислення шкідливих органічних речовин; можливість комбінування з іншими методами; безпеку в роботі.



Недоліки методу: неповне окислювання деяких органічних речовин; висока корозія обладнання у кислих середовищах.

Вогневий метод. Цей метод знешкодження стічних вод є найбільш ефективним і універсальним із термічних методів. Сутність його полягає в розпилюванні стічних вод безпосередньо у топкові газу, нагріті до температури 900-1000°C. При цьому вода випаровується, а органічні домішки згорають.

Вогневий метод застосовують для знешкодження стічних вод, що містять тільки мінеральні речовини. Метод може бути використаний також для знешкодження невеликого об'єму стічних вод, що містять високотоксичні органічні речовини, очищення від яких іншими методами неможливе або неефективне. Крім того, вогневий метод доцільний, якщо є горючі відходи, які можна використовувати як паливо.

Із стічних вод, що містять нітросполуки, можуть виділятися оксиди азоту. Між цими сполуками відбуваються взаємодії з утворенням нових сполук, у тому числі і токсичних.

Для вогневого методу знешкодження використовують різні печі. Процес проводять при температурі 800-890°C.

## 5 ВИВЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ САНАЦІЇ ШАХТНИХ КОЛОДЯЗІВ ТА ВИМОГ ЩОДО ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

У зв'язку з умовами часу, що існують в Україні, розглянуті та рекомендовані технології, які можуть дублювати традиційні джерела постачання питної води. Існують можливості санації шахтних колодязів та вимоги щодо знезараження води.

Санація шахтних колодязів

– це комплекс заходів з ремонту, очищення та дезінфекції колодязів, які проводяться з профілактичною метою чи у разі забруднення води в них.

### Вимоги щодо санації шахтних колодязів:

Санацію за епідемічними показниками розпочинають з дезінфекції підводної частини колодязя об'ємним способом. Для цього визначають об'єм води в колодязі і розраховують необхідну кількість хлорного вапна чи кальцію гіпохлориту за формулою

$$P = (E \cdot C \cdot 100) / H,$$

де: P - кількість хлорного вапна чи кальцію гіпохлориту (г);

E - об'єм води в колодязі (куб.м);

C - задана концентрація активного хлору у воді колодязя (100 - 150 г/куб.м), достатня для дезінфекції стінок зрубу та гравійного фільтра на дні;

100 - постійний числовий коефіцієнт;

H - вміст активного хлору в хлорному вапні чи в кальції гіпохлориту (%).

Якщо вода у колодязі холодна (+4 град.С - +6 град.С), кількість хлорвмісного препарату для дезінфекції колодязя об'ємним способом збільшують вдвічі.

Розрахункову кількість дезінфекційного засобу розчиняють у невеликій кількості води, наливої у відро, до отримання рівномірної суміші, освітлюють відстоюванням і виливають цей

розчин у колодязь. Воду у колодязі добре перемішують протягом 15 - 20 хв. жердинами чи частим опусканням та підніманням відра на тросі. Потім колодязь закривають кришкою і залишають на 1,5 - 2 години.

Після попередньої дезінфекції із колодязя повністю відкачують воду та проводять чистку дна від мулу, бруду, сміття та випадкових предметів. Стінки колодязя чистять механічним способом від забруднень та обростання і у разі необхідності ремонтують.

Вибраний з колодязя бруд та мул поміщають у яму на відстані не менше 20 м від колодязя на глибину 0,5 м, заливають 10% розчином хлорного вапна чи 5% розчином гіпохлориту кальцію та закопують.

Для остаточної дезінфекції поверхню стінок колодязя зрошують з гідропульта 5% розчином хлорного вапна чи 3% розчином кальцію гіпохлориту з розрахунку 0,5 куб.дм на 1 кв.м площі стінок колодязя. Потім чекають, доки колодязь наповниться водою до звичайного рівня, після чого дезінфікують підводну його частину об'ємним способом із розрахунку 100 - 150 мг активного хлору на 1 л води в колодязі протягом 6 - 8 год. Після закінчення цього часу беруть пробу води із колодязя та перевіряють її на вміст залишкового хлору або перевіряють пробу на запах. Якщо запах хлору відсутній, додають 1/4 чи 1/3 частину від початкової кількості препарату і залишають ще на 3 - 4 год. Після цього відбирають пробу води і направляють її до закладу державної санітарно-епідеміологічної служби для проведення лабораторних досліджень (не менше трьох досліджень через кожні 24 години).

Дезінфекцію колодязя з профілактичною метою починають з визначення об'єму води в колодязі. Потім повністю відкачують воду, чистять та ремонтують колодязь, дезінфікують поверхню стінок колодязя методом зрошення, очікують, поки колодязь наповниться водою, і дезінфікують підводну частину об'ємним способом.

Вимоги щодо знезараження води в колодязі за допомогою дозуючих патронів.

Підставами для знезараження води в колодязі є її невідповідність гігієнічним вимогам за показниками епідемічної безпеки, наявність ознак забруднення води за санітарно-хімічними показниками (знезаражують до виявлення джерела забруднення та отримання позитивних результатів після санації), неефективна санація колодязя, наявність вогнищ кишкових інфекцій в населеному пункті (проводиться після дезінфекції колодязя до моменту повної ліквідації вогнищ).

Воду в колодязі знезаражують за допомогою дозуючого патрона за умови обов'язкового контролю її безпечності та якості за санітарно-хімічними та мікробіологічними показниками. Тривале знезараження води за допомогою дозуючих патронів не може бути ефективним без попередньої санації колодязя.

Дозуючі патрони є ємностями циліндричної форми з пористими стінками об'ємом 250, 500 чи 1000 куб.см, які заповнюють кальцієм гіпохлориту чи хлорним вапном і занурюють у колодязь.

Для тривалого знезараження питної води необхідну кількість кальцію гіпохлориту, який вміщує 52% активного хлору, розраховують за формулою:

$$x_1 = 0,07x_2 + 0,08x_3 + 0,02x_4 + 0,14x_5,$$

де:  $x_1$  - кількість препарату, що необхідна для заповнення патрона (кг);

$x_2$  - об'єм води у колодязі (куб.м);

$x_3$  - дебіт колодязя (куб.м/год) - визначають експериментально;

$x_4$  - водозабір (куб.м/добу) - визначають шляхом опитування населення;

$x_5$  - хлоропоглинання води (мг/куб.дм) - визначають експериментально.

У випадку застосування хлорного вапна, яке вміщує 25% активного хлору, розрахункова кількість реагенту збільшується у 2 рази.

Якщо вміст активного хлору у реагенті не відповідає розрахунковому, то здійснюють перерахунок за формулою

$$P = (X_1 \cdot H_1) / H_2,$$

де: P - кількість хлорного вапна чи кальцію гіпохлориту (кг);

$X_1$  - кількість реагенту, що необхідна для заправки патрона(кг);

$H_1$  - вміст активного хлору в препараті, що прийнято у розрахунок (52% для гіпохлориту або 25% для хлорного вапна);

$H_2$  - фактичний вміст активного хлору у препараті (%).

Під час знезараження води в колодязі в зимовий період розрахункова кількість препарату також збільшується у 2 рази.

Для визначення дебіту колодязя - кількості води (куб.м), що можна отримати з колодязя за 1 годину, необхідно швидко відкачати воду з колодязя, вимірюючи її кількість, і зареєструвати час відновлення вихідного рівня. Розраховують дебіт колодязя за формулою

$$D = (V \cdot 60) / t,$$

де: D - дебіт колодязя (куб.м/год);

V - об'єм води, яку було відкачано (куб.м);

t - сумарний час, що складається з часу відкачування та відновлення рівня води у колодязі (хвилини);

60 - постійний коефіцієнт.

Перед наповненням патрон попередньо витримують у воді протягом 3 - 5 годин, потім заповнюють розрахованою кількістю знезаражуючого реагенту, додають 00 - 300 куб.см води та щільно перемішують (до утворення рівномірної суміші). Після цього патрон зачиняють керамічною або гумовою пробкою, підвішують у колодязі та занурюють у воду приблизно на 0,5 м нижче верхнього рівня води (на 0,2 - 0,5 м від дна колодязя).

Контроль за концентрацією активного залишкового хлору у воді колодязя проводять через 6 годин після занурення дозуючого патрона.

Якщо концентрація активного хлору у воді нижче 0,5 мг/куб.дм, необхідно занурити додатковий патрон та провести після цього відповідний контроль ефективності знезараження. Якщо концентрація активного залишкового хлору у воді значно вища за 0,5 мг/куб.дм, один патрон виймають та проводять контроль ефективності знезараження. Надалі контролюють концентрацію активного залишкового хлору не рідше ніж один раз на тиждень, перевіряючи при цьому також мікробіологічні показники безпечності та якості питної води.

Періодичність заміни патрона складає 3 - 4 тижні. Патрон виймають з колодязя, видаляють з нього залишки препарату, ретельно промивають, заповнюють реагентом та знову занурюють у колодязь. Для очищення від солей кальцію карбонату патрон занурюють у слабкий розчин оцтової кислоти (1:250) на 1 - 6 годин залежно від інтенсивності осаду. Після цього патрон промивають чистою водою та висушують.

## 6 ЗАСОБИ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ В ДОМАШНІХ УМОВАХ

У домашніх умовах можна очищати воду за допомогою побутових фільтрів, заморожування, відстоювання, кип'ятіння, а також комбінації всіх цих та деяких інших методів.

Очищення води у домашніх умовах край потрібно в наш час в умовах карантинів та воєнного стану в Україні.

В Україні зараз існують регіони, де проблеми чистої води стоять на перших місцях. Це місто Миколаїв та Миколаївська область, де постачання води було складним, а зараз взагалі припинили постачання води традиційні її джерела.

Виникли проблеми з постачанням води і на Донбасі.

Основними джерелами питної води в Україні на її півдні і східній частині були річки Дніпро, Дністро та Південний Буг. Зараз у зв'язку з перешкодами постачання цієї води, створеними у ході воєних дій питання водоспоживання вирішуються шляхом використання колодязів, артезіанських скважин та кюветів.

Вода цих джерел недостатньо контролюється і тому потребує обов'язкового домашнього очищення.

Рекомендуємо прості засоби очищення питної води.

Суть пристрою домашнього найпростішого фільтра:

- потрібно узяти трохи марлі;
- загорнути кілька таблеток звичайного чорного активованого вугілля;
- покласти марлю на дно банки чи каструлі з водою;
- за кілька годин вода повністю очиститься.

Інший спосіб очищення питної води з використанням позитивних властивостей срібла:

у срібла є неперевершені бактерицидні можливості, завдяки чому цей метал ефективно справляється фактично з будь-якими забруднювачами.

Для очищення сріблом потрібно покласти на дно банки чи каструлі з водою срібну монету або щось, що має у собі цей метал.

#### Очищення води відстоюванням

Цей спосіб дозволяє не тільки відокремити важкий осад, він також дає воді час самоочиститися від легких сполук аміаку та хлору. Щоб процес пройшов максимально ефективно, воду відстоюють у ємності з широким верхом та без кришки не менше 8 год.

Потім можна перелити її в чисту тару, намагаючись не перемішувати шари, а нижню чверть взагалі вилити.

Після кожного відстоювання промивайте стінки та дно основної ємності розчином оцтової чи лимонної кислоти, щоб видалити вапняний осад.

#### Фільтри для води

Свого часу пройшов бум на різні фільтраційні системи, виробники яких обіцяли безпроблемне пом'якшення води в домашніх умовах і майже 100% результат очищення.

Поступово менш ефективні з них відсіялися, а найнадійніші методи продовжують використовуватись у побуті.

Ємнісні фільтри-глечики – досить універсальні, тому що в них можна встановлювати касети з різним ступенем очищення води. Головне не забувати їх регулярно міняти.

Багаторівневі фільтраційні системи – показують себе найкраще, але й коштують більше. Проте вони використовують одночасно різні методи очищення води, звільняючи її не тільки від сміття, а й від хлору, суспензії іржі, деяких видів бактерій та вірусів.



## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз літературних матеріалів показує наявність різноманітних методів очищення води від шкідливих забруднень, включаючи фізичні, фізико-хімічні, хімічні, бактеріологічні та комбінації цих методів.

2. У роботі показано, що існуючі методи очищення води класифікуються за ознаками якості, що пов'язані перш за все з призначенням очищеної води.

3. З метою удосконалення існуючих технологій очищення води та підвищення її якісних показників показана можливість комбінації цих методів, наприклад постадійного або сумісного процесів термічної підготовки та фільтрування або флотаційних процесів.

4. У зв'язку з умовами часу, що існують в Україні, розглянуті та рекомендовані технології санації шахтних колодязів та вимоги щодо знезараження води.

5. Розглянуті засоби очищення питної води в домашніх умовах із наданням корисних рекомендацій споживачам.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Герасимов О.І. Технології захисту навколишнього середовища: підручник / Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2019.- 268 с.
2. Герасимов О.І. Теоретичні основи технологій захисту навколишнього середовища. Навчальний посібник. Одеса: ТЕС, 2018. - 228с.
- 3.«Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» [№ 4005-XII від 24.02.94](#), ВВР, 1994, № 27, ст.219
4. "Про питну воду та питне водопостачання" [№ 2047-VIII від 18.05.2017](#)
- 5.ДСТУ ISO 9696-2001. Захист від радіації. Вимірювання альфа-активності у прісній воді. Метод концентрованого джерела (ISO 9696:1992, IDT).
- 6.Методические рекомендации по санитарному контролю за содержанием радиоактивных веществ в объектах окружающей среды, утверждены МЗ СССР 03.12.1979.
7. Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10).
8. Ветошкин А.Г. Таранцева К.Р. Технологии защиты окружающей среды. (Теоретические основы) Учебное пособие. Пенза, 2004, - 249 с. <http://window.edu.ru/resource/888/36888/files/stup114.pdf>
9. Основи технології захисту навколишнього середовища. Сайт кафедри загальної та теоретичної фізики ОДЕКУ. URL: [www.dpt12s.odeku.edu.ua](http://www.dpt12s.odeku.edu.ua)
10. Курятников В.В., Співак А.Я., А.М. Кільян А.М. Конструювання та інженерно-фізичні принципи систем захисту довкілля: конспект лекцій/ Одеса: ОДЕКУ, 2019. 60 с.
- 11.Курятников В.В., Співак А.Я., Кільян А.М. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни "Конструювання та інженерно-фізичні принципи систем захисту довкілля ". Одеса, ОДЕКУ, 2019, 56 с.
12. Герасимов О.І. Фізика гранульованих матеріалів. Монографія. Одеса: ТЕС, 2015, 264 с.

13. Герасимов О.І. Радіоекологія за галузями. Підручник. ОДЕКУ. – Одеса: ТЕС, 2016. 100 с.
14. Герасимов О.І., Кільян А.М. Елементи фізики довкілля: Конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2003, 134 с.
15. Рыбаков Ю.С. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: конспект лекцій. Екатеринбург, 2005, 196с. Електронне - <http://www.twirpx.com/file/1472984/>
16. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/>