

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ ІМЕНІ  
АДМІРАЛА МАКАРОВА

Кафедра прикладної екології та природокористування  
Кафедра екології та природоохоронних технологій



***НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК***  
***ТЕХНОЛОГІЇ ЗАХИСТУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА***

рівень вищої освіти - "бакалавр"  
спеціальностей 101 "Екологія"  
183 «Технології захисту навколишнього середовища»

**Полтава 2022**

Навчально-методичний посібник "Технології захисту водного середовища" для спеціальностей 101"Екологія", 183 «Технології захисту навколишнього середовища» всіх форм навчання / Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Миколаїв: Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. 2022. – 306 с.

Укладачі: О.В. Степова, д.т.н., професор, Г.Г. Трохименко, д.т.н., професор

Відповідальний за випуск: завідувач кафедри прикладної екології та природокористування, д.т.н., професор О.В.Степова

Рецензенти:

Д.В. Лукашов, д.б.н., професор, завідувач кафедри екології та зоології Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

І.В. Наконечний, д.б.н., професор, професор кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова.

Рекомендовано до друку науково-методичною радою

Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,

Протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_ \_\_\_\_\_ 2022р.

Комп'ютерна верстка О.В. Степова  
Редактор в авторській редакції

## Зміст

<b>ВСТУП</b>	<b>8</b>
<b>РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ</b>	<b>10</b>
1.1	Стан водних ресурсів, джерела їх забруднення 10
1.2	Оцінювання якості води поверхневих джерел 18
1.2.1	Розрахунок індексу забрудненості вод 21
1.2.2	Метод визначення екологічного індексу якості води 23
1.2.3	Метод визначення коефіцієнта забруднення води 24
1.2.4	Метод визначення індексу евтрофікації 25
1.3	Показники якості води. Нормовані показники 26
1.4	Необхідний ступень очищення стічних вод 34
1.4.1	Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за вмістом завислих речовин 34
1.4.2	Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за вмістом розчиненого кисню 35
1.4.3	Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за БПК <sub>полн</sub> суміші води водного об'єкта і стічних вод 35
1.4.4	Розрахунок допустимої температури стічних вод перед скиданням їх у водні об'єкти 36
1.4.5	Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод по шкідливих речовин 36
1.5	Розробка нормативів гранично допустимих скидів (ГДС) шкідливих речовин у поверхневі водні об'єкти 38
1.6	Умови випуску виробничих стічних вод у систему міської каналізації та водні об'єкти 39
<b>РОЗДІЛ 2 ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ В ПРОМИСЛОВОСТІ</b>	<b>44</b>
2.1	Вода в промисловості 44
2.2	Схеми використання води на промислових підприємствах 46

2.3	Формування стічних вод. Характеристики стічних вод	51
2.3.1	Класифікація і коротка характеристика стічних вод	53
2.3.2	Склад та властивості виробничних стічних вод	55
2.3.4	Класифікація домішок стічних вод	59
2.4	Системи водопостачання та водовідведення промислових підприємств	62
2.5	Поверхнево-зливовий стік із територій промислових підприємств	69
<b>РОЗДІЛ 3 СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ</b>		<b>73</b>
<b>СТІЧНИХ ВОД</b>		
3.1	Гідромеханічні способи очищення стічних вод. Загальні положення	79
3.2	Усереднення промислових стічних вод	81
3.3	Проціджування стічних вод	84
3.4	Відстоювання стічних вод	90
3.4.1	Закономірності відстоювання	90
3.4.2.	Осадження частинок у пісковловлювачах	92
3.4.3	Осадження домішок у відстійниках	96
3.5	Відстоювання у полі відцентрових сил. Гідроциклони і центрифуги	111
3.6	Фільтрування стічних вод	118
3.7	Фізико-хімічне очищення	132
3.7.1	Коагуляція і флокуляція	133
3.7.2	Флотаційна очищення стічних вод	147
3.7.3	Адсорбційне очищення	155
3.7.4	Іонний обмін у розчинах стічних вод	161
3.7.5	Очищення стічних вод методом екстракції	166
3.7.6	Очищення перегонкою і ректифікацією	171
3.7.7	Десорбція, дезодорування і дегазація розчинених домішок	172

3.8	Біологічне очищення. Фізіологія біологічного очищення	174
3.9	Хімічні методи очищення стічних вод	176
3.10	Очищення стічних вод від розчинених органічних домішок деструктивними методами	188
	3.10 Використання мембранних технологій для очищення стічних вод	190
	3.10.1 Мембрани	190
	3.10.2 Мікрофільтрація	191
	3.10.3 Ультрафільтрація та зворотний осмос	194
3.11	Електрохімічні методи очищення стічних вод	195
	3.11.1 Мембрани	195
	3.11.2 Мікрофільтрація	
	3.11.3 Ультрафільтрація та зворотний осмос	201
3.12	Електрохімічні методи очищення стічних вод	209
	<b>РОЗДІЛ 4 ОБРОБКА ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД</b>	219
4.1	Гідромеханічне зневоднення осадів стічних вод	219
4.2	Механічна переробка твердих відходів	226
4.3	Фізико-хімічні основи обробки та утилізації відходів	230
	4.3.1 Реагентна обробка осадів стічних вод	230
	4.3.2 Фізико-хімічні методи вилучення компонентів із відходів	232
	4.3.3. Збагачення при рекуперації твердих відходів	234
4.4	Термічні методи знешкодження мінералізованих стоків	235
4.5	Термічні методи кондиціонування осадів стічних вод	237
4.6	Сушіння вологих матеріалів	237
4.7	Термохімічна обробка твердих відходів	239
	<b>РОЗДІЛ 5 РОЗРАХУНОК СПОРУД ОЧИЩЕННЯ СТІЧНОЇ ВОДИ (НА ПРИКЛАДІ СТІЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВА ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ)</b>	241
	<b>СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ</b>	303

## ВСТУП

Природна вода є не тільки джерелом водопостачання та транспортним засобом, а й середовищем існування тварин і рослин. Колообіг води в природі створює необхідні умови для життя людини на Землі. Вода відіграє вирішальну роль у багатьох процесах, що відбуваються в природі та в підтримці життя людини.

Промислові підприємства споживають величезну кількість води, а деякі навіть вимагають постійної подачі води. Зі збільшенням потужності підприємств, використанням складних технологічних процесів збільшуються витрати води.

Використання води в промисловості, чи іншій галузі призводить до утворення стічних вод. Бурхливий розвиток промисловості викликає необхідність запобігання негативному впливу промислових стічних вод на водні об'єкти. Багато сучасних технологічних процесів пов'язані зі скиданням стічних вод у водойми. Через надзвичайну різноманітність складу, властивостей і витрат стічних вод промислових підприємств необхідно застосовувати специфічні методи, а також засоби для їх локального, попереднього та комплексного очищення.

Сьогодні охорона навколишнього середовища від стічних вод є одним із головних завдань. Заходи з очищення води допоможуть підтримувати чистоту повітря та водних басейнів. Для правильного підходу до вирішення сучасних екологічних проблем необхідні певні знання в цій галузі.

Одним із основних напрямів науково-технічного прогресу є створення маловідходних і безвідходних технологічних процесів. У сфері очищення стічних вод цим напрямком є розробка систем каналізації з мінімальним скиданням стічних вод або без скидання - каналізаційних систем. Найбільш раціональним способом зменшення кількості стічних вод є створення замкнених систем оборотного водопостачання, що виключає скидання води у водойми. Таке водопостачання забезпечує необхідну очистку стічних вод, охолодження зворотної води, очищення стічних вод і повторне використання.

Створення замкнутих систем технічного водопостачання з вилученням цінних компонентів, в першу чергу, забезпечується при будівництві нових та реконструкції діючих підприємств. Перехід на системи каналізації або системи з мінімальним скиданням стічних вод можна здійснити шляхом повторного використання стічної води та заміни

водяного охолодження повітрям. Перехід ряду виробництв на безводні технологічні процеси виключає утворення стічних вод.

Система водовідведення промислових підприємств призначена для забезпечення відведення вод, які внаслідок набутого технологічного та промислового забруднення перетворилися на стічні води, які перед повторним використанням або скиданням за межі промислових підприємств підлягають очищенню. Після використання в промислових цілях вода забруднюється або нагрівається, змінює свої первинні властивості, що робить її непридатною для подальшого використання, тобто перетворюється на промислові стічні води (промислові стоки).

Каналізація та очищення стічних вод є однією зі спеціальних дисциплін, яка допомагає вирішити проблему збору, очищення та утилізації стічних вод, а також вирішує питання очищення осадів, що утворюються під час обробки та утилізації стоків.

# РОЗДІЛ 1

## ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

### 1.1 Стан водних ресурсів, джерела їх забруднення

Стік українських річок у середньому становить 83,5 млрд м<sup>3</sup>, але зменшується до 48,8 млрд м<sup>3</sup> у посушливі роки. Стік розподіляється по території нерівномірно. Тому в багатьох регіонах Півдня України відчувається серйозний дефіцит води, для її ліквідації потрібно відводити воду по каналах і будувати водосховища.

Річкова мережа України складається з: тимчасових струмків, які протікають лише під час сніготанення та дощу; невеликі струмки і річки; великі річки, такі як Дніпро, Дністер, Південний Буг. Річки України належать до басейнів Чорного та Азовського морів та частково до басейну Балтійського моря. Більшість річок розташована в басейні Дніпра - 27, Дунаю - 26,3, Дністра - 23,7%, Південного Бугу - 9,3%. Середня густота річкової мережі України 0,34 км/км<sup>2</sup>. Найбільша густота річкової мережі в Карпатах, де вона досягає 2,0 км/км<sup>2</sup>. Причому цей показник досить великий у Кримських горах, особливо на Південному березі Криму. Найменша густота річкової мережі в Херсонській області, де є значні безстічні території [1].

Відповідно до [2] вододіл — це частина земної поверхні і товща ґрунту, з якої вода стікає в потік або водойму. За вододілом басейни річки України поділяються на:

великі - це річки, розташовані в кількох географічних районах з басейном понад 50 000 км<sup>2</sup>;

середні - річки з площею водозбору від 2 до 50 тис. км<sup>2</sup>;

малі - річки з площею водозбору до 2000 км<sup>2</sup>.

Основним постачальником води в Україну є річка Дніпро. Є й інші поверхневі річки, які забезпечують потребу у воді, такі як Дунай, Дністер, Південний Буг, Тиса, Прут та інші. Екологічний стан води цих водних артерій залежить насамперед від стану їх приток – малих річок, яких налічується близько 63 тис., вони мають велике значення. Проте стан малих українських річок сьогодні надто важкий: понад 20 тис. з них вже зникли та висохли. Це деградація великих річок, тому проблема їх збереження та відновлення є однією з найгостріших для України. Дніпро — найбільша річка України, третя в Європі після Волги та Дунаю за



площею водозбору (504 тис. км<sup>2</sup>) і довжиною (2201 км). Довжина Дніпра в Україні становить 981 км, площа водозбору – 286 тис. км<sup>2</sup>. Понад 30 мільйонів людей в Україні користуються водними ресурсами Дніпра [3].

Господарський комплекс України в басейні Дніпра тривалий час розвивався без урахування економічних та екологічних наслідків для компонентів довкілля. Основний обсяг промислового виробництва з переважанням «брудних» виробництв (металургія, хімічна, вугільна), розташовані у басейні Дніпра. Щорічно з Дніпра для потреб промисловості та сільського господарства забирається понад 14 млрд м<sup>3</sup> води, причому значна кількість сполук азоту, фосфору, калію, заліза, нікелю, цинку, міді, хрому тощо з поверхневим стоком надходить у Дніпро та водосховища.

Найбільшими забруднювачами водних об'єктів басейну Дніпра є:

- 1) чорна та кольорова металургія;
- 2) виробництво коксу;
- 3) важке машинобудування, енергетика, транспорт;
- 4) комунальні послуги;
- 5) сільськогосподарський.

Велике значення у системі водопостачання мають також водойми та ставки на притоках Дніпра. Його басейн має 15380 різних приток загальною довжиною 67 156 км, 504 водосховища загальною площею води 767 км<sup>2</sup> і об'ємом 2,2 км<sup>3</sup>, 12 570 ставків на малих річках загальною площею 1086 км<sup>2</sup> і близько - 1,54 км<sup>3</sup>. На Дніпрі створено каскад із шести водосховищ загальною площею 6950 км<sup>2</sup> і загальним об'ємом накопиченої води 43,8 км<sup>3</sup>. Будівництво водосховищ призвело до порушення екологічної рівноваги, змінилися умови водообміну. Порівняно з природними умовами водообмін значно сповільнився. Інтенсивне використання земель басейну Дніпра з метою ведення сільського господарства (60 % території розорано), яке спричинило ерозію 35 % земель та трансформування 80 % первинного природного ландшафту, перетворило водосховища на Дніпрі в акумулятори забруднювальних речовин. У катастрофічному становищі перебувають річки нижнього Дніпра, на яких щороку ускладнюється санітарно-епідеміологічна ситуація, зменшуються вилов риби та біорізноманіття.

На санітарно-епідеміологічну ситуацію та якість питної води Дніпра негативно впливає вміст значної кількості органічних і хлорорганічних сполук, вміст яких наявний майже в усіх створах спостереження.

Перевищення санітарних норм за різними показниками коливається в межах 1,1-4,0 рази.

Очисні споруди водопроводів не можуть перешкоджати потраплянню цих сполук у питну воду. За даними відомчого моніторингу, найзабрудненішою є середня частина Дніпра. В аварійному становищі нині перебуває 19,9 тис. км, або 26%, водопровідних мереж. Часті аварії на водопровідних мережах (майже дві на 1 км їхньої довжини) спричинюють вторинне забруднення питної води і небезпеку виникнення та поширення інфекційних захворювань.

У гідрогеологічному відношенні Полтавська область належить до Дніпровського артезіанського басейну і займає центральну і південно-східну частини Донецько-Дніпровської западини [4].

Основними джерелами водних ресурсів області є річки Сула, Псел, Ворскла, Оріль та їх притоки, а також Кременчуцьке та Дніпродзержинське водосховища на річці Дніпро. У межах області формується стік трьох річок: Сліпорід, Говтва, Тагамлик.

На території Полтавської області налічується 146 річок (водотоків довжиною понад 10 км) загальною довжиною 5100 км. Серед них дві великі (понад 500 км) - Дніпро і Псел; дев'ять середніх (довжиною 101...500 км); 135 малих річок (100 км і менше). Є також приблизно 1600 струмків.

Річкова система у сучасному вигляді сформувалася в кінці льодовикової епохи. Нахил поверхні області зумовлює переважний напрям річкової сітки: майже всі річки течуть з півночі на південь або з північного сходу на південний захід і є лівими притоками Дніпра.

Середня густота річкової мережі 0,27 км/км<sup>2</sup> (в Україні – 0,25 км/км<sup>2</sup>). Цей показник найвищий для басейнів Псла та Хороль у центральній частині Полтавської області (0,40 км/км<sup>2</sup>). Найменш розвинена річкова мережа (0,17 км/км<sup>2</sup>) на крайньому заході області, в басейні р. Оржиці на території Оржицького, Гребінківського та Пирятинського районів. Рівнинний характер поверхні, невеликий ухил обумовлюють ледь помітний спокійний стік річок, який становить 0,1-0,3 м/с.

Річки Полтавської області живляться переважно сніговими водами (55-60% загального обсягу стоку), хоча більша частина річних опадів випадає на теплу половину року. Це пов'язано з тим, що літні опади (за винятком сильних дощів) просочуються в землю, випаровуються і майже

не дають стоку. З півночі на південь в регіоні зростає роль снігового живлення. Другим за значенням джерелом живлення річок є підземні води (30-35%). Роль підземного водопостачання зростає в зимовий та літній сезони, коли поверхневий стік відсутній або він незначний. Дощова вода становить близько 10% річного стоку.

Загальний річковий стік складається з двох компонентів: місцевого стоку та транзитного стоку. Більшість малих річок беруть початок у Полтавській області. Дніпро та його найбільші притоки (Псел, Ворскла, Сула та інші) починаються в інших регіонах, а стік, який вони приносять звідти, є транзитним. Велика частина місцевого стоку формується в північних районах області. Шар стоку тут досягає 80 мм на рік, а модуль стоку 3,5 л/с-км<sup>2</sup>. На півдні області ці показники становлять 40 мм і 1,2-1,5 л/с-км<sup>2</sup> відповідно. Ця різниця зумовлена зменшенням кількості опадів, висоти снігового покриву та збільшенням випаровування з півночі та з північного заходу на південний схід. Середній шар стоку в області становить 64 мм, що нижче середнього по Україні (87 мм).

Водність і рівень води в річках області протягом року істотно змінюються. На початку березня починається повінь у річках через танення снігу. У цей час формується 70-80% річного обсягу стоку. Влітку частина річок пересихають. У цей час харчування в основному відбувається за рахунок підземних вод.

Під час літніх та осінніх дощів на річках трапляються повені. За останні півстоліття на Дніпрі та його притоках побудовано велику кількість водорегулюючих споруд, які знижують ймовірність катастрофічних повеней та згладжують відмінності у розподілі стоку протягом року. Останні катастрофічні повені на річках регіону спостерігалися у першій половині 1950-х років. Але навіть сьогодні, під час повеней, 400 населених пунктів та понад 100 тисяч гектарів сільськогосподарських угідь затоплені чи частково затоплені.

Близько 130 днів на рік річки покриті льодом. Льодовиковий період починається на півночі та північному сході регіону до 7 грудня, закінчується на півдні до 20 грудня, весняний льодохід починається на півдні 17-18 березня та закінчується 25 березня на північному сході.

Навесні на нього припадає 75% стоку, влітку та восени разом – лише 10%. Найменш каламутна вода - на крайньому заході регіону (р. Оржиця), де кількість твердих домішок у воді становить 50 г/м<sup>3</sup>. Поступово

каламутність води зростає на схід. Так, для Дніпра мутність становить 100 г/м<sup>3</sup>, а для Псла та Ворскла – до 250 г/м<sup>3</sup>.

Головний водний шлях Полтавської області – річка Дніпро, довжина якої становить 2285 км, а площа басейну становить 503 тис. кв. метрів. Дніпро омиває південно-західну частину області на 267 км. Колись у ньому були Дніпро та старі канали – Старк, Стариця, Діда, притоки, які впадали в нього. Серед них: Рящуватий, Ревучий, Гірман, Ярданка. Усі вони зникли з утворенням Кременчуцького водосховища.

Найбільшу площу вони займають в басейні Сули (озера - 32 км<sup>2</sup>, болота - 1300 км<sup>2</sup>), Псла (25 та 190) та Ворскли (15 і 260). В області налічується 124 озера з площею водного дзеркала понад 0,1 км<sup>2</sup> (загальною площею 676 га і загальним об'ємом води 76 млн. м<sup>3</sup>).

Визначивши джерела водопостачання, розглянемо суб'єкти моніторингу поверхневих вод. Основними суб'єктами моніторингу поверхневих вод в області є обласний центр гідрометеорології, Державне управління екології та природних ресурсів у Полтавській області та Регіональне управління водних ресурсів. Екологічна оцінка якості поверхневих вод проводиться на основі режимних даних контролю якості води поверхневих водних об'єктів Полтавської області.

Загалом моніторинг якості поверхневих вод в області здійснюється на 99 станціях гідрохімічного контролю основними суб'єктами моніторингу. Слід зазначити, що розміщення пунктів моніторингу поверхневих вод у регіоні для водних об'єктів надзвичайно неоднозначне та непостійне для суб'єктів моніторингу. Тому досить часто буває, що пункти пропуску двох-трьох організацій розташовані поруч.

Екологічний стан водних об'єктів Полтавської області за період 2005–2019 років оцінено на основі комбінаторного індексу забруднення (КІЗ) з урахуванням 10 показників: хлориди; сульфати; азот амонійний, нітритний і нітратний; фосфор фосфатів; розчинений кисень; БСК<sub>5</sub>; залізо загальне; нафтопродукти [5, 6] (вихідні оціночні дані для розрахунку КІЗ формувалися на основі даних моніторингу Державного управління охорони навколишнього природного середовища в Полтавській області, Полтавського регіонального управління водних ресурсів, обласного центру з гідрометеорології, обласної санітарно-епідеміологічної станції).

За результатами оцінювання якості річкових вод Полтавщини їх рівень забруднення коливається від II класу «забруднена вода» до IV класу «дуже брудна» (КІЗ = 1,9÷7,5) (рис.1.1).

### Результати аналізу стану поверхневих вод Полтавської області в басейні річки Дніпро за період 2005 – 2019 рр.

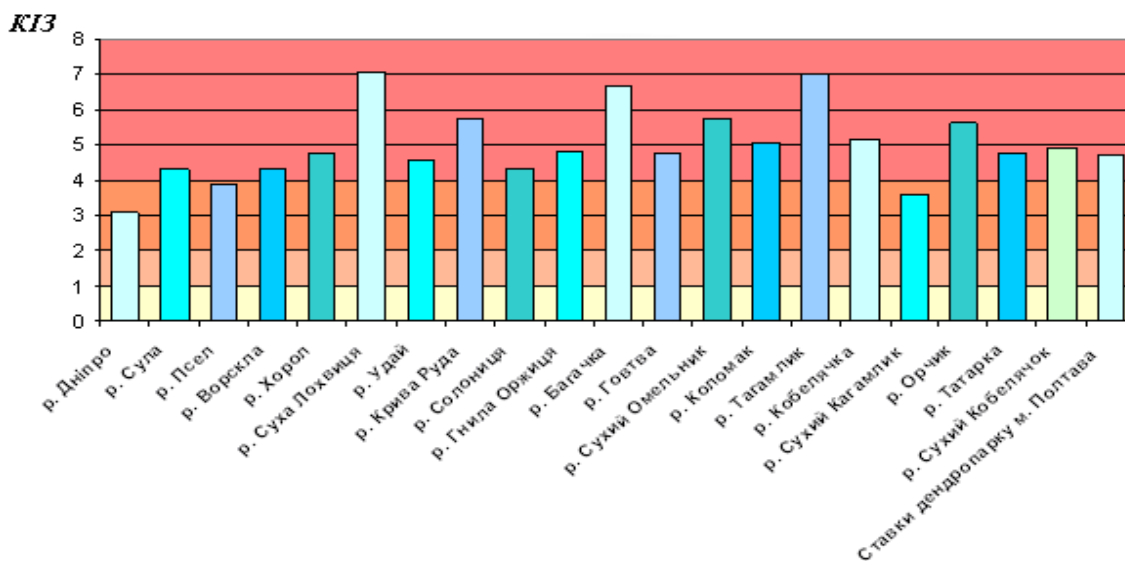


Рис. 1.1. Результати аналізу стану поверхневих вод Полтавської області в басейні річки Дніпро за період 2005 – 2019 рр.

Якість води в створах Дніпра, Сули, Псла, Ворскли, Хорол, Сухого Кагамлика переважно відноситься до III класу, тобто класифікується як «брудна» (КІЗ= 3,0÷4,0). Особливо негативний стан стосовно забруднень характерний у створах більшості малих річок: Крива Руда, Орчик, Суха Лохвиця, Коломак, Багачка, Говтва, Тагамлик, Удай, Татарка, Кобелячка, Сухий Омельник (КІЗ коливається в межах 5,0÷7,5), відповідно якість води належить до IV класу «дуже брудна».

За результатами екологічного оцінювання близько 53% від загальної кількості пунктів гідроекологічних досліджень в області за рівнем забруднення класифікуються як «дуже брудні» (IV рівень). До такої категорії водних об'єктів за їх «якістю» належать практично всі малі річки. Лише 4% від загальної кількості пунктів досліджень в області за рівнем забруднення класифікуються як «забруднені» (II рівень).

Таким чином, вода більшості поверхневих водних джерел Полтавської області характеризується помірним рівнем забруднення. Це є

результатом скиду частини неочищених або недостатньо очищених стічних вод з міста та підприємств-забруднювачів, розташованих поблизу міста чи міста, забруднення води поверхневим стоком, забруднення через надходження на поля добрив та пестицидів. Крім того, хоча раннє забруднення можна ефективно лікувати шляхом будівництва очисних споруд, дуже важко запобігти забрудненню вододілу, викликаному сільськогосподарськими заходами. Органічні сполуки, зважені речовини, поверхнево-активні речовини, фосфати та інші залишаються пріоритетними забруднювачами протягом багатьох років у Полтавській області.

Якість води — це загальна характеристика складу і властивостей води, яка визначає її придатність для конкретних видів водокористування (рибогосподарського, господарсько-питного, технічного тощо). Слід також зазначити, що якість води характеризується її фізичними, хімічними та бактеріологічними властивостями. Поєднання різних хімічних речовин, які розчиняються у водоймах, надають природним водам певних властивостей. Від вмісту тих чи інших речовин залежать такі властивості води, як солоність, жорсткість, лужність, кислотність, агресивність, її здатність до корозії тощо. Відповідність хімічного складу та властивостей води вимогам конкретних водоспоживачів становить сутність поняття «якість води». Якість води для конкретного водокористування визначається критеріями якості води - особливими характеристиками (показниками), величина (концентрація) яких у воді є науково обґрунтованою і свідчить про рівень якості води, що відповідає вимогам конкретного споживача.

Тому цілком коректно представити загальну сукупність процесів формування якості води в результаті впливу комплексного комплексу природних і антропогенних факторів. Багатофакторність процесу формування якості води обумовлює складність його вивчення, а відсутність надійних теоретичних та методичних розробок, інструментальних методів знецінює спроби розкриття механізму формування якості води, перешкоджає вивченню і розробці науковообґрунтованих підходів відносно управління та раціонального регулювання якості води [5].

Поняття «якість води» суттєво змінилося за останнє століття у зв'язку з розширенням використання води та розвитком аналітичних методів.

Перелік обов'язкових показників для оцінки якості води за останні 100 років у зв'язку зі зростанням антропогенного тиску на водойми розширюється в наступному напрямку: органічна речовина - солоність (розчинні солі) - зважені речовини - важкі метали - евтрофікація - нітрати - органічні речовини - мікробабрудувачі - хлоровані вуглеводні - показники закислення води. Це означає, що поняття «якість води» є динамічним. Це змінюється зі зміною наших уявлень про хімічний склад води та зростанням антропогенного впливу на навколишнє середовище. Забруднення водних об'єктів – це зміна хімічно-фізичного стану або біологічних характеристик води, що обмежує її подальше використання [7].

Основні джерела забруднення поверхневих вод поділяють на природні (природне забруднення гідросфери внаслідок зміни її складу та властивостей у результаті стихійних лих, аварій тощо) та антропогенні (техногенне забруднення гідросфери відбувається внаслідок зміни його складу та властивостей під впливом людини) [8].

Розглянемо найбільш глобальні антропогенні джерела забруднення поверхневих вод сьогодні. Наприклад, забруднення нафтою і нафтопродуктами призводить до появи нафтових плям, що ускладнює процеси фотосинтезу і спричиняє загибель рослин і тварин. При цьому змінюється запах, смак, колір, поверхневий натяг, в'язкість води, зменшується кількість кисню, з'являються шкідливі органічні речовини, вода набуває токсичних властивостей і становить загрозу не тільки для людини. Цьому сприяє широке використання нафти та нафтопродуктів у різних галузях народного господарства, видобутку нафти, водному, залізничному та автомобільному транспорті.

Основним джерелом забруднення і засмічення водойм є стічні води промислових і комунальних підприємств, великих тваринницьких комплексів, відходи виробництва при розробці корисних копалин; вода з шахт, кар'єрів, скиди залізничного транспорту, пестициди та ін. У стічних водах хімічних підприємств багато фенолів, які надають воді неприємного запаху і порушують біологічні процеси. В останні десятиліття в стічних водах з'явилися поверхнево-активні речовини, які значно погіршують біохімічну переробну здатність води.

У складі міських стічних вод, а також фекальних вод, які містять яйця особливо небезпечних для здоров'я людини гельмінтів і хвороботворних мікробів і вірусів, є багато шкідливих сполук, що

скидаються з харчової промисловості, автомобільного транспорту, торгівлі.

Вплив забруднюючих речовин в основному призводить до змін фізичних та хімічних властивостей води. Слід зазначити, що якість води також погіршують важкі метали. Важкі метали порушують життєдіяльність водних організмів і людини. Такі важкі метали, як кадмій, мідь, миш'як, нікель, ртуть, свинець, цинк, хром призводять до отруєння чи загибелі живих організмів та відносяться до класу ксенобіотиків. До основних джерел забруднення біосфери важкими металами відносять підприємства чорної і кольорової металургії, машинобудування, заводи з переробки акумуляторних батарей, автомобільний транспорт тощо. Одним із глобальних факторів впливу на поверхневі води є забруднення кислотними дощами. Кислотні дощі призводять до окиснення водоймищ і загибелі екосистем. Вони негативно впливають на водоймища, підвищуючи їх кислотність до такого рівня, що в них гине флора і фауна.

## **1.2 Оцінювання якості води поверхневих джерел.**

### **Підходи до оцінювання екологічного стану вод**

Крім порівняння показників з нормативними значеннями, що оцінюють стан якості поверхневих вод, розроблено методики комплексної оцінки води на основі комплексу показників. Під поняттям «глобальна оцінка забруднення поверхневих вод» слід розуміти ступінь забруднення води, її якість, виражену через систему показників чинних нормативів для певного виду використання певної води.

Комплексні оцінки забруднення поверхневих вод можуть мати форму різних коефіцієнтів забруднення або індексів. Коефіцієнти переважно враховують малу кількість елементів і компонентів такого складного об'єкта оцінки, як вода. Розроблено коефіцієнти забруднення води, складність забруднення води, модульний коефіцієнт видалення забруднюючих речовин, показники відносної тривалості та відносні обсяги забруднених і чистих стоків.

Більш інформативними є індекси забруднення або якості води, що демонструють «узагальнену кількісну оцінку якості води за всіма ключовими показниками та видами водокористування»: індекс якості води, комбінований індекс забруднення води, індекс гідрохімічної якості води,



індекс якості санітарної води, комплексна оцінка забруднюючих токсичних речовин тощо.

Екологічна оцінка та класифікація річкової системи базується на екосистемному підході, згідно з яким вода є невід'ємною частиною функціонування водної екосистеми. Екологічна оцінка та класифікація річкових систем складається з класифікацій сольового складу, специфічних тропосапробіологічних та токсичних і радіологічних впливів. Кожна з цих класифікацій передбачає три рівні якості водних екосистем: хороший, задовільний і поганий.

Хороший стан властивий водам, що піддаються мінімальним антропогенним впливам, і значенням фізико-хімічних і гідробіологічних показників, близьким до фонових для цього регіону.

Задовільними вважаються води, які зазнають значного антропогенного впливу, рівень якого близький до ступеня стійкості водних екосистем.

Забрудненою вважається вода, екологічні параметри якої порушені і яка відповідає різним стадіям розвитку процесів деградації.

Система екологічної оцінки стану річкових вод має три факторні індекси: А – мінеральний склад, Б – тропосапробіологію та В – вплив речовин специфічної біоцидної дії. Індекси факторів А, В і С визначаються відносно максимальних значень однієї з характеристик якості води в кожній групі за стандартом порівняння, а узагальнений екологічний індекс Е - як середнє арифметичне індексів-факторіалів. Значення інтегральних екологічних показників відповідають такому стану якості води: стандарт порівняння - 1,0; хороший стан - 1,1 - 3,0; задовільно - 3,1 - 8,0; перехідний від хорошого до поганого - 8,1 - 13,0; поганий (кризовий) стан - більше 13,0.

Величини факторних та інтегральних екологічних індексів дозволяють визначати загальні тенденції зміни якості річкових вод, а також лімітуючі фактори формування якості води за регіонами і річковими басейнами.

Встановлення значень екологічного раціону для конкретного водного об'єкта включає наступні послідовні кроки:

- збір та обробка вихідних даних;
- визначення класів і категорій якості води за окремими показниками;

- узагальнення оцінок якості води за окремими показниками (вираженими в класах і категоріях), за окремими блоками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води;
- визначення спільної оцінки якості води (з визначенням класів і категорій) окремого водного об'єкта в цілому або його зон за певний період спостережень;
- картографування результатів оцінювання якості поверхневих вод суші.

Екологічна оцінка є передумовою екологічного регулювання якості поверхневих вод, її попереднім етапом. Тому, під час екологічного оцінювання необхідно порівнювати результати із значенням екологічних нормативів, встановлених для конкретного водоймища. Це необхідно для аналізу відповідності (або невідповідності) якості води значенням усіх показників, встановлених у результаті екологічного регулювання якості води для конкретного водного об'єкта.

Результати екологічного оцінювання якості внутрішніх поверхневих вод представляють у вигляді таблиць, графіків та карт. Таблиці доцільно складати як для окремих пунктів спостережень, так і для водойми в цілому. У таблицях систематично розміщуються значення показників і відповідні класи і категорії якості води.

Для картографічного представлення науково-дослідних матеріалів з екологічного оцінювання якості води річок застосовують Методику картографування екологічного стану поверхневих вод України за якістю води. В зазначеній методиці висвітлено основні положення створення карт екологічної оцінки якості поверхневих вод, рекомендовано масштаб карт, географічні основи методики розрахунку блокових та зведених (екологічних) індексів, зміст карт та етапи їх складання. Для створення карт доцільно застосовувати геоінформаційні технології від Mapinfo Corporation, США – всесвітньо відомої картографічної системи Mapinfo Professional. Така карта дає змогу краще зрозуміти отриману й проаналізовану інформацію, чітко зрозуміти ситуацію, що склалася в сукупності досліджуваних водойм та на окремих пунктах спостережень за басейнами річок. Крім того, це дозволяє виявити загальні тенденції та основні лімітуючі фактори формування якості води в річках досліджуваних басейнів.

### 1.2.1 Розрахунок індексу забрудненості вод

Методика оцінки якості води за комплексним і універсальним показником – індексом забруднення води (ІЗВ) – рекомендована Держгідрометслужбою. Це один із найпростіших методів комплексної оцінки якості води. Оцінка показника дозволяє порівнювати якість води різних водойм незалежно від наявності та концентрації забруднюючих речовин, для визначення тенденції якості води в часі. Методика передбачає наступні етапи:

- визначення середнього арифметичного результатів хімічних аналізів для кожного з показників;
- розрахунок індексу забруднення води;
- визначення класу якості води;
- відображення результатів оцінки якості води.

Розрахунок ІЗВ заснований на врахуванні обмеженої кількості інгредієнтів, шляхом розрахунку середнього арифметичного результатів хімічних аналізів для кожного з наступних показників: аміачний азот, нітритний азот, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, біохімічна потреба в кисні.

Кількість аналізів для визначення середнього значення має бути не менше 4 (рекомендовано 6), незалежно від того, перевищує концентрацію хімічної речовини ГДК чи ні. Загалом індикатори підбираються незалежно від лімітуючої ознаки шкідливості; при рівних концентраціях показників перевага віддається речовинам, що мають токсикологічну ознаку шкідливості. Якщо при розрахунку середнього арифметичного використовувалися показники, що виходять за межі звичайного діапазону спостережень (після випадкового викиду забруднюючих речовин), то в тексті має бути примітка.

Розраховане середнє арифметичне кожного з показників порівнюється з їх ГДК. У випадку розчиненого кисню значення ГДК ділиться на середнє значення знайденої концентрації кисню, а для інших показників – навпаки. ІЗВ розраховується за формулою

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (1.1)$$

де  $C_i$  – середня концентрація одного з шести показників якості води;  
ГДК - гранично допустима концентрація кожного з шести показників якості води.

Для розрахунків рекомендовано використовувати значення ГДК<sub>рг</sub> (мг/дм<sup>3</sup>): аміачний азот - 0,39; нітрит азоту - 0,02; нафтопродукти - 0,05; феноли - 0,001.

Оскільки величина БСК є інтегральним показником наявності легкоокислюваної органічної речовини (ГДК для загального БСК становить 3 мг/л відносно), при збільшенні вмісту легкоокислюваної органічної речовини та зменшенні розчиненого кисню, якість води непропорційно знижується, то норми за цими показниками при розрахунку ІЗВ наведені в таблицях 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1

Нормативні значення для БСК<sub>5</sub>

Споживання кисню (БСК <sub>5</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	Норматив, мг/дм <sup>3</sup>
≥ 3	3
3 ≥ 15	2
≥ 15	1

Величину ГДК для розчиненого кисню визначають за табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Нормативні значення розчиненого кисню

Середній вміст розчиненого кисню (C <sub>i</sub> ) <sub>мг/дм<sup>3</sup></sub>	Норматив (ГДК), мг/дм <sup>3</sup>
>6	6
6 > C <sub>i</sub> > 5	12
5 > C <sub>i</sub> > 4	20
4 > C <sub>i</sub> > 3	30
3 > C <sub>i</sub> > 2	40
2 > C <sub>i</sub> > 1	50
1 > C <sub>i</sub> > 0	60

При визначенні ІЗВ можна враховувати і водність. Для цього треба спочатку обчислити коефіцієнт водності річки (*k*), який дорівнює відношенню фактичної середньої (сезонної) витрати (*Q<sub>ф</sub>*) до середньобогаторічної (*Q<sub>сер</sub>*)

$$k = \frac{Q_{\phi}}{Q_{\text{сер}}}. \quad (1.2)$$

Потім отриману величину множимо на коефіцієнт водності.

Для порівняння якості води у різних створах, визначення її динаміки використовують як критерії класи якості води:

I – дуже чиста ( $IЗВ \leq 0,3$ ); II – чиста ( $0,3 < IЗВ < 1$ ); III – помірно забруднена ( $1 < IЗВ < 2,5$ ); IV – забруднена ( $2,5 < IЗВ < 4$ ); V – брудна ( $4 < IЗВ < 6$ ); VI – дуже брудна ( $6 < IЗВ < 10$ ); VII – надзвичайно брудна ( $IЗВ > 10$ ).

1. До першого класу належать води, які найменше постраждали від антропогенного впливу. Значення їх гідрохімічних і гідробіологічних показників близькі до природних значень для конкретного регіону.

2. Води другого класу характеризуються певними змінами від природних, але ці зміни не порушують екологічну рівновагу.

3. До третього класу належать води, що піддаються значному антропогенному впливу, рівень яких близький до межі стійкості екосистеми.

4. Води IV - VII класів - це води з порушеними екологічними параметрами, їх екологічний стан оцінюється як екологічна регресія.

Особливістю картографування оцінки якості за ІЗВ є складання карт на основі спостережень за якістю води у відповідних точках моніторингу. Збір, обробка та розрахунок даних методом дає змогу визначити їх якісну оцінку за невеликою кількістю показників.

### **1.2.2 Метод визначення екологічного індексу якості води**

Інститутом гідробіології АН України [9] розроблена комплексна екологічна класифікація поверхневих вод суші, яка дозволяє оцінити склад і властивості води як середовища існування водних організмів та зміни водних мас під впливом антропогенних факторів. Комплексна екологічна оцінка якості поверхневих вод в Україні має включати всі три блоки показників: за критеріями забруднення компонентами сольового складу; за трофосапробіологічними критеріями (екологічні та санітарні); за критеріями вмісту специфічних речовин токсичної дії. Результати представляються у вигляді єдиної екологічної оцінки, на основі підсумкових висновків трьох блоків. Процедура проведення поглибленого екологічного оцінювання якості поверхневих вод складається з чотирьох послідовних етапів, а саме: етапу групування та обробки вихідних даних;

етапу визначення класу та категорії якості води за індивідуальними показниками; етапу узагальнення оцінок якості води за окремими показниками (вираженими в класах і категоріях) за окремими блоками з визначенням інтегральних значень, класів і категорій якості води; етапу визначення спільної оцінки якості води (визначення класу та категорії). Етап узагальнення оцінок якості води за окремими показниками з визначенням інтегральних значень класів і категорій якості води здійснюється лише на основі аналізу показників у відповідних блоках. Це узагальнення полягає у визначенні середнього та найгіршого значень для трьох блокових індексів, а саме: для індексу забруднення сольовим компонентом ( $I_1$ ), для трофосапробіологічного індексу ( $I_2$ ), для питомої токсичності та радіаційного впливу ( $C$ ). Етапом визначення спільної оцінки якості води для окремого водного об'єкта в цілому або для окремих його частин є розрахунок інтегрального або екологічного індексу ( $I_e$ ).

Екологічна оцінка є невід'ємною умовою екологічного регулювання якості поверхневих вод, його попереднім етапом. Тому при проведенні екологічної експертизи необхідно передбачити порівняння отриманих результатів зі значеннями екологічних нормативів, встановленими для даного водоймища. Це необхідно для аналізу відповідності (або невідповідності) якості води значенням усіх показників, встановлених у результаті екологічного регулювання якості води для конкретного водного об'єкта. Перевага цього методу полягає у врахуванні основних показників гідроблоку. Недоліком цього методу є те, що при розрахунку екологічного індексу не враховується частка кожного блокового індексу, що не відповідає дійсності. Адже на якість води та навколишнього середовища по-різному впливають речовини, які використовуються для розрахунку індексів і коефіцієнтів. Відповідно, самі індекси мають різне значення при розрахунку повної (уніфікованої) інтегральної оцінки якості поверхневих вод.

### **1.2.3 Метод визначення коефіцієнта забруднення води**

Коефіцієнт забруднення води ( $K_3$ ) [5, 9] є узагальненим показником, який характеризується рівнем забруднення за рядом показників якості води, які вимірювалися кілька разів у кількох точках спостереження водних об'єктів. Величина  $K_3$  характеризується кратністю перевищення нормативів ГДК. Будь-яке значення  $K_3$  більше одиниці вказує на

порушення чинних правил. Ідентичність одиниці КЗ свідчить про те, що для даної водойми всі нормативні показники якості води в усіх точках (постах) спостережень у всіх вимірюваннях протягом періоду досліджень відповідають фактичним нормам якості води. Оскільки водойма призначена для кількох видів водокористування, то при розрахунку КЗ необхідно враховувати нормативи, що відповідають найвищим вимогам до якості води. Зазвичай це рибогосподарські стандарти якості води.

Величина КЗ завжди розраховується лише для десяти показників. До них відносяться показники, значення яких вищі за ГДК. Але бувають випадки, коли кількість показників менше десяти. У таких випадках значення формули для інших показників приймаються за одне. Для деяких речовин стандарти передбачають їх повну відсутність у природних умовах. Для кожного з них у формули замість ГДК необхідно підставити значення концентрації, яку можна виявити найбільш чутливим методом вимірювання цієї речовини, тобто найнижчими порогами виявлення. За результатами числових значень КЗ визначають рівні забруднення.

Метод визначення якості води за коефіцієнтом забруднення природних вод дає змогу швидко визначити якість водойми за кількома показниками. КЗ часто використовується комунальними службами для визначення рейтингу якості води малих річок і водосховищ.

#### **1.2.4 Метод визначення індексу евтрофікації**

Важливим елементом оцінювання екологічного стану водойми є оцінювання її трофічного стану. Кількісно ступінь евтрофікації води оцінюють за різними показниками: біомаса та первинна продукція фітопланктону, вміст хлорофілу-а у фітопланктоні; вміст азоту і фосфору; прозорість води; рН; концентрація розчиненого кисню; кількість, біомаса та виробництво бактерій.

Деякі з перерахованих вище показників, наприклад біомаса фітопланктону, чітко характеризують процеси евтрофікації. Однак методи визначення цих показників досить складні. Інші показники – вміст азоту, фосфору, розчиненого кисню, прозорість, рН – визначають стандартними методами, але ці показники не характеризують однозначно процеси евтрофікації. Найважливішим показником евтрофікації води є вміст хлорофілу-а у фітопланктоні. Однак методика визначення цього показника досить проста. Хлорофіл-а є основним фотосинтетичним пігментом, тому

вимірне значення його концентрації у пробі води є репрезентативним показником біомаси водоростей. Для комплексної оцінки евтрофікації поверхневих і морських вод використовується індекс евтрофікації E-TRIX, який враховує не тільки вміст, а й вміст поживних речовин (азот, фосфор) і розчиненого кисню.

Значення індексу E-TRIX для поверхневої або морської води визначає трофічний стан водойми наступним чином: оліготрофний - діапазон значень індексу евтрофікації <4; мезотрофний - діапазон значень індексу евтрофікації 4 - 5; евтрофний - діапазон значень індексу евтрофікації 5 - 6; гіпертрофічний - діапазон значень індексу евтрофікації > 6.

Перевага методу E-TRIX перед багатьма іншими критеріями, за якими також можна оцінити якість води, полягає в тому, що для розрахунків строго використовуються однакові характеристики гідрохімічного та гідробіологічного режиму.

### **1.3 Показники якості води. Нормовані показники**

Норма (лат. norma — дослівно «косинець», у переносному значенні — «правило») — регулятивне правило, яке вказує межі свого застосування; відповідає чомусь типовому або звичайному. Норма — це не застигле явище, вона постійно оновлюється і змінюється: у природі в еволюційному часі (від часу життя покоління організмів, філогенетичної групи і більше); у суспільстві — від часу соціально активного домінування певного покоління (25-30 років) до часу існування конкретного суспільства чи культури.

Екологічні нормативи якості води - науково обґрунтовані кількісні значення показників якості води (гідрофізичних, гідробіологічних, бактеріологічних, специфічних речовин), які відображають природний стан водного об'єкта та цілі діяльності з охорони вод для підвищення або збереження її екологічного благополуччя.

Екологічна оцінка якості вод - віднесення їх до певного класу та категорії відповідно до екологічної класифікації на основі аналізу значень показників (критеріїв) її складу та властивостей з подальшим їх розрахунком та інтеграцією (ручний або автоматизований).

Критерії якості води — екологічні критерії якості води, за якими вода класифікується та оцінюється як складова екосистеми з урахуванням умов її нормального існування. Кількісні значення елементарних гідрофізичних,



гідрохімічних, гідробіологічних, бактеріологічних та питомих показників, а також комплексні кількісні показники на основі інтеграції елементарних характеристик якості води. На основі елементарних та узагальнюючих критеріїв визначаються класи, категорії та показники якості води, сапробності та трофіки, які відображають стан водних екосистем.

Норми якості води - це сукупність встановлених допустимих значень складу і властивостей води водних об'єктів, при яких відсутня шкода здоров'ю населення, забезпечені нормальні умови водокористування та екологічне благополуччя водойми. Для оцінювання екологічного благополуччя водних об'єктів та визначення комплексу водоохоронних заходів встановлюється екологічний норматив якості води, який містить науково обґрунтовані значення концентрацій забруднюючих речовин та показники якості води – фізичні, біологічні, хімічні, радіація. Ступінь забруднення водних об'єктів визначається відповідними категоріями якості води.

Виходячи з відмінності цілей водоспоживання та вимог різних водоспоживачів до якості водних об'єктів існують як гігієнічні, так і екологічні нормативи для одних і тих же хімічних забруднювачів.

Гігієнічні ГДК – це максимальні концентрації речовин, при яких вони не мають прямого чи опосередкованого впливу на здоров'я людини (при впливі на організм людини протягом усього життя), а гігієнічні умови використання води не погіршуються. Гігієнічні норми регулюють вміст забруднюючих речовин лише у тих водоймах, які використовуються для питних і культурних потреб, у тому числі для рекреаційного водокористування, і не по всій довжині водойми чи місць скидання стічних вод, а лише в найближчих пунктах водокористування. Розрізняють дві категорії питного водокористування та культурно-побутового: до першої відноситься використання водних об'єктів як джерел питного водопостачання, а також для водопостачання підприємств промисловості напоїв; до другої категорії - використання водних об'єктів для культурно-побутових потреб населення, відпочинку та спорту.

Нормовані показники, котрі найчастіше використовують для визначення якості поверхневих вод, поділяють на такі:

- 1) кисневий – включає розчинений у воді кисень, біохімічне споживання кисню (БСК), хімічне споживання кисню (ХСК);
- 2) токсикологічний – включає амонійний азот, нітриту та важкі метали;

3) санітарно-токсикологічний – включає вміст нітратів, важких металів і мінералізацію зі всіма її складниками;

4) рибогосподарський – включає нафтопродукти, феноли й отрутохімікати.

Крім того, для характеристики якості води використовують такі показники: жорсткість (за рахунок вмісту солей лужноземельних металів); лужність (за рахунок вмісту аніонів слабких кислот); агресивність; (здатність розчинених у воді речовин руйнувати метали, бетон, вапняні матеріали).

Рівень забруднення поверхневих вод оцінюється наступним чином: за частотою виявлених перевищень гранично допустимих концентрацій (ГДК); частота перевищення ГДК для окремих компонентів хімічного складу забруднюючих речовин; повторюваність (%) забруднюючих речовин або показників забруднення, виявлених у воді за певний проміжок часу (день, декада, місяць, сезон, рік).

Визначення тенденції використання якості поверхневих вод: порівняння максимальних, мінімальних та середніх оцінок за окремі гідрологічні сезони; форми концентраційно-частотних кривих; форми вбудованих кривих розподілу концентрації; результати класифікації якості поверхневих вод.

Для кожного виду водокористування (питного, культурного, побутового, рибогосподарського, технічного) висуваються вимоги до якості води. У цьому контексті важливим є нормування, особливо при визначенні параметрів індикаторів для конкретних видів водокористування.

Відповідно до Водного кодексу України оцінка якості води здійснюється на основі нормативів екологічної безпеки водокористувачів та екологічних норм якості води водних об'єктів. Якість води, що використовується для господарських, питних та рибогосподарських потреб, оцінюється на основі чинних нормативних актів.

Комунальне водокористування включає використання водних об'єктів для купання, спорту та відпочинку. Господарсько-питне використання води включає використання водних об'єктів як джерел побутового водопостачання та для водопостачання підприємств харчової промисловості.

Рибогосподарське водокористування включає використання водойм як місць проживання риб та інших водних організмів. Рибогосподарські

водні об'єкти класифікуються на категорії: вищої, першої та другої категорій.

Усі речовини за характером їх негативного впливу поділяють на групи. Кожна група об'єднує речовини з однаковою граничною характеристикою, що називається «характерною ознакою». Одна і та ж речовина в різних концентраціях може проявляти різні ознаки шкідливості. Ознака шкідливості, яка виявляється при найменшій концентрації речовини, називається «лімітуючою ознакою шкідливості» (ЛОШ).

У водних об'єктах комунально-побутового призначення враховують три ЛОШ: органолептична, загальносанітарна, санітарно-токсикологічна. У водоймах рибогосподарського водокористування, крім перерахованих, є ще дві ЛОШ: токсикологічна і рибогосподарська.

Процес оцінювання якості води враховує принцип адитивності – односторонньої дії.

З огляду на це, оцінювання якості води з точки зору екологічної безпеки водокористування виглядає наступним чином.

Водні об'єкти вважаються придатними для комунально-побутового та госпитального водокористування, якщо одночасно виконуються такі умови:

- не порушуються загальні вимоги до складу і властивостей води для відповідної категорії водокористування;
- для речовин, які належать до 3-го та 4-го класів шкідливості, виконується умова  $C \leq ГДК$ , де  $c$  – концентрація речовини у водному об'єкті;
- для речовин, які належать до 1-го та 2-го класів шкідливості, виконується умова  $\sum C_i / ГДК_i \leq 1$ .

Водні об'єкти вважаються придатними для рибогосподарського водокористування, якщо одночасно виконуються умови:

- не порушуються загальні вимоги до складу і властивостей води для відповідної категорії водокористування;
- для речовин, які належать до однієї ЛОШ, виконується умова  $\sum C_i / ГДК_i \leq 1$ .

Робота промислових підприємств пов'язана зі споживанням води. Вода використовується у технологічних і допоміжних процесах або входить до складу продукції. При цьому утворюються стічні води, які підлягають скиду в водні об'єкти.

Стічні води можна скидати у водні об'єкти за умови дотримання гігієнічних вимог стосовно водного об'єкта в залежності від виду водокористування.

Відповідно до «Правил охорони поверхневих вод» всі водні об'єкти поділяються на два види водокористування, які, в свою чергу, поділяються на категорії (табл.1.3)

Т а б л и ц я 1.3

Водні об'єкти	
І вид — господарсько-питне і культурно-побутове водокористування	ІІ вид — рибогосподарського водокористування
І категорія — водні об'єкти, що використовуються в якості джерел господарсько-питного водопостачання, а також для водопостачання підприємств харчової промисловості	Вища категорія - місця розташування нерестовищ, масового нагулу і зимувальних ям особливо цінних і цінних видів риб та інших промислових водних організмів
ІІ категорія - водні об'єкти, що використовуються для купання, заняття спортом і відпочинку населення	І категорія - водні об'єкти, що використовуються для збереження та відтворення цінних видів риб, що володіють високою чутливістю до вмісту кисню
	ІІ категорія - водні об'єкти, що використовуються для інших рибо- господарських цілей

При скиданні стічних вод у водні об'єкти норми якості води водного об'єкта в розрахунковому створі, розташованому нижче випуску стічних вод, повинні відповідати санітарним вимогам залежно від виду водокористування.

Стандарти якості води для водних об'єктів включають:

- загальні вимоги до складу та властивостей води водних об'єктів залежно від виду водокористування;
- перелік ГДК стандартизованих речовин у воді водних об'єктів для різних видів водокористування.

Речовини, концентрація яких змінюється у воді водного об'єкта тільки шляхом розбавлення, називаються консервативними.

Речовини, концентрація яких змінюється як під дією розведення, так і внаслідок протікання різних хімічних, фізико-хімічних і біологічних процесів - неконсервативні.

Сукупність розведення і самоочищення становить незаражуючу здатність водного об'єкта.

Уявімо ситуацію, коли промислове підприємство (ПП) скидає стічні води після технологічного процесу (рис. 1.2).

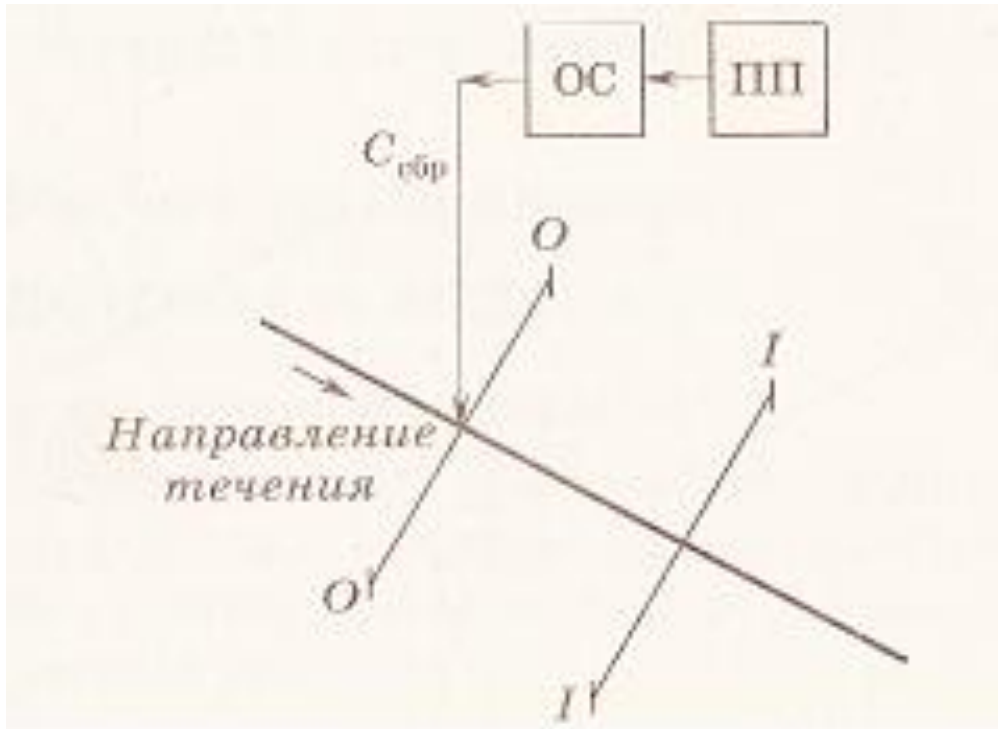


Рис. 1.2. Ситуаційна схема для розрахунку умов скидання стічних вод:  
 О - О - нульовий створ; I - I - розрахунковий створ; ПП - промислове підприємство; ОС - очисна споруда;  $C_{обр}$  - концентрація речовини у стічній воді

При скиданні стічних вод у водні об'єкти господарсько-питного та культурно-побутового водокористування розрахунковий створ повинен встановлюватися на водотоках в одному кілометрі вище найближчого за течією пункту водокористування (водозабір для господарсько-питного водопостачання, місця купання, організованого відпочинку, території населеного пункту та т. п.), а для непроточних водойм і водосховищ - в одному кілометрі в обидва боки від пункту водокористування.

При скиданні стічних вод у водні об'єкти рибогосподарського водокористування розрахунковий створ визначається в кожному конкретному випадку відповідним департаментом за поданням органів Держкомприроди, але не далі ніж за 500 м від місця скидання стічних вод.

Таким чином, для різних видів водокористування якість води водного об'єкта при скиданні стічних вод повинно відповідати в розрахунковому створі нормам (рис. 1.2, а, б).

Таким чином, для різних видів водокористування якість води водного об'єкта при скиданні в нього стічних вод має відповідати нормам ГДК (рис. 1.3).

При скиданні стічних вод у водні об'єкти санітарний стан водного об'єкта на території населеного пункту вважається задовільним при дотриманні

$$\frac{C_{p^i}}{C_{ГДК}^i} + \dots + \frac{C_{p^i}}{C_{ГДК}^i} \leq 1$$

наступної умови: (1.2)

де  $C_p$  – концентрація  $i$ -ої речовини в розрахунковому створі за умови одночасної присутності  $i$  речовин, що відносяться до одного і того ж ЛОШ;  $i - 1, 2, \dots$ ;

$ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $z$ -ої речовини.

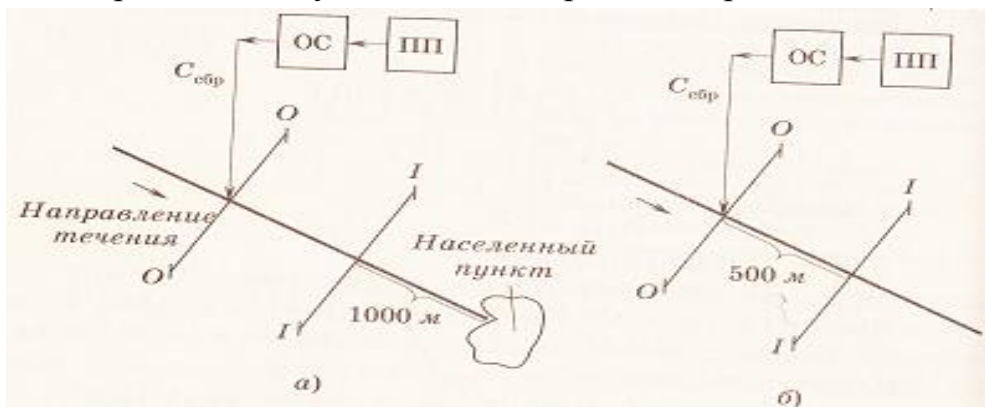


Рис. 1.3. Ситуаційна схема для водотоку:

а) культурно-побутового водокористування; б) рибогосподарського водокористування

Основний механізм зменшення концентрації забруднюючої речовини при скиданні стічних вод у водні об'єкти - розведення. У практиці розрахунків використовують поняття кратність розведення. Кратність розведення у водотоці в розрахунковому створі виражається залежністю:

$$n = \frac{\gamma Q + q}{q},$$

(1.3)

де  $\gamma$  — коефіцієнт змішування, що показує, яка частина води водотоку бере участь у розведенні;  $q$  - максимальна витрата стічних вод,  $м^3 / с$ ;  $Q$  - розрахунковий мінімальний витрата води водотоку в контрольному створі,  $м^3 / с$ .

При визначенні кратності розведення стічних (зворотних) вод водою водотоку розрахункова витрата  $Q$  приймається за таких умов:

- для незарегульованих водотоків - розрахунковий мінімальний середньомісячний витрата води 95% -й забезпеченості;

- для зарегульованих водотоків - встановлена гарантована витрата нижче греблі (санітарний пропуск) з урахуванням виключення можливих зворотних течій у нижньому б'єфі.

Розрахунок розведення у водотоках та водоймах заснований на використанні методу **Фролова-Родзиллера**. Цей метод отримав найбільше поширення і застосовується для великих і середніх водотоків. У відповідності з цим методом визначається коефіцієнт змішування:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha^3 L}}{1 + \frac{Q}{q} e^{-\alpha^3 L}}, \quad (1.4)$$

де  $Q$  — середньомісячна витрата води водотоку 95% -й забезпеченості,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;

$q$  – максимальна витрата стічних вод, що підлягають скиду в водотік,  $\text{м}^3 / \text{с}$ ;

$L$  – відстань по фарватеру водотоку від місця випуску до розрахункового створу,  $\text{м}$ ;

$\alpha$  – коефіцієнт, залежить від гідравлічних умов змішування:

$$\alpha = \zeta \varphi \sqrt[3]{\frac{D}{q}}, \quad (1.5)$$

де  $\zeta$  – коефіцієнт, що залежить від розташування випуску стічних вод у водотік: при випуску біля берега  $\zeta = 1$ , при випуску в фарватер  $\zeta = 1,5$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт звивистості водотоку, т.т. ставлення відстані між розглянутими створами водотоку по фарватеру до відстані по прямій;

$D$  – коефіцієнт турбулентної дифузії.

Для рівнинних річок і спрощених розрахунків коефіцієнт турбулентної дифузії знаходять за формулою М. В. Потапова:

$$D = \frac{V_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{200}, \quad (1.6)$$

де  $V_{\text{ср}}$  – середня швидкість течії водотоку, на ділянці між нульовим і розрахунковим створами,  $\text{м} / \text{с}$ ;

$H_{\text{ср}}$  - середня глибина на цій ділянці,  $\text{м}$ .

Для детальних розрахунків  $D$  визначається за такою формулою:

$$D = \frac{g V_{\text{ср}} \cdot H_{\text{ср}}}{M C_{\text{ш}}}, \quad (1.7)$$

де  $g$  — прискорення вільного падіння,  $m / c^2$ ;

$C_{ш}$  - коефіцієнт Шезі,  $m^{1/2} / c$ ,

$M$  - коефіцієнт, залежить від  $C_{ш}$ .

За умови:  $10 < C_{ш} < 60$ ;  $M = 0,7C_{ш} + 6$ , при  $C_{ш} \geq 60 M = 48 = const.$

При змінних гідравлічних умовах на окремих ділянках поширення стічних вод до розрахункового створу коефіцієнт турбулентної дифузії визначається для кожної ділянки за виразом (1.6), а потім для всієї розрахункової довжини за співвідношенням:

$$D = \frac{D_1 L_1 + D_2 L_2 + \dots + D_n L_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n}, \quad (1.8)$$

де  $D_1, D_2, \dots, D_n$  — коефіцієнти турбулентної дифузії окремих ділянок,  $L_1, L_2, \dots, L_n$  — протяжність окремих ділянок річки, що характеризуються однорідністю турбулентної дифузії.

#### 1.4 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод

При випуску стічних вод у водні об'єкти необхідно, щоб вода водного об'єкта в розрахунковому створі задовільняла санітарним вимогам відповідно до нерівності (1.1). Для досягнення даної умови необхідно заздалегідь розрахувати граничні концентрації забруднюючих речовин у стічних водах, з якими ця вода може бути скинута у водний об'єкт.

Основні методи розрахунку граничних концентрацій очищених стічних вод наведені нижче.

##### 1.4.1 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за вмістом завислих речовин

Концентрацію завислих речовин в очищеній стічній воді, дозволеної до скидання у водний об'єкт, визначаються з виразу:

$$C_{оч} = K_{разр} \left( \frac{1Q}{q} + 1 \right) + C_{ф}, \quad (1.9)$$

де  $C_{ф}$  — концентрація завислих речовин у воді водного об'єкта до скиду стічних вод,  $mg / l$ ;

$K_{разр}$  — дозволене санітарними нормами збільшення вмісту завислих речовин у воді водного об'єкта в розрахунковому створі.



Після розрахунку необхідної концентрації завислих речовин в очищеній стічній воді ( $C_{оч}$ ) і маючи дані щодо концентрації завислих речовин в стічній воді, що надходить на очистку ( $C_{ст}$ ), визначають необхідну ефективність очищення стічних вод за завислими речовинами:

$$\mathcal{E}_{ВЗВ} = \frac{C_{ст} - C_{оч}}{C_{ст}} \cdot 100\% \quad (1.10)$$

#### 1.4.2 Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за вмістом розчиненого кисню

Вміст розчиненого кисню у водному об'єкті в результаті скидання в нього стічних вод не повинно бути менше 4 мг / дм<sup>3</sup> або 6 мг / дм<sup>3</sup> в залежності від виду водокористування та пори року.

Розрахунок ведуть за БПК<sub>полн</sub> в очищених стічних водах з умови збереження розчиненого кисню:

$$L_{ст\ полн} = \frac{\gamma Q_{сут}}{0,4 q_{сут}} (O^в - 0,4 L_{полн}^в - O) - \frac{O}{0,4}, \quad (1.11)$$

де  $Q_{сут}$  - витрата води водотоку, м<sup>3</sup>/сут.;  $\gamma$  - коефіцієнт змішування;  $O^в$  - вміст розчиненого кисню у водотоці до місця випуску стічних вод, г / м<sup>3</sup>;  $Q_{доб}$  - витрата зворотних вод, м<sup>3</sup> / добу;  $L_{полн}$  - повне біохімічне споживання кисню водою водотоку, г / м<sup>3</sup>;  $L$  - повне біохімічне споживання кисню стічною водою, допустимої до скиду, г / м<sup>3</sup>;  $O$  - мінімальний вміст розчиненого кисню водного об'єкта, що приймається рівним 4 або 6 г / м<sup>3</sup>; 0,4 - коефіцієнт для перерахунку БПК<sub>полн</sub> в БПК<sub>2</sub>.

#### 1.4.3. Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод за БПК<sub>полн</sub> суміші води водного об'єкта і стічних вод

При скиданні стічних вод у водні об'єкти, зниження концентрації органічних речовин відбувається як за рахунок розведення, так і внаслідок процесів самоочищення. При самоочищенні швидкість зміни БПК пропорційна кількості кисню, необхідного для біологічного окислення органічних речовин. Розрахунок ведуть за величиною БПК<sub>полн</sub> стічних вод, допустимих для відведення у водні об'єкти:

$$L_{ст} = \frac{\gamma Q}{q \cdot 10^{-k_{ст} t}} (L_{пдк} - L_в \cdot 10^{-k_в t}) + \frac{L_{пдк}}{10^{-k_{ст} t}}, \quad (1.12)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт змішування;  
 $Q$  – витрата води у водотоці, м<sup>3</sup>/с;

$q$  – витрата стічних вод,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$k_{\text{ст}}, k_{\text{в}}$  – константи швидкості споживання кисню відповідно стічною водою і водою водного об'єкта;

$L_{\text{гдж}}$  – значення допустимої концентрації БПК<sub>полн</sub> суміші стічних вод і води водного об'єкта в розрахунковому створі,  $\text{мг}/\text{дм}^3$ ;

$L_{\text{в}}$  – БПК<sub>полн</sub> води водного об'єкта до місця випуску стічних вод,  $\text{дм}^3 / \text{л}$ ;

$t$  – тривалість переміщення води від місця скидання до розрахункового створу, діб.

#### 1.4.4. Розрахунок допустимої температури стічних вод перед скиданням їх у водні об'єкти

Розрахунок проводять виходячи з умов, що температура води водного об'єкта не повинна підвищуватися більш величини, обумовленої нормативами залежно від виду водокористування.

Температура стічних вод, дозволених до скидання, повинна задовольняти умові:

$$T_{\text{ст}} \leq n \cdot T_{\text{доп}} + T_{\text{в}}, \quad (1.13)$$

де  $T_{\text{доп}}$  – допустиме підвищення температури;

$T_{\text{в}}$  – температура водного об'єкта до місця скидання стічних вод.

#### 1.4.5. Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод по шкідливих речовин

Санітарний стан водного об'єкта в результаті скидання стічних вод вважається задовільним, якщо речовини, що входять в певну ЛОШ, будуть міститися в концентраціях, які відповідають умові (1.1). З (1.1) випливає, що кожне забруднююча речовина, що входить до конкретної ЛОШ, за умови одночасної присутності і-речовин, може бути присутньою в розрахунковому створі в концентрації, не більше ніж:

$$C'_{\text{р.с}} \leq C_{\text{пдж}}^z \left( 1 - \sum_1^z \frac{C_{\text{р.с}}^z}{C_{\text{пдж}}^i} \right), \quad (1.13)$$

де  $C'_{\text{р.с}}$  – значення концентрації шкідливої речовини в розрахунковому створі за умови одночасної присутності  $z$  речовин з однаковим ЛПВ;

$C_{\text{р.с}}^z$  – фактична або розрахункова концентрація  $z$ -ої речовини в розрахунковому створі;

$C_{\text{пдж}}^z$  – гранично допустима концентрація  $z$ -ої речовини.

Концентрацію кожної з  $z$ -их речовин в очищених стічних водах, за умови дотримання нерівності (1.1), можна визначити з виразу:

$$C_{\text{оч}}^z \leq n (C_{\text{р.с}}^z - C_{\text{в}}^z) - C_{\text{в}}^z, \quad (1.14)$$

де  $C_{\text{оч}}^z$  – концентрація  $z$ -ої речовини в очищеній воді, перед скиданням у водний об'єкт, за умови одночасної присутності речовин з однаковим ЛОШ;

$C_{\text{р.с}}^z$  – концентрація  $i$ -ої речовини в розрахунковому створі;

$C_{\text{в}}^z$  – концентрація  $i$ -ої речовини у водному об'єкті до місця скидання стічних вод;

$n$  – кратність розведення стічних вод.

Використовуючи рівняння ефективності очищення, знайдемо значення  $C_{\text{оч}}$  для кожної з речовин, що відносяться до однієї групи ЛОШ:

$$C_{\text{оч}}^z = \left(1 - \frac{\Theta_z}{100}\right) C_{\text{ст}}^z, \quad (1.15)$$

де  $C_{\text{ст}}^z$  – концентрація  $i$ -ої речовини в стічній воді, що надходить на очищення;

$E_i$  – ефективність очищення  $i$ -ої речовини.

Прирівнюючи праві частини рівнянь (1.14, 1.15), визначимо максимально допустиму концентрацію  $i$ -ої речовини в розрахунковому створі:

$$C_{\text{р.с}}^z = \frac{1}{n} \left(1 - \frac{\Theta_z}{100}\right) C_{\text{ст}}^z + \frac{n-1}{n} C_{\text{в}}^z. \quad (1.16)$$

Розрахувавши значення концентрації  $C_{\text{р.с}}$  для кожної з речовин, що входить в певну ЛОШ, і підставивши у вираз (1.1), отримаємо розрахункову формулу для визначення ступеня очищення:

$$\frac{1}{n} \sum_1^z \left(1 - \frac{\Theta_z}{100}\right) \frac{C_{\text{ст}}^z}{C_{\text{ПДК}}^z} + \frac{n-1}{n} \sum_1^z \frac{C_{\text{в}}^z}{C_{\text{ПДК}}^z} \leq 1. \quad (1.17)$$

Практика експлуатації очисних споруд показує, що речовини, що входять до певної ЛОШ, очищаються не однаково. Тому визначення ефективності очищення повинно бути виконано для речовини, які найбільш важко вилучаються зі стічних вод. Інші компоненти, які більш легко вилучаються, будуть відповідно мати більший ефект очищення.

Ефективність очищення речовини визначається з

$$\Theta_z = \left( 1 - \frac{1 - \frac{n-1}{n} \sum_{i=1}^z \frac{C_{\text{в}}^z}{C_{\text{ГДК}}^z}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^z \frac{C_{\text{ст}}^z}{C_{\text{ГДК}}^z}} \right) \cdot 100.$$

виразу:

(1.18)

### 1.5 Розробка нормативів гранично допустимих скидів (ГДС) шкідливих речовин у поверхневі водні об'єкти

Однією з гострих проблем природокористування є проблема екологічного регулювання. Вирішення цієї проблеми могло б полягати в реалізації різноманітних підходів, зокрема – обмеження скидів забруднювальних речовин у водні об'єкти на основі обов'язкового дотримання стандартів якості води.

З цією метою правова та організаційна основа розрахунку – встановлення ГДС речовин у водному об'єкті.

Гранично допустимий скид (ГДС) речовин – показник максимально допустимої в одиницю часу кількості (маси) речовини, що відводиться із зворотними водами у поверхневі та морські води, який з урахуванням встановлених обмежень на скид цієї речовини від інших джерел забруднення гарантує дотримання норм її вмісту в заданих контрольних точках.

Розробляються та затверджуються значення ГДС для діючих та запланованих водокористувачів.

Норми гранично допустимих скидів шкідливих речовин у водні об'єкти, що утворюються або використовуються у виробничо-господарській діяльності водокористувачів, встановлюються для кожного скиду стічних вод, виходячи з умов недопустимості перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у встановлених контрольних створах водного об'єкту з урахуванням його цільового використання, а за межами ГДК у контрольній зоні - на підставі умов збереження (а не погіршення) складу та властивостей води у водних об'єктах, що формується під впливом факторів.

Розроблені стандарти ГДС узгоджуються водокористувачами з територіальними (регіональними, басейновими) підрозділами органів виконавчої влади, спеціально уповноваженими у сферах:

- охорона навколишнього середовища;
- санітарно-епідеміологічний нагляд;
- використання та охорона рибних ресурсів.

Затверджені стандарти ГДС діють протягом строку, встановленого зазначеними вище територіальними (регіональними, басейновими) підрозділами органів виконавчої влади.

### **1.6 Умови випуску виробничих стічних вод у систему міської каналізації та водні об'єкти**

До каналізації населених пунктів можуть прийматися промислові стічні води, які не перешкоджають роботі каналізаційних мереж і споруд, забезпечують безпеку їх експлуатації та можуть очищатися разом із стічними водами населених пунктів.

Забороняється скид промислових стічних вод промислових підприємств у каналізацію населених пунктів, що містить:

- речовини, які можуть закупорювати труби, колодязі, сітки або осідати на стінках труб, колодязів, сіток (вапняк, вапно, пісок, гіпс, металева стружка тощо);
- речовини, що руйнівню впливають на матеріали труб і каналізаційні конструкції;
- шкідливі речовини в концентраціях, які унеможливають біологічному очищенню стічних вод;
- небезпечні бактеріальні забруднення;
- нерозчинні масла, смоли та мазут;
- зважені та висхідні речовини в концентраціях понад 500 мг/л;
- речовини, для яких не встановлені гранично допустимі концентрації (ГДК) у воді водойм, призначених для споживання, культури, побуту та рибальства.

Також забороняється скидати в каналізаційну мережу населених пунктів кислоти, горючі суміші, токсичні та розчинені газоподібні речовини (зокрема розчинники: бензин, діетиловий ефір, дихлорметан, бензол тощо), які можуть утворювати отруйні гази в стічних водах (синильна кислота, леткі ароматичні вуглеводні тощо), інші вибухонебезпечні та токсичні суміші.

У системах водовідведення населених пунктів не допускається об'єднання промислових стічних вод, взаємодія яких може призвести до

утворення емульсій, токсичних або вибухонебезпечних газів, а також великої кількості нерозчинних речовин (наприклад, стічні води, що містять кальцій або розчини солей магнію та лужних речовин; сода).

Скид промислових стічних вод в каналізаційну мережу повинен здійснюватися через водостоки з наявністю пристрою контрольного колодязя, розташованого за межами підприємства.

Промислові точки повинні бути обладнані пристроями для постійного контролю за витратою та якістю стічних вод.

Відповідно до правил прийому, водоканали встановлюють для кожного конкретного підприємства режим та норми скидання забруднень у каналізацію населеного пункту. Ці стандарти встановлюють, виходячи з гранично допустимого скиду (ГДС) стічних вод у водний об'єкт, ГДК речовин, що надходять на біологічні очисні споруди, ефективності очищення, а також ГДК забруднювальних речовин у воді господарсько-питного та рибогосподарського користування.

Якщо кількість і склад виробничих та інших стічних вод протягом доби істотно змінюється, промислові підприємства встановлюють спеціальні резервуари - усереднювачі, які забезпечують відносно рівномірну схему скидання промислових стічних вод протягом доби. Промислові підприємства повинні постійно контролювати кількість і склад промислових стічних вод, що скидаються в каналізацію населеного пункту. Контроль здійснюється шляхом аналізу складу стічних вод до і після комплексу локальних очисних споруд на контрольних ділянках (у тому числі за відсутності місцевих очисних споруд), а також вимірювання кількості стічних вод, що скидаються на контрольні майданчики.

Останніми роками спостерігається певне зростання промислового виробництва, що, з одного боку, призводить до пожвавлення виробництва, але, з іншого боку, стримується його високим екологічним ризиком. Для зниження екологічних ризиків виробництва слід використовувати переробні потужності компанії. Однак, крім об'єктивних причин (застарілі технології очищення, погане обладнання тощо), існують і суб'єктивні причини неефективності природоохоронних заходів, основними з яких є невинуватене використання різноманітних переліків ГДК. На протязі усієї господарсько-побутової каналізації будь-якого міста є три точки, в яких до стічних вод повинні застосовуватися різні переліки ГДК (рис. 1.4):

1 – на виході з підприємства – гранична концентрація шкідливих речовин у стічних водах, які приймаються у систему міської каналізації;

2 – перед попаданням на міські станції очищення – допустима концентрація шкідливих речовин у стічних водах, що приймаються на біологічне очищення,

3 – в створі скиду стічних вод у природну водойму відповідно до його категорії - або ГДК шкідливих речовин у воді водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового призначення, або ГДК у воді водних об'єктів рибогосподарського призначення (ГДК<sub>РГ</sub>).

Розглянемо застосування різних переліків ГДК важких металів у стічних водах на прикладі м. В. (рис. 1.4).

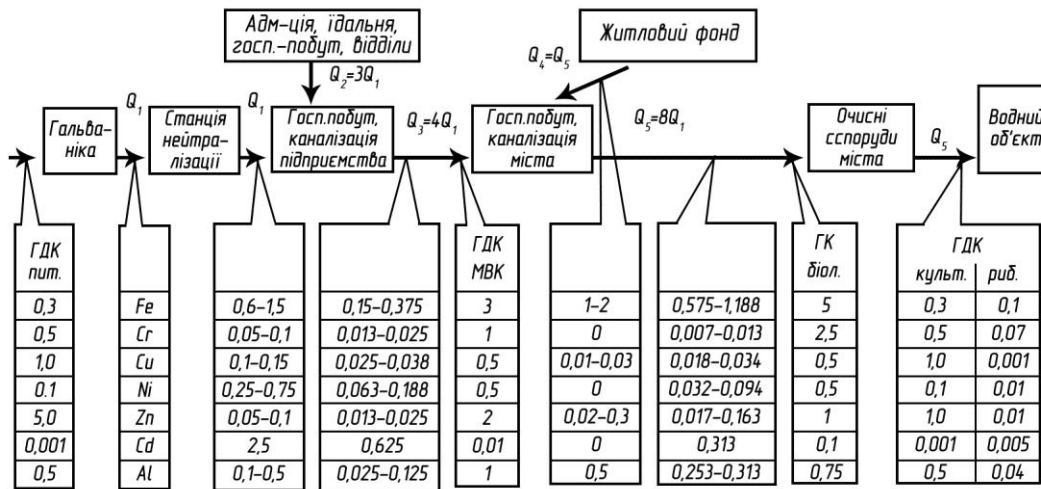


Рис. 1.4 Схема зміни концентрації іонів важких металів у стічних водах від гальванічного цеху до водного об'єкта (Q – обсяг стічних вод).

На підприємстві стічні води гальванічного виробництва ( $Q_1$ ), що містять іони важких металів, піддаються реагентному очищенню на станції нейтралізації, в результаті чого концентрація іонів важких металів досягає значень, зазначених у таблиці 1. Після очищення стічні води гальванічного виробництва ( $Q_1$ ) піддаються розведенню господарсько-побутовими стоками ( $Q_2$ ) від адміністративних, господарсько-побутових та інших підрозділів підприємства, що не забруднюють стоки іонами важких металів. Як правило, обсяг водоспоживання (водовідведення) гальванічного виробництва становить близько 25% від загального водоспоживання (водовідведення) підприємства ( $Q_3$ ). Отже, концентрація іонів важких металів на виході з підприємства в 4 рази нижча за їх концентрації в гальванічних стоках, які пройшли очисні споруди. При нормальній (проектній) ефективності роботи очисних споруд реальна концентрація важких металів у господарсько-побутової каналізації на виході з підприємства ( $Q_3$ ) становитиме:  $Fe^{2+}$  0,075-0,250 мг / л,  $Fe^{3+}$  0,075-

0,125 мг / л, ( $\text{Fe}_{\text{заг.}}$  0,150-0,375 мг / л),  $\text{Cr}^{3+}$  0,013-0,025 мг / л,  $\text{Cu}^{2+}$  0,025-0,038 мг / л,  $\text{Ni}^{2+}$  0,063-0,188 мг / л,  $\text{Zn}^{2+}$  0,013-0,025 мг / л,  $\text{Cd}^{2+}$  0,625 мг / л,  $\text{Al}^{3+}$  0,025-0,125 мг/л.

Згідно з «Правилами прийому виробничих стічних вод у міську каналізацію (тимчасовим)» водоканал установлює такі граничні концентрації важких металів у стічних водах, які приймаються у систему міської каналізації:  $\text{Fe}_{\text{заг.}}$  3,0 мг / л;  $\text{Cr}^{3+}$  1,0 мг / л;  $\text{Cu}^{2+}$  0,5 мг / л;  $\text{Ni}^{2+}$  0,5 мг / л;  $\text{Zn}^{2+}$  2,0 мг / л;  $\text{Cd}^{2+}$  0,01 мг / л;  $\text{Al}^{3+}$  1,0 мг / л.

Таким чином, стічні води, що надходять з підприємств у міську господарсько-побутову каналізацію при нормальній (проектній) ефективності роботи очисних споруд з очищення стічних вод гальванічного виробництва, задовольняють вимоги ГДК (за винятком кадмію), встановлюються водоканалом. Зниження концентрації кадмію в стічних водах підприємств може досягатися за рахунок обмеження застосування кадміювання. У міській господарсько-побутової каналізації стічні води підприємств ( $Q_3$ ) змішуються з побутовими стоками від житлового фонду міста ( $Q_4$ ), в яких можливі концентрації важких металів становлять такі величини:  $\text{Fe}_{\text{заг.}}$  1-2 мг / л;  $\text{Cr}^{3+}$  0 мг / л;  $\text{Cu}^{2+}$  0,01-0,03 мг / л;  $\text{Ni}^{2+}$  0 мг / л;  $\text{Zn}^{2+}$  0,02-0,3 мг / л;  $\text{Cd}^{2+}$  0 мг / л;  $\text{Al}^{3+}$  0,5 мг / л [4]. За умови, що добовий обсяг виробничих стічних вод максимально може досягати 50% від загальної витрати стічних вод міста, концентрація важких металів у змішаних стоках становить не більше ніж:  $\text{Fe}_{\text{заг.}}$  – 0,575-1,188 мг / л;  $\text{Cr}^{3+}$  - 0,007-0,013 мг / л;  $\text{Cu}^{2+}$  - 0,018-0,034 мг / л;  $\text{Ni}^{2+}$  - 0,032-0,094 мг / л;  $\text{Zn}^{2+}$  - 0,017-0,163 мг / л;  $\text{Cd}^{2+}$  - 0,313 мг / л ;  $\text{Al}^{3+}$  - 0,253-0,313 мг / л.

Змішані стоки ( $Q_5$ ) з такою концентрацією важких металів спрямовуються на міські станції біологічної очистки. Згідно з «Правилами прийому виробничих вод у системи каналізації населених пунктів» [4] допустима концентрація важких металів у стічних водах, що приймаються на біологічне очищення, становить:  $\text{Fe}_{\text{заг.}}$  5,0 мг / л;  $\text{Cr}^{3+}$  2,5 мг / л;  $\text{Cu}^{2+}$  0,5 мг / л;  $\text{Ni}^{2+}$  0,5 мг / л;  $\text{Zn}^{2+}$  1,0 мг / л;  $\text{Cd}^{2+}$  0,1 мг / л;  $\text{Al}^{3+}$  0,75 мг / л. Таким чином, міські стічні води, які одержують від змішування виробничих і побутових стоків, задовольняють перелік допустимих концентрацій важких металів (крім кадмію) для біологічного очищення. Практика показала, що в процесі біологічного очищення стоків відбувається зниження концентрації іонів важких металів (на 40-80 %) за рахунок їх адсорбції активним мулом. Але навіть без урахування цього міські стоки



(Q<sub>5</sub>), що містять промислові та побутові стічні води, за концентрацією іонів важких металів задовільняють вимоги переліку ГДК забруднюючих речовин (крім заліза і кадмію) у воді об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового призначення. Застосування до міських стічних вод вимог переліку ГДК культурно-побутового призначення має логічну правоту, оснований на тезі: «стоки повинні контролюватися за таким же переліком ГДК, за яким контролюється вода, що надходить на підприємства і в житловий сектор». До стоків, які скидаються у водні об'єкти, і навіть до стоків підприємств, які надходять у міську каналізацію, повсюдно застосовують вимоги переліку ГДК для рибогосподарських водойм, що фактично робить неможливим скидати господарську-питну стічну воду без очищення. Абсурдність вимог очищати стічні води підприємств до чистоти більш глибоко, ніж чистота питної води, навряд чи може викликати сумніви. Проте сьогодні всі вимоги до підприємств щодо чистоти стоків фактично (хоча і в дещо завуальованій формі) зводяться до того, щоб стоки були значно чистіші, ніж вода, яка надходить на підприємство. Все це говорить про те, що необхідно суттєво змінити систему управління якістю вод та водними ресурсами на державному й регіональному рівнях, а також водне законодавство.

## РОЗДІЛ 2

### ВИКОРИСТАННЯ ВОДИ В ПРОМИСЛОВОСТІ

#### *2.1 Вода в промисловості*

У промисловості воду використовують як сировину і джерело енергії, як хладагент, розчинник, екстрактор, для транспортування сировини.

Загальна кількість природної води на Землі становить 1386 млн. куб. км, з них кількість прісної води - 35 млн. куб. км, або близько 2,5%. Обсяг споживання прісної води у світі досягає 3900 млрд м<sup>3</sup>/рік. Приблизно половина цієї кількості споживається безповоротно, а інша половина перетворюється на стічні води.

За ступенем мінералізації (в г/л) воду поділяють на: м'яку (з вмістом солі <1); фізіологічний розчин (1 ... 10); солоні (10 ... 50) і розсоли (> 50). У свою чергу, м'яку воду поділяють на води з низькою мінералізацією (до 200 мг / л), середньою мінералізацією (200 ... 500 мг / л) і високою мінералізацією (500 ... 1000 мг / л). За переважаючим аніоном усі води поділяють на гідрокарбонатні, сульфатні та хлоридні. Жорсткість природних вод обумовлена наявністю в них солей кальцію і магнію і виражається концентрацією іонів Ca<sup>2+</sup> і Mg<sup>2+</sup> в ммоль екв/л. Розрізняють карбонатну і некарбонатну загальну жорсткість. Загальна жорсткість - це сума двох жорсткостей: карбонатної - пов'язаної з наявністю у воді гідрокарбонатів кальцію і магнію, і некарбонатної - сульфатів, хлоридів, нітратів кальцію і магнію. Щільність чистої води при 15°C і атмосферному тиску 999 г/м<sup>3</sup>. Зі збільшенням концентрації домішок щільність води збільшується. Поверхневий натяг води при 18 °C становить 73 мН / м, при 100 ° C - 52,5 мН / м. Теплоємність води при 0°C становить 4180 Дж/(кг°C). Теплота пароутворення при атмосферному тиску і при температурі 100°C становить 2250 кДж/кг.

Вода - слабкий провідник електричного струму, питома електропровідність при 18 °C дорівнює  $1,41 \cdot 10^{-8}$  Ом. див. Природну воду, що піддається антропогенному забрудненню, називають денатурованою або природно антропогенною.

Воду, яка використовується в промисловості, поділяють на охолоджуючу, технологічну та енергетичну. У промисловості на

охолодження рідких і газоподібних продуктів в теплообмінниках витрачається 65 ... 80% витрати води. У цих випадках вода не контактує з матеріальними потоками і не забруднюється, а лише нагрівається. Технологічну воду поділяють на розчинну, промивну та реакційну. Розчинна вода використовується для розчинення, при збагаченні та переробці корисних копалин, гідравлічному транспортуванні продуктів і промислових відходів; мийні - для миття газоподібних (поглинання), рідких (екстракція) і твердих продуктів і виробів; реакційна - у складі реагентів, а також при перегонці та інших процесах.

Технічна вода безпосередньо контактує з навколишнім середовищем. Енергетична вода використовується для виробництва парового і теплового обладнання, приміщень і виробів.

Для зменшення споживання прісної води створюються закриті системи водопостачання. При цьому забезпечити необхідне очищення стічних вод, охолодження та повторне використання стічних вод. Використання оборотного водопостачання дозволяє знизити споживання природної води в 10-15 разів.

Оборотна вода повинна відповідати певним показникам: карбонатній жорсткості, рН, вмісту завислих речовин і мінеральних речовин, значення ХПК (хімічна потреба в кисні). Оборотна вода в основному використовується в теплообмінному обладнанні для відведення зайвого тепла. Його багаторазово нагрівають до 40 ... 45 ° С і охолоджують в градирнях або інших спорудах. Велика її частина втрачається через крапельний уніс та випаровування. Через несправності та протікання теплообмінників вода може бути забруднена.

Для запобігання корозії, осадковідкладення, біологічного обростання частина циркулюючої води видаляється з системи (продувна вода), додаючи свіжу воду з джерела або очищену стічні води. Основна вимога до води, яка використовується для постачання циркуляційних систем, — обмеження карбонатної та сульфатної жорсткості. Вміст зважених речовин також обмежений.

Для запобігання біологічному обростанню приладів і конструкцій в оборотній воді обмежується вміст органічних речовин і мінеральних сполук (азот, фосфор), які є живильним середовищем для мікроорганізмів. При роботі без зливу оборотної води для продувки пред'являються більш жорсткі вимоги до якості води.

## 2.2 Схеми використання води на промислових підприємствах

Системи водопостачання влаштовують за певними схемами, які являють собою сукупність об'єктів водопостачання та послідовність їх розташування на місцевості. Проектування будь-якої системи водопостачання починається з креслення її схеми в плані і визначає композицію споруд. Зазвичай на початковому етапі проектування є дві (або більше) систем водопостачання, які є проектними варіантами майбутнього водопроводу. Потім проводиться техніко-економічний розрахунок - порівняння варіантів, вибір найбільш вигідного. За обраною схемою остаточно проектуються і розраховуються всі пристрої водопроводу.

Існує 3 основні схеми водопостачання: прямоточна, прямоточна з повторним використанням води та оборотна. Існують також комбіновані системи водопостачання. Назва систем водопостачання в інженерній практиці повторює назву відповідної схеми. Та чи інша схема водопостачання виконується залежно від:

- 1). потужності джерела та його характеристики (поверхневі або підземні води, якість води, що міститься в ньому тощо);
- 2). відстані від джерела води до промислового майданчика;
- 3). вимог до якості води підприємства;
- 4). характеру забруднення води після використання;
- 5). кліматичних умови регіону.

Розглянемо перші дві схеми - прямоточну схему водопостачання і схему з повторним використанням води.

### ***Система прямоточного водопостачання.***

Під час роботи прямоточної системи (рис. 2.1) з джерела водопостачання забирається необхідна споживачам кількість води. Тому продуктивність водозабірних пристроїв, очисних споруд та насосів першого підйому слід обирати з умов покриття всієї потреби підприємства у воді за день споживання. Це збільшує розміри і потужність цих елементів, а отже, збільшує їх вартість. Зростає і споживання електроенергії. Крім того, потрібно вибрати джерело з достатньою витратою води. Недоліком прямоточної системи є те, що стічні води

скидаються в природні водойми, швидкість потоку яких повинна давати можливість поглинати ці скиди без порушення екологічної рівноваги.

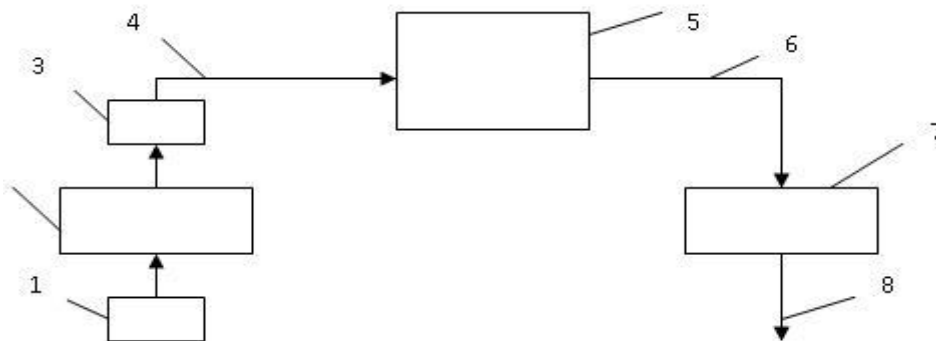


Рис. 2.1 Прямотечійна схема виробничих трубопроводів: 1 – водозабірна споруда; 2 – водоочисна споруда; 3 – насосна станція другого підйому; 4 – водопровід; 5 – промислове підприємство; 6 – скидання відпрацьованої води; 7 – станція очищення стічних вод; 8 – скид води в річку

Для постачання питної та пожежної води використовується прямотечійна схема, оскільки повторне використання води цими споживачами виключено! Ця схема водопостачання реалізована в харчовій та фармацевтичній промисловості як технологія.

#### ***Схема систем водопостачання з повторним використанням води***

Якщо серед споживачів технічної води є споживач з великим споживанням, від якого стічні води за кількістю та всіма параметрами можуть задовольнити інших споживачів, то в цих випадках використовують систему повторного використання води (рис. 2.2). Ця система працює в прямотечійному режимі, але з джерела забирається тільки та кількість води, яка потрібна споживачеві з великим споживанням.

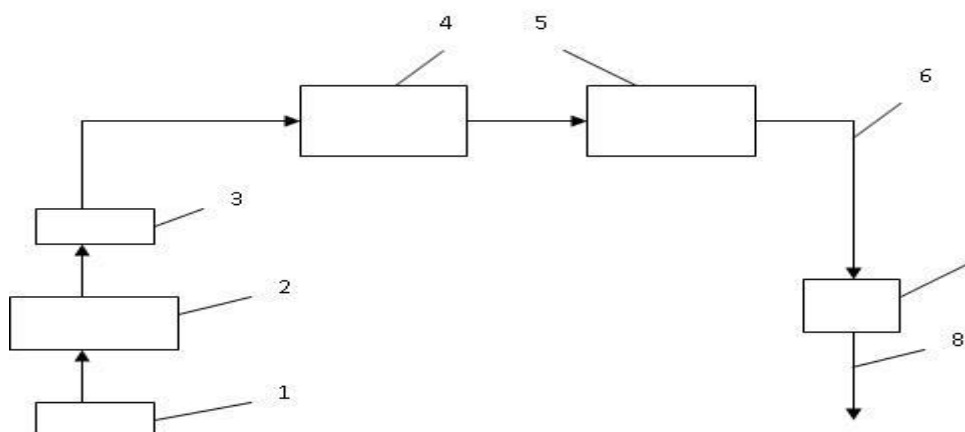


Рис. 2.2 Схема промислового трубопроводу з повторним використанням води

1 – водозабірна споруда; 2 – водоочисна споруда; 3 – насосна станція другого підйому; 4 – водопостачання; 5 – промислове підприємство; 6 –

скидання відпрацьованої води; 7 – станція очищення стічних вод; 8 – скид води в річку

Ця система дозволяє скоротити кількість забраної природної води і скиданих стоків, знизити продуктивність і здешевити всю систему водопостачання.

### ***Зворотна схема водопостачання***

Оборотні системи пропонують великі можливості для зниження витрат на водопостачання, зменшення споживання прісної води та утилізації забруднених стічних вод. Для створення оборотної системи використовується той факт, що 70 ... 85% технічної води в технологічних пристроях тільки підігрівається і може бути використана повторно після охолодження.

На підприємствах основну роль у водопостачанні відіграють системи зворотного водопостачання. Нагріта в теплообмінниках оборотна вода знову охолоджується в градирнях, розпилювальних басейнах або інших пристроях і циркуляційними насосами повертається в теплообмінники. При цьому він багаторазово і постійно піддається фізико-хімічним впливам - випаровується, нагрівається, охолоджується, аерується, багаторазово стикається з поверхнею охолодження і, як наслідок, частково втрачається при випаровуванні, видаленні крапель в атмосферу і поступово стає більш мінералізованим. Часто стійкість води порушується, вона стає корозійною або може призвести до відкладення мінеральних солей, поступово накопичується пил і продукти корозії. Тому для заповнення втрат оборотної води та відновлення її якості система зворотного водопостачання підживлюють свіжою водою. Зворотне водопостачання може здійснюватися у вигляді єдиної системи для всього промислового підприємства або у вигляді окремих циклів для одного або групи цехів. Кількість систем зворотного водопостачання на підприємстві визначається з урахуванням особливостей і характеру виробництва, призначення води, вимог до якості, температури і тиску. З метою зменшення діаметра і довжини трубопроводів краще передбачати системи циркуляційного водопостачання, відокремлені від виробництв, цехів або окремих об'єктів, якомога ближче до споживачів води зворотного водопостачання. У звичайних системах зворотного водопостачання, які не мають специфічного забруднення технологічною продукцією, можна запобігти підвищенню мінералізації оборотної води шляхом продувки (видалення частини оборотної води) та поповнення системи живильною

водою. Вода охолоджується на градирнях, а очищення здійснюється шляхом додавання коагулянтів і флокулянтів. Вода, яка використовується для охолодження продуктів через стінки теплообмінного обладнання, повинна бути звільнена від надлишку завислих речовин. Охолоджуюча вода не повинна містити сірководень або залізо. Крім того, корозійна стійкість теплообмінного обладнання та комунікацій забезпечується лише при оптимальному вузькому діапазоні рН і низькому вмісті солей у воді. Для таких систем рекомендується застосовувати коригування рН оборотної води або часткове катіонізацію Н, а також вживати заходів щодо зниження вмісту солей. Залежно від якості вихідної води та вимог до якості споживаної води, частина загального споживання оборотної води може піддаватися очищенню (відновлювальна обробка, пом'якшення, опріснення, хлорування, видалення суспензій). Стічні води, що використовуються у виробництві, і вода, що використовується для власних потреб очисних споруд, не завжди повертаються в оборотні системи і частково скидаються в стічні води. При цьому цю витрату води необхідно враховувати в загальному балансі системи. В обороті можуть використовуватися три категорії води, які відповідають трьом основним схемам зворотного водопостачання.

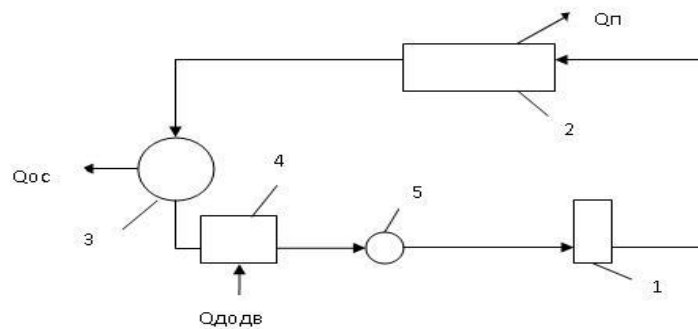


Рис. 2.3 Схема оборотного водопостачання з очищенням оборотної води: 1 – виробництво; 2 – охолоджувач води; 3 – водоочисна споруда; 4 – камера обробки додаткової води; 5 – насосна станція

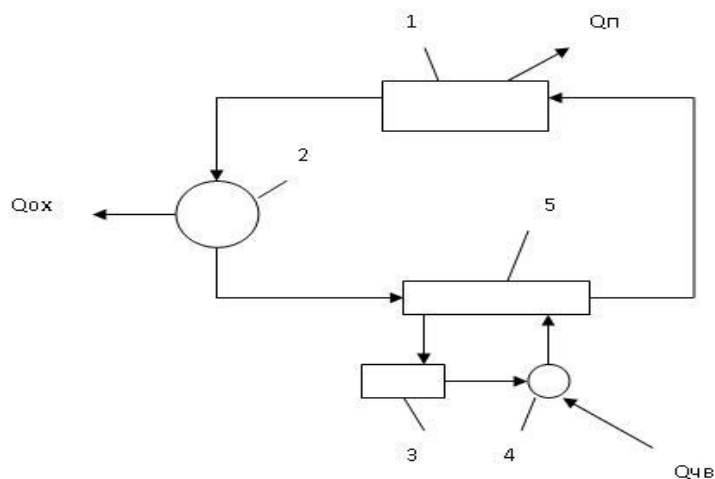


Рис. 2.4. Схема зворотного водопостачання з очищенням та охолодженням зворотної води: 1 – виробництво; 2 – охолоджувач води; 3 – водоочисна споруда; 4 – камера обробки додаткової води; 5 – насосна станція

Схема 2.3 використовується, якщо вода на виробництві не забруднюється, а лише нагрівається і змінює свою температуру. У цьому випадку стічні води охолоджуються, частково видаляються з системи (продуваються) і знову подаються на те ж виробництво, поповнюючись водою з джерела водопостачання. Друга схема (2.4) використовується, коли виробнича вода не нагрівається, а забруднюється. У цьому випадку воду потрібно лише очистити і повторно закачати в те саме виробництво. Найскладніший випадок представлений схемою, коли виробнича вода нагрівається і забруднюється. Перед поверненням у виробництво ці стічні води охолоджують, частково видаляють із системи, очищують і поповнюють живильною водою з джерела водопостачання. Сьогодні очищені стічні води можна використовувати для поповнення систем зворотного водопостачання. Система зворотного водопостачання заповнюється водою при першому введенні в експлуатацію. Надалі кількість води залишається незмінною, тобто компенсуються втрати. Втрати води з системи оборотного водопостачання складаються із таких втрат:

- 1) втрат води у виробництві в місцях її використання;
- 2) втрати води на водоочисних спорудах;
- 3) втрати води через випаровування при охолодженні;
- 4) втрата води з системи через крапельний уніс;
- 5) в деяких випадках для підтримки постійної концентрації будь-якої розчиненої речовини у зворотній воді частина води в оборотному



циклі може бути добровільно скинута і замінена прісною водою з джерела в тій же кількості. [2]

Оборотні системи будують відповідно до технічних умов, екологічних вимог та економічних міркувань. Залежно від технічних умов застосування цієї системи може бути просто необхідним, оскільки витрата існуючого природного джерела води недостатня для створення прямотечійного водопостачання. Потреба в оборотних системах визначається екологічними вимогами. Використання оборотних систем дозволяє зменшити кількість скидів забрудненої води у водойми. Найбільш цінними з екологічної точки зору є зворотні системи без продувного скидання - системи без зливу.

У закритих системах водопостачання на підприємствах замість прісної використовується суміш виробничих і побутових стічних вод, очищена за технічними нормами якості води, яка вже пройшла біологічну очистку. Біологічно очищені стічні води, що використовуються в технічному водопостачанні, повинні відповідати техніко-економічним і санітарним вимогам. Але навіть за умови дотримання чинних стандартів цю воду не можна використовувати в харчовій, м'ясній, молочній та фармацевтичній промисловості. З економічних міркувань використання систем зворотного водопостачання дозволяє знизити витрати на будівництво водозабірних споруд, насосних станцій, водопроводів, природних очисних споруд та каналізаційних мереж.

### **2.3. Формування стічних вод**

Стічні води – це вода, яка використовувалася для побутових, промислових або сільськогосподарських цілей, а також пройшла через забруднені території. За умовами утворення стічні води поділяють на побутові або фекальні (СОС), атмосферні (ДВС) та промислові (СОС).

Побутові води – це стоки душових, пралень, їдалень, туалетів, мийних підлог тощо. Вони містять домішки, у тому числі ~58% органічних речовин і 42% мінеральних речовин. Атмосферна вода утворюється в результаті опадів і стікає з територій підприємств. Вони забруднені органічними та мінеральними речовинами. Промислові стічні води – це рідкі відходи, що утворюються при видобутку та переробці органічної та неорганічної сировини.

Стічні води забруднені різними речовинами:

- 1) біологічно нестійкими органічними сполуками;
- 2) малотоксичними неорганічними солями;
- 3) нафтопродуктами;
- 4) біогенними сполуками;
- 5) речовинами зі специфічними токсичними властивостями, у тому числі важкі метали, біологічно жорсткі нерозкладні органічні синтетичні сполуки.

Промислові та побутові стічні води містять завислі частинки розчинних і нерозчинних речовин. Завислі домішки поділяються на тверді та рідкі, які утворюють неоднорідну систему, дисперговану з водою. Неоднорідна система - це система, що складається з двох або більше фаз, кожна з яких має власну межу розділу і може бути механічно відділена від іншої фази. Система, в якій зовнішня фаза є рідиною, називається рідкою неоднорідною системою.

Стічні води багатьох виробництв, крім розчинних неорганічних і органічних речовин, містять колоїдні домішки, а також крупнодисперсні та дрібні завислі домішки, щільність яких може бути як вище, так і нижче густини води.

Класифікація домішок за станом їх дисперсної фази:

а) гетерогенні системи:

I - суспензії розміром зерна  $10^{-1}$  мкм (суспензії, емульсії, мікроорганізми та планктон),

II - колоїдні розчини з розміром частинок  $10^{-1} \dots 10^{-2}$  мкм (зола та розчини високомолекулярних сполук).

б) однорідні системи:

III - молекулярні розчини, розмір зерен  $10^{-2} \dots 10^{-3}$  мкм (газ, водорозчинні, органічні речовини);

IV - іонні розчини, розмір частинок  $10^{-3}$  мкм (солі, основи, кислоти).

Залежно від агрегатного стану фаз розрізняють рідкі неоднорідні системи: суспензії, емульсії та піни. Суспензія складається з *рідини* та *твердих частинок* у суспензії. Залежно від розміру частинок розрізняють грубі суспензії з частинками  $> 100$  мкм, дрібні (0,5...100 мкм) і каламутні (0,1...0,5 мкм). Колоїдні розчини з розмірами частинок менше 0,1 мкм займають проміжне положення між суспензіями і справжніми розчинами. Емульсія складається з *2 рідин*, що не змішуються або частково змішуються, одна з яких розподілена в іншій у вигляді рідких крапель. Розмір частинок дисперсної фази в емульсіях дуже мінливий. Піна - це

система, що складається з розподілених в ній бульбашок рідини і газу. Гетерогенні системи характеризуються співвідношенням мас або об'ємів фаз і розміром частинок дисперсної фази. Дисперсна фаза, що складається з частинок різного розміру, характеризується фракційним або дисперсним складом, тобто процентним вмістом частинок різного розміру.

Стічні води - це гетерогенна полідисперсна нестійка система. У процесі осадження змінюються розмір, щільність, форма, а також фізичні властивості частинок в системі. Властивості стічних вод відрізняються від властивостей чистої води. Вони мають більш високу щільність і в'язкість.

Середня щільність суспензій та емульсій визначається об'ємним співвідношенням фаз

$$\rho_c = \rho_d \cdot \varphi + \rho_0 (1 - \varphi), \quad (2.1)$$

де  $\rho_c$ ,  $\rho_d$  – щільність стічної води, дисперсної фази (твердої або рідкої), кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_0$  – щільність чистої води;  $\varphi$  – об'ємна частка дисперсної фази.

В'язкість суспензії залежить від об'ємної концентрації (об'ємної частки) твердої фази і при  $\varphi \leq 10\%$  визначається за залежністю

$$\mu_c = \mu_0 (1 + 2,5\varphi), \quad (2.2)$$

де  $\mu_0$  – динамічна в'язкість чистої води, Па с.

### 2.3.1 Класифікація і коротка характеристика стічних вод

Людина вживає велику кількість води на протязі життя. При використанні в промисловості та побуті вода забруднюється речовинами органічного і мінерального походження, змінює свої фізичні властивості. Таку воду називають стічною водою. Потрапляючи до навколишнього середовища, стічні води створюють умови, сприятливі для розвитку захворювань та епідемій.

Стічні води - це води, які утворюються на промислових або комунальних підприємствах та підлягають очищенню від домішок. Залежно від умов утворення стічні води поділяють на:

- побутові (58% органічних речовин і 42% мінеральних речовин);
- атмосферні (утворюються в результаті опадів, що стікають з території пром підприємств, забруднені органічними та мінеральними речовинами);
- промислові.

Крім того, до складу стічних вод можуть входити токсичні речовини (кислоти, луги, солі, важкі метали), які викликають отруєння живих організмів і загибель рослин. Тому стічні води повинні відводитись від будинків та виробничих приміщень, та підлягати обов'язковому очищенню. Таким чином, водопровідна вода, що використовується в побутовій і промисловій діяльності людини, забруднена органічними і неорганічними речовинами, перетворюється на стічні води і підлягає скиду.

Найбільшу небезпеку з точки зору санітарії становить органічне забруднення, оскільки при гнитті органіка виділяє шкідливі гази, такі як сірководень, аміак, вуглекислий газ. Крім того, в стічних водах містяться мікроби, які викликають такі захворювання, як дизентерія, черевний тиф, холера.

Мінеральне забруднення стічних вод також небезпечно для здоров'я людей і тварин.

Побутові стічні води утворюються в житлових, адміністративних і комунальних будівлях, а також у побутових приміщеннях промислових підприємств. Це води душових, ванн, туалетів, пралень, їдалень тощо. Вони забруднені переважно мінеральними та органічними речовинами, містять багато бактерій, у тому числі хвороботворних. Побутова вода небезпечна з санітарної точки зору.

Виробничі (промислові) води - утворюються на промислових об'єктах в результаті технологічних процесів виробництва. За ступенем забруднення їх поділяють на: а) умовно чисті; б) забруднені.

Умовно чиста вода не містить специфічних забруднень, в процесі використання вона лише змінює температуру (це вода з охолоджувальних машин, агрегатів, конденсаційна вода).

Забруднені промислові води дуже різноманітні за складом забруднюючих речовин та їх концентрацією, їх забруднення залежить від виду виробництва, умов та технології виробництва. Води можуть бути забруднені переважно мінеральними, органічними чи змішаними домішками, або містити бактеріальні забруднення, шкідливі, токсичні, радіоактивні та інші речовини.

Атмосферні (поверхневі) стічні води утворюються в результаті опадів і танення снігу і називаються дощовими або зливовими водами. За складом забруднення вони можуть бути близькими до розведених побутових і промислових стічних вод.

Основними характеристиками стічних вод є:

1. Їх кількість, що характеризується витратою,  $Q$ . Одиниці вимірювання: л/с, м<sup>3</sup>/год; м<sup>3</sup>/добу.

2. Міра рівномірності їх утворення й потрапляння у водовідвідну систему, яка визначається коефіцієнтами нерівномірності. У таблиці 2 наведено загальні коефіцієнти нерівномірності припливу стічних вод залежно від середньої витрати стічних вод [3].

3. Види забруднень і вміст їх у стічних водах, що характеризується концентрацією забруднень та вимірюється в мг/л або г/м<sup>3</sup>.

Побутові стічні води містять забруднення мінерального та органічного походження. Ці забруднювачі знаходяться в нерозчиненому і розчиненому стані. Нерозчинені забруднення називаються завислими речовинами. Найнебезпечніше - забруднення органічного походження. У середньому побутові стічні води містять від 100 до 300 мг/л завислих речовин органічного походження. Вміст органічних забруднювачів у розчиненому стані оцінюють за величиною біохімічної потреби в кисні (БПК) і хімічної потреби в кисні (ХПК). У таблиці 25 [3] наведено кількість забруднюючих речовин на душу населення (так кількість забруднюючих речовин на душу населення за завислими речовинами становить 65 г/добу, БПК – 75 г/добу, азоту солей амонію N – 8 г/добу, фосфатів P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 3,3 г/добу тощо).

### **2.3.2 Склад та властивості виробничних стічних вод**

Промислові стічні води діляться на дві великі категорії: забруднені та незабруднені (умовно чисті). Незабруднена вода надходить з холодильників, компресорів, теплообмінників, та іншого охолоджувального обладнання. Вони утворюються при охолодженні виробничого обладнання або готової продукції. Така вода лише нагрівається, не забруднюючись і повторно може бути використана після охолодження.

Отже, промислові стічні води включають:

- умовно чисті (від охолодження агрегату);
- хімічно, фізично забруднені стічні води;
- стічні води, що збираються з території промислових підприємств.

Хімічно забруднені стічні води, у свою чергу, поділяють на:

- забруднені переважно органічними забруднювачами (підприємства харчової промисловості, целюлозно-паперові, хімічні, та гумові заводи та інші);
- забруднені переважно мінеральними домішками (підприємства металургійної, машинобудівної, рудної та вугільної промисловості);
- забруднені мінеральними та органічними домішками (нафтова, нафтохімічна, текстильна, легка, фармацевтична промисловість; консервні, цукрові заводи тощо);
- води із специфічним забрудненням.

Речовини, що забруднюють промислові стічні води, різноманітні і залежать від технології та типу виробництва. Залежно від вмісту забруднюючих речовин промислові стічні води (низької концентрації та високої концентрації) поділяють на чотири групи: 1-500, 500-5000, 5000-30000 і понад 30 000 мг/л.

Промислові стічні води можуть відрізнятися за фізичними властивостями їх забруднювачів (наприклад, температура кипіння): менше 120°C, 120-250°C і більше 250°C.

За ступенем агресивності стічні води поділяють на:

- слабоагресивні (слабокислі з рН = 6-6,5 і слаболужні з рН = 8-9);
- сильно агресивні (сильнокислі з рН <6 і сильнолужні з рН > 9);
- неагресивні (з рН = 6,5-8).

Для розробки оптимальної схеми водовідведення та оцінювання можливості повторного використання промислових стічних вод необхідно встановити їх склад, режим відведення та інші характеристики. При цьому аналізуються фізико-хімічні показники стічних вод та режим надходження в каналізаційну мережу не тільки стоків промислового підприємства, а й стічних вод окремих цехів.

Метою аналізу стічних вод є встановлення наявності та концентрації речовин, характерних для конкретного виду виробництва (феноли, нафтопродукти, поверхнево-активні речовини, радіоактивні, вибухові речовини), загальної кількості органічної речовини, виражену через БПК та ХПК; активної реакції; інтенсивності кольору; ступеня мінералізації. Необхідно визначити такі параметри, як кінетика осідання або спливання механічних домішок, коагуляційність стоку і т. д. Ці дані дозволяють обрати найбільш прийнятний і економічно вигідний метод очищення стічних вод для конкретного підприємства.

Фізико-хімічні показники промислових стічних вод окремих підприємств свідчать про широкий діапазон коливань складу цих вод, що обумовлює необхідність ретельного обґрунтування вибору оптимального способу очищення для кожного виду стічних вод. На різних підприємствах навіть при однакових технологічних процесах склад промислових стічних вод та їх режим відведення, питома витрата на одиницю продукції досить різноманітні. Велике значення у формуванні складу промислових стічних вод має властивості вихідної сировини.

Промислові стічні води різних виробництв істотно різняться як за складом забруднювальних речовин, так і за їх концентрацією. Наприклад, у стічних водах заводів чорної металургії в окремих цехах утворюється: завислих неорганічних речовин 0,2-5 г/л, фенолів 0,7-1 г/л, смол і мастильних матеріалів 0, 2-1,8 г. / л. У стічних водах целюлозно-паперових комбінатів міститься 400-2000 мг/л завислих речовин - це переважно клітковина і целюлоза. Стічні води текстильних підприємств містять завислих речовин 250-400 мг/л. Забруднення мінерального походження в основному утворюються в стічних водах підприємств важкої промисловості, а в харчовій і легкій промисловості – переважають забруднення органічного походження.

Склад стічних вод залежить також від технологічного процесу виробництва, реагентів, які застосовуються, продукції, що випускається, складу вихідної води, місцевих умов та інших факторів.

Кількість виробничих стічних вод визначається залежно від продуктивності промислового підприємства за укрупненими нормами водоспоживання та водовідведення для різних галузей промисловості.

*Нормою водоспоживання* вважається доцільна кількість води, яка необхідна для виробничого процесу, встановлена (або що рекомендується) на основі передового досвіду чи науково обґрунтованого розрахунку. *Нормою водовідведення* є встановлена середня кількість стічних вод, що відводяться від виробництва у водойму при доцільній нормі водоспоживання. До укрупненої норми водоспоживання входять усі витрати води на підприємстві, як виробничі, так і господарсько-питні, витрати для приймання душів тощо. Норма водовідведення включає кількість стічних вод, які випускаються у водойму: очищених виробничих та побутових, виробничих, що не потребують очищення, фільтраційних, із ставків-освітлювачів, хвостосховищ і шламонакопичувачів.

Укрупнені норми водоспоживання та водовідведення виражаються в м<sup>3</sup> води на одиницю готової продукції або використаної сировини. Укрупнені норми водовідведення в різних галузях промисловості коливаються в достатньо широких межах. Так, при збагаченні 1 т вугілля утворюється 0,08 м<sup>3</sup> стічних вод; при виплавленні 1 т сталі – 4 м<sup>3</sup>; при виробництві 1 т синтетичного дивинилового каучуку – 18 м<sup>3</sup>; 1 т добрив – 2 м<sup>3</sup>; 1 т бавовняної тканини – 300 м<sup>3</sup>; 1 т хліба – 4 м<sup>3</sup>, 1 т м'яса – 22 м<sup>3</sup>; 1 т цементу – 0,12 м<sup>3</sup>. За відсутності норм водовідведення кількість стічних вод визначається за технологічними розрахунками відповідно до регламенту виробництва. Кількість стічних вод від великих промислових підприємств може досягати 200 – 400 тис. м<sup>3</sup> за одну добу, що відповідає кількості стічних вод від міста з населенням 1 – 2 млн. чол.

Розрахункові витрати виробничих стічних вод, що надходять на очисні споруди, визначають за формулою

$$Q_{\text{доб}} = N \times M, \quad (2.3)$$

де  $N$  – норма водовідведення на одиницю продукції або сировини, що переробляється, м<sup>3</sup>/од продукції;

$M$  – добова продуктивність цеху, установок із сировини або продукції, од. прод./добу.

Крім того, слід урахувувати нерівномірність утворення промстоків і при проектуванні передбачати акумулюючі ємкості необхідних обсягів, усереднювачі. Виробничі стічні води протягом зміни можуть надходити рівномірно або нерівномірно, що пов'язано з особливостями протікання технологічного процесу, з безперервною або періодичною роботою технологічних установок. На багатьох виробництвах хімічної, легкої, текстильної, фармацевтичної, харчової й інших галузей промисловості відбуваються залпові надходження висококонцентрованих і високотоксичних стоків. При цьому періодичність скидання може бути один раз у зміну, в добу, в тиждень. Режим спуску виробничих стоків цілком визначається регламентом технологічного процесу виробництва окремих цехів та промислового підприємства в цілому.

Для промислових підприємств, крім режиму водовідведення стічних вод за годинами, протягом доби слід урахувувати графіки добового коливання складу стічних вод за основними фізико-хімічними показниками, а також за специфічними забруднюючими компонентами (поверхнево активними, токсичними і радіоактивними речовинами).



### 2.3.4 Класифікація домішок стічних вод

#### Органічні домішки стічних вод

Органічна речовина побутових стічних вод представлена в основному білками, жирами, сечовиною, вуглеводами і продуктами їх розкладу, різноманітними органічними кислотами, синтетичними поверхнево активними речовинами (СПАР). Особливістю побутових стічних вод є відносна сталість їх складу, оскільки від кожного мешканця в систему водовідведення надходить у середньому визначена кількість забруднювальних речовин (г/добу), що може бути визначено за ДБН «Каналізація. Зовнішні мережі». Виробничі стічні води можуть бути забруднені специфічними органічними речовинами, що залежать від виду виробництва, наприклад нафтою й нафтопродуктами, фенолами, лігніном, різними органічними кислотами, СПАР.

Вміст у стічних водах органічних домішок, які можуть бути окислені мікроорганізмами в процесі їх метаболізму, визначають як біохімічну окислюваність. При цьому частина використаних органічних речовин витрачається на енергетичні потреби мікроорганізмів, а інша частина на синтез клітинної речовини. Частина речовин, що витрачається на енергетичні потреби, окислюється мікроорганізмами до кінцевих продуктів розкладання, склад яких залежить від виду окислюваного компонента, окисно-відновних і кислотно-лужних умов середовища, в загальному вигляді:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NH}_4^+$  ( $\text{NH}_3$ ),  $\text{SO}_4^{2-}$ , ( $\text{H}_2\text{S}$ ),  $\text{HPO}_4^{2-}$  (у дужках указані з'єднання, які редукують мікроорганізми в анаеробних умовах). Продукти окислення – метаболіти виводяться з клітини в зовнішнє середовище. Для здійснення метаболізму багато мікроорганізмів використовують кисень. Кількість кисню, необхідного мікроорганізмам на весь цикл реакцій одержання енергії й синтезу, має назву БПК – біологічна потреба в кисні. БПК визначають аналітично, з різниці концентрації кисню у вихідній, аналізованій пробі води і після процесу метаболізму мікроорганізмів, через 5 або 20 діб (в останньому випадку значення БПК називають повним). Визнання БПК вважають правильним, якщо до кінця інкубації в склянці залишається від 3 до 5 мг  $\text{O}_2/\text{дм}^3$ .

Розчинність кисню у воді при атмосферному тиску визначається температурою, при  $20^\circ\text{C}$  у дистильованій воді розчиняється 9,17 мг  $\text{O}_2/\text{дм}^3$ . Отже, максимальне значення БПК, що визначається при цій температурі,

становитиме  $6,17 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ . Якщо органічних речовин в аналізованій пробі стічної води знаходиться багато і мікроорганізму потрібна більша кількість кисню для окислення органіки, вдаються до методу розведення вихідної проби стічної води. Сутність методу полягає в тому, що на одну частину досліджуваної стічної води беруть кілька частин розведеної води, суміш до межі насичують киснем, розливають в інкубаційні склянки й витримують у термостаті при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . При розрахунку БПК ступінь розведення враховують та вказують у вигляді відношення, наприклад запис розведення 1: 100 означає, що на 1 частина досліджуваної стічної води пішло 99 частин розбавленої води. Якщо певне значення БПК при розведенні 60 разів буде  $4 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$  то, отже, БПК досліджуваної стічної води становить  $240 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ .

#### Мінеральні домішки стічних вод і розчинені гази

У стічних водах неорганічну частину забруднень складають солі, які властиві воді та які утворюються в процесі обмінних реакцій в організмі людини, зокрема фосфати й амонійні солі. У виробничих стічних водах у високих концентраціях можуть бути специфічні мінеральні речовини: олово, мідь, свинець, цинк, кадмій, різні кислоти та ін. Мінеральні забруднення побутових стічних вод, до складу яких входять завислі речовини, представлені переважно піском і глинистими частинками, що потрапляють у побутові води при митті сировини, тари, прибиранні приміщень і т.д. Характер та кількість мінеральних забруднювачів виробничих стічних вод визначається видом діяльності підприємства. Це можуть бути мінеральні речовини, аналогічні для господарсько-побутових стічних вод, або специфічні – окалина, цементний пил тощо.

Наявність розчинених газів у стічних водах свідчить про протікання біохімічних процесів в них. Наявність розчиненого кисню свідчить про досить високий ступінь очищення, присутність іонів амонію (або аміаку), сполук сірки – про перебіг процесу амоніфікації білків, причому в аеробних умовах сірка наявна у вигляді сульфат-іона, а в анаеробних умовах сірка відновлюється до сірководню або сульфід-іона, поява метану може бути зумовлена процесом метаногенезу, що проходить в анаеробних умовах.

#### Біологічні домішки стічних вод

Мікрофлора побутових стічних вод представлена в основному мікроорганізмами, які виділяються з кишківника людини, і змиваються з тіла й навколишніх предметів. З фізіологічними виділеннями людини

надходить кілька трильйонів мікробів на добу. Серед них кишкові палички, лактобацили, ентерококи, гриби, найпростіші, яйця гельмінтів. У виробничих стічних водах можуть міститися специфічні біологічні забруднення – дріжджі, гриби, актиноміцети (фармацевтичні, харчові виробництва та ін.). Інфекційні хвороби, що викликаються патогенними бактеріями, вірусами, найпростішим або паразитарними агентами, які потрапляють у водойми разом із неочищеною або недостатньо очищеною стічною водою, являють собою типовий і найбільш поширений шкідливий чинник для здоров'я людини. Якщо у населеному пункті є хворі з активно протікаючими захворюваннями або носії хвороби, то фекальне забруднення вододжерела призводить до появи хвороботворних мікроорганізмів у воді. Використання такої води перорально (як питної) або контакт з нею при митті чи купанні й навіть удихання водяних парів можуть викликати інфекцію. До хвороботворних мікроорганізмів належать: сальмонела, *Shigella SPP*, патогенні *Escherichia Coli*, холерний вібріон, *Uersinia enterolitika*, *Salmonella tichi* й ін. З метою встановлення епідеміологічної небезпеки або безпеки для людини природних та очищених стічних вод виконують санітарно-бактеріологічний аналіз води. Багато патогенних мікроорганізмів можна визначити за допомогою відповідних методів, однак набагато простіше й ефективніше проводити тестування на наявність бактерій, які є індикаторами наявності фекального забруднення або недостатнього очищення і знезараження стічних вод. Бактерії-індикатори повинні відповідати таким вимогам: бути наявними у великих кількостях у фекаліях людей та теплокровних тварин; швидко виявлятися за допомогою простих методів, не повинні розвиватися в природній воді; ступінь очищення й методи видалення індикаторів повинні бути аналогічні показниками для патогенів водного походження. До недавнього часу санітарно-бактеріологічна оцінка якості води була основана на визначенні двох показників: загального мікробного числа (ЗМЧ) і числа бактерій групи *Coli*. Перший показник дає уявлення про загальне обсіменіння води аеробними сапрофітами, за другим показником оцінюють можливу наявність у воді патогенних мікроорганізмів. Результати аналізу води виражають у вигляді колі-індексу – числа бактерій в одному літрі води або колі-титру – найменшого об'єму води (см<sup>3</sup>), що містить одну кишкову паличку. Колі-титр = 1000 / колі-індекс. На сьогоднішній день кількість мікроорганізмів-індикаторів розширено, до основних організмів-індикаторів відносять: *Escherichia Coli*,

термотолерантні та інші коліформні бактерії, фекальні стрептококи, спори сульфатредуючих клостридій і коліфаги.

## **2.4 Системи водопостачання та водовідведення промислових підприємств**

Системи водопостачання можна класифікувати за такими ознаками:

- за видом використання природних джерел – водопроводи, які отримують воду з поверхневих джерел (річкові, озерні й т.д.), підземних джерел (артезіанські, джерельні й т.д.), змішані;
- за призначенням – комунальні (міст і селищ), залізничні, сільськогосподарські, виробничі (поділяються за галузями виробництва) ;
- за територіальною ознакою (локальні та групові);
- за способом подачі води – самопливні (гравітаційні), з механічною подачею води (за допомогою насосів);
- за кратністю використання споживаної води – системи прямооточні, послідовні, з оборотом води.

Споживачі використовують воду на різноманітні цілі, які можна поділити на три основні категорії: господарсько – питні цілі, виробничі потреби промисловості, пожежогасіння.

Залежно від призначення об'єкту та вимог до якості води, а також з економічних міркувань для всіх зазначених цілей вода може подаватися одним водопроводом (централізована система) або для окремих категорій водоспоживачів можуть бути влаштовані самостійні водопроводи.

В процесі роботи система водопостачання повинна задовільняти вимоги надійності, екологічності та економічності. Під цим слід розуміти подачу води в заданих кількостях, необхідної якості, під заданим тиском з найменшими втратами, без порушень роботи системи водопостачання.

Схеми каналізації являють собою комплекс інженерних споруд для прийому, транспортування, очищення стічних вод та випуску їх у водойми або для подальшого використання.

На промислових підприємствах залежно від характеру забруднення стічних вод і способів їх очищення системи водовідведення промислових підприємств розділяють на загальносплавні, роздільні (повні й неповні) та змішані. На окремих підприємствах можуть утворюватися до 5-10 різних видів стічних вод, які різняться за витратою, складом і властивостями забруднень.

При виборі системи водовідведення необхідно враховувати наступні можливості:

- сумісного або роздільного очищення окремих видів (від окремих цехів) стічних вод;
- вилучення й використання цінних речовин, що містяться в стічних водах;
- повторного використання виробничих стічних вод без очищення або після часткового очищення в системі зворотного водопостачання, або для технічних потреб іншого цеху чи виробництва;
- використання для виробничих цілей очищених побутових і дощових стічних вод;
- використання виробничих вод для зрошення сільськогосподарських і технічних культур.

Крім того, необхідно враховувати кількість, склад та властивості стічних вод окремих цехів і підприємства в цілому, а також режим водовідведення, потужність водойми, в яку передбачається скидання очищених стічних вод, її самоочисну здатність та тип водокористування водойми.

Каналізація промислових підприємств, як правило, здійснюється за повною роздільною системою. Загальносплавну систему водовідведення доцільно застосовувати для невеликих промислових підприємств (з малою витратою води), якщо виробничі стічні води близькі за складом до побутових стічних вод. Загальносплавна система призначена для спільного відведення малозабруднених, але різних за походженням стічних вод (атмосферних, побутових і виробничих) по одній водовідвідній мережі на єдині очисні споруди.

**Загальносплавна система водовідведення** має одну водовідвідну мережу, призначену для відведення стічних вод усіх видів: побутових, виробничих та дощових. Особливістю загальносплавної системи є наявність на головному колекторі ливнеспусків, через які частина суміші стічної води скидається у водойму при випаданні сильних дощів (рис. 2.5).

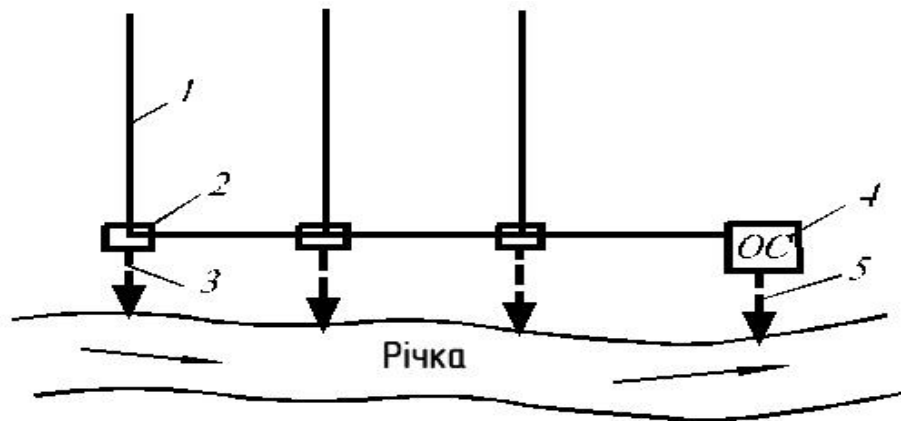


Рис. 2.5 Загальносплавна система водовідведення :

1 – колектор, що транспортує побутові, виробничі й дощові стічні води; 2 – ливнепуск; 3 – скидний трубопровід від ливнепуску; 4 – очисні споруди; 5 – випуск очищених стічних вод.

Відведення усіх стічних вод з обслуговуваних об'єктів, забезпечує задовільний санітарний стан міст і промислових підприємств. Застосовувати загальносплавну систему каналізації доцільно за наявності поряд з обслуговуванним об'єктом водотоків з великою витратою води, в які допустиме скидання значних об'ємів стічних вод.

Роздільна система каналізації характеризується роздільним відведенням різних за походженням і характером забруднення стічних вод. Роздільні системи водовідведення можуть мати кілька водовідвідних мереж для відведення виробничих стічних вод від окремих цехів. Такі мережі називаються виробничими (наприклад, кислотовміщуючі, нафтовміщуючі). Побутові й дощові стічні води відводяться по самостійних мережах (побутова мережа та дощова мережа). При цьому можливі варіанти спільного відведення декількох видів стічних вод, наприклад, виробничих стічних вод усього підприємства або окремого цеху разом з побутовими водами (виробничо-побутова водовідвідна мережа); виробничих вод і дощових (у цьому випадкові мережа називається виробничо-дощова). Застосування роздільної системи каналізації дозволяє диференційовано проводити очищення стічних вод, різних за складом забруднень і найбільш повно використовувати очищені стічні води для виробничих потреб підприємства.

При такій системі сильнозабруднені води можуть направлятися на локальні очисні споруди до їх змішання з будь якими слабкозабрудненими водами. Очищену на очисних спорудах невелику кількість стічних вод, як правило, використовують повторно на виробництві. Наприклад, за роздільною системою здійснюється відведення стічних вод (дощових,

побутових, виробничих, фенольних) на коксохімічних підприємствах. Виробничо-фенольні стічні води піддаються локальному очищенню на заводських очисних спорудах, потім використовуються для виробничих потреб підприємства або передаються в систему міської каналізації для спільного доочищення з побутовими стічними водами.

Роздільну систему водовідведення з локальними очисними спорудами промислових стічних вод доцільно застосовувати при різному характері забруднень виробничих і побутових вод. У стічних водах окремих цехів можуть міститися специфічні забруднення, для очищення від яких доцільно влаштовувати локальні очисні споруди. Очищені на локальних очисних спорудах стічні води залежно від їх складу скидають у водойму або направляють на міські очисні споруди.

Роздільну систему водовідведення з локальним очищенням побутових і промислових стічних вод доцільно застосовувати у тих випадках, коли сумісне очищення побутових та промислових стічних вод неможливе, а підприємство перебуває на великому віддаленні від міста. Роздільну систему з повним оборотом промислових стічних вод застосовують у випадку маловодності джерел водопостачання, коли свіжої води вистачає тільки на підживлення системи водопостачання. Вибір системи водовідведення промислових підприємств залежить від концентрації забруднень і кількості стічних вод від окремих технологічних операцій, потужності джерела водопостачання, його віддаленості від підприємства, вимог до якості очищення стічних вод для скидання у водойму тощо.

**Повна роздільна система водовідведення** (рис 2.6) має дві або більше водовідвідних мереж, кожна з яких призначена для відведення стічних вод певного виду – для відведення побутових вод від міста, виробничих і дощових. При повній роздільній системі водовідведення очищення поверхневого стоку може вирішуватися або створенням локальних очисних споруд поверхневого стоку перед випуском прямо на дощовій мережі або створенням централізованих очисних споруд за межами обслуговуваного об'єкта й перекидання на них дощових вод по головному колектору дощової мережі.

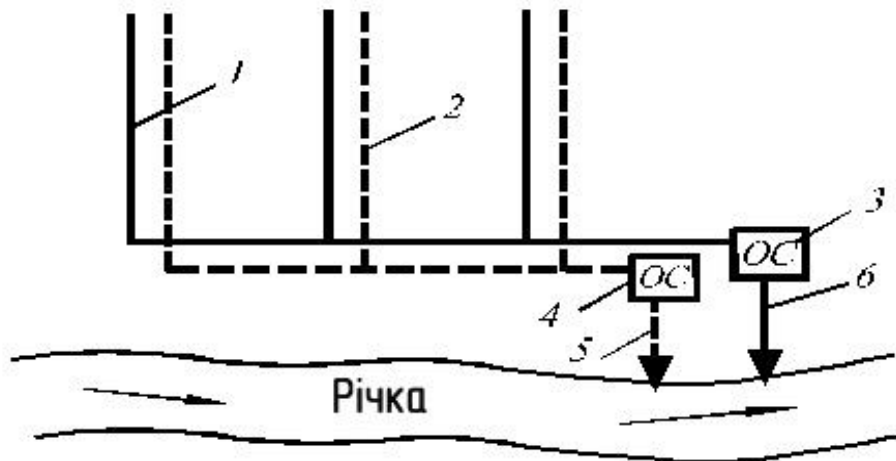


Рис. 2.6 Повна роздільна система водовідведення :

- 1 – колектор, що транспортує побутові й промислові стічні води;
- 2 – колектор, що транспортує дощові стічні води;
- 3 – очисні споруди промислово-побутових стічних вод; 4 – очисні споруди дощових стічних вод; 5 і 6 – випуски очищених стічних вод у водойму

**Неповна роздільна система водовідведення** має одну водовідвідну мережу, призначену для відведення забруднених побутових і виробничих стічних вод (виробничо-побутова мережа). Відведення дощових вод у водойму передбачене по відкритих лотках або канавах. Застосовуються зазвичай для невеликих об'єктів.

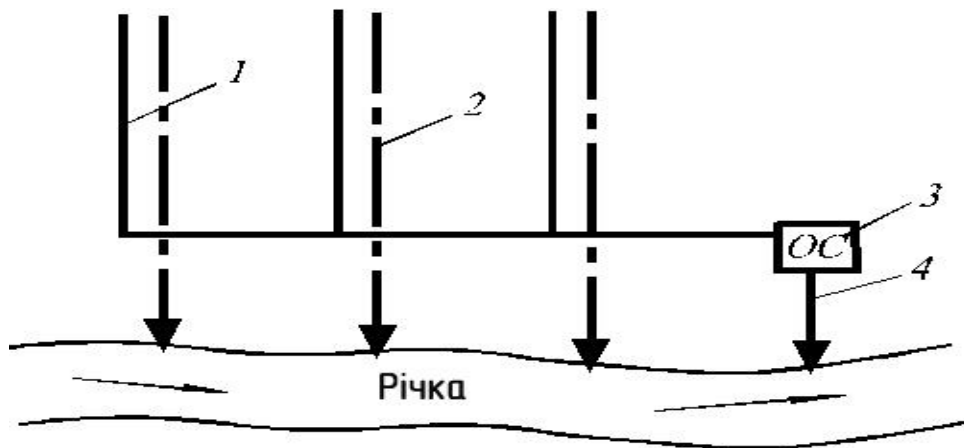


Рис. 2.7 Неповна роздільна система водовідведення :

- 1 – колектор, що транспортує побутові й промислові стічні води; 2 – відкриті лотки, кювети і канави для відведення дощових вод у водойму; 3 – очисні споруди; 4 – випуск очищених стічних вод.

**Напівроздільна система водовідведення** (рис 2.8). При такій системі одночасно будуються дві підземні мережі труб – виробничо-побутова і дощова й один загальний головний колектор, по якому всі побутові та виробничі стічні води і перші найбільш забруднені порції дощової води (до



70% річного стоку) відводяться на очисні споруди, а чистіша частина дощового стоку по ливневідводах скидається у водойму без очищення.

**Комбінована система водовідведення** складається історично (в міру розвитку міста), коли в різних районах міста виникають різні системи водовідведення. Наприклад, в одному (старому) районі міста є загальносплавна система, а в новому районі будують роздільну систему.

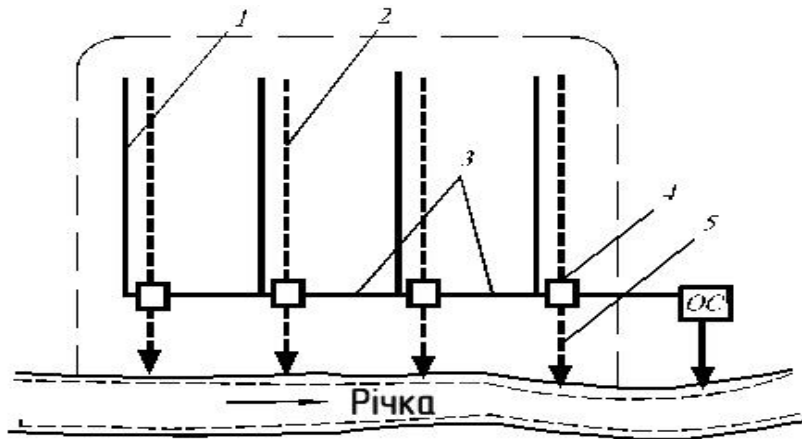


Рис. 2.8 Напівроздільна система водовідведення:

1 – виробничо-побутова мережа; 2 – дощова мережа; 3 – загальний (загальносплавний) головний колектор; 4 – розділові камери; 5 – ливневідводи

Кожна з перерахованих систем водовідведення має переваги і недоліки.

### **Переваги і недоліки систем водовідведення**

*Переваги загальносплавної системи :*

1. Протяжність та вартість однієї мережі порівняно з декількома мережами повної роздільної системи значно менші.
2. Легше прокласти один трубопровід, ніж декілька по проїжджій частині вулиць, менше оглядових колодязів з люками і кришками на поверхні проїздів.
3. Менша вартість експлуатації мережі.

*Недоліки:*

1. Потрібні великі одноразові витрати на початку будівництва мережі, що складається з труб великого діаметра. При повній роздільній системі в першу чергу може бути побудована тільки побутова мережа з труб порівняно малих діаметрів.
2. Більша вартість будівництва й експлуатації насосних станцій і очисних споруд, оскільки витрати води, що надходить на насосні станції

загальносплавної системи, перевищують у 1,5-3 рази витрати води на ті ж спорудження повної роздільної системи.

3. У водойму через ливневипуски скидається суміш стічних вод, тобто й побутові стічні води, які характеризуються вищими показниками забруднень.

4. Через ливневипуски можливе підтоплення мережі в період паводків у річках і підвищення рівня води, що відводиться у них.

*Переваги повної роздільної системи :*

1. Невеликі одноразові витрати на будівництво побутової мережі.

2. Вартість будівництва та експлуатації очисних споруд менша, ніж вартість їх будівництва при загальносплавній системі.

*Недоліком* повних роздільних систем водовідведення є те, що весь об'єм дощових вод скидається без очищення у водойму.

*При напівроздільній системі водовідведення перевагами* є те, що у водойму скидається лише частина менш забруднених дощових вод, а найбільш забруднені води спрямовуються на очисні споруди і піддаються очищенню.

Таким чином, застосування загальносплавних систем доцільне за наявності поряд з обслуговуванням об'єктом потужної водойми і в районах, що характеризуються випадінням невеликої кількості опадів. При розташуванні очисних споруд на великій відстані від обслуговуваного об'єкта загальносплавна система може виявитися менш вигідною в порівнянні із застосуванням повної роздільної системи. Використання загальносплавної системи доцільне на вузьких вулицях з великою насиченістю їх підземними спорудами.

Застосування ж повної роздільної та загальносплавної систем не завжди здатне забезпечити санітарні вимоги. Найбільш перспективною є напівроздільна система, яка в основному і дістала використання у нас.

Роздільна система водовідведення з повним оборотом усіх стічних вод називається безстічною системою водокористування або замкненою системою водного господарства промислових підприємств. Створення таких систем водокористування дозволяє забезпечити раціональне використання води в усіх технологічних процесах, запобігання забрудненню навколишнього природного середовища, скорочення капітальних і експлуатаційних витрат. Залежно від конкретних умов на підприємствах можливе створення декількох систем очищення з варіантами об'єднання різних видів стічних вод (у тому числі побутових та

дощових). Можливе створення й декількох оборотних централізованих систем. У загальному вигляді замкнена система водокористування промислових підприємств уключає:

- локальні оборотні (замкнені) системи;
- централізовані замкнені системи;
- охолоджувальні локальні (централізовані) оборотні або замкнені системи;
- системи послідовного використання води у двох або декількох технологічних операціях з передачею води з однієї системи в іншу.

На більшості сучасних великих промислових підприємствах улаштовують 4 типи каналізації:

- 1) дощова – для відводу поверхневого стоку;
- 2) побутова – для відведення господарсько-побутового стоку;
- 3) для відведення умовно чистих стічних вод, продувальних вод оборотних систем;
- 4) фенольна – для відведення сильнозабруднених промислових стічних вод.

Фенольна каналізація призначена для відведення фенольних стоків після видалення з них основної маси забруднень (феноли, аміак) на спеціальних знефенолювальних установках шляхом десорбції водяною парою.

Стік побутової каналізації скидається в колектор міської господарсько-побутової каналізації для спільного очищення на міських очисних спорудах.

## **2.5 Поверхнево-зливовий стік із територій промислових підприємств**

Поверхневий стік утворюється від вод атмосферного походження (дощу, талого снігу, при митті вулиць тощо) над площею певної території, в тому числі промислових підприємств, населених пунктів.

Поверхневий стік виділяють організований та неорганізований. Перший - потрапляє в міську каналізаційну мережу, а другий - стікає по рельєфу місцевості. Насьогодні, коли скид стічних вод в межах міста заборонено і всі стічні води підлягають очищенню, поверхневий стік стає одним з основних забруднювачів міських водних об'єктів, з яким надходить до 70 % забруднень.

До складу забруднень поверхневого стоку промислових підприємств переважно входять завислі речовини. Крім того, до складу поверхневого стоку з територій промпідприємств можуть входити речовини, що визначаються технологічними процесами і відповідно викидами в атмосферу.

Основними джерелами забруднення поверхневих стічних вод є продукти ерозії ґрунту, пил, продукти відкритих складських площадок, викиди в атмосферу від промислових підприємств і забруднення їх території, різні нафтопродукти, що потрапляють на територію в результаті їх витікання або несправності автотранспорту та т.п.

Дошові води насичуються атмосферним пилом, розчиненими газами, аерозолями, а при стіканні змивають із поверхонь забруднення: пил, сміття, бензин, масла й інші забруднення.

Дошові води, що містять переважно мінеральні забруднення, менш небезпечні в санітарному відношенні, ніж побутові й забруднені виробничі стічні води, і тому їх скидають у водойми без очищення. В атмосферні води, що стікають із забруднених територій промислових підприємств, надходять і домішки, специфічні для певного виробництва, наприклад, хімічних та нафтопереробних заводів, шкіряних підприємств, м'ясокомбінатів тощо. Рекомендовано такі води піддавати очищенню. Особливо небезпечне надходження у водойми талих і дошових вод, які містять різні токсичні речовини (метали, нафтопродукти й інші важкоокислювальні органічні речовини).

Якість води дошового стоку визначається багатьма факторами, що діють при формуванні стоку на водозборі. Вплив цих факторів відчутно позначається на наявності у поверхневому стоці забруднювальних речовин у тій або іншій кількості.

Поверхневий стік із майданчиків промислових підприємств має відмінний склад від стоку, що стікає з міських територій. Донедавна вважали, що дошові й талі води, які стікають із територій міст і майданчиків промислових підприємств, не становлять екологічної небезпеки для води водоймищ та водотоків. Насьогодні встановлено, що поверхневі стічні води забруднені суттєво й не можуть скидатися у водойми без очищення. З огляду на те, що ці стічні води вносять суттєвий вклад у забруднення водоймищ, питанням очищення і використання поверхневого стоку з території міст та промислових підприємств приділяється все більша увага.

Перед випуском у водний об'єкт поверхневий стік повинен у всіх випадках піддаватися очищенню від плаваючих домішок, у тому числі нафтопродуктів і піску. Відведення поверхневого стоку повинно здійснюватися відповідно до нормативів та вимог «Правил охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами» з урахуванням особливостей його хімічного складу й умов формування. У випадку наявності в поверхневому стоці специфічних домішок до випуску його у водний об'єкт ставляться ті ж вимоги, як і до випуску виробничих стічних вод.

Доцільно враховувати й той факт, що дощові води відрізняються порівняно меншою мінералізацією, ніж річкові або підземні, що є перевагою поверхневого стоку при використанні для технічного водопостачання.

### **Засоби каналізування та очищення поверхневого стоку**

Спосіб і метод очищення поверхневого стоку й типи споруд, які застосовують для очищення, залежать від схеми каналізації, а також від складу та кількості стоку. Для відведення поверхневих стічних вод можуть застосовуватися різні схеми каналізації, залежно від яких у вітчизняній практиці та за кордоном здійснюється проектування, розроблення технологічних схем очищення і конструкцій очисних споруд. Виходячи з характеристики поверхневого стоку, для його очищення рекомендується передбачати споруди механічного та фізико-хімічного очищення. Для підвищення ефективності очищення, яка досягається у відстійних спорудах, доцільно застосовувати фільтрування, коагуляцію та флотацію. За необхідності досягнення більш глибокого очищення від колоїдних розчинених речовин, поверхневий стік доцільно подавати на споруди для спільного біологічного очищення з міськими або виробничими стічними водами. Очищення поверхнево-злизових стоків ускладнюється значними відмінностями номенклатури забруднювальних речовин та коливаннями показників забруднення для різних підприємств і навіть для різних виробництв усередині одного підприємства. Крім того, багато підприємств міст України не мають системи організованого збору поверхнево-зливового стоку зі своєї території, а в деяких випадках площа водозбору поверхнево-зливового стоку є загальною для декількох підприємств.

Залежно від складу домішок, що осідають на території промислових підприємств і потрапляють у стік, промислові підприємства розділяються на дві основні групи:

1). промислові підприємства, стік яких не містить специфічних речовин з токсичними властивостями. До цієї групи можна віднести підприємства чорної металургії (крім коксохімічного виробництва), машинобудівні, приладобудівні, вугільні, нафтовидобувні, енергетичні й транспортні підприємства, легка і харчова промисловості. Середня концентрація забруднень дощових стоків цієї групи промислових підприємств становить: завислі речовини 500-2000 мг/л; смоли та масла 30-70 мг/л; ХПК 100-150 мг/л; БПК 30-50 мг/л; загальний солевміст 500-3000 мг/л;

2). промислові підприємства, стік яких містить специфічні токсичні речовини. До цієї групи можна віднести підприємства кольорової металургії, коксохімічну промисловість, лісотехнічну промисловість, целюлозно-паперові, нафтопереробні, фармацевтичні, шкіряні заводи, м'ясокомбінати. У стоках цих підприємств, крім забруднень, характерних для першої групи наявні специфічні забруднення цих промислових підприємств.

В Україні та країнах СНД найбільше поширення дістала повна роздільна система каналізації, при якій для відведення дощових і талих вод улаштовується самостійна система каналізації.

Однак на промислових підприємствах є випадки, коли в дощову мережу скидають значну кількість виробничих стічних вод, у зв'язку з чим дощова мережа перетворюється у виробнично-зливову.

## РОЗДІЛ 3

### СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ ТА ПЕРЕРОБКИ СТІЧНИХ ВОД

Залежно від кількості стічних вод та складу забруднень використовують наступні методи їх очищення: механічні, хімічні, фізико-хімічні, фізичні, біохімічні й комбіновані. Класифікація методів очищення стічних вод представлена на рисунку 3.1.

Класифікаційна схема способів очищення стічних вод наведена на рисунку 3.1

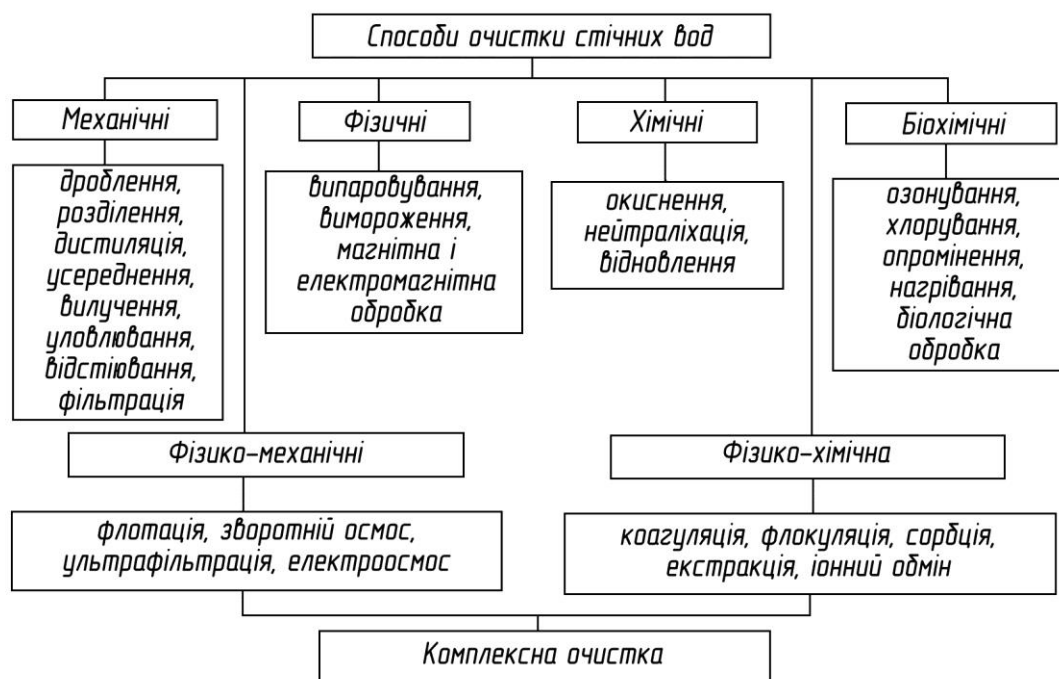


Рис. 3.1 Схема класифікації способів очищення стічних вод

Зазначені методи, крім цього, підрозділяють на рекупераційні й деструктивні. Рекупераційні методи передбачають вилучення із стічних вод і подальшу переробку цінних компонентів. При деструктивних методах речовини, що забруднюють води, піддають руйнуванню шляхом окислення або відновлення. Продукти руйнування видаляють з води у вигляді газів або опадів.

Вибір оптимальних технологічних схем очищення води досить складне завдання, що зумовлене переважним різноманіттям домішок, що знаходяться у воді, вимогами, поставленими до якості очищення води. При

виборі способу очищення від домішок ураховують не тільки їх склад у стічних водах, а й вимоги, які повинні задовільняти очищені води: при скиданні у водойму – ГДС (гранично допустимі скиди) і ГДК (гранично допустимі концентрації речовин), а при використанні очищених стічних вод у виробництві – ті вимоги, які необхідні для здійснення конкретних технологічних процесів.

Для приготування зі стічних вод технічної води або забезпечення умов скидання очищених стічних вод водойм велике значення має техніко-економічне оцінювання способів підготовки води. Економічно перевагу мають, як правило, замкнені системи водовикористання [1-3]. Однак процес заміни сучасних виробництв безвідхідними, в тому числі й з повністю замкненою системою водокористування, досить тривалий. Тому частину очищених стічних вод скидають у водойми. У цих випадках необхідно додержувати встановлених нормативів для відносної концентрації шкідливих речовин в очищених стічних водах.

Схеми очищення, що застосовуються повинні забезпечувати максимальне використання очищених вод в основних технологічних процесах і мінімальний їх скид у відкриті водойми. При широкому впровадженні оборотних систем є додаткові резерви у скороченні витрати свіжої води й зменшення скидання стічних вод у водойми (вдосконалення технологічних процесів, підвищення ефективності очищення стічних вод). Стічні води є чистими, якщо їх відведення у водні об'єкти не призводить до порушення норм якості води в контрольованому створі або пункті водокористування.

Ступінь очищення стічних вод при скиданні їх у водойми визначається нормативами якості води водоймища в розрахунковому створі й значною мірою залежить від фонових забруднень. Для зниження концентрацій шкідливих домішок, наявних у стічних водах, до необхідних величин необхідне відповідне очищення. Тому важливе значення має надійний контроль ступеня очищення стічних вод, оскільки з жорсткістю вимог до якості очищених вод значення ГДК більшості шкідливих речовин знижується і, отже, зростають труднощі їх визначення [4]. Крім того, контроль ускладнюється при визначенні концентрацій шкідливих речовин у сильно розведених стічних водах.

Наприклад, для зниження солевмісту в стічних водах з метою їх повторного використання застосовуються фізико-хімічні методи: іонний обмін, зворотний осмос, електродіаліз, дистиляція, випарювання. Воду, що



пройшла стадію знесолення, можна використовувати для різних технологічних потреб: промивання деталей, охолодження обладнання, отримання пари і т. п. Крім того, зі стічних вод можливе вилучення цінних компонентів, кислот, лугів. Використання води на цих стадіях залежить від вимог до якості оборотної води. Вибір обладнання для обробки стічних вод необхідно здійснювати шляхом порівняння даних про якість води з характеристиками та можливою ефективністю обладнання (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Класи забруднень стічних вод і методи їх знешкодження

Класи забруднень стічних вод	Група показників (ідентифікатор)	Основні методи знешкодження
1	2	3
Грубодисперсні зважені частинки	Зважені речовини з розміром частинок більше ніж 0,5 мм	Просіювання. Первинне відстоювання без реагентів. Фільтрація.
Грубодисперсні емульговані частинки	Краплинні забруднення, органічні речовини, не змішуються з водою	Гравітаційна сепарація. Фільтрація. Флотація. Електрофлотація.
Мікрочастинки	Зважені речовини з розміром частинок більше ніж 0,01 мм.	Фільтрація. Коагуляція. Флокуляція. Напірна флотація
Стабільні емульсії	Нафтопродукти в кількості більше 5 мг / літр, речовини, екстрагуються сірчанним ефіром.	Об'ємно-тонкошарова седиментація, напірна флотація, лектрофлотація, коалесценція.
Колоїдні частинки	Розмір частинок від 0,1 до 10 мікрон	Мікрофільтрація, електрофлотація.
Агресивність середовища	pH, загальна лужність, загальна кислотність	Нейтралізація.
Масла	Концентрація олій у стічних водах більше ніж 10 мг / літр	Гравітаційна сепарація, флотація, електрофлотація
Феноли	Концентрація фенолів у	Біологічне очищення +

	стоках –0.5...5 мг / літр	хімічне окислення (озон). Адсорбція на вугіллі.
Феноли	Концентрація фенолів у стічних водах 5-500 мг / літр	Біологічне очищення + флотація. Коагуляція + хімічне окислення (озон, хлор).
Високий уміст органічних домішок	БПК / ХСК > 0,5	Біохімічний, хімічний, сорбційний.
Іони важких і кольорових металів	Концентрації – $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Fe}$ (заг), $\text{Cd}^{2+}$ 1-100 мг / літр	Реагентні, електрокоагуляція, гальванокоагуляція, іонний обмін, мембранний електроліз, електрофлотація.
Ціаніди	Концентрація $\text{CN}^-$ у стічних водах 1-10 мг / літр	Хімічне окислення, електроліз, електрофлотація, зворотний осмос, іонний обмін, адсорбція.
Хром (VI)	Концентрація $\text{Cr}^{6+}$ у стоках 1-100 мг / літр	Гальванокоагуляція, електрокоагуляція, електрохімічне відновлення, реагентний метод + електрофлотація.
Хром (III)	Концентрація $\text{Cr}^{3+}$ у стоках – 1...100 мг / літр	Осадження + фільтрація, осадження + центрифугування, іонний обмін, електрофлотація
Хлориди	Концентрація хлоридів > 300 мг / літр	Електродіаліз, зворотний осмос
Загальний солевміст стічних вод	Концентрація солей 1–1000 мг / літр	Зворотний осмос, електродіаліз, іонний обмін, дистиляція, випарювання

Процес очищення стічних вод промислового підприємства зазвичай багатостадійний процес (рис. 3.2), де на кожній стадії застосовуються різні

методи очищення стічних вод і відповідне обладнання водоочищення. Це зумовлено тим, що деякі методи (особливо глибокого очищення стічних вод) не можна використовувати, якщо в стічних водах наявні завислі та емульговані частинки, певні групи речовин. Крім того, майже всі методи очищення стічних вод мають межі концентрацій за забруднювачами, від яких цей метод доцільний для застосування. Тому виникає питання попереднього оброблення стічних вод перед застосуванням головних методів очищення. Використання стадійного оброблення стічних вод пояснюється й тим, що комбінацією декількох процесів можливо значно підвищити ефективність очищення та досягти необхідного його ступеня.

На різних промислових виробництвах застосовується різна кількість стадій водоочищення. Це залежить від організації очищення, методів, що застосовуються, складу стічних вод тощо.

Найбільш правильним, мабуть, буде поділ процесу очищення стічних вод на чотири стадії, відповідно до розподілу забруднювачів на основі їх фазово-дисперсного стану за класифікацією академіка Л. А. Кульського.

На першій стадії очищення стічних вод необхідно видалити грубодисперсні завислі частинки і грубодисперсні емульсії, нейтралізувати токсичні речовини і вилучити мастила. Якщо такі забруднення в стічних водах не містяться, то можна починати очищення з другої стадії, на якій видаляються майже всі дрібнодисперсні механічні домішки, й, за необхідності, проводиться підготовлення води для подальшого очищення, наприклад, зменшення агресивності стічних вод, зниження неприйнятних концентрацій певних забруднювачів. На третій стадії відбувається очищення стічних вод від усіх забруднювальних речовин до необхідного рівня. Якщо цього недостатньо, то виникає необхідність у четвертій стадії доочищення стічних вод, на якій застосовуються методи, що дають можливість вилучати розчинні сполуки з води.

Застосування конкретних методів очищення або їх поєднань на кожній стадії оброблення стічних вод визначається хімічним складом і фізичними параметрами стічної води. Зрозуміло, що друга й третя стадії є невід'ємною частиною будь-якої схеми оброблення стічних вод. Ці обов'язкові стадії очищення – первинне та вторинне оброблення стічних вод – основа будь-якого процесу очищення. Перша стадія являє попереднє оброблення, а остання – глибоке очищення стічних вод. Усі стадії процесу

оброблення стічних вод промислового підприємства показано на рисунку. Розглянемо основні характеристики стадій водоочищення.

### **Попереднє очищення стічних вод**

Якщо стічні води промислового виробництва містять грубодисперсні завислі частинки або волокна (наприклад, виробництво кераміки), мастила та нафтопродукти, то потрібне ефективне попереднє очищення стічних вод, яке включає:

- 1). первинне відстоювання із застосуванням або без застосування хімреагентів залежно від складу стічної води;
- 2). проціджування крізь ґрати або сітчасті фільтри;
- 3). пропускання стічної води через гравійні фільтри (груба фільтрація стічних вод);
- 4). коагуляцію, флокуляцію;
- 5). видалення із стічних вод токсикантів;
- 6). використання мастиловловлювачів для очищення стічних вод від нафти і масел.

За певних умов необхідно здійснити додавання в стічну воду флокулянтів, щоб укрупнити завислі та колоїдні частинки дисперсної форми й перевести їх у фільтровану форму.

### **Первинне очищення стічних вод**

Існує безліч різних видів первинного оброблення стічних вод, що відрізняються ефективністю:

- 1). механічне первинне очищення стічних вод;
- 2). хімічно посилене первинне оброблення;
- 3). первинне оброблення суспензії;
- 4). первинне біологічне очищення стічної води.

*Первинне оброблення стічних вод* – це механічне очищення, хоча тут також відбувається значне зниження концентрацій певних забруднень стічних вод. Ця стадія є неоднозначною, методи, що застосовуються на ній, можуть сильно відрізнятися за принципом очищення стоків.

### **Вторинне оброблення стічних вод**

*Вторинне оброблення* – це основна стадія очищення стічних вод, де відбувається вилучення зі стічних вод більшості забруднювачів. При обробленні на цій стадії поряд з фізико-хімічними методами очищення часто використовують процеси біологічного окислення. Методів, що використовуються на вторинній обробці, зазвичай достатньо для прийнятно-ефективного очищення стічних вод. Однак очищення стоків до

вимог ГДК, або допустимої концентрації для скидання, іноді досягається тільки після стадії глибокого очищення. На цій стадії застосовуються найбільш ефективні фізико-хімічні методи очищення та знесолення стічних вод, такі, наприклад, як іонний обмін або зворотний осмос.

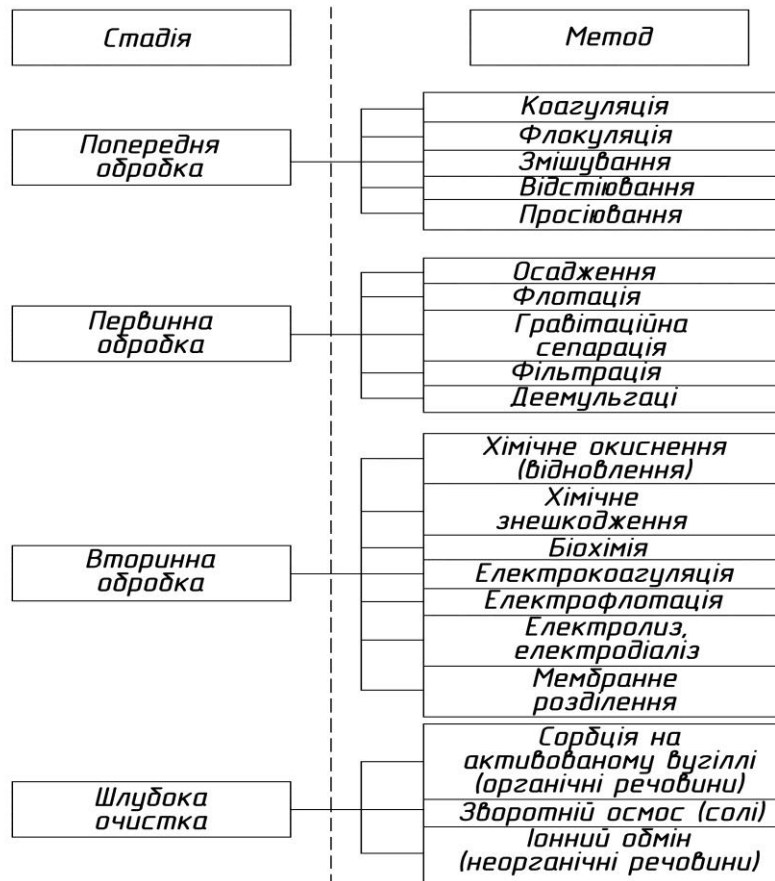


Рис. 3.2 Стадії очищення стічних вод

### 3.1 Гідромеханічні способи очищення стічних вод Загальні положення

Механічні методи очищення стічних вод застосовуються для виділення з них нерозчинних мінеральних та органічних домішок. Призначення механічного очищення полягає у підготовці виробничих стічних вод до подальших біологічних, фізико-хімічних або інших методів очищення.

Для видалення завислих часток із стічних вод застосовують періодичні та безперервні гідромеханічні процеси проціджування,

гравітаційного й відцентрового відстоювання і фільтрування. Вибір методу залежить від розміру частинок домішок, фізико-хімічних властивостей та концентрації завислих часток, витрати стічних вод і необхідного ступеня очищення. Перед більш тонким очищенням стічні води направляють на проціджування через ґрати й сита, які встановлюють перед відстійниками з метою вилучення з них великих домішок. **Осадження** це розділення рідких неоднорідних систем шляхом виділення з рідкої фази твердих або рідких замулюючих частинок під дією сили тяжіння або відцентрової сили. Відповідно розрізняють гравітаційне відстоювання та осаджувальне центрифугування. **Осадження відстоюванням** відбувається під дією сили тяжіння. Для проведення процесу використовують пісковловлювачі, відстійники й освітлювачі. У освітлювачах одночасно з відстоюванням відбувається фільтрація стічних вод через шар зважених часток.

Типи і розміри споруд механічного очищення залежать в основному від складу, властивостей та витрат виробничих стічних вод, а також від методів їх подальшого оброблення. Як правило, механічне очищення є попереднім, рідше – остаточним етапом для очищення виробничих стічних вод. Воно забезпечує виділення завислих речовин до 90 ... 95% і зниження концентрації органічних забруднень (за показником БПК<sub>повн</sub>) до 20 ... 25%. Підвищення ефективності очищення стічних вод досягається різними способами інтенсифікації гравітаційного відстоювання – преаерацією, біокоагуляцією, освітленням у завислому шарі (відстійники-освітлювачі) або в тонкому шарі (тонкошарові відстійники), а також за допомогою гідроциклонів. Процес більш повного освітлення стічних вод здійснюється фільтруванням – пропуском води через шар зернистого матеріалу (кварцовий пісок, гранітний щебень, дроблений антрацит, керамзит, горілі породи, домений шлак та інших матеріали) або через сітчасті барабанні фільтри й мікрофільтри, через високопродуктивні напірні фільтри і фільтри з плаваючим завантаженням – пінополіуретанової або пінополістирольної. Перевага цих процесів полягає у можливості застосування їх безреагентно. Вибір методу очищення стічних вод від замулюючих часток здійснюється з урахуванням кінетики процесу.

Розміри завислих часток, що містяться у виробничих стічних водах коливаються в широких межах (можливі діаметри частинок становлять від  $5 \cdot 10^{-9}$  до  $5 \cdot 10^{-4}$  м), для частинок розміром до 10 мкм кінцева швидкість осадження становить менше ніж  $10^{-2}$  см / с. Якщо частинки достатньо великі (діаметром більше ніж 30 ... 50 мкм), то відповідно до закону Стокса

вони можуть легко виділятися відстоюванням (при великій концентрації), або проціджування, наприклад, через мікрофільтри (при малій концентрації). Колоїдні частинки (діаметром 0,1 ... 1 мкм) можуть бути видалені фільтруванням, однак через обмежену місткість фільтруючого шару більш відповідним методом при концентраціях замулюючих часток понад 50 мг / л є ортокінетична коагуляція з наступним осадженням або висвітленням у зваженому шарі. Підвищення ефективності очищення споруд механічного очищення це важливе завдання при створенні замкнених, або безстічних систем водного господарства промислових підприємств. Цю вимогу задовільняють сучасні конструкції багатополічкових відстійників, сітчастих фільтрів, фільтрів з новими видами зернистих і синтетичних завантажень, гідроциклонів (напірних, безнапірних, багатоярусних). Застосування зазначених споруд дозволить скоротити в 3 ... 5 разів капітальні витрати та на 20 ... 40% експлуатаційні витрати, зменшити в 3 ... 7 разів необхідні площі для будівництва порівняно із застосуванням звичайних відстійників. З метою забезпечення безперебійної, надійної та ефективної роботи споруд механічного очищення виробничих стічних вод, як правило, рекомендується застосовувати не менше двох робочих одиниць основного технологічного обладнання – решіток, пісковловлювачів, усереднювачів, відстійників або фільтрів. При виборі максимальної кількості споруд передбачається їх секціювання за уніфікованими групами, що складаються з одиниць з найбільшими габаритами.

Механічне очищення як самостійний метод застосовують тоді, коли освітлена вода після очищення може бути використана в технологічних процесах виробництва або випущена у водойми без порушення їх екологічного стану. В усіх інших випадках механічне очищення служить першим етапом очищення стічних вод.

### **3.2 Усереднення промислових стічних вод**

Для стічних вод більшості промислових підприємств характерні нестабільність витрат і складу, що пов'язане з особливостями технологічних процесів. Витрата й забруднення стічних вод в певні періоди часу можуть змінюватися в широких межах.

Нерівномірність витрат та забруднень стічних вод від промислових підприємств у результаті періодичних і аварійних випусків створює значні

ускладнення в підтримці надійного та оптимального режиму роботи очисних споруд та знижує якість очищення.

Розрізняють 3 види нестационарності потоку:

- ✓ залпові скидання висококонцентрованих стічних вод;
- ✓ циклічні коливання;
- ✓ вільний (випадковий) характер коливань.

Усереднювачі призначені для регулювання витрат стічної води та концентрації забруднень в ній, що надходить на очисні споруди. Надходження на очисні споруди виробничих стічних вод з постійною витратою й усередненою концентрацією забруднень забезпечує безперебійність роботи та підвищує ефективність як механічного очищення, так і наступних етапів очищення.

Для усереднення використовують резервуари – усереднювачі, в яких накопичуються і перемішуються стічні води, завдяки чому вирівнюються концентрації забруднень; взаємно нейтралізуються кислі й лужні стоки та виключаються різкі коливання навантаження на подальші очисні споруди.

### **Типи і конструкції усереднювачів**

Усереднювачі як правило проектують у складі локальних очисних споруд промислових стічних вод.

Розрізняють наступні типи проточних усереднювачів:

- ✓ багатоканальні – прямокутні та круглі в плані, з нерівномірним розподілом витрати води по каналах;
- ✓ усереднювачі – змішувачі (усереднювачі з перемішуючими пристроями) барботажного типу і з механічним перемішуванням.

Вибір раціональної схеми усереднення і розрахунок об'єму усереднювача здійснюють на основі даних про характер коливань параметрів вхідних потоків.

За наявності на підприємстві контрольно-вимірювального обладнання зміни складу стічних вод реєструються безперервно, за відсутності контрольно-вимірювальної апаратури – дискретно, з встановленою тривалістю інтервалів між лабораторними аналізами. Для усереднення стічних вод за концентрацією забруднень в усереднювачах будь-якої конструкції вода повинна перемішуватися за допомогою змішувачів та ін. Найбільш зручними в експлуатації є перфоровані трубчасті барботери.



Усереднювач-змішувач барботажного типу застосовують для усереднення стоків з умістом завислих речовин більше ніж 500 мг/л, гідравлічною крупністю до 10 мм/с.

Усереднювач-змішувач із механічним перемішуванням і відстійною зоною застосовують для усереднення стоків з умістом завислих речовин більше ніж 500 мг/л й будь-якою гідравлічною крупністю з вільним режимом надходження стоків.

Для того, щоб упоратися із залповими скиданнями висококонцентрованих стоків і вільним коливанням складу стічних вод за наявності завислих дрібно- диспергованих речовин з концентрацією до 500 мг/л, гідравлічною крупністю до 5 мм/с, застосовують багатоканальні усереднювачі без примусового перемішування. За необхідності усереднення витрат споруди блокують з акумулюючою ємкістю.

Усереднювачі бувають контактними і проточними. Контактні усереднювачі застосовують при невеликих витратах, періодичному скиданні й необхідності повного усереднення концентрації забруднень стічних вод. У більшості випадків застосовують проточні усереднювачі, які виконують у вигляді резервуарів з перемішувачами або у вигляді багатоканальних резервуарів (рис.3.3).

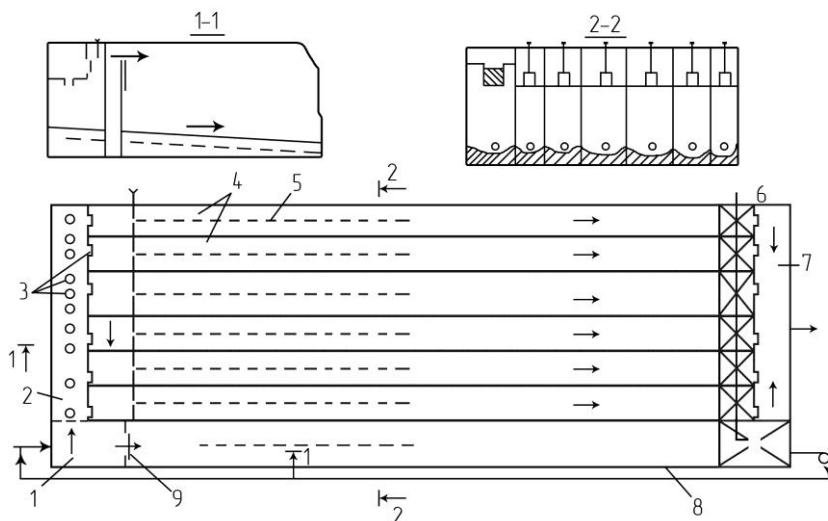


Рис. 3.3 Багатоканальні усереднювачі:

а) прямокутний проточний: 1 – лоток подачі води; 2 – розподільний лоток; 3 – глуха діагональна перегородка; 4 – поздовжні вертикальні перегородки; 5 – збірні лотки; 6 – водовідвідні канали.; б) круглий: 7 – глуха радіальна перегородка; 8 – напрямок руху води

Як усереднювач доцільно використовувати типові ємкісні споруди (нафтовловлювачі, відстійники, а також прийомні резервуари насосних

станцій), що мають систему примусового перемішування. Із багатоканальних усереднювачів найбільшою ефективністю вирізняються прямокутні й круглі. Усереднення в них забезпечується за рахунок механічного перемішування струменями стічної води (рис.3.2). Кількість каналів у кожній половині усереднювача повинна бути не менше ніж 5-6. Конструктивний тип усереднювачів обирають залежно від характеру коливань забруднювальних компонентів, виду та кількості завислих речовин, а також динаміки надходження стічних вод.

### **3.3 Проціджування стічних вод**

До складу виробничих стічних вод багатьох підприємств можуть входити специфічні забруднювальні речовини (пух, пір'я, щетина тварин, дерев'яна тріска, волокна, шматки пластмаси), очищення від яких здійснюється за допомогою проціджування. У багатьох з перерахованих випадках звичайні ґрати малоефективні або не придатні для очищення стічних вод від зазначених забруднювачів.

Розміри отворів проціджувачів змінюються від 20 мм (ґрати на насосних станціях), 16 мм (ґрати на станціях очищення стічних вод), 2-5 мм (дискові сита) до 0, 25-1 мм (дугові сита, грохоти, барабанні сітки) і 20-60 мкм (мікрофільтри).

Продуктивність проціджувачів вимірюють пропускною здатністю одиниці робочої поверхні за годину, що становить для: мікрофільтрів 5-15, барабанних сіток 40-50, дугових сит 40-60 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>год).

Для видалення з води найбільш крупних забруднювачів використовують решітки та сита (рис. 3.4). Решітки виконують роль захисних споруд і слугують для вилучення крупних відходів виробництва (папір, уламки деревини, каміння, сміття), потрапляння яких у подальші очисні споруди можуть викликати засмічення трубопроводів, каналів та вихід з ладу очисного обладнання. Решітки розрізняють нерухомі, рухомі й сумісні з дробарками (комінатори). Вони можуть бути з механічним або ручним очищенням, встановлюватися вертикально або похило, під кутом 60°. ґрати виготовляють з металевих стрижнів різної форми, частіше круглої або прямокутної. У більшості конструкцій решітки виконують з розташованих паралельно один одному сталевих стрижнів різного перерізу, закріплених у рамі для забезпечення їх жорсткості. Клиновидний перетин стрижнів має розміри 4x10 мм. Стрижні жорстко закріплені в

придонній частини каналу і вільні зверху. Решетки випускають з шириною прорізів від 1 до 50 мм, стандартні прорізи дорівнюють 16 мм і робочою шириною від 338 до 1200 мм. Розмір ґрат визначається умовою забезпечення в прорізі швидкості руху стічної води 0,8-1 м/с при максимальному притоці на очисні споруди для уникнення продавлювання відходів. Характеристика решіток і сит наведена в таблиці 3.2. Очищення решіток від затриманих забруднень можна проводити вручну, якщо кількість вловлених забруднень не перевищує 0,1 м<sup>3</sup>/доб, або за допомогою механічних граблів. Граблі встановлюють перед ґратами або після них. Уловлені на ґратах забруднення подрібнюють у спеціальних дробарках і повертають у потік води перед ґратами. Найбільше застосування отримали решітки таких типів: решітки механічні уніфіковані (РМУ), поворотні (МГТ), малогабаритні вертикальні (РМВ), комбіновані ґрати-дробарки типів РД і КРД. Схеми решіток найпростішого типу показані на рисунку 2.4. Конструктивний тип решіток вибирають згідно з таблицею 2.2.

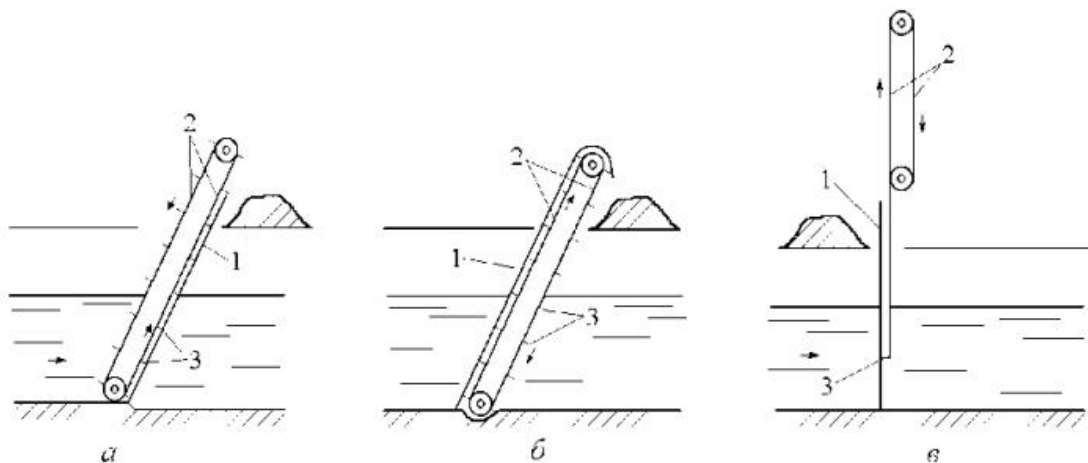


Рис. 3.4 Схеми нерухомих решіток: а – московського типу; б – ленінградського типу; в – вертикальна; 1 – решітка; 2 – нескінченний ланцюг; 3 – граблі

Таблиця 3.2

Характеристика решіток і сит

Параметр	Тип решітки (сита) *						
	MP	PMH	RS-16	RS-35	РГД	РСФ-01	СЗС-01
1	2	3	4	5	6	7	8
Ширина решітки, мм	2100	2100	1200	1900	1200	1455	3000
Ширина	810	728;	850	1500	950	950	2560

фільтрувальної частини, мм		810					
Висота від дна, мм	4500	4500	3300	3500	2500	3252	3000
Довжина, мм	2600	2660	1800	1800	1800	1480	6680
Висота вивантаження від підлоги, мм	900	900	450	450	1500	2070	800
Максимальна глибина каналу, мм	3000	3000	1000	3000	1000	1000	4200
Ширина прорізів, мм	16, 12	10; 6	5	3	10	4	1,4
Товщина фільтруючих пластин, мм	10	10	3	3	10	3	
Маса, кг	4500	3750	900	4300	2100	2400	
Максимальний рівень рідини перед ґратами, мм	2000	2000	600	2000	600	600	3000
Потужність електродвигуна, кВт	1,5	0,75	1,1	4,0	0,85	1,5	1,5

Решітки розміщують в окремих опалюваних та вентильованих приміщеннях, що забезпечені вантажопідйомними пристроями. Перевагою решіток-дробарок є те, що вони затримують та дроблять відходи в потоці, в результаті чого непотрібні процеси транспортування їх до дробарки і поліпшуються санітарні умови.

Для видалення більш дрібних завислих речовин використовують сітки (сита) і мікрофільтри. У практиці застосовують обертові сита 3-ох типів: барабанні, дискові та стрічкові.

Барабанні сита (рис. 3.5) є безперервно діючим механізмом у вигляді барабана, що обертається, на який натягнута тонка металева сітка. Розміри отворів сіток – 0,3...0,8 мм, а мікрофільтрів – 0,04...0,07 мм.

Робоча сітка розташовується між підтримувачами, які мають отвори 10x10 мм. Барабан занурений у воду на глибину 0,6 - 0,85 м від діаметра, обертається в камері зі швидкістю 0,1 - 0,5 м / с. Швидкість проціджування становить 0,8 - 1 м / с. Стічні води фільтруються як через внутрішню, так і через зовнішню поверхню барабана, залежно від її підведення. Затримані сіткою домішки змиваються промивною водою під тиском 0,15 - 0,2 МПа, після чого видаляються. Витрата промивної води становить 1–2% від кількості очищеної води. Ефективність очищення стічної води на ситах 40 – 45%, на мікрофільтрах – 40...60% м<sup>3</sup>. Продуктивність сита залежить від діаметра барабана (1,5 - 3 м) і його довжини (1 - 4,5 м) та становить 4 - 45000 м<sup>3</sup>/добу.

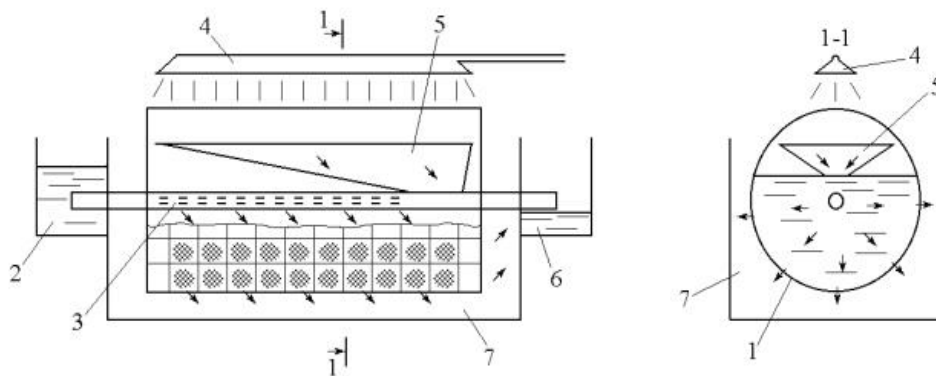


Рис. 3.5 Схема барабанної сітки

Дискові сита – це сітки, натягнуті на диск, здійснюється лобова подача води паралельно до осі обертання диска. Сита мають діаметр 1,2...3 м, пропускну здатність – 2,4 ... 48000 м<sup>3</sup>/добу.

Стрічкова сітка являє собою металеве полотно, що безперервно рухається, перекинута через розташовані один над одним горизонтальні барабани. Полотно складається з окремих секцій, шарнірно з'єднаних між собою. Сітка виготовляється з тонкого дроту (латунного, мідного або нержавіючої сталі) діаметром 0,2-0,4 мм з отворами від 0,3 x 0,3 до 2x2 мм.

Для розділення завислих речовин на фракції використовують фракціонатори, основною частиною яких є вертикальна сітка, що розділяє ємність на 2 частини. Діаметр отворів сітки – 0,06...0,1 мм. При поділі 50–80% зважених часток залишається в грубій фракції.

Ефективність роботи проціджувачів і їх продуктивність залежать від величини отворів та характеру твердої фази стічних вод.

**Мікрофільтр** являє собою фільтрувальний апарат, в якому як фільтруючий елемент застосовують металеві сітки, тканини та полімерні матеріали. Мікрофільтр зазвичай випускають у вигляді обертових

барабанів, на яких нерухомо закріплені або притиснуті до барабана фільтрувальні матеріали. Барабани випускають діаметром 1,5–3 м і встановлюють горизонтально. Очищена вода надходить всередину барабана й фільтрується через фільтр назовні. Мікрофільтр широко використовують для освітлення природних вод. Процес фільтрування відбувається тільки за рахунок різниці рівнів води всередині та зовні барабана.

Полотно сітки не закріплене, а лише охоплює барабан у вигляді нескінченної стрічки, натягнуте за допомогою натяжних роликів. Мікросітки виготовляють з різних матеріалів: капрону, латуні, нікелю, нержавіючої сталі, фосфористої бронзи, нейлону тощо. Характеристика затримуваних частинок залежить від різних параметрів (характеристики стічних вод та фільтра, гідродинамічних параметрів й ін.).

Таблиця 3.3

Порівняльна характеристика тканин і мікросіток

Тканина і мікросітка	Розмір чарунок, мкм	Число чарунок на 1 см <sup>2</sup>
Тканина:		
капронова	58x70	350-400
із волокнистого скла	20x60	100-500
Мікросітка:		
латунна № 006	57-58	10000-13000
із фосфористої бронзи № 004	35-45	18000-21000
нікелева № 004	35-40	18000-22000
нікелева плющена № 002	18-22	20000

Таблиця 3.4

Крупність затримуваних частинок різними фільтрувальними тканинами

Тканина	Крупність часток, мм	Тканина	Крупність часток, мм
Капрон	5-30	Лавсан	10
Фільтродіагональ	20	Фільтроміткаль	3
Полівінілхлорид	20	Хлорин	3
Бавовняний бельтинг	10	Полівінілхлорид	3
Фторлон	10	Нітрон	3

Таблиця 3.5

## Технічна характеристика мікрофільтром барабанних сіток [1]

Розмір мікрофільтра барабанної сітки, м	Розрахункова продуктивність, м <sup>3</sup> /доб	
	Мікрофільтр	Барабанна сітка
1,5x1	4000	10000
1,5x2	8000	20000
1,5x3	12000	30000
Продовження таблиці 2.5		
3x1,5	15000	35000
3x3	30000	70000
3x4,5	45000	105000

Таблиця 3.6

## Технічна характеристика мікросіток

№ сітки	Номінальний розмір сторони комірки, мм	Діаметр проволочи, мм	Число комірок на 1 см <sup>2</sup>	Переріз, %	Маса 1 см <sup>2</sup> , кг
01	0,1	0,07	3460	35	0,4
009	0,09	0,07	3900	32	0,43
0085	0,085	0,065	4450	32	0,4
008	0,08	0,055	5476	30	0,3
0071	0,071	0,065	6400	32	-
0063	0,063	0,045	8270	35	-
0056	0,056	0,04	10000	36	-
005	0,05	0,035	13900	31	-
0045	0,045	0,035	15000	30	-
004	0,04	0,03	20450	28	-

### 3.4 Відстоювання стічних вод

#### 3.4.1 Закономірності відстоювання

За відсутності втрат речовин у процесі механічного поділу стічних вод від домішок рівняння матеріального балансу мають вигляд:

$$- \text{ за загальною кількістю речовин } G_{\text{см}} = G_{\text{осв}} + G_{\text{ос}};$$

$$- \text{ за дисперсною фазою } G_{\text{см}} \cdot X_{\text{см}} = G_{\text{осв}} \cdot X_{\text{осв}} + G_{\text{ос}} \cdot X_{\text{ос}},$$

де  $G_{\text{см}}$ ,  $G_{\text{осв}}$ ,  $G_{\text{ос}}$  – маса вихідної стічної води, освітленої води й одержуваного осаду домішок, кг;  $X_{\text{см}}$ ,  $X_{\text{осв}}$ ,  $X_{\text{ос}}$  – уміст домішок у вихідній стічній воді, освітленій воді та осаді, масові частки.

Спільне рішення зазначених рівнянь дозволяє визначити масову кількість освітленої води  $G_{\text{осв}}$  і масу осаду  $G_{\text{ос}}$ , одержуваних при заданому вмісті домішок в осаді та освітленій воді:

$$G_{\text{осв}} = G_{\text{см}} \frac{X_{\text{ос}} - X_{\text{см}}}{X_{\text{ос}} - X_{\text{осв}}}; \quad (3.1)$$

$$G_{\text{ос}} = G_{\text{см}} \frac{X_{\text{см}} - X_{\text{осв}}}{X_{\text{ос}} - X_{\text{осв}}}. \quad (3.2)$$

Уміст зважених часток в освітленій воді та в осаді обирається залежно від конкретних технологічних умов процесу.

Основним параметром, який використовують при розрахунку осадження, є гідравлічна крупність. При падінні осадженні частки під дією сили тяжіння сила, яка рухає частку діаметром  $D_{\text{ч}}$ , виражається різницею між її вагою

$$G = m_{\text{ч}} g = \pi \frac{d_{\text{ч}}^3}{6} \rho_{\text{ч}} g \quad (3.3)$$

і архімедовою силою, що дорівнює вазі рідини в об'ємі частинки

$$A = m_0 g = \pi \frac{d_{\text{ч}}^3}{6} \rho_0 g; \quad (3.4)$$

$$G - A = \pi \frac{d_{\text{ч}}^3}{6} g (\rho_{\text{ч}} - \rho_0), \quad (3.5)$$

де  $\rho_{\text{ч}}$  – щільність твердої частинки, кг/м<sup>3</sup>.

Сила опору середовища за Ньютоном

$$R = \zeta \frac{\pi d_{\text{ч}}^2}{4} \frac{\rho_0 \omega_{\text{ос}}^2}{2}, \quad (3.6)$$



де  $\zeta$  коефіцієнт опору водного середовища, що залежить від режиму осадження. Швидкість осадження  $w_{oc}$  можна знайти з умови рівності сили, рушійної частки і сили опору водного середовища:

$$\omega_{oc} = \sqrt{\frac{4gd(\rho_c - \rho_o)}{3\varphi_0}}. \quad (3.7)$$

У ламінарному режимі осадження при  $\zeta = 24/Re_c$  отримаємо формулу Стокса

$$\omega_{oc} = \frac{gd_c^2(\rho_c - \rho_o)}{18\mu_0} \quad (3.8)$$

Існує і мінімальний розмір часток, нижче від якого спостерігаються відхилення від закону Стокса та при  $Re_c \leq 10^{-4}$  на швидкість осадження дуже дрібних частинок починає впливати тепловий рух молекул середовища. У таких умовах розмір  $d$  частинок стає порівняним із середньою довжиною вільного пробігу молекул середовища. Розрахунки показують, що при  $d \approx 0,1$  мкм частинки не осідають, а спостерігається лише хаотичний броунівський рух частинок.

Швидкість осадження частинок нешаруватої форми менше від швидкості осадження кулястих частинок. Для нешаруватих частинок у розрахункових формулах використовують еквівалентний діаметр  $d_e$ , який визначають за об'ємом або масою  $V_c G_c$  частки:

$$d_e = \sqrt[3]{6V_c/\pi} = \sqrt[3]{6G_c/\pi\rho_c}. \quad (3.9)$$

При відстоюванні стічних вод спостерігається стиснуте осадження, яке супроводжується зіткненням частинок, тертям між ними і зміною швидкостей великих та малих часток. Швидкість стиснутого осадження менше від швидкості вільного осадження внаслідок виникнення висхідного потоку рідини й збільшення в'язкості середовища. Швидкість стиснутого осадження частинок однакового розміру при ламінарному режимі можна розрахувати за формулою Стокса з поправковим коефіцієнтом  $R = (1-\phi)\mu_0/\mu_c$ , який ураховує вплив концентрації зважених частинок і реологічні властивості системи (в'язкість системи Європейського Союзу наприкінці):

$$\omega_{oc} = d_c^2 g(\rho_c - \rho_o)R/(18\mu_0). \quad (3.10)$$

Швидкість осадження полідисперсної системи безперервно змінюється в часі. Внаслідок агрегації частинок вона може змінюватися в кілька разів у порівнянні з розрахунковою. Здатність до агрегації залежить від концентрації, форми, розміру і щільності зважених часток, від

співвідношення часток різного розміру і в'язкості середовища. Коефіцієнт агломерації характеризується співвідношенням  $Ka = d_{\phi} / d_c$ , де  $d_{\phi}$  – фіктивний діаметр частинки, еквівалентний теоретичній швидкості її осадження. Для полідисперсних систем кінетику осадження встановлюють дослідним шляхом у вигляді кривої залежності маси  $M$  осаджених частинок від часу осадження  $\tau$ .

Процес відстоювання використовують також для очищення виробничих стічних вод від нафти, масел, смол, жирів. Очищення від спливаючих домішок аналогічне осадженню твердих речовин. Різниця полягає в тому, що щільність спливаючих частинок менша, ніж щільність води. Для вловлювання частинок нафти використовують нафтовловлювачі, а для жирів – жировловлювачі. Швидкість підйому часток  $w_{bc}$  легкої рідини залежить від розміру частинок  $D_c$ , щільності спливаючих частинок  $\rho_l$  і в'язкості середовища  $\mu_0$ , тобто від числа  $Re_c = w_{bc} \cdot d_c \cdot \rho_l / \mu_0$ . В області  $Re_c < 0,25$  спливання частинок відбувається за залежністю Стокса:

$$\omega_{ec} = d^2 g (\rho_0 - \rho_l) / (18 \mu_0). \quad (3.11)$$

Рух частинки легкої фази вгору викликає в стічній воді вторинні потоки, які гальмують піднесення. Швидкість підйому з урахуванням гальмування дорівнює

$$\omega_{ec}^0 = \omega_{ec} (3\mu_l - 3\mu_0) / (3\mu_l + 2\mu_0), \quad (3.12)$$

де  $\mu_l$  – коефіцієнт динамічної в'язкості більш легкої спливаючої рідини.

На процес поділу впливає турбулентність, коагуляція і гідродинамічне комплексоутворення. Відношення числа відстояних частинок легкої рідини певного розміру до загальної кількості частинок цієї рідини називають *ефектом відстоювання*.

### 3.4.2. Осадження частинок у пісковловлювачах

У стічних водах, як правило, міститься значна кількість нерозчинених мінеральних домішок (піску, шлаку, бою скла та ін.) При спільному виділенні мінеральних і органічних домішок у відстійниках затруднюється видалення осаду й зменшується його плинність. При цьому можуть відбуватися розділення осаду на важку (пісок з великою щільністю) і легку (органічну з невеликим питомою вагою) частини й накопичення піску у відстійниках. Для видалення такого осаду потрібні посилені скребки. Осад, що містить пісок, погано транспортується

трубопроводами, особливо у випадку самопливу. Тому до складу очисних споруд за ґратами проєктують пісковловлювачі.

Пісковловлювачі призначені для видалення механічних домішок з вмістом частинок розміром більше за 250 мкм. Принцип дії пісковловлювачів оснований на зміні швидкості руху твердих важких частинок у потоці рідини. Пісковловлювачі класифікують на горизонтальні, в яких рідина рухається в горизонтальному напрямі, з прямолінійним або круговим рухом води, вертикальні, в яких рідина рухається вертикально вгору, й пісковловлювачі з поступально-обертальним рухом води. Останні залежно від способу створення гвинтового руху поділяють на тангенціальні та аеровані. Найпростіший горизонтальний пісковловлювач – щілинний (рис. 3.6). Принцип його роботи заснований на тому, що пісок каналізаційної мережі просувається в основному в нижній частині колектора і при невеликому зменшенні швидкості потоку більш важкі частинки провалюються вниз. Горизонтальні пісковловлювачі великої продуктивності більш складні. Горизонтальний пісковловлювач має прямокутну форму й складається з двох і більше секцій. На вході в пісковловлювач встановлюють ґрати для затримання великих механічних домішок. Крім ґрат на початку та наприкінці пісковловлювача розташовані дерев'яні шибери для рівномірного надходження води і відключення пісковловлювача. Днище пісковловлювача виконують під кутом до центру споруди для збирання та відкачування осаду. При роботі пісковловлювачів на їх дні накопичуються механічні домішки, які необхідно періодично видаляти. При очищенні пісковловлювачів зазвичай застосовують переносний або стаціонарний гідроелеватор.

Пісковловлювачі споруджують зі збірних залізобетонних елементів уніфікованих розмірів (рис. 3.7, 3.8). Тип пісковловлювача обирають залежно від продуктивності очисних споруд, схеми очищення стічної води, оброблення осаду, характеристики завислих речовин. При продуктивності до 50 тисяч м<sup>3</sup>/добу рекомендовано приймати тангенціальні пісковловлювачі, понад 10 тисяч м<sup>3</sup>/добу – горизонтальні, понад 20 тисяч м<sup>3</sup>/добу – аераційні. Горизонтальні пісковловлювачі з прямолінійним рухом води мають у плані прямокутну форму (рис. 3.7).

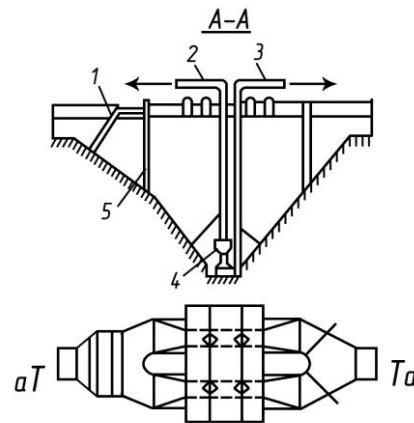
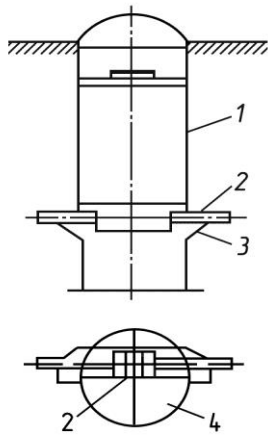


Рис.3.7. Пісковловлювач щілинний: Рис.3.8. Пісколовлювач горизонтальний:

1 – колодязь залізобетонний;  
 2 – труба;  
 3 – лоток зі щілиною

1 – решітка;  
 2 – пульпопровід;  
 3 – напірний трубопровід;  
 4 – гідроелеватор;  
 5 – шибер



Рис. 3.9 Горизонтальний аераційний пісковловлювач

Пропускна здатність таких пісковловлювачів – 70...280 тис. м<sup>3</sup>/доб. Швидкість руху води при максимальному притоці 0,3 м/с, при мінімальному – 0,15 м/с. Тривалість перебування води в них не менше ніж 30 с. Для підтримання постійної швидкості потоку в пісковловлювачах влаштовується не менше двох відділень, включенням або виключенням одного з яких регулюють оптимальну швидкість. Розрахункову глибину пісковловлювачів приймають 0,25 - 1 м, будівельну – 0,5 ... 2 м. При обсязі

піску понад  $0,1 \text{ м}^3/\text{добу}$  обов'язкове механізоване видалення осаду. Пісок зсувається до приямка, розташованому на початку споруди, скребками, при цьому відбувається часткове промивання осаду. З приямка осад видаляють пісковими насосами або гідроелеваторами.

Пісковловлювачі з круговим рухом води є різновидом горизонтальних пісковловлювачів і являють собою круглий у плані резервуар з кільцевим периферійним лотком для протікання стічної води. Осад збирається в конічному днищі, звідки його видаляють гідроелеваторами. Такі пісковловлювачі діаметром 4-6 м розраховані на пропускну здатність від 1,4 до 70 тис.  $\text{м}^3/\text{добу}$  при двох відділеннях глибиною 2-3 м. У горизонтальних пісковловлювачах затримується до 65 – 75% усіх мінеральних домішок, що містяться у воді. Вертикальні пісковловлювачі розраховують на витрату від 100 до 5000  $\text{м}^3/\text{добу}$  і складаються з приймального й відстійного відділень, а також осадової частини.

Швидкість руху в приймальному відділенні  $0,1 \text{ м/с}$ , у відстійному –  $0,05 \text{ м/с}$ . Висота робочої частини пісковловлювача  $0,3 – 1 \text{ м}$ , загальна висота – до  $3,2 \text{ м}$ .

Тангенціальні пісковловлювачі мають круглу в плані форму. Вода в них подається дотично до циліндричної частини споруди, що забезпечує обертальний рух піску, сприяє відмиванню від піску органічних речовин і запобігає їх випадінню в осад.

Аераційні пісковловлювачі являють собою прямокутні або круглі в плані резервуари, в яких здійснюється подача повітря. Повітря сприяє обертанню води в пісколовці й тим самим підвищенню ефекту відстоювання. У горизонтальному аераційному пісковловлювачі уздовж однієї із стінок на відстані 45 – 60 см від дна по всій довжині встановлюють аератори з дірчастих труб з отворами 3 – 5 мм, а під ними влаштовують лоток для збирання піску.

Інтенсивність аерації –  $3...5 \text{ м}^3 /(\text{м}^2\text{ч})$ . Поступальна швидкість руху води в таких пісковловлювачах –  $0,05...0,12 \text{ м/с}$ , обертальна –  $0,25...0,3 \text{ м/с}$ . Тривалість перебування води в пісколовці 2-3 хв. Загальна глибина пісколовки  $0,7-3,5 \text{ м}$ . Відношення ширини пісколовки до глибини  $B / H = 1 / 1, 5$ . Осад з аераційних пісковловлювачів містить 90 - 95% піску і при тривалому зберіганні не загниває. Такі пісковловлювачі мають продуктивність –  $70...280 \text{ тис. м}^3/\text{добу}$ .

Вважається, що для ефективної роботи споруд уміст піску в осаді первинних відстійників не повинен перевищувати 3...6%. Для оцінювання роботи пісковловлювачів важливий уміст мінеральної частини в осаді. У пісковловлювачах стінки піскових бункерів виконують під кутом 60<sup>0</sup> до горизонту для забезпечення сповзання осаду при його відкачуванні, що здійснюється гідроелеваторами або пісковими насосами. Розрахункові параметри пісковловлювачів наведені в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8

Розрахункові параметри пісколовок

Діаметр часток піску, мм	Гідравлічна крупність, мм	Поздовжня швидкість руху води в пісколовках, м/с	
		горизонтальних	аераційних
0,05	2,0	0,1-0,15	0,02-0,05
0,10	5,9	0,1-0,15	0,02-0,05
0,15	13,2	0,15-0,2	0,05-0,1
0,20	18,7	0,15-0,2	0,05-0,1

Бункери для накопичення осаду зазвичай розташовують на початку споруд, де випадає його найбільша кількість, а вивантаження осаду із споруд здійснюється не рідше від 1 разу за 8 – 12 годин.

Осад, що вивантажують із пісковловлювачів, який містить значну кількість органіки, є небезпечним із санітарної точки зору і вимагає спеціального оброблення. Для промивання й зневоднення піску застосовуються спеціальні бункери, пристосовані для наступного завантаження піску в автотранспорт. Такі бункери можуть виконуватися за типом тангенціальних пісковловлювачів. На практиці частіше використовують піскові майданчики.

### 3.4.3 Осадження домішок у відстійниках

Відстоювання використовують для виділення з виробничих стічних вод нерозчинених твердих і рідких домішок, які здатні в спокійній воді осідати або спливати. Час очищення залежить від швидкості осідання (спливання) нерозчинених домішок у спокійній воді. Гідравлічна крупність часток є основною величиною для розрахунку відстійних споруд.

Відстійники для очищення виробничих стічних вод можуть являти собою як самостійні споруди, в яких процес очищення і завершується, так і споруди, призначені тільки для попереднього очищення. Так, на заводах чорної металургії стічні води, одержувані в результаті очищення газу, а також від прокатних станів та від грануляції шлаків, цілком достатньо очищати тільки у відстійниках, потім їх можна використовувати знову. Для очищення стічних вод промпідприємств використовують як звичайні конструкції відстійних споруд, так і спеціальні. Залежно від вимог до якості освітленої виробничої стічної води застосовують горизонтальні й радіальні відстійники різних конструкцій, які можуть бути обладнані камерами флокуляції (рис. 3.9).

**Статичні відстійники.** Нафтотранспортні підприємства (нафтобази, нафтоперегонні станції) обладнують різними відстійниками для збирання та очищення води від нафти і нафтопродуктів. З цією метою використовують стандартні сталеві або залізобетонні резервуари, які працюють в режимі резервуара-накопичувача, резервуара-відстійника або буферного резервуара залежно від технологічної схеми очищення стічних вод. З урахуванням технологічного процесу забруднені води нафтобаз і нафтоперекачувальних станцій нерівномірно надходять на очисні споруди. Для більш рівномірної подачі забруднених вод на очисні споруди слугують буферні резервуари, які обладнані нафтозбірними пристроями, трубами для подачі й випуску стічної води та нафти, рівнемірами, дихальною апаратурою тощо. Для відділення дрібнодисперсної нафти при великій висоті резервуара необхідно затратити значний час (більше ніж 48 год.), тому таке відділення у буферних резервуарах не передбачається. У цих резервуарах відокремлюють до 90–95% легковіддільних нафт. Для цього в схему очисних споруд установлюють два і більше буферних резервуари, які працюють періодично: заповнення, відстій, викачування.

Об'єм резервуара обирають із розрахунку часу заповнення, викачування і відстою, причому час відстою приймають від 6 до 24 год. Таким чином, буферні резервуари (резервуари-відстійники) не тільки згладжують нерівномірність подачі стічних вод на очисні споруди, а й значно знижують концентрацію нафти у воді. Великі переваги цього виду резервуарів – герметичність і можливість будівництва індустріальним методом, що призводить до різкого скорочення часу будівництва. Відстоювання води у вертикальних резервуарах може проходити в динамічному та непроточному режимах.

При динамічному режимі наповнення і спорожнення резервуара відбуваються одночасно. При статичному (непроточному) режимі резервуари працюють за трьома циклами: наповнення, відстоювання, випорожнення. Тому для відстоювання води число резервуарів повинно бути більше від двох, а обсяг їх дещо більшим, ніж обсяг резервуарів при динамічному режимі. Резервуари мають бути обладнані засобами автоматики, що здійснюють автоматичне перемикання резервуарів, які стежать за рівнем води в резервуарі й не допускають попадання нафти у відвідний трубопровід. Перед відкачуванням відстоюної води з резервуара спочатку відводять нафту, що сплила і осад, що випав, після чого відкачують освітлену воду. Для видалення осаду на дні резервуара влаштовують дренаж з перфорованих труб. Відстоювання – найбільш простий та часто вживаний спосіб виділення зі стічних вод грубодисперсних домішок, які під дією гравітаційної сили осідають на дні відстійника або спливають на його поверхні. Для додаткового очищення стічних вод часто використовують ставки додаткового відстою, що являють собою водойми глибиною до 4 м і площею дзеркала води залежно від пропускної здатності стічних вод. Зазвичай такі ставки мають кілька секцій, кожна з яких обладнана пристроєм для розосередженого введення та випускання води. Ставки додаткового відстоювання мають наступні істотні недоліки: необхідність великих територій, висока вартість, забруднення атмосфери випаровується нафтопродуктами, вплив вітрового навантаження на ефективність очищення, труднощі при збиранні нафти й осаду та ін.

**Динамічні відстійники.** Особливість динамічних відстійників полягає у вилученні домішок, що знаходяться у воді, при її русі. У динамічних відстійниках або відстійниках безперервної дії рідина рухається в горизонтальному або вертикальному напрямку, звідси і відстійники виділяють вертикальні й горизонтальні. Вертикальний відстійник являє собою циліндричний або квадратний (у плані) резервуар з конічним днищем для зручності збирання та відкачування осаду. Рух води у вертикальному відстійникові відбувається знизу вгору (для осідання частинок). Горизонтальний відстійник становить прямокутний резервуар (у плані) висотою 1,5-4 м, шириною 3-6 м та довжиною до 48 м, осад, що випав на дні спеціальними скребками пересувають до приямка, а з нього гідроелеватором, насосами або іншими пристосуваннями видаляють з відстійника. Спливлі домішки виводять за допомогою скребоків і



поперечних лотків, установлених на певному рівні. Залежно від уловлюваного продукту горизонтальні відстійники діляться на пісковловлювачі, нафтовловлювачі, мазутоловки, бензолівки, жироловки і т.п. У радіальних відстійниках круглої форми вода рухається від центру до периферії або навпаки. Радіальні відстійники великої продуктивності, що застосовуються для очищення стічних вод, мають діаметр до 100 м і глибину до 5 м. Радіальні відстійники з центральним впуском стічної води мають підвищені швидкості впуску, що зумовлює менш ефективне використання значної частини обсягу відстійника по відношенню до радіального відстійника з периферійним впуском стічних вод та відбором очищеної води в центрі.

**Горизонтальні відстійники** являють собою прямокутні проточні ємності, в яких відбувається осадження забруднень під дією сил ваги. Рух води здійснюється у відстійнику вздовж довгої сторони від однієї торцевої стінки до другої. Підведення та відведення води здійснюється по лотках. Тривалість відстоювання залежить від дисперсності часток, їх форми, тобто величини гідравлічної крупності (швидкість осадження часток у нерухливій воді, мм/с).

Горизонтальні відстійники є найпоширенішими спорудами для очищення як природних, так і стічних вод, незважаючи на наявність істотних недоліків. При цьому є істотні розходження при використанні таких відстійників для очищення питної води і для очищення стічних вод промислових підприємств. Ці розходження в першу чергу стосуються питань, пов'язаних з видаленням осаду (шламу). При очищенні природної води осад найчастіше видаляється за допомогою донних клапанів. При очищенні промислових стічних вод, завислі речовини яких вирізняються високою щільністю, осад (шлам) віддаляється за допомогою спеціальних механізмів, наприклад, за допомогою грейферного крана. При цьому осад видаляється з відстійників періодично.

При роботі горизонтальних відстійників найбільш великі завислі частки випадають на початку відстійника в бункер для осаду (шламу). Більш дрібні частки випадають далі по довжині відстійника за ходом руху води. Робота відстійника з точки зору ефективності очищення залежить від вчасного видалення осаду. Об'єм горизонтального відстійника використовується не повністю. Ступінь використання об'єму виражається коефіцієнтом  $\alpha$ , який для горизонтальних відстійників звичайних

конструкції не перевищує 0,4–0,5. Глибина горизонтальних відстійників може досягати 3–4 м.

Найпоширеніші типові розміри горизонтальних відстійників, які застосовують на підприємствах такі:  $17 \times 6$  м,  $H = 3$  м, площа кожної секції таких відстійників –  $100 \text{ м}^2$ . Питоме гідравлічне навантаження на відстійник не високе ( $1\text{--}1,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ ). При цьому продуктивність 1 секції відстійника –  $100 \dots 150 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Концентрація завислих речовин в очищеній (освітленій) воді після горизонтальних відстійників коливається в межах  $100\text{--}150 \text{ мг/л}$ . Значного поліпшення ефективності горизонтальних відстійників можна досягти переобладнанням їх у тонкошарові відстійники. Принцип дії їх полягає в тому, що потік води, яка освітлюється, проходить через пакет похилих пластин. У пакеті пластин між ними утворюється система тонкошарових каналів, у яких за рахунок малих відстаней різко скорочується час осідання або спливання механічних часток. Кут нахилу пластин до горизонтальної площини приймається коло  $60^\circ$ . Пластини можуть бути як плоскими, так і хвилястими. Також застосовують і трубчасті елементи. Пакетами похилих пластин можуть бути обладнані й діючі відстійники, що дозволяє чи підвищити в  $2\text{--}2,5$  разу гідравлічне навантаження на них, чи значно знизити залишковий уміст завислих речовин у проясненій воді.

Для розрахунку горизонтальних відстійників вихідними даними є:

- ✓ кількість стічних вод,  $\text{м}^3/\text{год}$ , за максимальним припливом;
- ✓ концентрація завислих речовин, важких механічних домішок, легких механічних домішок (масло й нафтопродукти),  $\text{мг/л}$ ;
- ✓ допустимий уміст завислих речовин у освітленій воді,  $\text{мг/л}$ ;
- ✓ гідравлічна крупність часток  $U_0$ , які необхідно видалити для забезпечення необхідного ступеня очищення  $E, \%$ .

Розрахункова величина гідравлічної крупності визначається за кривими кінетики осадження завислих речовин  $E = f(t)$ , що отримані експериментально відстоюванням стічної води в статичних умовах у шарі висотою  $h$ , як правило, відмінному від дійсної висоти відстоювання у вибраному типі відстійника.

**Вертикальний відстійник** являє собою циліндричний або квадратний у плані резервуар з конічним днищем діаметром до 10 м. На відміну від горизонтальних і радіальних відстійників у вертикальних відстійниках вода, що очищується, рухається у вертикальному напрямкові – знизу вгору. Завислі речовини осідають у потоці води, що піднімається.

При цьому завислі речовини затримуються в тому випадку, якщо їх гідравлічна крупність  $U_0$  буде більше або дорівнює середній швидкості руху води у споруді. Розрахункова швидкість потоку не повинна перевищувати 0,5–0,6 мм/с. Висота зони осадження становить звичайно 4–5 м.

Збирання освітленої води здійснюється за допомогою периферійних або радіальних жолобів через водозлив. Ефективність освітлення води у вертикальних відстійниках звичайно на 10-20% нижче, ніж у горизонтальних або радіальних.

Недоліки цих відстійників:

- 1). ефективність очищення перебуває в прямій залежності від рівномірності подачі води, що очищується, тобто від сталості витрати (швидкості руху води). Коливання витрат приводять до різкого погіршення ефективності очищення. Таким чином, вертикальні відстійники досить чутливі до коливань витрати.
- 2). низький коефіцієнт використання об'єму проточної частини.

Вертикальні відстійники дістали досить широке застосування при очищенні порівняно невеликих витрат стічних вод, зокрема нейтралізованих стічних вод травильних і гальванічних відділень на металургійних та машинобудівних заводах. При цьому вертикальні швидкості руху води перебувають на рівні 0,1–0,3 мм/с.

**Радіальний відстійник** – звичайно круглий у плані резервуар (рис. 3.10), в якому вода в процесі очищення рухається за радіусом від центру до периферії. В міру віддалення води від центру швидкість зменшується. Це сприяє випадінню завислих речовин на дно відстійника та спливанню речовин, щільність яких менше ніж 1. Стічна вода через центральний розподільчий пристрій надходить у відстійник, а освітлена вода збирається в круговий периферійний жолоб.

Глибина відстійника влаштовується з ухилом 0,04 від стінки до центральної частини. Осад, що випадає на дно відстійника, згрібається за допомогою скребкової ферми у центральний приямок. Глибина проточної частини становить 1,5–5 м. Тривалість перебування стічної води у відстійнику 1,5–2 год.

Для визначення величини гідравлічної крупності домішок при визначенні розмірів відстійників застосовується технологічне моделювання процесу очищення стічних вод від механічних домішок. У результаті проведення експериментів з технологічного моделювання

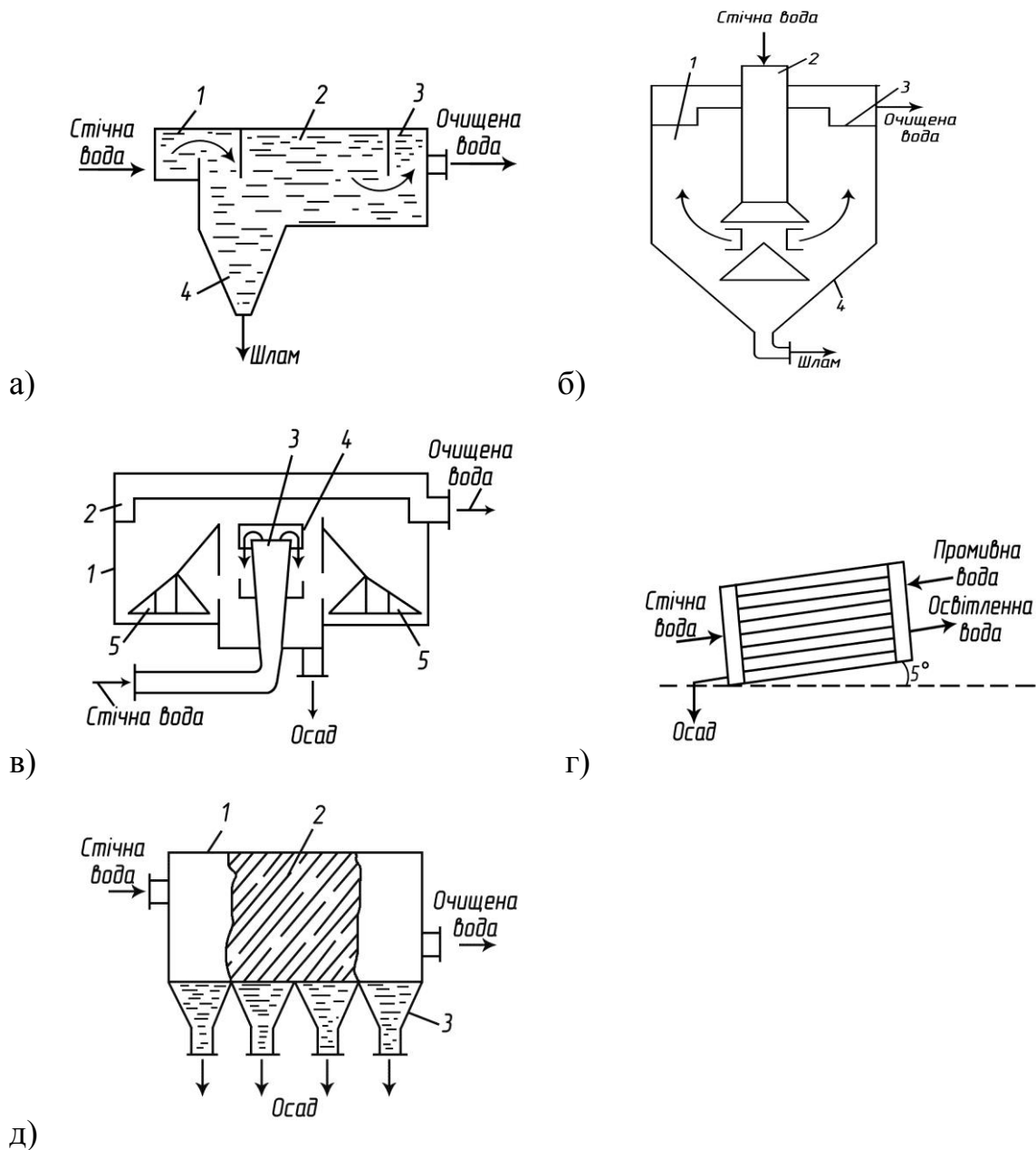
процесу відстоювання будується крива кінетики процесу відстоювання стічних вод .

При дослідженні кінетики осадження важливо вивчити флокуляційні властивості домішок, тобто схильність до збільшення при повільному перемішуванні води без додавання коагулянтів. Помітними природними флокуляційними властивостями володіють не всі види завислих речовин. Флокулюваність залежить від хімічного складу завислих речовин, вихідної концентрації твердої фази у стічних водах тощо. Флокуляційні властивості завислих речовин краще від усього проявляються у повільно висхідному потоці води.

Урахування флокуляційних властивостей завислих речовин дозволяє значно збільшити продуктивність споруд та апаратів, що призначені для прояснення води. Так, у інституті ВНДІчерметенергоочищення розроблено декілька конструкцій апаратів і споруд, у яких найкращим чином реалізовано флокуляційні властивості завислих речовин.

Горизонтальні й радіальні відстійники традиційних конструкцій, що застосовуються для очищення стічних вод від механічних домішок мають низку недоліків: низька продуктивність (питоме гідравлічне навантаження знаходиться у межах 1-2 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>×год), непристосованість до роботи з коагуляцією та флокуляцією, недосконалість конструкцій (коефіцієнт використання об'єму не перевищує 0,5), періодичне видалення осаду тощо. У горизонтальних відстійниках неможливо організувати безперервне видалення осаду, який випадає, що призводить до порушення їх роботи і викликає труднощі при подальшому збезводненні, утилізації або складуванні шламів.

Крім цього, їм притаманні недосконалість пристроїв впускання, розподілу та збирання води. Конструктивні вдосконалення передбачають поліпшення гідравлічних режимів роботи відстійників за допомогою систем розосередженого збирання освітленої води, а також створення сприятливих умов для укрупнення часток механічних домішок шляхом улаштування камери флокуляції.



д)  
 Рис. 3.10 Відстійники: а – горизонтальний: 1 – вхідний лоток; 2 – відстійна камера; 3 – вихідний лоток; 4 – прямик; б – вертикальний: 1 – циліндрична частина; 2 – центральна труба; 3 – жолоб; 4 – конічна частина; в – радіальний: 1 – корпус; 2 – жолоб; 3 – розподільний пристрій; 4 – заспокійлива камера; 5 – скребковий механізм; г – трубчастий; д – з похилими пластинами; 1 – корпус; 2 – пластини; 3 – шламоприймач

Для очищення стічних вод зі значними витратами можливе також застосування відстійників з камерою пластівцеутворення гідроциклонного типу.

Діаметр відстійника – 30 м. Камера пластівцеутворення має циліндричну форму діаметром 10 м. Цей відстійник можна

використовувати також для очищення стічних вод, які містять, окрім завислих речовин, масло (наприклад, для очистки стічних вод цехів гарячої прокатки сталі, що містять окалину та масло), а також для освітлення стічних вод від газоочисток доменних і конверторних цехів металургійних комбінатів. Радіальні відстійники діаметром 30 м із убудованими камерами пластівцеутворення побудовані й експлуатуються в системах оборотного водопостачання станів гарячого прокату «2000» Череповецького металургійного заводу та багатьох інших.

Ефективність роботи відстійника з камерою пластівцеутворення ( $2,5 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ ) значно перевищує показники горизонтальних і звичайних радіальних відстійників ( $1,2 \text{ м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ ).



Рис. 3.11 Радіальний відстійник

**Освітлювачі з шаром завислого осаду** працюють за принципом відстоювання. Застосовуються при підвищеному вмісті в стічних водах речовин, що важко осідають. У результаті поєднання процесів осадження, утворення пластівців, фільтрації стічних вод через шар завислого осаду, ефективність очищення стічних вод становить близько 70%. Існують конструкції з попередньою коагуляцією вод і агрегацією або без них. Воду, оброблену коагулянтами, подають у нижню частину освітлювача. Рівномірно розподіляючись по його площі, вода піднімається вгору до тих пір, поки швидкість випадання частинок не стане рівною швидкості висхідного потоку. При цьому утворюється шар завислого осаду, через який фільтрується та освітлюється вода. Відбувається прилипання частинок суспензії до пластівців коагулянту, за рахунок чого збільшується обсяг завислого шару. Для підтримання постійної висоти завислого шару здійснюється безперервне примусове відсмоктування надлишкового осаду

в осадкоущільнювач. Освітлена вода надходить у жолоб, звідки направляється на подальше очищення.

Утворення та ущільнення осаду здійснюється в умовах безперервного надходження суспензій. При цьому відбуваються наступні стадії:

1). стиснуте осадження частинок з утворенням з них суцільний просторової структури, зменшення її обсягу через стиснення порожнеч між частинками;

2). ущільнення пластівцесподібних частинок осаду з видаленням води, наявної в осередках пластівців;

3). стиснення пластівців. Останній процес найбільш повільний і тому лімітує ущільнення осаду в цілому.

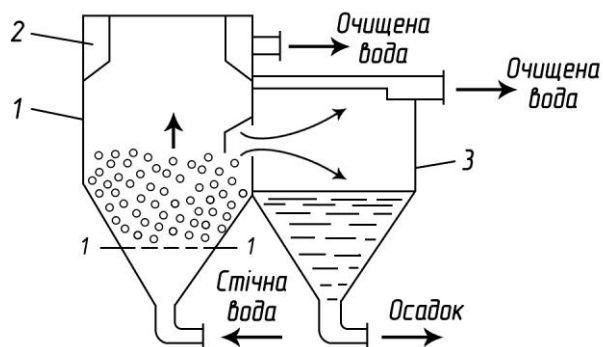


Рис. 3.12. Блок освітлювача: 1 – освітлювач, 2 – жолоб, 3 – ущільнювач осаду

**Тонкошарові відстійники.** Чим більша висота відстійника, тим більше необхідно часу для спливання частки на поверхню води. А це, у свою чергу, пов'язане зі збільшенням довжини відстійника. Інтенсифікувати процес відстоювання в звичайних конструкціях складно. Зі збільшенням розмірів відстійників гідродинамічні характеристики відстоювання погіршуються. Чим тонший шар рідини, тим процес спливання (осідання) відбувається швидше за інших рівних умов. Це положення призвело до створення тонкошарових відстійників, які за конструкцією розділяють на трубчасті та пластинчасті.

Створення відстійників, що працюють за принципом відстоювання в тонкому шарі, є одним з найбільш перспективних напрямів удосконалювання горизонтальних відстійників.

Тонкошарове відстоювання застосовується за необхідності зменшення об'єму очисних споруд унаслідок обмеженості площі, що відводиться для цього та для підвищення ефективності існуючих

відстійників. У першому випадкові тонкошарові відстійники виконують роль самостійних споруд, у другому - існуючі відстійники доповнюються тонкошаровими модулями, які розташовують в апараті, котрий удосконалюється перед водоскидним пристроєм.

Відстійники, які працюють за принципом тонкошарового відстоювання, використовуються у нас і країнах далекого зарубіжжя, особливо у Японії, Німеччині та ін. Тонкошарові блоки виготовляються заводським способом і потім убудовуються у відстійники.

У тонкошарових відстійниках відстійна зона ділиться на ряд шарів невеликої глибини. Взаємний рух води, що очищується, й осаду, що видаляється, може здійснюватися за такими схемами:

- ✓ перехресною схемою (у поличних відстійниках);
- ✓ прямотечійною;
- ✓ протитечійною.

При перехресній схемі видалений осад рухається перпендикулярно руху стічних вод (рис. 3.13), а при прямотечійній і протитечійній схемах – відповідно за ходом руху стічних вод чи в зворотному напрямку.

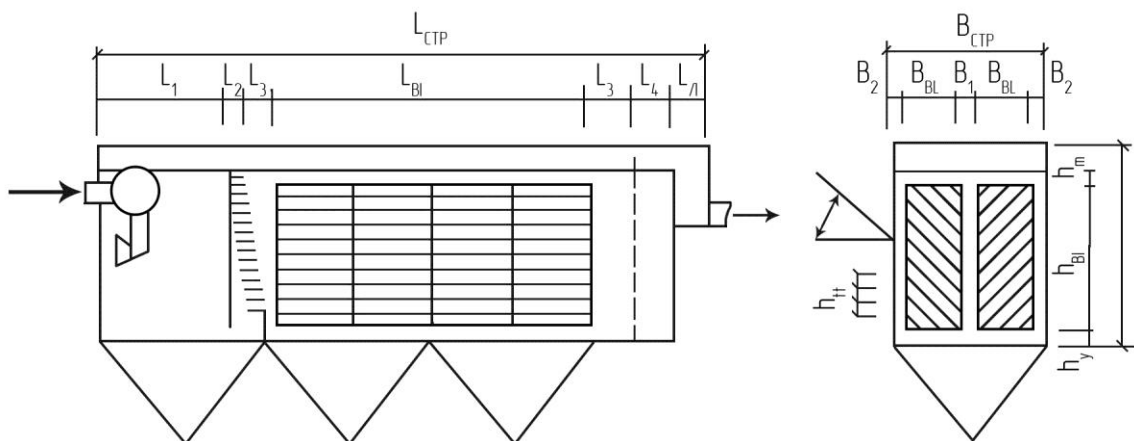


Рис. 3.13 Схема тонкошарового відстійника, що працює за перехресною схемою видалення осаду

За розрахункові параметри тонкошарового відстійника приймають довжину пластин у блоці та довжину розташування тонкошарових модулів.

Робочий елемент трубчастого відстійника – труба діаметром 2,5–5 см і довжиною близько 1 м. Довжина залежить від характеристики забруднення й гідродинамічних параметрів потоку. Застосовують трубчасті відстійники з малим ( $10^\circ$ ) і великим (до  $60^\circ$ ) нахилом труб. Відстійники з малим нахилом труби працюють за періодичним циклом:



освітлення води та промивання трубок. Ці відстійники доцільно застосовувати для освітлення стічних вод з невеликою кількістю механічних домішок. Ефективність освітлення становить 80-85%. У круто похилих трубчастих відстійниках розташування трубок приводить до сповзання осаду вниз по трубках, і в зв'язку з цим відпадає необхідність їх промивання. Тривалість роботи відстійників практично не залежить від діаметра трубок, але зростає із збільшенням їх довжини. Стандартні трубчасті блоки виготовляють з полівінілового або полістирольного пластику. Зазвичай застосовують блоки завдовжки близько 3 м, шириною 0,75 м та висотою 0,5 м. Розмір трубчастого елемента в поперечному перерізі становить 5x5 см. Конструкції цих блоків дозволяють монтувати з них секції на будь-яку продуктивність; секції або окремі блоки легко можна встановлювати у вертикальних або горизонтальних відстійниках.

**Пластинчасті відстійники** складаються з ряду паралельно встановлених пластин, між якими рухається рідина. Залежно від напрямку руху води і осаду відстійники діляться на прямотечіні, в яких напрямку руху води й осаду збігаються; протитечіні, у яких вода і осад рухаються назустріч один одному; перехресні, в яких вода рухається перпендикулярно до напрямку руху осаду. Найбільш розповсюджені пластинчасті протитечіні відстійники. Зі зменшенням висоти відстійників, ефективність освітлення води підвищується. Переваги трубчастих і пластинчастих відстійників – їх економічність унаслідок невеликого будівельного об'єму, можливість застосування пластмас, які легше металу й відсутність корозії в агресивних середовищах. Загальний недолік тонкошарових відстійників – необхідність створення ємності для попереднього відділення легковіддільних нафтових частинок та великих згустків нафти, окалини, піску тощо. Згустки мають нульову плавучість, їх діаметр може досягати 10-15 см при глибині в декілька сантиметрів. Такі згустки дуже швидко виводять з ладу тонкошарові відстійники. Якщо частина пластин або труб буде забита подібними згустками, то в інших підвищиться витрата рідини. Такий стан призведе до погіршення роботи відстійника.

**Відстійники спеціального призначення.** Споруди, в яких при відстоюванні забруднених промислових вод спливають більш легкі частинки, називаються залежно від спливаючих речовин жироловлювачами, мастиловоуловлювачами, нафтовоуловлювачами та ін. Створення спеціальних конструкцій відстійників для очищення

виробничих стічних вод зумовлено різноманіттям нерозчинних речовин, які доцільно видаляти відстоюванням. Це можуть бути і важкі домішки (окалина, пісок, інші мінеральні речовини, важкі смоли), і досить легкі, що спливають (нафта, масла, жири, легкі смоли та ін.).

Легкі домішки, що спливають, утримуються в стічних водах різних галузей промисловості: машинобудівної, металургійної, хімічної, нафтової та інших. Ці речовини можуть бути наявні в стічних водах самотійно або в сполученні з іншими нерозчинними домішками, в тому числі й важкими. В цьому випадку в усіх спеціальних відстійниках передбачаються спеціальні пристрої для збирання й відділення легких і важких домішок. Одними з таких споруд є тонкошарові відстійники, нафтовловлювачі з тонкошаровими блоками, маслосмолоуловлювачі тощо.

Для очищення стічних вод коксохімічних заводів (фенольних стічних вод, забруднених переважно смолою і маслами) застосовують радіальні й прямокутні відстійники – смоловловлювачі. За нормативними даними «Гіпрококсу», тривалість відстоювання у відстійниках – смолоуловлювачах – 6 год., а ефективність осадження смоли – 70...80%.

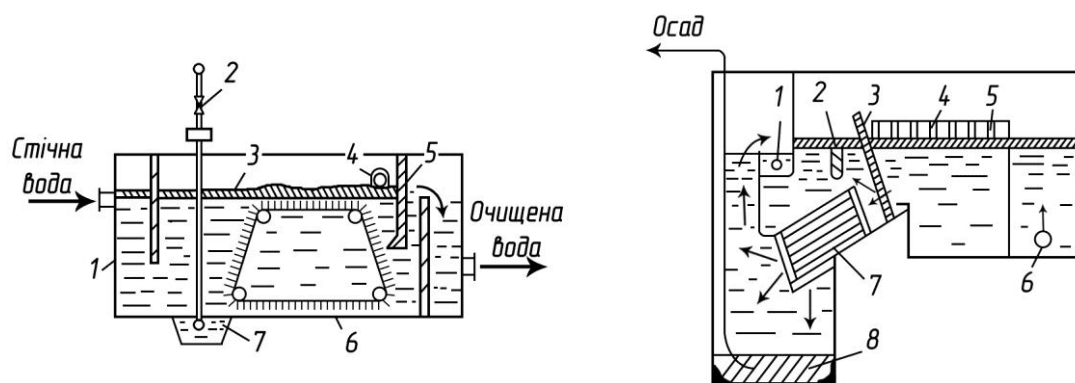
Однак смоломасловловлювачі неповністю затримують дрібнодисперсні забруднення, внаслідок чого їхній залишковий уміст після відстоювання протягом 4-6 год. не знижується менше ніж на 200–300 мг/л. Тому споруди такого типу служать для попереднього очищення стічних вод. Радіальний відстійник – смоломасловловлювач складається з металевого корпусу, розташованого над поверхнею землі, оснащеного нижніми скребковими пристроями для переміщення смоли, яка осаджується в центральній зумпф і верхніми пристроями для видалення спливаючих забруднень. Стічна вода подається в смоловідстійник по трубопроводу в центр та потім через центральну трубу надходить в осадову частину, відстоюється, рухаючись радіально від центру до периферії. Потім прояснена вода через заглибну перегородку й кільцевий водозлив надходить у лоток освітленої води, з якого вона відводиться за межі відстійника. Смола, що осаджується на дні відстійника, періодично видаляється скребковим пристроєм у центральний приямок, з якого відкачується насосом у збірник смоли. Для зменшення в'язкості смоли перед відкачуванням підігрівають парою до температури 55- 60°C.

Спливаючі забруднення (мастила) перетікають у радіальний лоток, з якого відводяться у складуючу ємкість.

При розрахунках даних споруд приймають:

- середню глибину робочого шару води 1,5 м;
- швидкість руху води 1–2 мм/с;
- тривалість відстоювання 3–4 год,
- ефект освітлення 80–90%
- об'ємна маса осаду 1,1/см<sup>3</sup>
- частота обертання скребкового пристрою 1 хв.

Горизонтальні нафтовловлювачі застосовують для механічного очищення виробничих стічних вод від нафтопродуктів за рахунок гравітаційного відстоювання (спливання продуктів нафти із щільністю 0,97 г/см<sup>3</sup> і осадження твердих механічних домішок). Нафтовловлювачі існують горизонтальні, багатоярусні (тонкошарові) й радіальні апарати (рис. 3.14). Нафтовловлювачі використовують для затримки грубодисперсних нафтових часток (розмір > 100 мкм) при концентрації їх у стоках більше ніж 100 мг/л. Для зниження в'язкості нафти в зимовий час передбачається обігрів поверхні рідини змішувиком або за периметром відстійної камери. Поворотні труби, діаметр яких дорівнює 300 мм, і поздовжні щілини в них шириною біля 30-50 мм, служать для зливання нафти, що надходить у нафтозбірні резервуари.



а) б)  
 Рис. 3.14 Нафтовловлювачі: а – горизонтальний: 1 – корпус нафтовловлювача; 2 – гідроелеватор; 3 – шар нафти; 4 – нафтозбірна труба; 5 – нафтовтримуюча перегородка; 6 – скребковий транспортер; 7 – приямок для осаду; б – тонкошаровий: 1 – вивід очищеної води; 2 – нафтозбірна труба; 3 – перегородка; 4 – плаваючий пінопласт; 5 – шар нафти; 6 – ввід стічної води; 7 – секція із гофрованих пластин; 8 – осад

Нафтовловлювачі затримують 60-70 % нафтопродуктів, залишковий уміст нафти в очищених стоках становить від 30-50 до 100-150 мг/л, при забрудненні води тільки легкими нафтопродуктами до 30-50 мг/л. Стічні води, що надходять на біодоочищення, не повинні містити нафтопродуктів

більше ніж 20 мг/л. При проектуванні нафтовловлювачів ураховують такі рекомендації:

1. Робоча глибина не більше ніж 2 м;
2. Ширина секцій – 3...6 м;
3. Число секцій не менше від 2;
4. Відношення довжини до робочої глибини від 15 до 20;
5. Товщина шару спливаючих нафтопродуктів до 0,1 м;
6. Товщина шару осаду до 0,1 м;

Вологість осаду становить 95%. Об'ємна вага 1,1 т/м<sup>3</sup>. Зі збільшенням тривалості перебування під водою осад ущільнюється.

Нафтоловка (нафтовіддільник) являє собою бетонний або залізобетонний резервуар (горизонтальний відстійник), розділений поздовжніми стінками на 2 або більше паралельно працюючих секцій. Нафтовловлювач (нафтовіддільник) здатний відловлювати до 98% наявних в стоці нафтопродуктів. Технологічні характеристики деяких нафтовловлювачів наведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Технологічні характеристики деяких нафтовловлювачів

Назва		Типорозмір							
Марка		АЛ Н2	АЛ Н4	АЛ Н7	АЛН 10	АЛН 15	АЛН 20	АЛН 25	АЛН 50
Макс. витрата (л/сек)		2	4	7	10	15	20	25	50
Макс. концентрація нафтопродукті в у стічній воді на вході		Максимальна концентрація нафтопродуктів у стічній воді на вході для всіх типорозмірів бензомасловіддільників “Альта” <b>не обмежена</b>							
Макс. концентрація нафтопродукті в у стічній воді на виході		Максимальна концентрація нафтопродуктів у стічній воді на виході для всіх типорозмірів бензомасловіддільників “Альта” <b>не перевищує 12 мг/л</b>							
L	Довжина (м)	0,8	1,2	1,5	2,1	2,3	2,6	3,3	5,0
B	Ширина	1,2	1,2	1,6	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0

	(м)								
H	Висота (м)	1,6	1,6	1,8	1,8	1,8	2,3	2,3	3,0
V	Загальний об'єм (м <sup>3</sup> )	1,5	2,3	4,3	6,0	8,3	12,0	15,2	30,0
V 1	Об'єм нафтозбірника (м <sup>3</sup> )	0,2	0,3	0,6	0,75	1,0	1,5	1,9	5,0

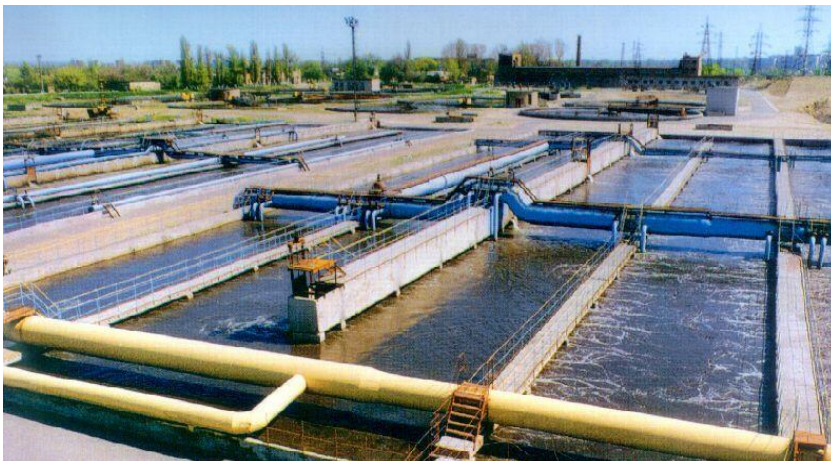


Рис. 3.15 Нафтовловлювач

Подальшим розвитком методів очищення виробничих стічних вод, що містять механічні домішки, є впровадження очищення із застосуванням гідроциклонів і центрифуг, а також відстоювання з попередньою магнітною обробкою виробничих стічних вод.

### 3.5 Відстоювання у полі відцентрових сил. Гідроциклони і центрифуги

Інтенсифікацію процесів осадження завислих часток із стічних вод здійснюють впливом на них відцентрових та доцентрових сил у центрифугах і гідроциклонах.

Швидкість поділу неоднорідних систем у полі відцентрових сил вище в порівнянні зі швидкістю поділу цих систем у полі сили тяжіння. Ставлення відцентрової сили до сили тяжіння можна зробити порівнянням прискорень, що діють на частинки домішок у відцентровому й гравітаційному полях, оскільки стосовно до частинки певної маси сили пропорційні до прискорень.

Ставлення відцентрового прискорення  $v_0 r^2$  до прискорення сили тяжіння  $g$  називають *фактором поділу*.

Фактор поділу є важливою характеристикою гідроциклонів і центрифуг, тому що, за інших рівних умов, роздільна дія при осадковому центрифугуванні зростає пропорційно величині  $k_p$ .

Швидкість руху частки в рідині під дією відцентрової сили залежить від її діаметра  $d_c$ , різниці щільності фаз  $\Delta\rho$ , в'язкості  $\mu_c$  і щільності  $\rho_c$  стічної води й від прискорення відцентрового поля  $J$ :

$$v_{ц} = k^{0,385} \cdot d_c^m \cdot \rho_c^{(m-2)/3} \cdot \Delta\rho^{(m+1)/3} \cdot J^{(m+1)/3} \cdot \mu_c^{(2m-1)/3}.$$

Коефіцієнт пропорційності  $K$  і показник ступеня  $m$  залежать від гідродинамічного режиму.

Для ламінарного режиму при числі Рейнольдса  $Re_c = w_{oc} \cdot d_c \cdot \rho_c / \mu_0 = 1,6$ ;  $m = 2$ ,  $K = 1,7 \cdot 10^{-4}$ ;

Для перехідного режиму при  $Re_c = 16 \dots 420$   $m = 1,2$ ,  $K = 2,49 \cdot 10^{-3}$ .  
Для турбулентного режиму  $Re_c > 420$ ;  $m = 5,36$ ,  $K = 0,5$ .

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

**Гідроциклони.** Для очищення стічних вод використовують напірні й відкриті (низьконапірні) гідроциклони. Напірні гідроциклони застосовують для осадження твердих домішок, а відкриті гідроциклони – для видалення осаджених і спливаючих домішок. Відкриті (безнапірні) гідроциклони застосовують для очищення стічних вод від великих домішок (гідралічною крупністю 5 мм/с). Від напірних гідроциклонів вони вирізняються більшою продуктивністю і меншим гідралічним опором. При обертанні рідини в гідроциклонах на частинки діють відцентрові сили, що відкидають важкі частки до периферії потоку, сили опору рухомого потоку, гравітаційні сили та сили потоку. Сили інерції в потоці рідини незначні, й ними можна знехтувати. При високих швидкостях обертання відцентрові сили значно більше від сил ваги.

Зазвичай гідроциклони застосовують у комплексі з іншими очисними спорудами. Вирішальний вплив на робочий ефект відкритих гідроциклонів здійснюють фізичні властивості частинок (розмір, форма, щільність тощо), для затримання яких він призначений, а також геометричні розміри гідроциклонів і гідралічний режим його роботи.

У **напірні гідроциклони** вода подається через тангенціально спрямований патрубок у циліндричну частину. В гідроциклоні вода, рухаючись по гвинтовій спіралі зовнішньої стінки апарату, прямує в кінцеву його частину. Тут основний потік змінює напрямок руху і

переміщується до центральної частини апарату. Потік освітленої води в центральній частині апарата по трубі виводиться з гідроциклони, а важкі домішки вздовж конічної частини переміщуються вниз та виводяться через патрубків шламу. Промисловість випускає напірні гідроциклони декількох типорозмірів. Для грубого очищення застосовують гідроциклони великих діаметрів. При доцільності глибокого очищення стічної води використовують схему послідовного з'єднання різних типорозмірів гідроциклонів. За такою складною схемою з'єднання гідроциклонів подача води може здійснюватися від одного насоса або від кількох насосів, установлених перед подальшими гідроциклонами.

Застосування гідроциклонів звичайної конструкції не завжди призводить до досягнення необхідного ступеня очищення стічних вод. Тому було запропоновано нові удосконалені конструкції напірного гідроциклону. Він вирізняється від звичайного напірного гідроциклону тим, що в ньому встановлені три зливних патрубків, різних за діаметром і глибиною занурення. Таке розташування патрубків дозволяє працювати цим гідроциклонам як трьом суміщеним гідроциклонам, що мають різний діаметр, продуктивність і ступінь очищення. Тверда частинка, потрапляючи в циліндричну частину гідроциклону, під дією відцентрових сил переміщується вздовж стінки і опускається вниз. У центрі гідроциклону утворюються висхідні потоки легких фракцій, що видаляються через коаксіально розташовані патрубків. Чим менша глибина занурення патрубків, тим більше завись іде по ньому в злив. Частинки, не винесені потоком через патрубків, осідають на дні конічної частини гідроциклону та видаляються через пісковий штуцер.

**Безнапірний гідроциклон.** У відкритих гідроциклонах застосовані переваги відстійників і напірних гідроциклонів. Відкриті гідроциклони рекомендовано застосовувати для освітлення невеликих обсягів стічних вод (100-200 м<sup>3</sup>/год), які мають значні концентрації суспензій та гарні флокуляційні властивості. Віокремлення зависі від води здійснюється під дією як сил тяжіння, так і відцентрових сил.

У відкритих гідроциклонах доцільно проводити очищення забруднених вод від завислих речовин, нафтопродуктів, допускається також застосування коагуляції для інтенсифікації процесу очищення стічних вод.

Відкритий гідроциклон конструктивно подібний до вертикального відстійника, у нього відсутня центральна труба, а підведення води

здійснюється тангенціально у нижню частину апарату. Відкритий гідроциклон (рис. 3.16) складається з трубопроводу подавання стічних вод, що очищаються, тангенціального до циліндричної частини апарату та циліндричного корпусу з витягнутим униз конічним днищем. Вода рухається в апараті, обертаючись уверх, проходить через отвір у конічній діафрагмі, збирається в кільцевий водозбірний лоток та відводиться з апарату. Осад випадає в конічну частину апарату.

Завдяки тангенціальному подаванню води в апараті створюється обертально-поступальний рух, що сприяє укрупненню, флокуляції завислих часток. Це укрупнення відбувається завдяки градієнтній коагуляції. Укрупненню часток сприяє також те, що вода, яка очищується, і домішки, що осаджуються, перебувають у зустрічному русі. Відвід проясненої води здійснюється через кільцевий лоток з водозливом.

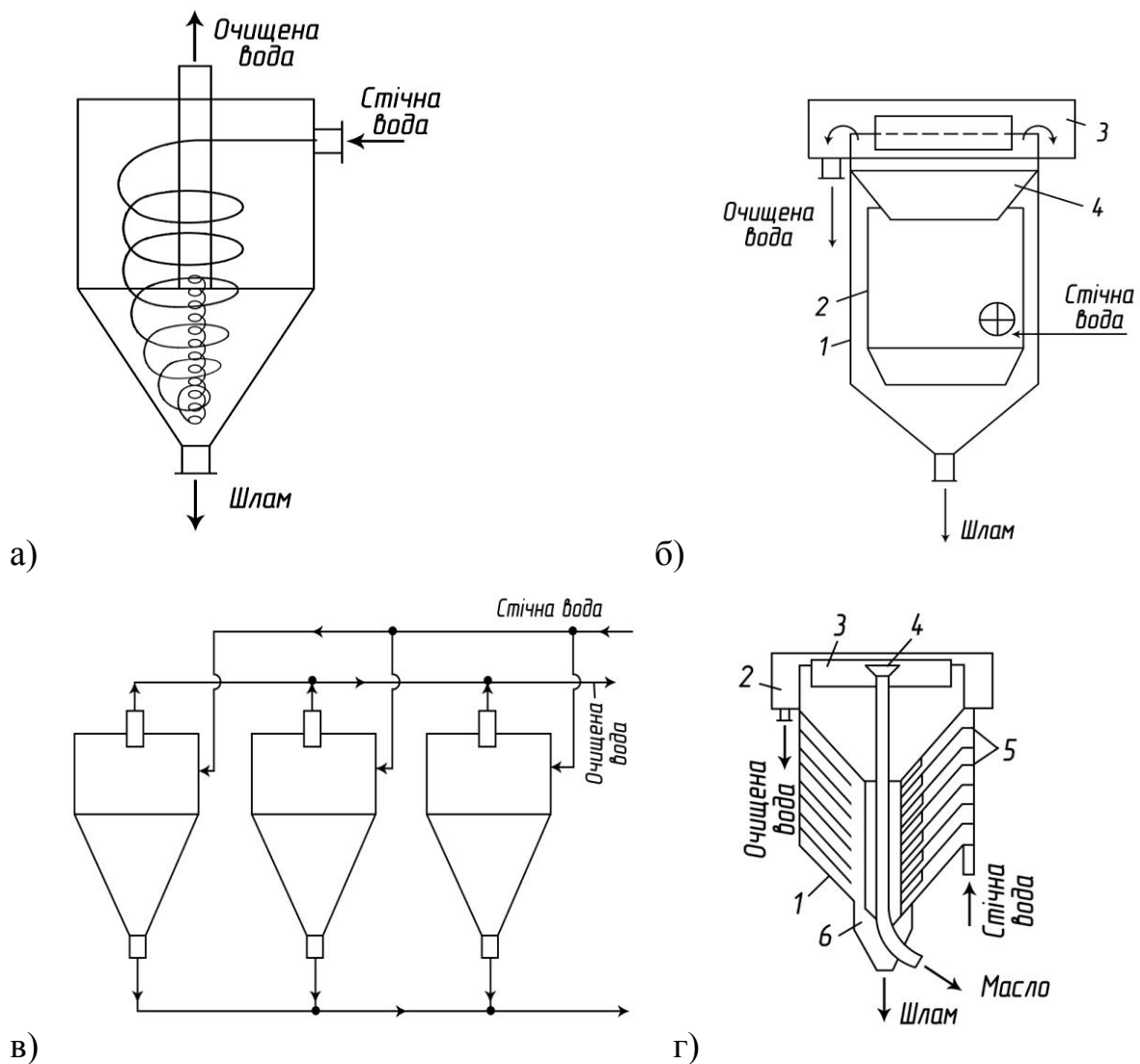


Рис. 3.16 Гідроциклони: а – напірний; б – з внутрішнім циліндром і конічною діафрагмою: 1 – корпус; 2 – внутрішній циліндр; 3 – кільцевий



лоток; 4 – діафрагма; в – блок напірних гідроциклонів; г – багатоярусний гідро циклон з нахильними патрубками для відведення очищеної води: 1 – конічні діафрагми; 2 – лоток; 3 – водозлив; 4 – маслосбиральна воронка; 5 – розподільні лотки; 6 – шлаковідвідна щілина

Для підвищення ефективності очищення конструкція гідроциклона доповнюється циліндричною перегородкою. Впускання води здійснюється тангенціально в простір, обмежений внутрішнім циліндром. При цьому виникає замкнений циркуляційний потік, який сприяє поліпшенню якості очищення.

Швидкість руху води у відкритих гідроциклонах значно нижча, ніж у напірних гідроциклонах, тому вони забезпечують не відкидання часток до стінок апарата, а їхнє укрупнення в процесі повільного обертально-поступального руху. В нижній частині відкритого гідроциклона відбувається швидке укрупнення часток за рахунок кінетичної і градієнтної коагуляції.

Застосовують відкриті гідроциклони таких типів: без внутрішніх устроїв, з діафрагмою, з діафрагмою і циліндричною перегородкою та багатоярусні.

Ефект очищення у відкритих гідроциклонах визначається в основному гідравлічним навантаженням, що визначається залежно від характеристик стічних вод, ступеня очищення й геометричних розмірів гідроциклона.

Для всіх видів відкритих гідроциклонів питоме гідравлічне навантаження на гідроциклон визначають за формулою

$$q = 3,6 \times U_0 \times k, \quad (3.13)$$

де  $U_0$  – гідравлічна крупність часток, мм/с;

$k$  – коефіцієнт пропорційності, що залежить від конструкції гідроциклона (для простих гідроциклонів  $k=0,61$ ).

Апарат працює як без коагуляції й флокуляції за допомогою реагентів, так і з використанням цих речовин. Ефект роботи гідроциклона значно збільшується при використанні коагулянтів.

Головним недоліком відкритих гідроциклонів є небезпека забивання шламових отворів, що значно ускладнює експлуатацію. Шляхами усунення цього явища можна відзначити: 1) устрій скребкового пристрою, який приводиться в дію за допомогою електропривода; 2) видалення осаду з гідроциклона за допомогою шламових насосів. Ці заходи дозволяють не тільки виключити забивання шламових отворів, але й зменшити кількість

шламової пульпи, що видаляється з апарата і відповідно дозволяє збільшити концентрацію твердої речовини.

Гідроциклони виготовляються діаметром від 10 до 700 мм, висота циліндричної частини дорівнює діаметру апарату. Кут конусності дорівнює  $10 \dots 20^\circ$ . Ефективність гідроциклонів близько 70%. Швидкість осадження пропорційна квадрату швидкості обертання частинок, яку можна вважати рівною швидкості води на вході в апарат. Гідроциклони малого діаметра об'єднують у єдиний агрегат, у якому вони працюють паралельно. Такі апарати називають *мультигідроциклонами*. Мультигідроциклони найбільш ефективні при очищенні невеликих кількостей води від тонкодисперсированих домішок.

**Центрифуги.** Для видалення осадів зі стічних вод використовуються відстійні й фільтруючі центрифуги. У відстійних центрифугах (рис. 2.16) із суцільними стінками ротора відбувається поділ суспензій і емульсій за принципом відстоювання. Для видалення зі стічних вод твердих механічних домішок доцільно використовувати осаджувальні центрифуги безперервної та періодичної дії. Процес очищення в центрифугах, як і в напірних гідроциклонах, заснований на дії відцентрових сил. Поле відцентрових сил забезпечується обертанням корпусу (ротора) центрифуги. Застосування центрифуг доцільне в наступних випадках:

- для локального очищення стічних вод, коли видалений осад становить цінність і може бути утилізований;
- при вмісті таких забруднень у воді, коли для її очищення не можна використовувати реагенти;
- для скорочення площі, на якій розміщують установку.

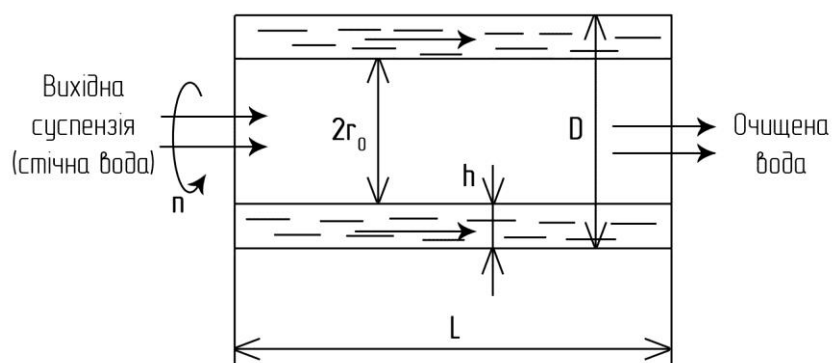


Рис. 3.17 Схема дії відстійної центрифуги

Вітчизняна промисловість не виготовляє центрифуг, спеціально призначених для очищення води. З центрифуг, що серійно випускаються, з

цією метою найбільш підходять осаджувальні горизонтальні шнекові центрифуги безперервної дії ОГШ і центрифуги періодичної дії маятникового типу ОМ.

Центрифуги типу ОГШ доцільно застосовувати для видалення завислих речовин гідравлічною крупністю близько 0,2 мм/с (протитечійні) й 0,05 мм/с (прямотечійні). Концентрація механічних забруднень не повинна перевищувати 2–3 г/л.

Маятникові центрифуги з ручним вивантаженням осаду прості за конструкцією, компактні, надійні в експлуатації й не потребують значних експлуатаційних затрат. Їх доцільно застосовувати для оброблення дрібно- та середньодисперсних суспензій і емульсій. Осад накопичується у робочому об'ємі ротора центрифуги, при цьому паралельно відбувається його ущільнення та зневоднення. Як тільки рівень осаду досягає певної межі, ефект освітлення різко падає внаслідок зменшення об'єму робочої зони, подача стічних вод припиняється, центрифуга зупиняється і осад вивантажується. До недоліків цих центрифуг відносять необхідність застосування ручної праці для вивантаження зневодненого осаду, поганий розподіл суспензії, що оброблюється у робочому об'ємі ротора і недостатньо повне його використання, відсутність автоматики. Ефект освітлення можна збільшити зниженням гідравлічного навантаження.

Шнекові центрифуги з безперервним вивантаженням осаду значно продуктивніші, ніж маятникові, й за суспензією і за осадом. Однак ефект прояснення стічних вод нижчий, оскільки у роторі центрифуги освітлення стічних вод, формування та ущільнення осаду відбувається при одночасному його транспортуванні й зневодненні. Ефект освітлення залежить від властивостей осаду, що утворюється. Поділ суспензій у відстійних центрифугах складається зі стадій осадження твердих частинок на стінках ротора та ущільнення осаду, що утворився. Перша стадія проходить за законами гідродинаміки, друга - за закономірностями механіки пористого середовища (грунтів). При малій концентрації твердих частинок у стічній воді (не більше ніж 4% об.) спостерігається вільне осадження їх у роторі без утворення чіткої поверхні розподілу між чистою рідиною і не розшарованою суспензією. При підвищенні концентрації утворюється чітка межа розподілу внаслідок сили осадження твердих частинок.

Розподільна здатність відстійних центрифуг характеризується індексом продуктивності  $\Sigma$ , який залежить від площі циліндричної поверхні осадження  $F$  в роторі та фактору розподілу  $K_p$ :

$$\Sigma = F \cdot K_p, \quad (3.14)$$

звідки  $\Sigma / F = K_p$ .

Величину  $\Sigma$  слід уважати рівною площі відстійника, еквівалентного за продуктивністю (для цієї суспензії) центрифугі, що розглядається. Продуктивність відстійних центрифуг знижується в порівнянні з теоретичною внаслідок відставання швидкості обертання рідини від швидкості обертання ротора, нерівномірності течії рідини вздовж ротора.

### 3.6 Фільтрування стічних вод

Сутність фільтрування полягає у пропусканні рідини, яка містить дрібнодисперговані домішки, через фільтрувальний матеріал, проникний для рідини і не проникний для твердих частинок. Крім тонкодиспергованих часток, на фільтрах осідають масла, нафтопродукти і смоли. Процес відбувається під дією гідростатичного тиску стовпа рідини над фільтрувальною перегородкою, підвищеного тиску до перегородки або вакууму після перегородки, тобто рушійною силою фільтрування є різниця тисків до й після фільтрувальної перегородки. Процес супроводжується значними енергетичними витратами. Фільтрування частіше є останнім етапом освітлення води та виконується після її попереднього відстоювання у відповідних спорудах.

У міру забруднення фільтрувального шару зменшується його порозність і збільшується опір при проходженні через нього стічної води, при досягненні певної величини якого фільтр зупиняють на регенерацію фільтрувального матеріалу, який називається промиванням. Інтервал між двома промиваннями називається фільтроциклом.

Продуктивність фільтру визначається швидкістю фільтрування, тобто об'ємом води, що пройшли через одиницю поверхні за одиницю часу.

Час, протягом якого певна завантаженість здатна освітлювати воду до заданих показників, називається часом захисної дії фільтрувального завантаження.

Кількість забруднень, затримуваних у процесі фільтроциклу, являє брудомісткість фільтру.

Механізм вилучення часток із води на фільтрах із зернистою перегородкою:

- 1) проціджування з механічним витягом частинок;

- 2) гравітаційне осадження;
- 3) інерційне захоплення;
- 4) хімічна адсорбція;
- 5) фізична адсорбція;
- 6) адгезія;
- 7) коагуляційне осадження;
- 8) біологічне вирощування.

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

- 1) перенесення частинок на поверхню речовини, що утворює шар;
- 2) прикріплення до поверхні;
- 3) відрив від поверхні.

За характером механізму затримування завислих часток розрізняють 2 види фільтрування:

- 1) фільтрування через плівку (осад) забруднень, що утворюється на поверхні зерен завантаження;
- 2) фільтрування без утворення плівки.

У першому випадку затримуються частинки, розмір яких більший від пор матеріалу, а потім утворюється шар забруднень, що є також фільтрувальним. Такий процес характерний для повільних фільтрів, які працюють при малих швидкостях фільтрування (0,1-0,3 м / год). У другому випадку фільтрування відбувається в товщі шару завантаження, де частки затримуються на зернах фільтрувального матеріалу адгезійними силами. Такий процес характерний для швидкісних фільтрів, що працюють при більших швидкостях фільтрування, 5-12 м / год. Величина сил адгезії залежить від крупності й форми зерен, від шорсткості поверхні та її хімічного складу, від швидкості потоку і температури рідини, від властивостей домішок. Прилиплі частки постійно відчують вплив рухомого потоку, який зриває їх із поверхні фільтрувального матеріалу. При рівності числа частинок, що надходять за одиницю часу на поверхню фільтрувального шару і покидають її, настає насичення поверхні й вона перестає освітлювати воду. Важливими характеристиками пористого середовища є пористість і питома поверхня. Пористість залежить від структури середовища і пов'язана як з розміром зерен, так і з їх формою й укладанням. Якщо позначимо пористість через  $\varepsilon$ , а частку об'єму, займану тілом через  $V$ , то  $\varepsilon = 1 - V$ .

При  $\varepsilon = 0$  пористе середовище перетворюється на суцільне тіло, а при  $\varepsilon = 1$  у максимально пористе тіло, коли розміри стінок твердої речовини настільки малі, що ними можна знехтувати. Питома поверхня шару визначається пористістю окремих зерен, а також залежить від форми зерен. Коефіцієнт форми істотно впливає на ємність пористого фільтрувального шару та коефіцієнт гідравлічного опору. Питому об'ємну поверхню  $a$  ( $\text{м}^2/\text{м}^3$ ) пористого (зернистого) шару розраховують за формулою

$$a = 6(1 - \varepsilon \Phi) / d_e, \quad (3.15)$$

де  $\Phi$  - коефіцієнт форми зерен шару ;  $d_e$  - еквівалентний діаметр зерен шару, м.

При вільному засипанні частинок частка вільного обсягу становить  $\varepsilon = 0,4$ . Фактор форми для округлих частинок коливається у межах 1 (для правильних куль) і 0,806 (для правильних кубів). Для циліндричних частинок фактор форми змінюється залежно від відношення висоти циліндра  $h_{\text{ц}}$  до його діаметра  $d_{\text{ц}}$ . Наприклад,  $\Phi = 0,69$  при  $h_{\text{ц}} / d_{\text{ц}} = 5$ ;  $\Phi = 0,32$  при  $h_{\text{ц}} / d_{\text{ц}} = 0,05$ .

Тривалість роботи фільтра до "проскакування" є часом захисної дії  $\tau_3$ . Тривалість роботи фільтра до "проскакування" часток у фільтрат визначають за формулою

$$\tau_3 = 1 / K (L v_{\text{ф}}^{1,7} d_{\text{ч}}^{0,7} - s_0 d_{\text{ч}} v_{\text{ф}}), \quad (3.16)$$

де  $L$  – товщина шару, що фільтрує;  $d_{\text{ч}}$  – розмір часток фільтруючого шару;  $K$  і  $s_0$  – константи, що залежать від концентрації зважених речовин у вихідній та освітленій стічній воді.

У процесі очищення стічних вод доводиться мати справу з великою кількістю води, тому застосовують фільтри, для роботи яких не потрібно високих тисків. Виходячи з цього, використовують фільтри із сітчастими елементами (мікрофільтри і барабанні сітки) й фільтри з фільтруючим зернистим завантаженням. У більшості випадків фільтри застосовуються для глибокого очищення стічних вод після фізико-хімічного або біологічного очищення та подальшого вилучення тонкодиспергованих речовин, а також для виділення специфічних забруднень.

Залежно від виду фільтрувального завантаження розрізняють наступні фільтри:

зернисті (фільтрувальний шар – кварцовий пісок, подрібнений антрацит, керамзит, шлак і т.д.),

сітчасті (фільтрувальний шар – сітка з розміром отворів 40 мкм),

тканинні (фільтрувальний шар – бавовняні, лляні, скляні тканини і т.д.),

намивні (фільтрувальний шар – деревне борошно, азбестова крихта та інші матеріали, намивані у вигляді тонкого шару на каркас з пористої кераміки, металевої сітки або синтетичної тканини), такі фільтри називають ще діатомітовими.

У практиці найбільше застосування знаходять фільтри із зернистим завантаженням. Як фільтрувальне середовище можуть бути застосовані природні й штучні фільтрувальні матеріали (кварцовий пісок, дроблений антрацит, кварц, мармур, керамічна крихта, доломіт, магнетит і т.д.). Останнім часом дістали поширення керамзит, синтетичні матеріали (полістирол, поліуретан і т.і.), горілі породи тощо. Для завантаження фільтрів використовують середньозернистий (розміри зерен – 0,35 ... 1,5 мм) і грубозернистий пісок (0,5 ... 2 мм).

Фільтри із зернистим завантаженням можна класифікувати за низкою ознак:

1. за швидкістю фільтрування (повільні, швидкі й надшвидкі);
2. за тиском, під яким вони працюють (відкриті (безнапірні) та закриті (напірні));
3. за напрямом фільтруючого потоку (одно поточні (звичайні швидкі фільтри), двопоточні й багатопоточні);
4. за крупністю фільтруючого матеріалу (дрібно-, середньо-, грубозернисті);
5. за кількістю фільтруючих шарів (одно-, дво-, багат шарові).

Фільтри із зернистим завантаженням широко застосовують для підготовки технічної та оборотної води, вони незамінні на станціях господарсько-питного призначення для освітлення і знебарвлення поверхневих вод, а також для знезалізнення підземних вод. Фільтри із зернистим завантаженням використовують для доочищення стічних вод виробництв хімічної, металургійної, легкої, гірничодобувної, будівельної й кількох інших галузей промисловості.

Повільні фільтри використовують для фільтрування некоагуляційних стічних вод. Швидкість фільтрування залежить від концентрації завислих часток: до 25 мг/л швидкість беруть 0,2 ... 0,3 м/год., при 25 ... 30 мг / л – 0,1 ... 0,2 м/год. Являють собою залізобетонні або цегляні резервуари прямокутної або круглої в плані форми та застосовуються для безреагентного освітлення води. Мала швидкість фільтрування, значна

вартість та велика площа призвели до того, що в практиці водоочищення ці фільтри поширені мало.

Швидкі безнапірні фільтри призначені для освітлення води після реагентного оброблення або без неї. Вони являють собою прямокутні в плані залізобетонні резервуари площею 4-140 м<sup>2</sup>. Швидкісні фільтри бувають одно і багат шаровими. В одношаровому фільтрі шар складається з одного й того ж матеріалу, в багат шарових – з різних матеріалів (наприклад, з антрациту та піску). Вибір типу фільтра для очищення стічних вод залежить від кількості стічних вод, концентрації забруднень і ступеня їх дисперсності, фізико-хімічних властивостей твердої й рідкої фаз та від необхідного ступеня очищення. Висота шару завантаження цих фільтрів залежить від діаметра зерен фільтрувального матеріалу і становить 0,4-2 м. Швидкість води у підвідних трубопроводах повинна становити 0,8-1 м/с, висота шару води над завантаженням фільтра не менше ніж 2 м. Вода фільтрується зверху вниз, промивання здійснюється подачею води знизу вгору. Тривалість фільтроциклу при нормальному режимі роботи швидких безнапірних фільтрів повинна становити не менше ніж 8-12 год. Для швидких фільтрів використовуються відкриті (безнапірні) або напірні апарати з висхідним або низхідним напрямом руху фільтраційного потоку.

Сітчастими фільтрами видаляють зі стічних вод завислі та плаваючі речовини при концентрації їх у вихідній воді понад 30 мг/л. Стабільна та надійна робота швидких фільтрів може бути забезпечена при концентрації завислих речовин не більше ніж 30 мг/л і нафтопродуктів не більше ніж 50 мг/л.

До фільтрувальних матеріалів ставиться низка вимог. Вони повинні мати певний фракційний склад, механічну міцність (на стирання і здрибнювання), хімічну стійкість до води та її домішок, мають бути доступними й мати невисоку вартість.

Крім зернистих матеріалів, фільтрувати воду можна через різні металеві сітки та перегородки.

Для запобігання виносу фільтрувального матеріалу з фільтратом застосовують спеціальні дренажні системи (пористі труби й плити, ковпачки та ін.) або укладають фільтрувальні матеріали на підтримувальні шари (гравій, щебінка і т.п.), розташовані один за одним у порядку збільшення крупності часток.



При погіршенні якості фільтрату або значному збільшенні гідравлічного опору фільтра здійснюється промивання фільтрувального матеріалу завантаження. За кількістю фільтрувальних шарів розрізняють одношарові, двошарові та багатошарові фільтри, наприклад, каркасно-засипні фільтри. Швидкі фільтри можна завантажувати матеріалом з рівною крупністю часток або різнорідними матеріалами, які розташовують у напрямку зменшення крупності завантаження. Фільтри застосовують з вертикальним низхідним або висхідним потоком води. Брудоемкість (кількість забруднень, кг, що видаляються з 1 м<sup>2</sup> поверхні завантаження фільтра) фільтрів із висхідним потоком води та зменшенням крупності завантаження, як правило, у 2 рази перевищує брудоемкість фільтрів з однорідним завантаженням і низхідним потоком води.

На сьогодні для очищення стічних вод перевагу віддають фільтрам з низхідним потоком, у яких дренажна система захищена від впливу забруднень, що містяться у стічних водах, і тому працює більш надійно. На фільтрах з висхідним потоком спостерігається замулювання дренажу, корозія труб, заростання їх карбонатами, що викликає серйозні ускладнення в експлуатації фільтрів.

Регенерація зернистого фільтрувального завантаження здійснюється зворотним струмом води певною інтенсивністю. Синтетичні матеріали, що використовують для очищення стічних вод від нафтопродуктів, регенерують звичайно шляхом їх віджимання. Регенерацію завантаження більшості конструкцій швидких фільтрів здійснюють періодично. У системах виробничого водопостачання фільтрування води найчастіше виконується в напірних фільтрах із грубозернистим завантаженням кварцовим піском або дробленим антрацитом. Напірні фільтри застосовують для механічного очищення стічних вод після їх гравітаційного відстоювання.

**Напірні** швидкі фільтри являють собою закриті резервуари циліндричної форми (рис. 3.18, 3.19). Фільтри обладнані дренажною системою, призначеною для відведення освітленої води і подачі промивної води, розподільним пристроєм для стислого повітря тощо. Фільтри розраховують на тиск 0,4 – 0,6 Мпа. Застосовують вертикальні й горизонтальні напірні фільтри. Промисловістю випускаються вертикальні напірні фільтри діаметром 1000, 1400, 2000, 2600, 3000 і 34000 мм, продуктивністю 50 – 90 м<sup>3</sup>/год. Висота шару фільтрувального матеріалу - 1000 – 1200 мм. Вода на очищення подається під напором у верхню

частину камери фільтра. Потім у спадному потоці вода проходить фільтрувальний шар, освітлюється й через трубчастий дренаж видаляється під залишковим напором за межі фільтра. В міру забруднення фільтру шару, при збільшенні його опору до 0,15 Мпа фільтр виводиться на промивання, що полягає в подачі води та стиснутого повітря зворотним струмом – знизу нагору.

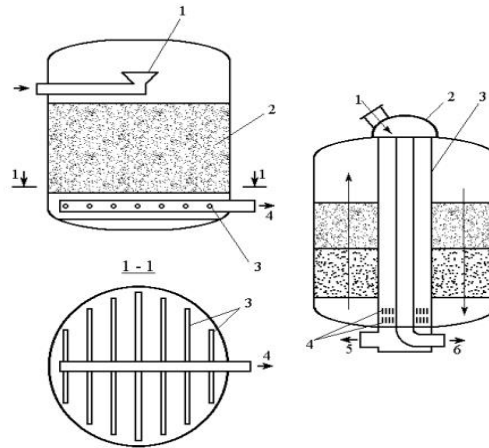


Рис. 3.18 Схема вертикального напірного фільтра: 1 – воронка; 2– фільтруючий шар; 3 – дренажна система; 4 – відвід фільтрату

Рис.3.19 Схема надшвидкого фільтра: 1– подача води; 2 – розподільний ковпак; 3 – центральний стояк; 4 – щілини; 5 – відвід фільтрованої води; 6 – відвід промивної води

1– подача води; 2 – розподільний ковпак; 3 – центральний стояк; 4 – щілини; 5 – відвід фільтрованої води; 6 – відвід промивної води

Подача повітря потрібна для розпушення зерен фільтрувального матеріалу і кращого відмивання їх від забруднень. Розроблені останніми роками напірні фільтри з двома та трьома камерами, що практично являють два або три фільтри, розташовані один над одним, дозволяють підвищити в 2 – 3 рази продуктивність води без збільшення діаметра фільтра.

Напірні швидкі фільтри застосовують для освітлення порівняно невеликої кількості стічних вод, забруднених завислими речовинами, смолами й ін.

Напірні фільтри мають напрямок фільтрування зверху вниз, швидкість фільтрування – 5...12 м/год, а тривалість фільтроциклу 12...48 год залежно від якості стічних вод. Залишковий уміст у воді нафтопродуктів допускається 7...20 мг/л (початковий уміст 40...80 мг/л), механічних домішок – 10...20 мг/л (початковий уміст 30...60 мг/л).

**Відкритий фільтр** є зазвичай прямокутним (у плані) резервуаром (рис. 3.20), завантаженим фільтрувальним шаром зернистого матеріалу і

підтримувачими шарами, під якими розташована дренажна система, призначена для відведення відфільтрованої води і рівномірного розподілу промивної води. У верхній частині фільтра є жолоби для подачі чистої й відведення забрудненої води. Фільтр забезпечений регуляторами витрати води, витратомірами та іншим обладнанням. Висота шару води над завантаженням фільтра, становить 2 м. У нижній частині фільтра (при направленні фільтрації зверху вниз) розташовані труби для відведення очищеної води. Регенерацію завантаження здійснюють гарячою водою з інтенсивністю 6–8 л / (м<sup>2</sup>.с). Промивну воду випускають на очисні споруди. Терміни промивання визначають якістю фільтрату. Якщо неможливо промити завантаження фільтра, його необхідно замінити новим. Використане завантаження регенерують (прожарюють), промивають і просівають, після чого його знову можна використовувати. Вода, що пройшла через фільтр, повинна бути прозорою, а концентрація нафтопродуктів у ній не має перевищувати 10-15 мг/л.

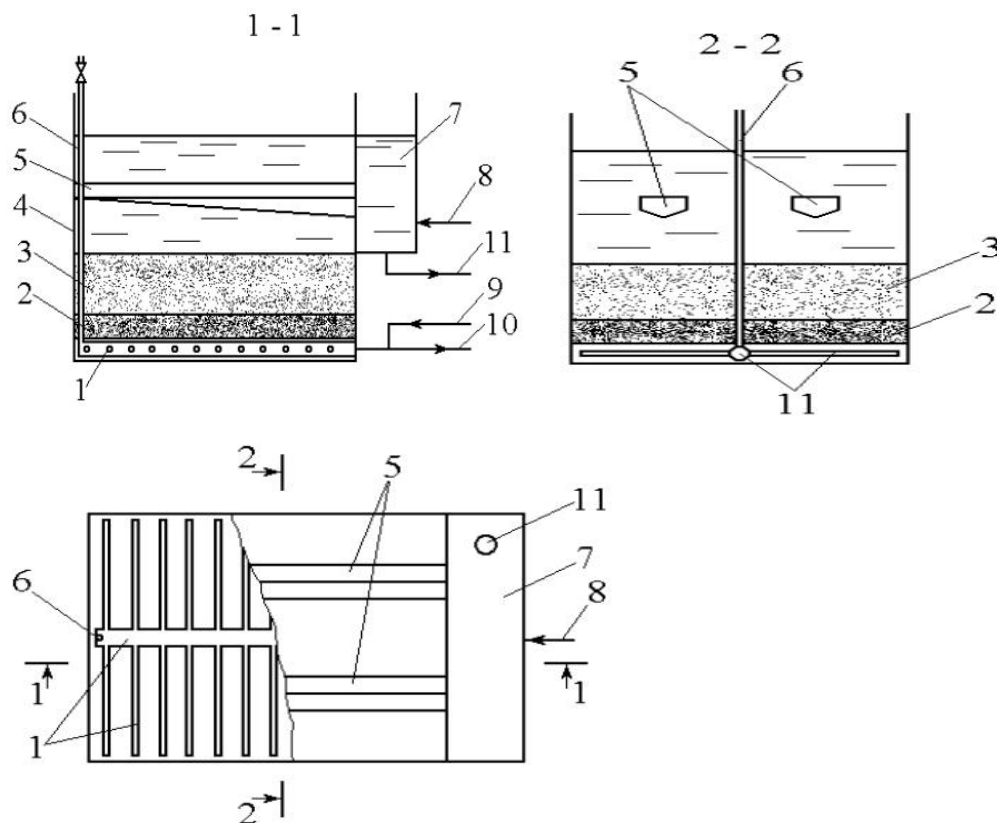


Рис. 3.20 Схема відкритого швидкого фільтра: 1 – трубчаста розподільна система; 2 – підтримуючий шар гравію; 3 – фільтруюче завантаження; 4 – залізобетонний корпус фільтра; 5 – желоби; 6 –

повітряник; 7 – боковий карман; 8, 10 – подача вихідної та відвід фільтрованої води; 9, 11 – подача і відвід промивної води

Ефективність фільтрування підвищується при додаванні у воду 5-10 мг/л коагулянта  $Al_2(SO_4)_3$  і 0,2-0,3 мг/л флокулянта ПАА.

Фільтри промивають через дренажну систему знизу нагору. При крупності часток піску 0,7-0,8 мм інтенсивність промивання приймають 10-12 л/(м<sup>2</sup>×с), а при крупності 1-1,2 мм – 14-16 л/(м<sup>2</sup>×с). Тривалість промивання становить 10-20 хв.

Збільшення брудомкості фільтрів без зниження ефективності освітлення води досягається застосуванням фільтрів з багатошаровим завантаженням, що складається з матеріалів різної щільності. Наявність у багатошаровому фільтрі верхніх грубозернистих шарів спричиняє більшу глибину проникнення забруднень, а наявність нижнього дрібнозернистого піщаного шару – досить високу ефективність освітлення води. Різні за природою фільтрувальні матеріали збільшують імовірність адгезійної взаємодії часток із зернами завантаження.

Найбільше поширення дістали двошарові фільтри. Як матеріал верхніх фільтрувальних шарів застосовують антрацит ( $d_e = 0,8 - 1,1$  мм), керамзит, полістирол, для нижніх шарів – пісок ( $d_e = 0,4 - 0,5$  мм), граніт, магнетит й ін.

Швидкість фільтрування води становить 10 м/год і більше (до 25 м/год). Брудомкість багатошарових фільтрів вище у 2-4 рази, а тривалість фільтроциклу – в 2-3 рази, ніж одношарових фільтрів. Застосування фільтрів з тришаровим завантаженням (антрацит – пісок – граніт або полістирол – антрацит – пісок) дозволяє суттєво збільшити їх продуктивність.

Основним завданням промивання фільтра є встановлення такої інтенсивності й ступеня розкриття шару завантаження, які забезпечують повне відмивання зерен від часток забруднень.

Витрата промивних вод при промиванні швидких і багатошарових фільтрів становить 3 – 5% від обсягу фільтрату. З метою зниження витрати промивної води та поліпшення якості відмивання зерен завантаження поряд із промиванням проводиться продування завантаження стисненим повітрям. Повітря подається за допомогою спеціальної розподільної системи по фільтруючому завантаженню. Залежно від розміру зерен завантаження інтенсивність продування приймають у межах 15 – 20

л/(м<sup>2</sup>×с), при цьому інтенсивність промивання фільтра водою знижується до 10 – 12 л/(м<sup>2</sup>×с).

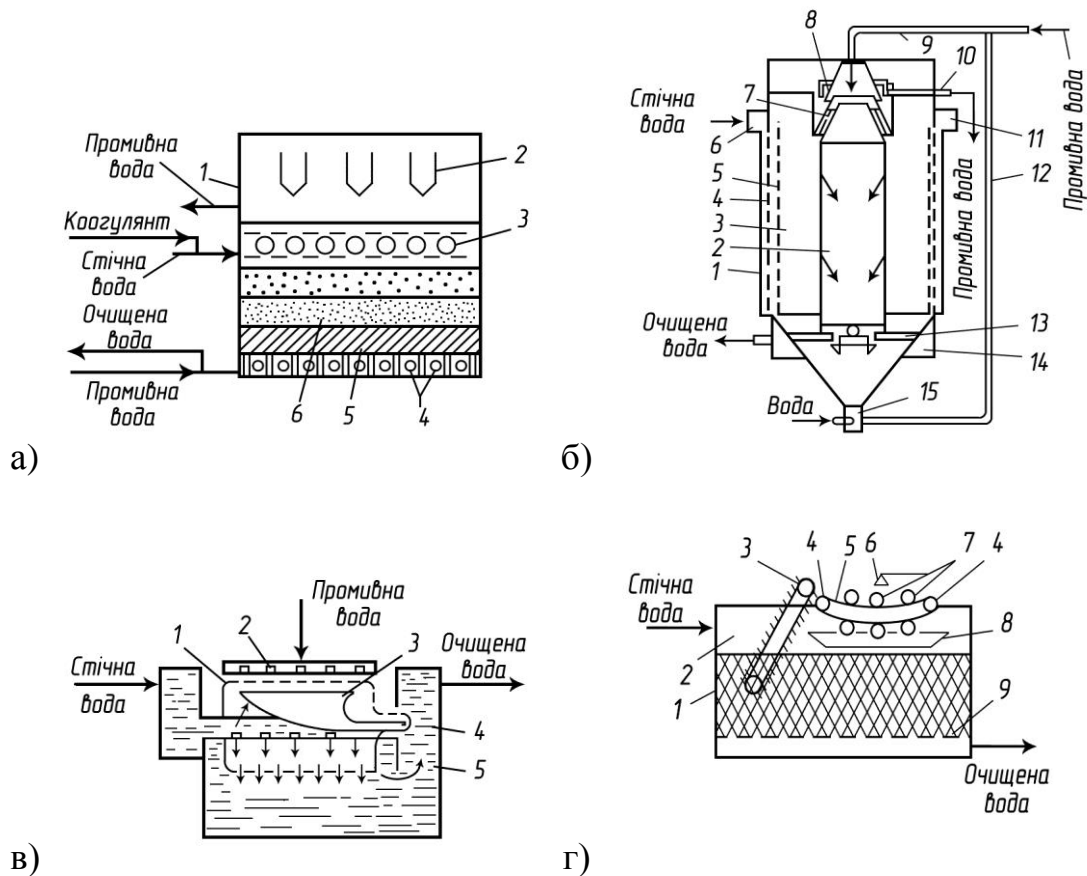


Рис. 3.21 Фільтри: а) – швидкісний контактний: 1 – корпус; 2 – система видалення промислових вод; 3 – система подачі стічних вод; 4 – система подачі промислових вод; 5 – пористий дренаж; 6 – фільтрувальний матеріал; б) – з рухомою заглушкою: 1 – корпус; 2 – дренажна камера; 3 – середня камера; 4 – канали; 5 – щілинні труби; 6 – ввід стічних вод; 7 – класифікатор; 8 – промивний пристрій; 9 – труба для подачі промислової води; 10 – ввід промивної води; 12,13 – труби; 15 – гідроелеватор; в) – мікрофільтр: 1 – обертовий барабан; 2 – пристрій для промивання; 3 – лоток для збирання промислових вод; 4 – труба для відведення промислових вод; 5 – камера для видалення освітленої води; г) – с пінополіуретановим завантаженням: 1 – шар пінополіуретану; 2 – камера; 3 – елеватор; 4 – направляючі ролики; 5 – стрічка; 6 – зрошувач; 7 – віджимні ролики; 8 – ємність для регенерату; 9 – решітчаста перегородка

Фільтрувальні процеси на **каркасних фільтрах** можна розділити на три великі групи: фільтрування через пористі зернисті матеріали, що володіють фільтрувальними властивостями (кварцовий пісок, керамзит, антрацит, пінополістирол, котельні й металургійні шлаки тощо);

фільтрування через волокнисті та еластичні матеріали, що володіють сорбційними властивостями і високою нафтоємкістю (неткані синтетичні матеріали, пінополіуретан тощо); фільтрування через пористі зернисті й волокнисті матеріали для укрупнення частинок нафтопродуктів (коалесценцювальні фільтри). Два перших методи близькі за основним технологічним принципам, що лежать в основі процесу вилучення нафтопродуктів з води, і вирізняються нафтоємкістю, регенерацією фільтруючої завантаження та конструктивним оформленням. У міру насичення завантаження нафтопродуктами їх фронт переміщається вглиб шару до його нижньої межі й концентрація нафтопродуктів у фільтраті зростає. При цьому фільтр відключається і виробляється регенерація завантажувального матеріалу. Є конструкції фільтрів з безперервною регенерацією завантаження. Третій метод принципово відрізняється від розглянутих. Період фільтроциклу, характерний для перших двох методів, завершує етап «зарядки» коалесценцювального фільтра. Після цього плівка нафтопродуктів відривається від поверхні фільтруючого шару у вигляді крапель з діаметром кілька міліметрів. Краплі швидко спливають та легко відокремлюються від води. До недавнього часу в основному застосовували каркасні фільтри із засипкою з пористих матеріалів. Як фільтруючий матеріал використовують гравій, пісок, подрібнений антрацит, кварц, мрамур, керамічну крихту, хмиз, деревне вугілля, синтетичні й полімерні матеріали. Фільтри поділяються за швидкістю руху води в них на фільтри з постійною і змінною швидкістю. При змінній швидкості фільтрування (постійної різниці тиску до та після фільтру) у міру збільшення обсягу фільтрату, тобто тривалості фільтрування, швидкість фільтрування зменшується. При постійній швидкості фільтрування різниця тиску до і після фільтру збільшується. При фільтруванні стічних вод через зернисті матеріали проходять такі процеси: відкладення зважених речовин у вигляді тонкого шару на поверхні фільтруючого шару (плівкове фільтрування); відкладення зважених речовин у порах фільтруючого шару; відкладення зважених речовин на поверхні фільтруючого шару і в його порах. Під дією сил прилипання завислі речовини закріплюються на зернистому матеріалі. Явище прилипання та відривання часток визначає хід процесу освітлення води. У нафтовій і нафтохімічній промисловості зазвичай застосовують фільтри із зернистим завантаженням, які за швидкістю фільтрування поділяються на повільні, швидкі й надшвидкісні. Зернисте завантаження розміщують у певному порядку і, щоб уникнути його винесення з фільтра,

застосовують спеціальні дренажні системи та підтримуючи шари. Характеристики деяких фільтруючих матеріалів наведені в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10.

Характеристика деяких фільтрувальних матеріалів

Показник	Річний пісок	Подрібнений шлак	Гранитний щебінь	Горіла порода	Шунгізит
Густина, кг/м <sup>3</sup>	2460	2500	2500	-	-
Пористість, %	36,5-44,5	39,5-54	46,4-54,3	44-48	56-58
Подрібнюваність, % іок.	3,93	7,7	8,35	3	5,67
Стираність, % мас.	0,7	2,22	6,88	0,5	0,017
Сухий залишок	188	252	198	-	-
Щільний залишок	-	-	-	49,6-35,3	-
Кремнієва кислота	2,5	10	5	0,21-0,17	-
Окислюваність	4,2	7,5	8,4	5,7-3,7	-

Швидкість фільтрування та якість очищення залежать від характеру завантаження. Використання великого фільтрувального матеріалу призводить до збільшення пропускної здатності фільтра та зниження якості фільтрату. Дрібний фільтрувальний матеріал поліпшує якість фільтрату, але знижує швидкість руху води у фільтрі й тривалість роботи фільтра, а також викликає перевитрату промивної води. При конструюванні фільтрів можна використовувати механічні характеристики фільтрів, які працюють для очищення від одних домішок; для фільтрів, які працюють з водами, що містять інші домішки.

Таблиця 3.11

Основні параметри одношарових фільтрів, що застосовуються для додаткового очищення

Фільтр	Крупність загрузки, мм	Висота завантаження, мм	Швидкість фільтрації, м/год
Після механічного очищення			
Грубозернистий	2-3	2000	10
Крупнозернистий	1-2	1500-2000	7-10

Середньозернистий	0,8-1,6	1000-1200	5-7
Дрібнозернистий	0,4-1,2	1000	5
Після біологічного очищення			
Крупнозернистий	1-2	1000-1500	5-7

До конструкцій зернистих фільтрів висуваються наступні вимоги: фільтрація повинна йти в напрямку спадної крупності завантаження з метою запобігання утворенню малопроникних і важкоруйнованих при промиванні плівок осаду на поверхні завантаження; необхідне інтенсивне промивання завантаження, що забезпечує максимальне видалення забруднюючих речовин із завантаження; фільтри мають володіти малою чутливістю до коливань якості води й витрат; фільтруючий матеріал повинен мати високу міцність та хімічну стійкість, а також мінімальну вартість за інших рівних фізико-хімічних властивостей.

**Фільтри з плаваючим завантаженням.** З появою нових фільтрувальних матеріалів змінюється і технологія фільтраційного очищення води від нафтопродуктів. Перспективним є використання плаваючих завантажень з різних полімерних матеріалів, що мають достатню механічну міцність, хімічну стійкість, високу пористість та необхідні поверхневі властивості. До числа таких матеріалів відносять полістирол різних марок, у тому числі й пінополістирол. Принципово механізм процесу затримання нафтопродуктів фільтрами з плаваючим гранульованим завантаженням не відрізняється від механізму фільтрування емульсій через піщані фільтри. Розроблено різні апарати для спінювання полістиролу за допомогою гарячої води, пари, гарячого повітря. В основному фільтри з плаваючим полістирольним завантаженням рекомендуються для очищення природних та доочищення стічних вод. Однак у зв'язку з високою адгезійною здатністю по відношенню до нафтопродуктів їх застосовують і для розділення водонафтової емульсії. Плаваюче завантаження дозволяє значно збільшити швидкість фільтрування, знизити початковий уміст домішок та спростити регенерацію фільтру.

**Фільтри з еластичним завантаженням.** Для очищення стічних вод розроблена нова технологія з використанням еластичних полімерних матеріалів, зокрема еластичного пінополіуретану. Цей матеріал має відкритокоміркову структуру зі середнім розміром пор 0,8-1,2 мм і явну густину 25-60 кг/м<sup>3</sup>. Еластичний пінополіуретан характеризується високою



пористістю, механічною міцністю, хімічною стійкістю, гідрофобними властивостями, що забезпечує значну поглинаючу здатність щодо нафтопродуктів.

Технологічний процес очищення полягає в наступному: стічна вода по трубопроводу надходить у ємність фільтра, заповнену подрібненим пінополіуретаном розміром 15–20 мм. Пройшовши через шар завантаження, стічні води звільняються від нафтопродуктів і механічних домішок та через сітчасте днище відводяться по трубопроводу з установки. У процесі фільтрування завантаження насичується нафтопродуктами й періодично ланцюговим ковшовим елеватором подається на віджимні барабани для регенерації. Відрегеноване завантаження знов надходить у ємність фільтра, а віджати забруднення із збірного жолоба відводяться в обробну ємність. Такі фільтри доцільно застосовувати після попереднього очищення стоків у пісковловлювачах і нафтовуловлювачах. Очищену воду можна використовувати в технічному водопостачанні промислових підприємств.

Загальним недоліком усіх розглянутих фільтрів (крім пінополіуретанових) є те, що в результаті їх регенерації утворюються високоемульговані й досить стійкі емульсії, істотно затруднюють утилізацію виділених нафтопродуктів.

На рисунку 3.22 показана схема механічного очищення стічних вод з таким складом основних споруд: грати 2 для затримання великих забруднень органічного і мінерального походження, пісколовки 3 для виділення важких мінеральних домішок (головним чином піску), усереднювачі 5 витрати стічних вод та концентрації їх забруднень, відстійники або відстійники-освітлювачі 6 для виділення нерозчинних домішок, фільтри 7 для більш повного освітлення води й споруди для обробки осаду.

У низці випадків механічне очищення є єдиним і достатнім способом для вилучення із виробничих стічних вод механічних забруднень та підготовки їх до повторного використання у системах оборотного водопостачання. Однак для деяких виробництв потрібна вода з меншим умістом завислих речовин, ніж уміст, що забезпечується механічним очищенням, тому необхідні додаткові фізико-хімічне й біологічне очищення, а також ще більш глибоке очищення виробничих стічних вод. При повторному використанні біологічно очищеної стічної води відповідно до санітарних норм потрібно застосовувати хлорування.

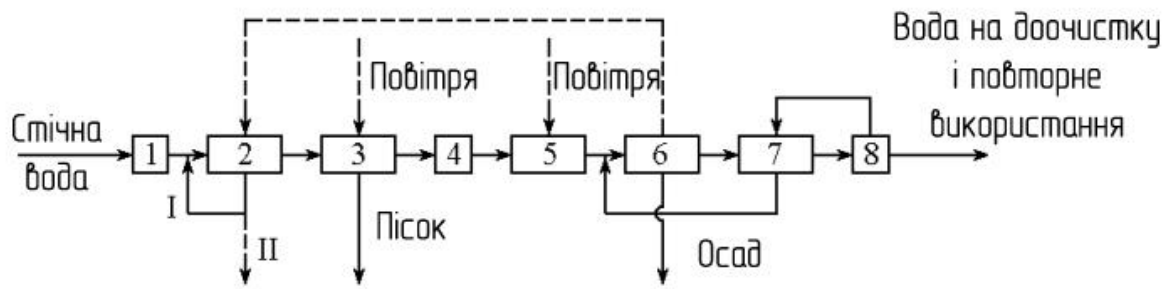


Рис. 3.22 Схема механічного очищення стічних вод: I – варіант з подрібненням відходів і відведенням їх у каналізацію; II – варіант з вивезенням відходів у контейнерах на знешкодження; 1 – приймальна камера, 2 – решітки механічні з окремими дробарками або решітки-дробарки, 3 – пісковловлювачі; 4 – водовимірювальний пристрій, 5 – усереднювачі; 6 – відстійники або відстійники-освітлювачі; 7 – барабанні сітки і піщані фільтри або тільки каркасно-засипні фільтри; 8– насосна станція.

### 3.7 Фізико-хімічне очищення

До фізико-хімічних методів очищення стічних вод відносять коагуляцію, флотацію, адсорбцію, іонний обмін, екстракцію, ректифікацію, випарювання, дистиляцію, зворотний осмос і ультрафільтрацію, кристалізацію, десорбцію та ін. Ці методи використовують для видалення із стічних вод розчинених зважених твердих та рідких частинок, розчинних газів, мінеральних й органічних речовин. Використання фізико-хімічних методів для очищення стічних вод у порівнянні з біохімічним має низку переваг:

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

Вибір того чи іншого методу очищення (або декількох методів) виконують 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 та концентрації забруднень у них.

### 3.7.1 Коагуляція і флокуляція

Швидкість осаджування частинок зростає із збільшенням розміру частинок (рис. 3.23). Для прискорення відстоювання використовують коагуляцію часток, тобто укрупнення їх за допомогою введення в суспензію коагулянтів, у результаті чого під дією сил зчеплення відбувається злипання дрібних часток у великі конгломерати (пластівці, флокули).

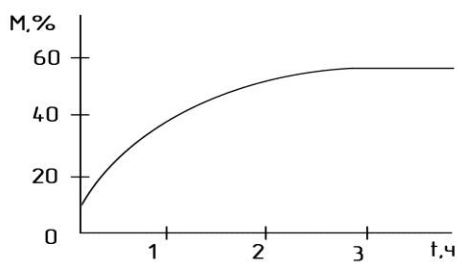


Рис. 3.23 Кінетика осадження полідисперсних частинок

Коагуляція – це процес укрупнення дисперсних частинок у результаті їх взаємодії й об'єднання в агрегати. В очищенні стічних вод її застосовують для прискорення процесу осадження домішок і токсичних речовин. Коагуляція найбільш ефективна для видалення з води колоїдно-дисперсних частинок, тобто частинок розміром 1 ... 100 мкм. Коагуляція може відбуватися спонтанно або під впливом хімічних та фізичних процесів. У процесі очищення стічних вод коагуляція відбувається під впливом додавання до них спеціальних речовин – коагулянтів. Коагулянти у воді утворюють пластівці гідроксидів металів, які швидко осідають під дією сили тяжіння. Пластівці мають здатність вловлювати колоїдні й зважені частинки та агрегувати їх. Оскільки колоїдні частинки мають слабкий негативний заряд, а пластівці коагулянтів – слабкий позитивний заряд, то між ними виникає взаємне притягання.

Для колоїдних частинок характерне утворення на поверхні частини подвійного електричного шару. Одна частина подвійного шару фіксована на поверхні розділення 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  $\xi$  або електрокінетичним потенціалом, відмінним від термодинамічного потенціалу  $E$ , який являє собою різницю потенціалів між поверхнею частинок та рідиною. Дзета-потенціал залежить як від  $E$ , так і від товщини подвійного шару. Його значення визначає величину електростатичних сил відштовхування частинок, які оберігають частки від злипання один з одним. Малий розмір колоїдних частинок забруднень та негативний заряд, розподілений на їх поверхні, зумовлює високу стабільність колоїдної системи.

Щоб викликати коагуляцію колоїдних частинок, необхідно знизити величину їх дзета-потенціалу до критичного значення додаванням іонів, що мають позитивний заряд. Таким чином, при коагуляції відбувається дестабілізація колоїдних частинок унаслідок нейтралізації їх електричного заряду. Ефект коагуляції залежить від валентності іона коагулянту, що несе заряд, протилежний знакові заряду частинок. Чим вища валентність, тим більша токсична дія. Для початку коагуляції частки повинні наблизитися один до одного на відстань, при якій між ними діють сили тяжіння і хімічної спорідненості. Зближення частинок відбувається внаслідок броунівського руху, а також при ламінарному або турбулентному русі потоку води. Коагулююча дія солей є результатом гідролізу, який проходить слідом за розчиненням. Як коагулянти використовують бентоніт, електроліти, розчинні у воді солі алюмінію  $Al_2(SO_4)_3$ , солі заліза  $FeCl_3$  чи їх суміші, поліакриламід, котрі, гідролізуючись, утворюють пластівчасті гідрати окисів металів. Вибір коагулянту залежить від його складу, фізико-хімічних властивостей і вартості, концентрації домішок у воді, від рН та сольового складу води. Солі заліза як коагулянти мають низку переваг перед солями алюмінію: краще діють при низьких температурах води, більш широка область оптимальних значень рН середовища, велика міцність і гідравлічна крупність пластівців; можливість використовувати для вод з більш широким діапазоном сольового складу; здатність усувати шкідливі запахи та присмаки, зумовлені наявністю сірководню. Однак є й недоліки: утворення при реакції катіонів заліза з деякими органічними сполуками сильнотоксичних розчинних комплексів; сильні кислотні властивості, підсилюють корозію апаратури; менш розвинена поверхня пластівців. При

використанні сумішей сульфату алюмінію  $Al_2(SO_4)_3$  і хлорного заліза  $FeCl_3$  у співвідношеннях від 1:01 до 1:02 досягається кращий результат коагулювання, ніж при роздільному використанні реагентів. Для обробки стічних вод також можуть бути використані різні глини, алюмінієво-вмісні відходи виробництва, травильні розчини, пасти, суміші, шлаки, що містять діоксид кремнію. Швидкість коагуляції залежить від концентрації електроліту (рис. 3.24).

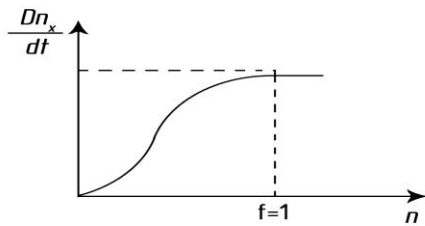


Рис. 3.24 Залежність відносної швидкості коагуляції від концентрації електроліту

При малих концентраціях електроліту ефективність зіткнення частинок, тобто відношення числа зіткнень, що закінчилися злипанням, до загального числа зіткнень, близька до нуля ( $\psi = 0$ ). У міру зростання концентрації швидкість коагуляції збільшується, але не всі зіткнення закінчуються злипанням частинок – таку коагуляцію називають повільною. При  $\psi = 0$  настає швидка коагуляція, при якій усі зіткнення частинок закінчуються утворенням агрегатів. Швидкість швидкої коагуляції для нерухомої середовища при броунівському русі частинок з теорії Смолуховського дорівнює:

$$dn_x/d\tau = k(n_0 - n_x)^2. \quad (3.17)$$

Кількість частинок в одиниці об'єму води за час  $\tau$  для швидкої й повільної коагуляції визначається за формулами:

$$n_\tau = n_0 / (1 + \tau/T^{1/2}); \quad n_\tau = n_0 / [1 + \psi(\tau/T^{1/2})], \quad (3.18)$$

де  $K$  – константа коагуляції;  $n_x$  – число агрегатів частинок,  $n_0$  – початкова частинок концентрація,  $T^{1/2}$  – час коагуляції, протягом якого кількість частинок в одиниці об'єму зменшується вдвічі;  $\psi$  – коефіцієнт ефективності зіткнень часток. У полідисперсних системах коагуляція відбувається швидше, ніж у монодисперсних, тому що великі частинки при осіданні захоплюють за собою більш дрібні. Форма частинок також впливає на швидкість коагуляції. Наприклад, подовжені частки коагулюють швидше, ніж кулясті.

Розмір пластівців (в межах 0,5 ... 3 мм) визначається співвідношенням між молекулярними силами, які утримують частинки

разом, і гідродинамічними силами відриву, які прагнуть зруйнувати агрегати. Для характеристики пластівців використовують еквівалентний діаметр

$$d_e = 0,136 \sqrt{v_0 \omega_{oc}} [(\rho_x - 1) \kappa_p], \quad (3.19)$$

де  $v_0$  – кінематична в'язкість води;  $\rho_x$  – щільність пластівців;  $\omega_{oc}$  – швидкість вільного осадження пластівців.

Щільність пластівців визначається з урахуванням щільності води  $\rho_0$  і твердої фази  $\rho_T$  та обсягу твердої речовини в одиниці об'єму пластівців:

$$\rho_x = \rho_0 + T (\rho_T - \rho_0). \quad (3.20)$$

Міцність пластівців залежить від гранулометричного складу утворених агрегатів частинок і пластичності. Агломерати частинок, неоднорідних за розміром, міцніші, ніж однорідних. Унаслідок виділення газу з води, а також у результаті аерації й флотації відбувається газонасичення пластівців, яке супроводжується зменшенням щільності пластівців та зменшенням швидкості осадження.

Для склеяних частинок у межах об'ємних концентрацій суспензії  $C_0$  від 0 до 0,2 кг/м<sup>3</sup> швидкість стиснутого осадження можна розрахувати

$$w_{ст} = w_{oc} (1 - 3,5C_0) / (1 - \phi). \quad (3.21)$$

Відношення швидкості стиснутого осадження до швидкості вільного осадження частинок дорівнює

$$w_{ст} / w_{oc} = (1 - \phi) \cdot \zeta_0 / \zeta_c, \quad (3.22)$$

де  $\zeta_0$  і  $\zeta_c$  – коефіцієнти опору частинки при вільному і стисненому осадженні. Крім коагулянтів, до освітлюваної рідини додають невеликі кількості флокулянтів, які сприяють злипанню агрегатно нестійких твердих частинок. Завислі речовини, що втримуються в природних і стічних водах, мають певний електричний заряд. У більшості випадків частки завислих речовин несуть негативний електричний заряд. Сутність коагуляції та флокуляції полягає в зміні електрокінетичного потенціалу, а іноді й у зміні знака потенціалу з негативного на позитивний. Зниження величини електричного потенціалу сприяє коагуляції. Застосування флокуляції – це використання поліелектролітів (ПАА), які характеризуються високою молекулярною вагою і структурою молекули, що володіє високими поверхнево активними властивостями. Механізм дії флокулянтів полягає у тому, що молекули цих флокулянтів мають у стічній воді структурні активні ділянки (сегменти), якими ця молекула й прикріплюється до завислих часток.

Існує три види ортокінетичної коагуляції:

1. Пірокінетична – має місце у воді й стосується тільки дрібнодисперсних речовин крупністю до 1–2 мкн, вона має відношення до часток колоїдного характеру. Для води, у якій наявні частки менше ніж 1–2 мкн, є характерним броунівський рух часток і молекул під дією температури. При броунівському русі можлива коагуляція дрібнодисперсних речовин. 2. Гравітаційна – це укрупнення часток за рахунок різних швидкостей осадження під дією сил ваги. Пірокінетична коагуляція на часточки більше ніж 1-2 мкн не впливає. Гравітаційна коагуляція має місце в усіх типах споруд і процесах для очищення стічних вод методом відстоювання.

3. Градієнтна – це коагуляція за рахунок різниці швидкостей води. Укрупнення часток відбувається при таких умовах:

- наявність відповідних природних поверхневих властивостей (флокуляційних властивостей);
- використання добавок коагулянтів і флокулянтів;
- створення сприятливих гідродинамічних умов для укрупнення (коагуляції, флокуляції) завислих часток.

Найбільш сприятливі умови для укрупнення часток створюються при використанні повільного обертального (флокуляційного) перемішування стічних вод. При цьому максимально використовується як градієнтна, так і гравітаційна коагуляція.

Величина гідравлічної крупності при застосуванні коагуляції й флокуляції збільшується іноді незначно, а в низці випадків у кілька разів. При цьому, використовуючи природні флокуляційні властивості, збільшення гідравлічної крупності може бути досягнуто в 1,5 – 2 рази. При застосуванні коагулянтів і флокулянтів гідравлічна крупність може збільшитися в 5-6 разів та більше.

Для прискорення процесу пластівцеутворення, збільшення швидкості осадження пластівців, підвищення якості очищеної води, а в кількох випадках і для коагуляції колоїдних домішок використовують деякі високомолекулярні речовини, так звані флокулянти. Під флокуляцією розуміють процес пластівцеутворення – взаємодія високомолекулярних речовин із частками, що перебувають у воді з утворенням агрегатів (пластівців, комплексів), які мають трьохмірну структуру. Флокулянти існують неорганічні (наприклад, активна кремнієва кислота), природні органічні та синтетичні (технічний поліакриламід, гідролізований поліакриламід, поліетиленімін).

На відміну від коагуляції при флокуляції агрегація відбувається не тільки при безпосередньому контакті частинок, але і в результаті взаємодії молекул адсорбованого на частинках флокулянта. Флокуляцію проводять для інтенсифікації процесу утворення пластівців гідроксидів алюмінію та заліза з метою підвищення швидкості їх осадження. Використання флокулянтів дозволяє знизити дози коагулянтів, зменшити тривалість процесу коагуляції й підвищити швидкість осадження утворених пластівців.

Для очищення стічних вод використовують природні та синтетичні флокулянти. До природних флокулянтів відносять крохмал, декстро, ефіри, целюлози та ін. Активний діоксид кремнію ( $x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ ) є найбільш поширеним неорганічним флокулянтом. Із синтетичних органічних флокулянтів найбільше застосування дістав поліакриламід (ПАА). При виборі складу і дози флокулянта враховують властивості його макромолекул і природу дисперсійних частинок. Оптимальна доза ПАА для очищення промислових стічних вод коливається в межах  $0,4 \dots 1 \text{ г/м}^3$ .

Механізм дії флокулянтів оснований на явищі адсорбції молекул флокулянта на поверхні колоїдних частинок, на утворенні сітчастої структури молекул флокулянта, 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 відділення від рідкої фази.

Ефективність будь-якого флокулянта розраховують за формулою

$$\eta_{\text{ф}} = (\omega_{\text{сф}} - \omega_0) / \omega_0 q, \quad (3.23)$$

де  $\omega_{\text{сф}}$  і  $\omega_0$  – швидкість осадження флокульованого й нефлокульованого шламу, мм / с;  $q$  – витрата флокулянта на 1 т твердої речовини, г.

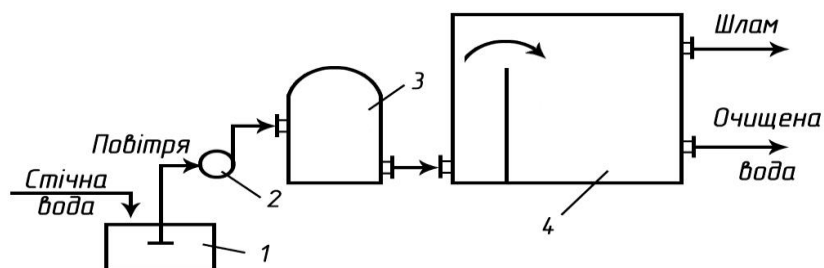


Рис. 3.25 Схема установки флокуляції та флотації: 1 – ємність; 2 – насос; 3 – напірний бак; 4 – флотатор

Спільне використання коагулянтів і флокулянтів дозволяє ще більше розширити використання цих реагентів для очищення стічних вод. Великі



резерви інтенсифікації методу коагуляції й флокуляції пов'язані як з більш глибоким дослідженням механізмів явищ, супроводжуваних ці процеси, так і з більш ефективним використанням різних фізичних впливів. Дані зарубіжних досліджень показують, що значного підвищення ефективності реагентного способу можна домогтися оптимізацією технології очищення, що передбачає змішання реагентів з водою, а також підбором використовуваних коагулянтів і флокулянтів.

Ефективність реагентного способу очищення води, зокрема з використанням коагулянтів, можна підвищити, встановивши більш суворий контроль за витратою реагентів залежно від кількості забруднень, наявних у стічних водах, і фізико-хімічних характеристик цих забруднень, у першу чергу від їх заряду, що характеризується їх потенціалом. Упровадження автоматизованого контролю за витратою реагентів дозволить підвищити не тільки ступінь очищення води, але й знизити витрати реагентів.

Ефективність реагентного способу можна також підвищити, застосовуючи фізичний вплив на оброблювану воду і водні системи (наприклад, електричні й магнітні поля, ультразвук, радіацію та інші способи). Проте впровадження цих методів інтенсифікації коагуляції й флокуляції гальмується недостатньою вивченістю процесів, що проходять на молекулярному та іонному рівні.

Очищення виробничих стічних вод реагентним способом включає кілька стадій, основними з яких є:

- 1) приготування і дозування реагентів;
- 2) змішання реагентів з водою;
- 3) пластівцеутворення;
- 4) відділення склеяних домішок від води.

Правильна організація процесу приготування реагентів дозволить за мінімальною їх витратою отримати максимальний ефект очищення води. Від якості приготовлених розчинів залежить не тільки ефективність впливу коагулянтів на забруднення, але і робота всього обладнання. Найбільше застосування як коагулянти дістали сульфат алюмінію, гідроксохлориду алюмінію й хлорид заліза (III). У трохи меншому масштабі використовуються сульфати заліза, змішані коагулянти у вигляді солей алюмінію та заліза. Помітно в менших кількостях використовують алюмоамонійний і алюмокалієвий галун. Зростає використання коагулянтів, у першу чергу заліза й алюмінію, одержуваних

електрохімічним способом. У цьому випадкові їх властивості як коагулянтів різко поліпшуються.

Реагенти як у твердому, так і у вигляді концентрованих розчинів необхідно доводити до робочої концентрації (5-15%). У зв'язку з цим слід проаналізувати розчинення солей та в першу чергу солей алюмінію й заліза. Знаючи основні закономірності процесу розчинення реагентів у воді, можна вибрати оптимальний режим розчинення реагентів у воді та підібрати для цього необхідне обладнання.

Ефективність очищення стічних вод з використанням коагулянтів і флокулянтів значною мірою залежить від точності додержання основних параметрів. Основними параметрами регулювання є рН оброблених стічних вод, електропровідність, каламутність, окисно-відновний потенціал. У наш час широко застосовуються розроблені НДІ ВОДГЕО системи автоматичного регулювання (САР), призначені для управління реагентним очищенням стічних вод. Підвищення рівня автоматизації процесів фізико-хімічного очищення промислових стічних вод дозволяє зменшити витрати реагентів. У практиці очищення вод, як правило, застосовують об'ємнопропорційні дозуючі системи. В основному за таким принципом побудовані САР подачі розчинів коагулянтів і флокулянтів. Дозатори, що використовуються в САР реагентного очищення стічних вод, повинні надійно працювати і при подачі розчинів, що містять зважені частки, опади, шлами, бо часто як реагенти використовують відходи різних виробництв.

При застосуванні попередньо освітлених розчинів реагентів можна застосовувати плунжерні насоси-дозатори з ручним регулюванням продуктивності.

Для нормального функціонування вузла реагентної обробки з використанням плунжерних насосів-дозаторів необхідне попереднє очищення розчинів реагентів. В іншому випадку насос-дозатор забивається зваженими частинками, а отже, необхідно його зупиняти і промивати.

**Оптимізація дози реагентів.** Для технології очищення води та знешкодження осадів велике значення має раціональне використання реагентів, оскільки річна витрата тільки флокулянтів становить сотні тонн. Визначення оптимальної дози реагентів являє собою досить складне завдання, оскільки на практиці очищення води можлива одночасна зміна ряду чинників, наприклад складу і кількості домішок.

Слід зазначити, що при коагуляції домішок в об'ємі води й при контакті із зернистим завантаженням оптимальна доза буде різною, тому що кінетичні умови коагуляції на поверхні фільтрувального матеріалу значно кращі, ніж в об'ємі води.

Ефективність процесів очищення води в обладнанні всіх типів зумовлена міцністю і щільністю коагуляційної структури.

Для тонкодисперсної суспензії з частинками заданого розміру одним з основних критеріїв вибору дози коагулянту є міцність структури.

Одночасного збільшення міцності й щільності коагуляційної структури можна досягти комбінованим впливом на структуру гідродинамічних умов перемішування коагулянту та дози. Вибір оптимального режиму очищення води з використанням реагентів можливий на основі ланцюгово-комірчастої моделі коагуляційної структури.

Застосовуючи відомі методи математичного моделювання, можна визначити оптимальний режим електрохімічної обробки. Існуючі пристрої для автоматичного дозування реагентів дають можливість, як правило, підтримувати тільки їх витрати, встановлені на основі попередніх досліджень.

**Перемішування стічних вод з реагентами.** Приготований розчин через дозуючий пристрій і змішувач уводять у воду (рис. 3.26). Перемішування води з реагентами доцільно здійснювати в дві стадії, причому першу стадію проводити в режимі, що наближається до режиму ідеального змішування, а другу – в режимі ідеального витіснення по рідкій фазі. Це зумовлено тим, що на першій стадії має бути забезпечений рівномірний розподіл реагенту по всьому об'єму очищуваних стічних вод, а на другій – створення умов, що виключають розпад утворених агломератів частинок забруднень. Перший режим можна здійснити, наприклад, в апараті з інтенсивно обертальною мішалкою, а другий – у шарі зваженого осаду.

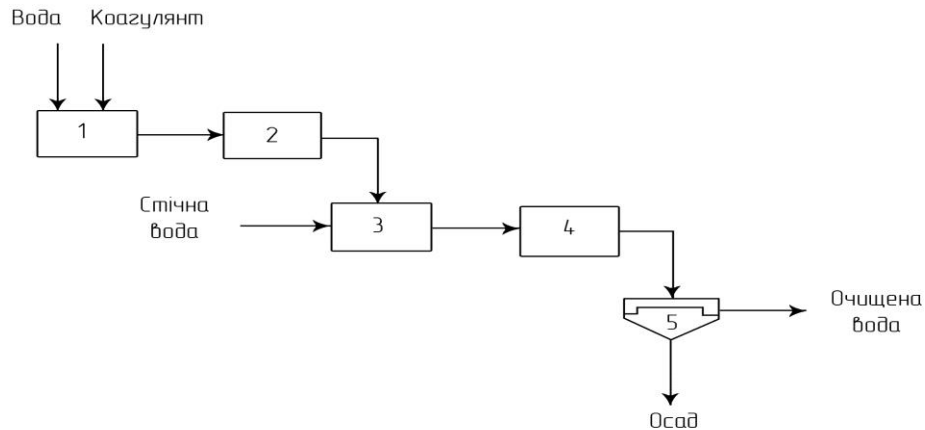


Рис. 3.26 Схема процесів коагуляції та флокуляції: 1 – ємкість для приготування розчину; 2 – дозатор; 3 – змішувач; 4 – камера утворення пластівців; 5 – відстійник

Як показують результати багатьох досліджень, процес перемішування води з реагентами, зокрема з неорганічними коагулянтами, необхідно проводити з максимальною швидкістю. Оптимізація режиму змішування коагулянту з водою може призвести до більш ефективного використання, а в деяких випадках і до зменшення витрати коагулянту.

Ефективність миттєвого перемішування полягає в зміні ступеня дисперсності продуктів гідролізу коагулянтів, що абсорбуються на поверхні частинок забруднень. При більш інтенсивному перемішуванні збільшується ймовірність сорбції на поверхні частинок забруднень дрібних частинок продуктів гідролізу коагулянтів, що призводить до економії коагулянту й одночасного збільшення міцності зв'язку частинок у мікропластинках.

При виборі режиму змішування коагулянту необхідно враховувати склад і фізико-хімічні властивості стічних вод, а також реагентів, що вводяться. Важливість визначення оптимальних параметрів режиму змішування зумовлена також великим значенням ортокінетичної стадії коагуляції в процесах агрегації частинок забруднень. Вірогідність зіткнень між коагулюючими частинками зростає із збільшенням інтенсивності перемішування. Однак при досягненні певного швидкісного градієнта утворені частинки починають руйнуватися. Для застосовуваних коагулянтів значення швидкісного градієнта становить приблизно  $20-70 \text{ c}^{-1}$ . Як критеріальну оцінку процесу змішування реагентів з водою поряд зі швидкісним градієнтом застосовують також добуток останнього на тривалість зміщення, введений Кемпо (критерій Кемпа).

У напрямі інтенсифікації перемішування води з реагентами розвивається і розроблення змішувачів.

Для змішування стічної води з коагулянтами застосовують змішувачі дірчасті, перебірчасті, шайбові, вертикальні та механічні з лопатевими або пропелерними мішалками. У перших чотирьох типах апаратів змішування відбувається за рахунок зміни напрямку і швидкості руху, вони належать до гідравлічних. Дірчастий та перегородчастий змішувачі виконуються у вигляді прямокутного залізобетонного або металевого лотка з перегородками. В першому випадку в перегородці є отвори, в другому – отвори в середині або з боків, що прилягає до стінок змішувача. Швидкість руху води в лотку – 0,6 м/с, в отворах прорізів або перегородок – 1 м/с.

Вертикальний (вихровий) змішувач має нижню конічну, верхню – циліндричну частину. Вода з коагулянтом надходить у конічну частину зі швидкістю 1 м/с, при русі її вгору до циліндричної частини, швидкість зменшується до 25 мм / с, за рахунок чого і відбувається перемішування.

Швидке перемішування реагентів з водою може бути досягнуто в змішувачах з псевдозрідженою насадкою й попередньою електрообробкою суміші.

Електромагнітні змішувачі доцільно застосовувати перш за все при контактуванні води з розчинами електролітів, наприклад з розчинами кислот, лугів, солей. Однак можливе перемішування неелектропровідних реагентів, наприклад поліакриламідів з водою, в електромагнітних змішувачах із псевдозрідженим або магнітозрідженою насадкою.

Найбільш прості конструктивно - змішувачі, що містять камеру електрооброблення, в якій встановлено два або кілька електродів. У результаті впливу електричного поля на розчини електролітів відбувається ефективне змішування води з коагулянтом, що дозволяє істотно скоротити час перемішування, а також витрати реагентів на очищення стоків. Електроліз проводять, як правило, в режимах без помітного виділення газів (кисню і водню). Іншим найпростішим варіантом електромагнітного перемішування є використання генераторів магнітного поля, що встановлюються на ділянці труби, де одночасно подають воду і розчин коагулянту (електроліту). Такі змішувачі досить прості та їх легко встановити практично на будь-якій ділянці технологічної лінії. Крім того, змішувачі з використанням постійних магнітів можуть бути встановлені в приміщеннях будь-якої категорії.

Висока інтенсивність очищення досягається в електромагнітних змішувачах із магнітозрідженою насадкою, що складається з феромагнітних частинок.

У тих випадках, коли недопустиме забруднення води, що очищається, домішками заліза, замість змішувачів із магнітозрідженою насадкою можна застосувати електромагнітні змішувачі типу статора асинхронного двигуна з використанням як насадки багатовісного ротора з рухомими елементами.

Після змішування стічних вод з реагентом вода прямує в камеру пластивцеутворення, що служить для утворення пластівців коагулянтів. Використовують перебірчасті, вихрові, водоворотні й з механічними мішалками камери.

Перегородчаста камера являє собою резервуар, розділений вертикальними або горизонтальними перегородками на 8–10 коридорів, швидкість руху води становить 0,2...0,3 м / с, тривалість перебування – 20...30 хв .

Такі камери конструктивно об'єднують з горизонтальними відстійниками. Вихрові камери працюють за принципом вихрових змішувачів. Швидкість руху води в нижній конічній частині – 0,7 м/с, у верхньому перерізі – 4...5 мм/с, тривалість перебування 6...10 хв. Коловоротна камера конструктивно об'єднується з вертикальними відстійниками, поєднуючись з його центральною трубою. У верхню частину змішувача вводиться стічна вода з обертальною швидкістю на виході зі сопла 2-3 м/с. У нижній частині камери перед виходом на відстійник знаходяться гасителі обертального руху води. Тривалість перебування води в камері– 15...20 хв.

Іноді змішувачі й камери пластивцеутворення об'єднують в одну споруду. Часто стадії змішування, коагулювання і відстоювання також проводять в одному апараті.

Осадження пластівців відбувається у відстійниках та освітлювачах. Найбільш доцільною є двоступенева схема відстоювання стічних вод, коли на першому ступені здійснюється просте відстоювання стічної води без коагулянту, а на другому - відстоювання після попередньої обробки стічних вод коагулянтами і флокулянтами.

**Відділення замулюючих частинок від води.** Очищення води від замулюючих коагульованих частинок це багатостадійний процес, який включає утворення частинок-агрегатів і відділення їх від води. Процес

відділення агрегатів частинок від води називається відстоюванням. Відстоювання являє собою процес, який дозволяє очищати стічні води різного складу. Інтенсифікація процесу відстоювання пов'язана як з поліпшенням седиментаційних характеристик скоагульованих частинок домішок, так і з оптимізацією конструкцій відстійників.

Для відділення скоагульованих частинок домішок від води застосовують флотацію або фільтрацію.

Останнім часом для очищення стічних вод усе частіше використовують флотацію. Перевага її – висока ефективність вилучення домішок з води. Флотаційний процес залежить від властивостей частинок, від їх розміру, а також від фізико-хімічних властивостей освітлених тонкодисперсних суспензій.

Використання реагентів при флотації дозволяє добитися високих показників очищення. У практиці флотації суспензій відомо досить багато способів насичення рідини бульбашками газів (повітря). Однак для очищення стічних вод найбільш цікавий спосіб напірної флотації з утворенням бульбашок газу в рідині при зниженні тиску, електронний спосіб аерації стічних вод, спосіб подачі стисненого повітря через фільтри (пневматичний), електролітичний спосіб.

В останні роки для електролітичного очищення рідин застосовують електрофлотатори й електрокоагулятори. Дія електрофлотаційного обладнання заснована на принципі аерації рідини з бульбашками газів, що утворюються при електролізі води. Висока інтенсивність методу електрофлотації зумовлена отриманням тонкодисперсних бульбашок електролізних газів та незначним перемішуванням у камері електрофлотаційного апарату. За кордоном відомі апарати для одночасного проведення електрокоагуляції й електрофлотації. Відомі апарати, в яких поєднані електрохімічне оброблення та електрофлотація, а також електрохімічне оброблення та напірну флотацію.



Рис. 3.27 Флокулятор

**Флокулятор** – апарат, у якому суміщено конструктивні елементи відкритого гідроциклону і радіального відстійника. Особливістю флокулятора є відсутність високої конусної частини, днище в нього виконано з невеликим ухилом до зумпфа (розташований в центрі). Передбачається тангенціальний підвід води, за рахунок чого створюється обертальний рух води, а також розосереджений збір та відведення очищеної води. Шлам видаляється за допомогою скребкового механізму.

Встановлено, що у флокуляторі з плоскою діафрагмою і розосередженим випуском води вміст завислих речовин у очищеній воді при навантаженні до  $15 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ год}$ , досягається  $150 \text{ мг/л}$ . Найкращі результати освітлення води - при навантаженні  $10\text{-}11 \text{ м}^3/\text{м}^2 \text{ год}$ .

Очищення стічних вод коагуляцією і флокуляцією включає такі процеси: приготування водних розчинів коагулянту та флокулянту, їх дозування, змішування розчинів зі стічною водою, пластівцеутворення та видалення пластівців з води. Інститутом НДІ ВОДГЕО розроблена технологія флокуляційного очищення стічних вод підприємств різних галузей промисловості (рис. 3.28): текстильних фабрик, камвольних комбінатів, морських і річкових перевалочних баз, нафтопереробних, машинобудівних, кам'янообробних, порцелянових, картонно-руберойдових заводів, картонно-паперових та м'ясокомбінатів. Технологія передбачає використання порошкоподібних високомолекулярних й



екологічно безпечних катіонних, аніонних і неіонних флокулянтів з умістом основної речовини не менше ніж 90 мас. %.

Технологія забезпечує порівняно низьку витрату флокулянта, простоту і надійність експлуатації й високу ефективність освітлення стічних вод на стадіях механічного, біологічного та глибокого очищення, високий ступінь зневоднення утвореного осаду на стрічкових фільтр-пресах і центрифугах.

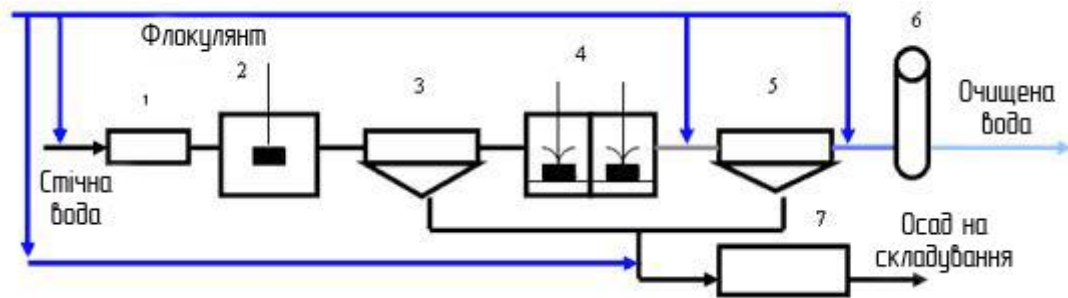


Рис. 3.28 Принципова схема флокуляційного очищення промислових стічних вод. Споруди: 1, 2 – змішання флокуляції, 3 – механічного очищення, 4, 5 – біологічного очищення, 6 – глибокого очищення, 7 – зневоднення осаду

### 3.7.2 Флотаційна очищення стічних вод

Флотація – процес молекулярного прилипання частинок флотуємого матеріалу до поверхні розділу газу або рідини, зумовлений надлишком вільної енергії поверхневих прикордонних шарів, а також поверхневими явищами змочування. Флотацію застосовують з метою видалення із стічних вод нерозчинних дисперсних домішок, які самостійно 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, харчового, хімічного виробництв. Її використовують також для виділення активного мулу після біохімічного очищення.

Перевагами флотації є безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невисокі капітальні та експлуатаційні витрати, проста апаратура, селективність виділення домішок, велика швидкість процесу в порівнянні з відстоюванням, можливість отримання шламу більш низької

вологості, високий ступінь очищення (95 ... 98%), можливість рекуперації речовин, що видаляються. Флотація супроводжується також аерацією стічних вод, зниженням концентрації ПАР і легкоокислюваних речовин, бактерій та мікроорганізмів.

Процес очищення стічних вод методом флотації полягає в утворенні комплексів "частинки - бульбашки", спливання цих комплексів і видалення утвореного пінного шару з поверхні оброблюваної рідини. Прилипання частки до поверхні газової бульбашки можливо тільки тоді, коли спостерігається незмочування або погане змочування частки рідиною.

Змочувальна здатність рідини залежить від її полярності, зі зростанням якої здатність рідини змочувати тверді тіла зменшується. Зовнішнім проявом здатності рідини до змочування є величина поверхневого натягу на межі з газовою фазою, а також різниця полярностей на межі рідкої й твердої фаз. Процес флотації йде ефективно при поверхневому натягу води не більше ніж 60 ... 65 мН/м.

Ступінь змочуваності водою твердих або газових частинок, зважених у воді, характеризується величиною крайового кута змочування  $\theta$ . Чим більший кут  $\theta$ , тим більша гідрофобія поверхні частинки, тобто збільшується ймовірність прилипання до неї й міцність утримання на її поверхні повітряних бульбашок. Такі частинки володіють малою змочуваністю і легко флотуються. Елементарний акт флотації полягає в такомуу: при зближенні бульбашка повітря піднімається у воді з твердою гідрофобною часткою та прошарок води, що розділяє їх, проривається при деякій критичній товщині й відбувається злипання бульбашки з часткою. Потім комплекс "бульбашка–частка" піднімається на поверхню води, де бульбашки збираються і виникає пінний шар з більш високою концентрацією частинок, ніж у вихідній стічній воді.

При закріпленні бульбашки утворюється трифазний периметр-лінія, що обмежує площу прилипання бульбашки і є межею трьох фаз – твердої, рідкої та газоподібної (рис. 3.29)

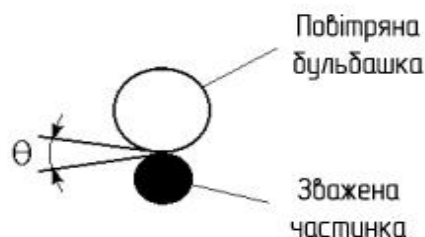


Рис. 3.29. Схема елементарного акту флотації: 1 – бульбашка газу, 2 – тверда частинка змочування

Дотична до поверхні бульбашки в точці трифазного периметра і поверхня твердого тіла утворюють звернений у воду кут  $\theta$ , званий крайовим кутом. Імовірність прилипання залежить від змочуваності частки, яка характеризується величиною крайового кута змочування  $\theta$ . Чим більший крайовий кут змочування, тим більша ймовірність прилипання і міцність утримування бульбашки на поверхні частинки. На величину змочуваності поверхні зважених часток впливають адсорбційні явища й наявність у воді домішок ПАР, електролітів тощо. ПАР - (реагенти-збирачі), адсорбуючись на частинках, знижують їх змочуваність, тобто є гідрофобними. Як реагенти-збирачі використовують олії, жирні кислоти та їх солі, меркаптани, ксантогенатом, алкілсульфати, аміни. Підвищення гідрофобності частинок можна досягти також адсорбцією молекул розчинених газів на їх поверхні. Енергію утворення комплексу "бульбашка-частинка" можна визначити за формулою

$$A = \sigma (1 - \cos \theta), \quad (3.24)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг води на межі з повітрям.

Для частинок, що добре змочуються водою,  $\theta \rightarrow 0$ , а навпаки  $\theta \rightarrow 1$ ; отже, міцність прилипання мінімальна, а для незмочуваних частинок – максимальна.

Ефект очищення флотацією залежить від розміру і кількості бульбашок повітря. Оптимальний розмір бульбашок дорівнює 15 ... 30 мкм. При цьому необхідний високий ступінь насичення води бульбашками, або великий газовміст. Підвищення концентрації домішок збільшує ймовірність зіткнення і прилипання частинок до бульбашок. Для стабілізації розмірів бульбашок у процесі флотації вводять різні піноутворювачі, які зменшують поверхневу енергію розподілу фаз: соснова олія, крезол, феноли, стабілізатори натрію, що володіють загальними та піноутворюючими властивостями. Вага флотуючої частки не повинна перевищувати сили прилипання її до бульбашки й підйомної сили бульбашок. Розмір частинок, які добре флотують, залежить від щільності матеріалу частинок і дорівнює 0,2 ... 1,5 мм. Флотація може бути використана при поєднанні з флокуляцією. Ймовірність утворення комплексу "бульбашка – частинка" може бути визначена за формулою

$$\omega = [n \frac{4}{3} \pi (R_p + r_c)^3 - n \frac{4}{3} \pi R_p^3] / V = C_T [(1 + r_c/R_p)^3 - 1], \quad (3.25)$$

де  $n$  – кількість бульбашок радіуса  $R_p$  в обсязі  $V$  рідини;  $R_c$  – радіус частинки;  $C_T = n \cdot \frac{4}{3} \pi R_p^3 / V$  – об'ємна концентрація газової фази.

Щільність флотаційного середовища, що складається з води, бульбашок повітря і твердих частинок, дорівнює

$$\rho_c = \rho_{ж}(1 - C_{ч} - C_{г}) + \rho_{ч}C_{ч} + \rho_{г}C_{г}, \quad (3.26)$$

де  $\rho_{ж}$ ,  $\rho_{ч}$ ,  $\rho_{г}$  – щільність рідини, часток і газу;  $C_{ч}$ ,  $C_{г}$  – об'ємна концентрація часток і газу у воді.

Швидкість руху частинок  $W_{ч}$  і бульбашок  $V_{б}$  щодо середовища визначається за формулами

$$w_{ч} = 2/9(g r_2/\mu_c \rho_{ж})[(1 - C_{ч})(\rho_{ч}/\rho_{ж} - 1) + C_{г}]; \quad (3.27)$$

$$v_{п} = 1/9(g R_2/\mu_c \rho_{ж})[1 + C_{ч}(\rho_{ч}/\rho_{ж} - 1) - C_{г}], \quad (3.28)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння (сили тяжіння);  $\mu_c$  – динамічна в'язкість флотаційного середовища. Швидкість процесу виділення часток флотацією описується рівнянням реакції першого порядку

$$dC_{ч}/d\tau = -k_{ф} \cdot C_{ч}, \quad (3.29)$$

де  $k_{ф}$  – коефіцієнт швидкості флотації, що залежить від динамічних і конструктивних параметрів.

Найкращі умови поділу досягаються при співвідношенні між твердою й газоподібною фазами  $G_{г} / G_{ч} = 0,01 \dots 0,1$ . Це співвідношення визначається за формулою

$$G_{г}/G_{ч} = 1,3 b(f \cdot P - 1)Q_1/(C_{ч} \cdot Q), \quad (3.30)$$

де  $G_{г}$ ,  $G_{ч}$  – маса повітря і твердих частинок, г;  $b$  – розчинність повітря у воді при атмосферному тиску й певній температурі,  $\text{см}^3 / \text{л}$ ;  $F$  – ступінь насичення (зазвичай  $F = 0,5 \dots 0,8$ );  $P$  – абсолютний тиск, при якому вода насичується повітрям;  $Q_1$  – кількість води, насиченої повітрям,  $\text{м}^3 / \text{год}$ ,  $Q$  – витрата стічної води,  $\text{м}^3 / \text{год}$ .

Розрізняють такі способи флотаційного оброблення стічних вод:

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

**Флотація з виділенням повітря.** Такий спосіб застосовують для очищення стічних вод, які містять дрібні частинки забруднень. Суть способу полягає у створенні перенасиченого розчину повітря в стічній воді. При зменшенні тиску з розчину виділяються бульбашки повітря, які флотують забруднення. Залежно від способу створення розчину перенасиченого повітря у воді розрізняють вакуумну, напірну й 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, що виділяються в камері, виносять частину забруднень. Процес флотації триває близько 20 хвилин. Перевагами такого способу є те, що утворення бульбашок газу і їх злипання з частинками відбувається в спокійному середовищі, що зводить до мінімуму вірогідність 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 часток (не більше ніж 250 ... 300 мг / л); необхідність створювати герметично закриті флотатори й розмішувати в них скребкові механізми. **Напірні флотаційні установки** мають більше поширення, ніж вакуумні. Вони прості та надійні в експлуатації. Напірна флотація (рис. 3.30) дозволяє очищувати стічні води з концентрацією суспензій до 4 ... 5 г / л. Для збільшення ступеня очищення у воду додають коагулянти. Процес здійснюється в дві стадії:

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

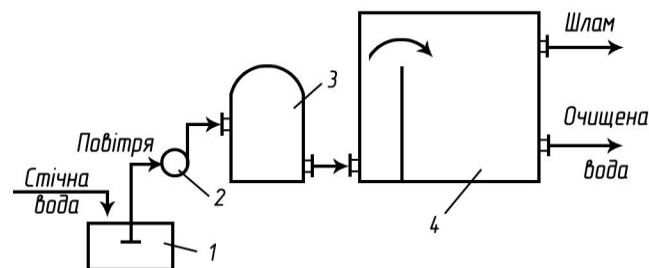


Рис. 3.30 Схема установки флотації: 1 – ємність; 2 – насос; 3 – напірний бак; 4 – флотатор

Напірні флотаційні установки мають продуктивність від 5 ... 10 до 1000 ... 2000 м<sup>3</sup> / год. Вони працюють при тиску в напірній ємності 0,17 ... 0,39 МПа, час перебування в ній – 14 хв., а по флотаційній камері (ємності) – 10 ... 20 хв. Обсяг засмоктування повітря становить 1,5 ... 5% від обсягу води, що очищається. Для одночасного окислення забруднень воду насичують повітрям, збагаченим киснем або азотом. Для усунення процесу окислення замість повітря на флотацію подають інертні гази.

Напірні флотоустановки мають продуктивність від 5-10 до 2000 м<sup>3</sup>/год. При проектуванні флотаторів для очищення стічних вод з витратою до 100 м<sup>3</sup>/год приймаються прямокутні в плані камери глибиною 1-1,5 м з

горизонтальним рухом води, а з витратою понад 100 м<sup>3</sup>/год – радіальні флотатори глибиною не менше ніж 3 м. Глибина зон флотації й відстоювання приймається не менше ніж 1,5 м, а тривалість перебування води в них відповідно не менше ніж 5 і 15 хв. Площу флотаційної камери доцільно приймати, виходячи з гідравлічного навантаження 3 - 6 – 10 м<sup>3</sup>/год на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні камери.

Горизонтальна швидкість руху води в прямокутних і радіальних флотокамерах – не більше ніж 5 мм/с. Об'єм флотокамери складається з об'ємів робочої зони (глибина 1,0 – 3,0 м), зони формування і нагромадження піни (глибина 0,2– 1 м), зони осаду (глибина 0,5 – 1,0 м). Число флотокамер повинне бути не менше двох, при цьому всі камери робочі.

Флотатори-відстійники являють собою комбіновані споруди, що складаються із круглого в плані радіального відстійника та вбудованої у нього підвісної флотокамерою (рис.3.31). Воду, яка очищається, насичують повітрям за допомогою насоса, подають у флотатор через редукційний клапан, розташований в окремій камері. Як правило, флотатори-відстійники застосовують для очищення великих обсягів стічних вод. Розроблено типові проекти радіальних флотаторів і флотаторів - відстійників пропускною здатністю 300, 600 та 900 м<sup>3</sup>/год. мають відповідно діаметри 9, 12 і 15 м та глибину 3 м.



Рис. 3.31– Флотатор-відстійник

Ерліфтні установки застосовують для очищення стічних вод, наприклад у хімічній промисловості (рис. 3.32). Вони прості за конструкцією, витрата енергії на проведення процесу в них у 2 ... 4 рази менше, ніж у напірних установках. Недолік цих установок – необхідність розміщення флотаційних камер на великій висоті:

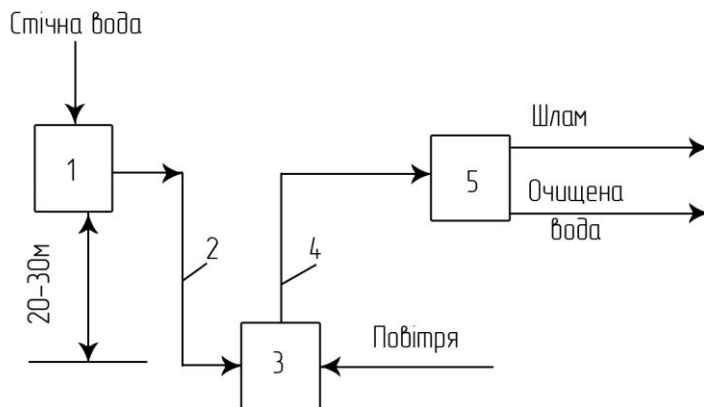


Рис. 3.32 Схема ерліфтної флотації: 1 – ємність; 2 – трубопровід, 3 – аератор, 4 – труба ерліфта, 5 – флотатор повітря

**Флотація з механічним диспергуванням.** Механічне диспергування повітря під флотаційними машинами забезпечується турбінами насосного типу – імпелерами, що являють собою диск з радіальними, завернутими вгору, лопатками. Такі установки застосовуються для очищення стічних вод з високим умістом завислих часток (більше 2 г/л). Ступінь подрібнення вихрових газових потоків на бульбашки і ефективність очищення залежать від швидкості обертання імпелера: чим вища швидкість, тим менше пляшечка і тим більш ефективний процес.

Флотатори імпелерного типу (рис. 3.33) застосовують для очищення стічних вод нафтових підприємств від нафти, нафтопродуктів і жирів. Їх також можна використовувати для очищення стічних вод інших підприємств. Цей спосіб очищення в промисловості застосовують рідко через його невелику ефективність, високу турбулентність потоків у флотаційній камері, що приводить до руйнування пластівцеподібних частинок, і необхідність застосовувати поверхнево активні речовини. Сутність цього процесу полягає в диспергуванні повітря у воді за допомогою механічної мішалки (імпелера). Імпелер, установлений на дні флотаційної камери, приводиться в рух від електродвигуна, який розташований вище від рівня води під флотатори. При обертанні імпелера утворюється зона зниженого тиску й через центральну трубу на його лопатки потрапляє повітря. Одночасно через отвори на лопаті імпелера надходить невелика кількість води, яка перемішується з повітрям та викидається через бічні отвори під флотаційні камери, де бульбашки повітря прилипають до часток і флотують їх на поверхню води. Ступінь

подрібнення бульбашок повітря залежить від колової швидкості імелера. Для економічного витрачання електроенергії й повного використання об'єму камери флотатори діаметр імелерів великих флотаційних машин рідко перевищує 750 мм, що зумовлює устанавлення великої кількості флотаційних камер. Це в свою чергу ускладнює технологічну обв'язку та здорожує експлуатаційні витрати. Імелерні флотатори доцільно застосовувати при очищенні з високою концентрацією (вище 2000-3000 мг / л) нерозчинених забруднень, тобто коли для флотації потрібна висока ступінь насичення повітрям стічної води (0,1-0,5 об'єму повітря на один об'єм води). Перевага таких машин полягає в повній імітації процесу і можливості швидкого отримання попередніх даних для розрахунку флотаторів.

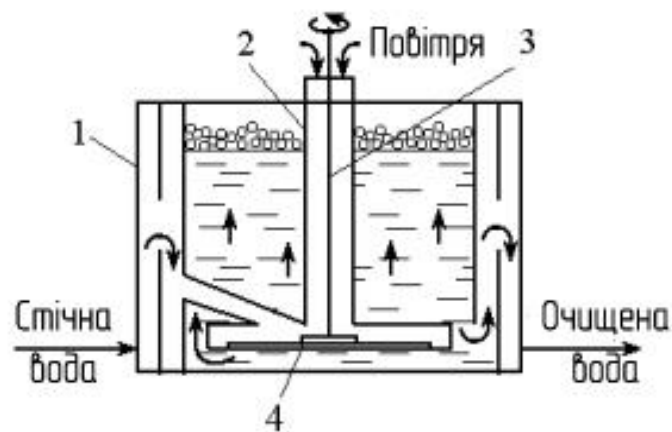


Рис. 3.33 Імелерний флотатор: 1– флотаційна камера, 2– імелерний диспергатор, 3–камера відстоювання; 4 – привід імелерного диспергатора

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

#### **Флотація з подачею повітря через пористі матеріали**

Для отримання бульбашок повітря невеликих розмірів доцільно використовувати пористі матеріали, які повинні мати достатню відстань між отворами, щоб не допустити зрощення бульбашок повітря над поверхнею матеріалу. На розмір бульбашки великий вплив має швидкість виходу повітря з отвору. Для отримання мікропухирців необхідна відносно невелика швидкість виходу. Перевага такої флотації полягає в простоті конструкції установки і зниженні витрат електроенергії. Недоліки цього



методу – засмічення пір, руйнування пористого матеріалу, а також труднощі, пов'язані з підбором дрібнопористих матеріалів, які забезпечують сталість у часі певного розміру бульбашок повітря. Залежно від обсягів стічної рідини застосовують вертикальні та горизонтальні флотатори. Вертикальні флотатори (рис. 3.34) невеликої продуктивності можуть бути прямотечійними та протечійними. У протечійних флотаторах стічна вода по трубопроводу подається у верхню частину флотатора, який являє собою циліндр висотою 2-4 м. У нижню частину флотатора закачується повітря. У флотокамері бульбашки повітря рухаються знизу вгору, а стічна вода – зверху вниз і з нижньої частини флотатора відводиться очищена вода по трубопроводу. Утворена піна відводиться за допомогою жолоба і шламовідвідної труби за межі флотатора. Для очищення великих обсягів стічних вод застосовують горизонтальні флотатори. Повітря у флотаційну камеру надходить через дрібнопористі фільтроси, прокладені на дні. Стічна вода подається у верхню частину флотаційної камери, а відводиться з нижньої через регулятор рівня. В цьому випадку бульбашки повітря рухаються вгору разом з потоком води. Час перебування води у флотаторі визначається за умови максимального відділення забруднень із стічної води та можливості спливання піни на її поверхню. Габарити флотатора залежать від його продуктивності, розміру повітряних отворів, тиску повітря під фільтросами, рівня води й ін.

Перевагами флотації є безперервність процесу, широкий діапазон застосування, невеликі капітальні вкладення й експлуатаційні витрати, проста апаратура, селективність виділення домішок, у порівнянні з відстоюванням більша швидкість процесу, а також можливість одержання шламу (пінного продукту), більше низької вологості, високий ступінь очищення (95–98%), можливість рекуперації речовин, що видаляються. Концентрація нафтопродуктів у стоках після очищення флотацією нижче в порівнянні з очисненням у нафтоуловлювачі.

### **3.7.3 Адсорбційне очищення**

Адсорбційні методи широко застосовуються для глибокого очищення, або доочищення стічних вод від розчинених органічних речовин після біохімічного очищення, а також у локальних установках,

якщо концентрація цих речовин у воді невелика і вони біологічно не розкладаються або є сильнотоксичними.

Адсорбцію використовують для знешкодження стічних вод від фенолів, гербіцидів, пестицидів, ароматичних нітросполук, ПАР, барвників. Перевагою методу є висока ефективність, можливість очищення стічних вод, що містять кілька речовин, а також рекуперації цих речовин. Адсорбційне очищення вод може бути регенеративним, тобто з витяганням речовини з адсорбенту і його утилізацією, й деструктивним, при якій витягнуті зі стічних вод речовини знищуються разом з адсорбентом. Ефективність адсорбційної очищення досягає 80 ... 95% і залежить від хімічної природи адсорбенту, величини адсорбційної поверхні, від хімічної будови витягуваної речовини та її стану в розчині.

*Адсорбенти.* Як сорбенти використовують активне вугілля, синтетичні сорбенти і деякі відходи виробництва (золу, шлаки, тирсу). Найбільш універсальними з адсорбентів є активоване вугілля, але воно повинне мати певні властивості. Активоване вугілля має слабо взаємодіяти з молекулами води й добре – з органічними речовинами, бути відносно великопористим, щоб їх поверхня була доступна для органічних молекул. При малому часі контакту з водою воно повинно мати високу адсорбційну ємність, високу селективність та малу утримуючу здатність при регенерації. Вугілля повинне бути міцним, швидко змочуватися водою, мати певний гранулометричний склад. У процесі очищення використовують дрібнозернисті адсорбенти з частинками розміром 0,25 ... 0,5 мм і високодисперсне вугілля з розміром частинок менше ніж 40 мкм.

*Основи процесу адсорбції.* Одним з основних критеріїв оцінки адсорбційних властивостей сорбентів є ізотерма адсорбції, яка аналітично описується рівнянням Ленгмюра (в разі розведених розчинів, що має місце при очищенні стічних вод).

Речовини, які добре адсорбуються з водних розчинів активованим вугіллям, мають опуклу ізотерму адсорбції, а ті, які погано адсорбуються – ввігнуту. Ізотерму адсорбції речовини, що знаходиться в стічній воді, визначають дослідним шляхом.

Якщо в стічній воді наявні кілька компонентів, які необхідно вилучити, то для визначення можливості їх спільної адсорбції для кожної речовини знаходять значення стандартної диференціальної вільної енергії  $\Delta F_0$  і визначають різницю між максимальним і мінімальним значенням. За умови  $0 \Delta F_{max} - \Delta F_{min} \leq 10,5$  кДж/моль спільна адсорбція всіх компонентів

можлива. Якщо ця умова не витримується, то очищення проводять послідовно в декілька етапів. Швидкість процесу адсорбції залежить від концентрації, фізико-хімічної природи й структури розчинених речовин, температури води, виду та властивостей адсорбенту. В загальному випадку процес адсорбції складається з 3-ох стадій: перенесення речовини зі стічної води до поверхні зерен адсорбенту (зовнішньодифузійна ділянка), власне адсорбційний процес, перенесення речовини всередину зерен адсорбенту (внутрішньодифузійна ділянка). Лімітуючими стадіями процесу може бути зовнішня чи внутрішня дифузія або обидві ці стадії.

У зовнішньодифузійній ділянці швидкість масоперенесення визначається турбулентністю потоку рідини, яка залежить від швидкості руху рідини.

У внутрішньодифузійній ділянці інтенсивність масоперенесення залежить від виду та розмірів пор адсорбенту, від форм і розміру його зерен, від розміру молекули адсорбуючої речовини, від коефіцієнта масопровідності.

Оптимальний процес адсорбції доцільно проводити при інтенсивних гідродинамічних режимах, щоб він лімітував у внутрішньодифузійній області, опір якої можна знизити, змінюючи структуру адсорбенту, зменшуючи розміри зерна. Для орієнтовних розрахунків рекомендується приймати значення швидкості  $w_{ж} = 1,8$  м / год і діаметра зерна 2,5 мм. При значеннях менше указаних, процес лімітується у зовнішньодифузійній області, при великих значеннях – у внутрішньодифузійній.

*Адсорбційні установки.* Процес адсорбційного очищення стічної води проводять при інтенсивному *перемішуванні адсорбенту* з водою, при фільтруванні води через шар адсорбенту або в *псевдозрідженому шарі* на установках періодичної та безперервної дії. При змішуванні адсорбенту з водою використовують активоване вугілля у вигляді часток 0,1 мм і менше. Процес проводять в один або декілька ступенів. Процес адсорбції може здійснюватися в статичних та динамічних умовах. За статичних умов рідина не рухається щодо частки сорбенту, а переміщується разом з останньою. Статична одноступінчаста адсорбція застосовується у випадках, коли адсорбент дуже дешевий або є відходом виробництва. При використанні багатоступінчастої установки процес проходить при меншій витраті адсорбенту. При цьому на першому ступеню додають стільки адсорбенту, скільки необхідно для зниження концентрації забруднень від  $C_H$  до  $C_1$ , потім адсорбент відділяють відстоюванням або фільтруванням, а

стічну воду направляють на другий ступінь, куди вводять свіжу порцію адсорбенту (рис. 3.37, 3.38). Після закінчення процесу адсорбції на другому ступені концентрація забруднень у воді зменшується від  $C_1$  до  $C_2$  і т.д.

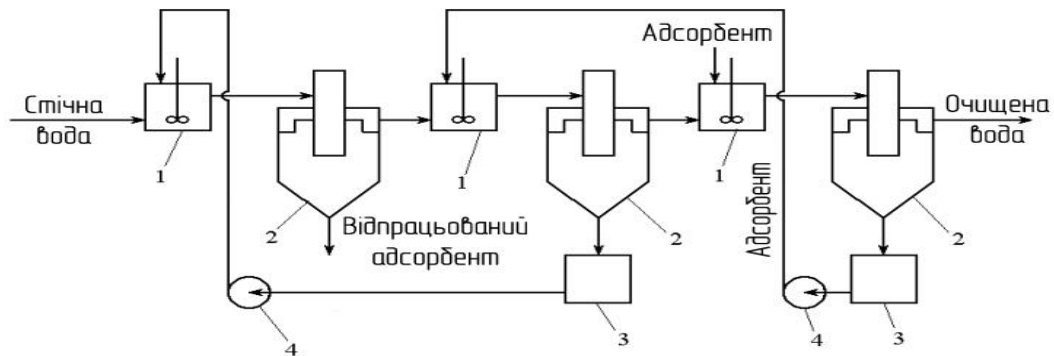


Рис. 3.37 Схема адсорбційних установок з протитечійним додаванням сорбенту: 1 – змішувач; 2 – відстійники; 3 – приймачи адсорбенту; 4 – насоси

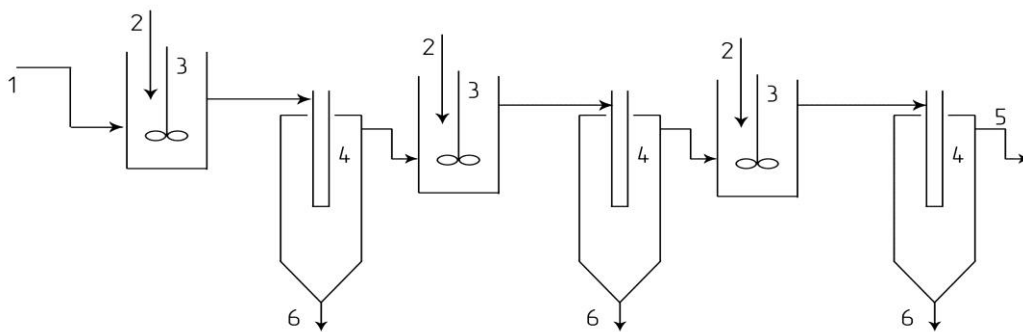


Рис. 3.38 Схема адсорбційного очищення стічної вод з послідовним додаванням адсорбенту: 1, 2 – подача відповідного сорбенту і стічної води; 3 – резервуари з перемішуючим пристроєм; 4 – відстійники для відділення відпрацьованого сорбенту від стічної води; 5 – випуск відпрацьованої стічної води ; 6 – випуск відпрацьованого сорбенту

При послідовному введенні сорбенту його додають у кожний ступінь і з нього ж відводять відпрацьований сорбент. За протитечійною схемою адсорбент уводять одноразово на останньому ступеню, й він рухається протитечійно воді, яка надходить.

Витрати адсорбенту для одноступінчастого процесу визначають з рівняння матеріального балансу

$$m = Q(C_n - C_k) / a, \quad (3.32)$$

де  $m$  – витрата адсорбенту,  $Q$  – об’ємна витрата стічних вод;  $C_H$  і  $C_K$  – початкова і кінцева концентрації забрудненої стічної води;  $a$  – коефіцієнт адсорбції. Кінцева концентрація забруднень у стічній воді після очищення в установці з  $n$  ступенями дорівнює

$$C_n = [Q(Q + Km)]^n C_H \quad (3.33)$$

де  $k$  – коефіцієнт розподілу, що дорівнює

$$k = a_\tau / a = (C_H - C_K) / (C_H - C_p) \approx 0.7 \div 0.8 \quad (3.34)$$

де  $a_\tau$  – значення питомої адсорбції за час  $\tau$ ;  $C_p$  – рівноважна концентрація речовини формулою.

Витрати адсорбенту на кожний ступінь знаходять за формулою

$$m = Q / k (C_H / C_n - 1), \quad (3.35)$$

а необхідне число ступенів

$$n = \lg C_H - \lg C_n / [\lg(Q + km) - \lg Q]. \quad (3.36)$$

Найбільше практичне застосування на сьогодні дістали установки напівперіодичної дії (безперервної за водою і періодичної за сорбентом), у яких здійснюється процес адсорбції в динамічних умовах. У динамічних умовах процес очищення проводять при фільтруванні стічної води через шар адсорбенту. Швидкість фільтрування залежить від концентрації розчинених речовин і коливається від 2...4 до 5 ...6 м<sup>3</sup> / (м<sup>2</sup> \* год). Адсорбент застосовують у вигляді частинок розміром 1,5 ... 5 мм. Вода в адсорбційній колоні рухається знизу вгору, заповнюючи весь переріз. В одній колоні при нерухомому шарі вугілля процес очищення ведуть періодично до проскакування, а потім адсорбент вивантажують і регенерують. При безперервному процесі використовують кілька колон. За такою схемою дві колони працюють послідовно, а третя відключена на регенерацію (рис. 3.39). При проскоках у другій (середній) колоні на регенерацію відключають першу колону.

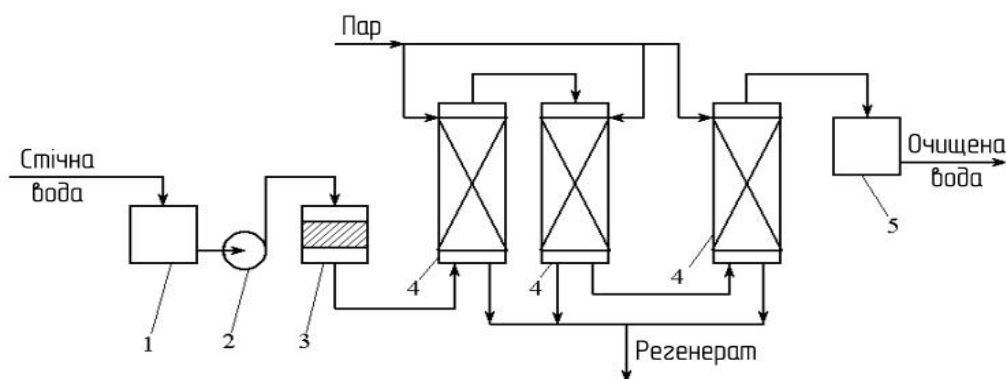


Рис. 3.39 Схема безперервної адсорбційної установки: 1 – уереднювач; 2 – насос; 3 – фільтр; 4 – адсорбційні колони; 5 – ємність

У момент проскоку в колоні з'являється шар адсорбенту  $L_0$ , який не працює. Цей шар називають "мертвим" шаром. Якщо одночасно виводити з колони "мертвий" шар і вводити в неї такий же шар свіжого адсорбенту, то колона буде працювати безперервно. Швидкість переміщення працюючого шару дорівнює

$$U = C_n w_{cp} / a_{0d}, \quad (3.37)$$

де  $w_{cp}$  – середня швидкість води в колоні;  $a_{0d}$  – динамічна ємність адсорбенту.

При невеликих концентраціях забруднень у стічній воді середня рушійна сила процесу може бути визначена як середньоарифмічна з рушійних сил на кінцях адсорбера. Установки з псевдозрідженим шаром доцільно застосовувати при високому вмісті завислих речовин у стічній воді. Розмір частинок адсорбенту повинен дорівнювати 0,5 ... 1 мм. Швидкість потоку при цьому знаходиться в межах 8 ... 12 м / год.

*Адсорбційні апарати.* Найчастіше на практиці використовують апарати з нерухомим, щільнорухомим, псевдозрідженим шаром поглинача (сорбція в динамічних умовах), а також апарати, в якому забезпечується інтенсивне перемішування води з порошкоподібним сорбентом (сорбція в статичних умовах).

Як адсорбери застосовують конструкції безнапірних і напірних фільтрів із завантаженням у вигляді щільного шару активованого вугілля висотою до 2,5-2,7 м. Розрізняють горизонтальні й вертикальні фільтри, останні можуть бути кільцевими. Вода в таких апаратах рухається знизу вгору, заповнюючи весь переріз. Діаметри таких фільтрів від 1,0 до 3,4 м, висота приймається конструктивно. Умовою застосування таких апаратів є практично повна відсутність суспензій у очищуваній воді, не більше ніж 5 мг / л, щоб уникнути забивання адсорбента. В них здійснюється власне адсорбція, десорбція (частіше водяною парою) та охолодження.

В установках з рухомим шаром адсорбенту знизу вгору йде очищувана вода, а зверху вниз під дією сили тяжіння – адсорбент. При цьому колона ділиться на кілька зон: адсорбційну, ректифікаційну, псевдоожижену. В адсорбційній зоні стічна вода взаємодіє з шаром сорбента, при цьому компоненти, що поглинаються, витягуються, а очищена вода відводиться з установки. У ректифікаційній і псевдозрідженій зонах відбувається виділення поглинених компонентів та регенерація адсорбенту.

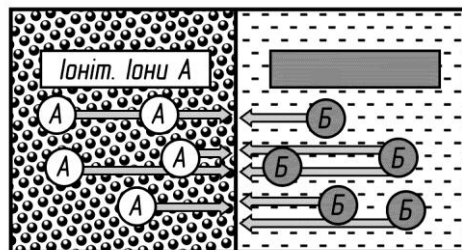
*Регенерація адсорбенту.* Адсорбовані речовини з сорбента вилучають десорбцією насиченим повітрям чи перегрітою водяною парою або нагрітим інертним газом. Температура перегрітої пари при надлишковому тиску 0,3 ... 0,6 Мпа дорівнює 200 ... 300<sup>0</sup>С, а температура інертних газів 120 ... 140<sup>0</sup>С. Витрати пари при відгонці легколетких речовин дорівнює 2,5 ... 3 кг на 1 кг відгонної речовини, для висококиплячих – у 5 ... 10 разів більше. Після десорбції пари конденсують і речовину витягують із конденсату.

### 3.7.4 Іонний обмін у розчинах стічних вод

Іонообмінне очищення застосовується для вилучення із стічних вод важких металів (цинку, міді, хрому, нікелю, свинцю, ртуті, кадмію, ванадію, марганцю), а також з'єднань миш'яку, фосфору, ціаністих сполук та радіоактивних речовин. Метод дозволяє рекуперувати цінні речовини при високому ступені очищення води. Іонний обмін значно поширений при знесолюванні в процесі псевдозрідження. Іонний обмін – це оборотна хімічна реакція, при якій відбувається обмін іонами між твердою речовиною (іонітом) і розчином електроліту.

Стічні води, що подаються на установку, не повинні містити понад 3 г / л солей і 8 г / л завислих речовин та ХПК.

*Сутність іонного обміну.* Іонний обмін являє процес взаємодії розчину з твердою фазою, що має здатність обмінювати іони, що містяться в ній, на інші іони, наявні 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 катіоніти, негативні іони – аніонітами. Катіоніти мають кислотні властивості, а аніоніти – основні властивостями. Якщо іоніти обмінюють і катіони, й аніони, їх називають амфотерними.



Поглиняльна 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 місткість* – це кількість поглинутої речовини при повному насиченні одиниці об'єму чи маси іоніту. *Статична місткість* – це обмінна ємність іоніту при рівновазі у певних робочих умовах. Статична обмінна ємність зазвичай менше від повної. *Динамічна обмінна ємність* – це ємність іоніту до «проскакування» іонів у фільтрат, зумовлена в умовах фільтрації. Динамічна ємність менше від статичної.

*Природні та синтетичні іоніти.* Іоніти бувають неорганічні (мінеральні) й органічні. Це можуть бути природні речовини або штучно отримані речовини.

До *неорганічних природних іонітів* відносять цеоліти, глинисті мінерали, польові шпати, різні слюди. Їх катіонообмінні властивості зумовлені вмістом алюмосилікатів типу  $Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$ . Іонообмінними властивостями володіє також фторапатит  $[Ca_5(PO_4)_3] F$  і гідроксидапатит. До неорганічних синтетичних іонітів відносять силікагелі, важкорозчинні оксиди й гідроксиди деяких металів (алюмінію, хрому, цирконію). Катіонообмінні властивості, наприклад силікагелю, зумовлені обміном іонів водню гідроксидних груп на катіони металів, які проявляються в лужному середовищі. Катіонообмінними властивостями володіють пермутити, одержувані сплавом сполук, що містять алюміній і кремній. *Органічні природні іоніти* – це гумінові кислоти ґрунтів та вугілля. Вони виявляють слабкокислотні властивості. Для посилення обмінної ємності і кислотних властивостей вугілля подрібнюють та сульфурують у надлишкові олеуму. Сульфувугілля є дешевими поліелектролітами, що містять сильно- й слабкокислотні групи. До недоліків таких іонітів належать їх мала хімічна стійкість і низька механічна міцність зерен, а також невелика обмінна ємність, особливо в нейтральних середовищах.

До органічних штучних іонітів відносять 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 обмінні іони – протиіонами. Кожен протиіон з'єднаний з протилежно зарядженими іонами, так званими фіксованими, або анкерними. Полімерні вуглеводневі ланцюги, які є основою матриці, пов'язані між собою поперечними зв'язками, що забезпечує міцність каркасу. При скороченому



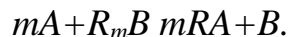
написанні іоніти матриці позначають у загальному вигляді (R), а активну групу вказують повністю. Наприклад, сульфокатіоніти записують як  $RSO_3H$ . Тут R – матриця, H – протийон,  $SO_3$  – анкерний іон. Іоніти, що містять однакові активні групи, називаються монофункціональними, а іоніти, які містять функціональні групи різної хімічної природи, – поліфункціональними. Вони можуть мати змішані сильно- і слабкоосновні властивості. Катіоніти як протийони можуть містити не іони водню, а іони металів, тобто знаходитися в сольовій формі. Точно так само й аніоніти можуть бути в сольовій формі, коли як протийони вони містять не іони гідроксиду, а іони кислот.

*Властивості іонітів.* При нагріванні іонітів у воді й на повітрі можливе руйнування їхніх зерен, відщеплення активних груп, що призводить до зменшення їх ємності. Для кожної смоли є температурна межа, вище від якої її використовувати не можна. Величина рН стічної води, при якій відбувається обмін іонами, залежить від константи дисоціації іонообмінних груп смоли. Сильнокислотні катіоніти дозволяють проводити процес у будь-яких середовищах. Іоніти в контакті з водою не розчиняються, але поглинають деяку кількість води й набухають, будучи гелями з обмеженим набуханням.

При цьому розмір мікропор зростає, обсяг іонітів збільшується в 1,5 ... 3 рази. Ступінь набухання залежить від будови смоли, природи протийону, від складу розчину. Набухання іонітів впливає на швидкість і повноту обміну іонів, а також на селективність іоніту. Воно припиняється після того, як різниця осмотичних тисків до і після обміну врівноважується силами розтягування іоніту та стиснення. Сильно набухаючі смоли, називають гелеподібними, мають питому обмінну поверхню 0,1 ... 0,2 м<sup>2</sup>/г. Макропористі іоніти мають розвинену обмінну поверхню, яка дорівнює 60 ... 80 м<sup>2</sup> / г. Синтетичні іоніти набухають у воді більше й мають велику обмінну ємність, ніж природні. Термін служіння синтетичних катіонітів значно більший, ніж аніонітів. Селективність іонного обміну залежить від величини тиску набухання в порах смоли і від розміру іонітних пор. При малих розмірах пор великі іони не можуть досягти внутрішніх активних груп. З метою підвищення селективності іонітів до певних металів до складу смоли вводять речовини, здатні утворювати з іонами цих металів з'єднання (хелати).

*Основи процесу іонного обміну.* Іонний обмін відбувається в еквівалентних відношеннях і є найчастіше оборотним. Реакції іонного

обміну проходить внаслідок різниці хімічних потенціалів обмінних іонів. У загальному вигляді ці реакції можна представити так:



Реакція іонного обміну проходить таким чином:

- при контакті з катіонітом



- при контакті з аніонітом



Реакція йде до встановлення іонообмінної рівноваги. Швидкість встановлення рівноваги залежить від зовнішніх і внутрішніх факторів, таких як: гідродинамічний режим рідини; концентрація іонів, що обмінюються; структура зерен іоніту; його проникність для іонів. Процес перенесення речовини може бути представлений у вигляді декількох етапів:

- 1) перенесення іонів *A* з ядра потоку рідини до зовнішньої поверхні прикордонної рідинної плівки, навколишнього зерна іоніту;
- 2) дифузія іонів через прикордонний шар;
- 3) перехід іона через межу розділу фаз у зерна смоли ;
- 4) дифузія іонів *A* всередині зерна смоли до іонообмінних функціональних груп;
- 5) хімічна реакція подвійного обміну іонів *A* і *B*,
- 6) дифузія іонів *B* усередині зерна іоніту до межі поділу фаз;
- 7) перехід іонів *B* через межу розділу фаз на внутрішню поверхню плівки рідини;
- 8) дифузія іонів *B* через плівку;
- 9) дифузія іонів *B* у ядро потоку рідини.

Швидкість іонного обміну визначається найповільнішою з цих стадій – дифузиею в плівці рідини або дифузиею іоніту в зерні. Хімічна реакція іонного обміну відбувається швидко і не визначає сумарну швидкість процесу.

*Установки іонного обміну.* Процеси іонообмінного очищення стічних вод, що включають процеси вилучення домішок і регенерації іонітів, здійснюються в апаратах безперервної та періодичної дії (рис. 3.38).

Фільтр періодичної дії являє собою закритий циліндричний резервуар з розташованим біля днища щілинним дренажним пристроєм, що слугує для рівномірного відводу води по всьому перерізу фільтра.

Висота шару завантаження іоніту 1,5-3 м. Стічні води можуть подаватися зверху чи знизу, а регенеруючий розчин – зверху. Швидкість фільтрування 8-25 м/год залежно від умісту іонів у очищуваній воді.

На тривалість фільтроциклу великий вплив має наявність завислих речовин у стічній воді, тому перед подачею води на установку слід забезпечити їх максимальне видалення.

При очищенні стічних вод, забруднених завислими речовинами, застосовують іонообмінні колони з рухомим шаром іоніту, в яких процес здійснюється безперервно. При цьому зменшуються витрати смоли, реагентів для регенерації, промивної води, що використовується устаткування більш компактно.

До апаратів безперервної дії відносять також колони з рухомим шаром іоніту. Стічні води в них подаються знизу, смола – зверху.

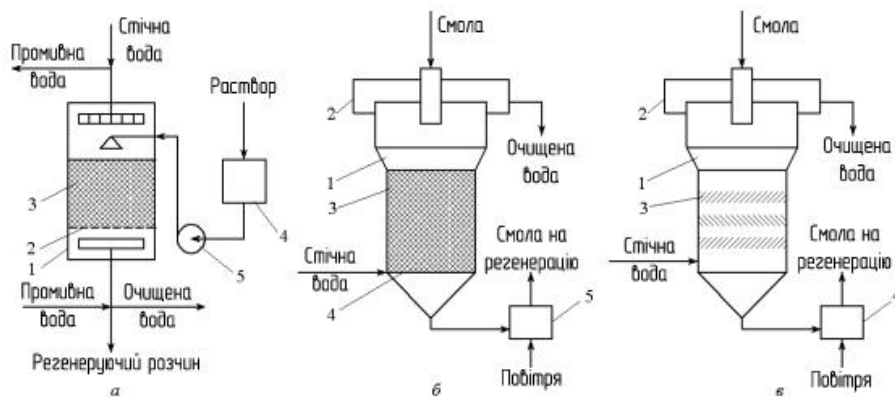


Рис. 3.40 Схема іонообмінних установок: а – періодичної дії: 1 – корпус; 2 – решітка; 3 – шар іоніту; 4 – бак з регенеруючим розчином; 5 – насос; б – з рухомим шаром іоніту: 1 – корпус; 2 – розподільна зона; 3 – шар смоли; 4 – таріллка; 5 – ерліфт; в – із псевдозрідженим шаром іоніту: 1 – корпус; 2 – розподільча зона; 3 – тарелка; 4 – ерліфт

*Регенерація іонітів.* Катіоніти регенерують 2 ... 8%-ми розчинами кислот. Регенераційні розчини – елюати містять катіони. Потім після розпушування і промивання катіоніти заряджаються шляхом пропускання через них розчину кухонної солі. Відпрацьовані аніоніти регенерують 2 ... 6%-ми розчинами лугу. Аніоніти при цьому переходять в ОН-форму. Елюати містять у концентрованому вигляді всі вилучені зі стічних вод аніони. Елюати, що являють собою розчини кислот і лугів, нейтралізують або обробляють з метою рекуперації цінних продуктів. Нейтралізацію проводять змішанням кислих та лужних елюатів, а також додатковим уведенням кислоти або лугу насиченого.

Ступінь регенерації іонітів (в %) визначають за формулою

$$\xi = 100 \frac{\theta_v}{\theta_n} \quad (3.38)$$

де  $\theta_v$  – відновлена обмінна ємність;  $\theta_n$  – повна обмінна шару ємність. На ступінь регенерації впливає тип іоніту, склад, природа, концентрація й витрата регенеруючої речовини, температура, час контакту і витрати реагентів.

### 3.7.5 Очищення стічних вод методом екстракції

Екстракційний метод широко застосовується для очищення стічних вод від органічних домішок, особливо фенольних стічних вод термічної переробки твердих палив (вугілля, сланцю, торфу). Використання методу екстракції економічно доцільно у випадку високої концентрації органічних домішок або високої вартості речовини, що вилучається. Наприклад, видобування фенолів зі стічної води раціонально при їх концентрації не менше ніж 2 – 4 г/л. У процесі екстракції розчинена речовина розподіляється між стічною водою і екстрагентом до досягнення рівноваги.

Для успішного проведення процесу екстракції екстрагент повинен мати такі властивості: 1) мати добру екстрагуючу здатність стосовно речовини, що вилучається, тобто високий коефіцієнт розподілу; 2) володіти певною селективністю – здатністю екстрагувати із складної водної системи одну або певну групу речовин; 3) відрізнятися малою розчинністю у воді (з іншого боку, вода повинна мало розчинятися в екстрагенті); 4) помітно відрізнятися щільністю від щільності води, що забезпечує швидкий і повний розподіл фаз; 5) мати температуру кипіння, що значно відрізняється від температури кипіння екстрагуючої речовини, яка забезпечує легкість їхнього розділу; 6) не взаємодіяти з екстрагуючою речовиною, матеріалом апаратури та не піддаватися помітному гідролізу; 7) мати невелику питому теплоту випару й малу теплоємність, що дозволяє знизити витрати пари та охолодної води; 8) мати якомога меншу вогнебезпечність, вибухонебезпечність і токсичність; 9) мати низьку вартість.

Органічні розчинники (наприклад, бензол, прості й складні ефіри) застосовуються для екстракційного очищення стічних вод від фенолів у коксохімічній, сланцепереробній і вуглепереробній промисловості. Як екстрагенти при видобуванні фенолів у деяких випадках використовують

різні технічні продукти, такі, як антраценове масло, сирий бензол, що містить толуол, ксилоли й інші домішки, побічні продукти виробництва бутилового спирту, одержувані при ректифікації бутилового та ізобутилового спиртів. Ці екстрагенти мають низьку вартість і дозволяють значно зменшити вартість очищення стічних вод. Основний недолік зазначених екстрагентів – нестабільність складу.

Очищення стічних вод екстракцією складається з декількох етапів: змішування стічної води з органічним екстрагентом; поділ утворених рідких фаз; регенерація екстрагенту з екстракту і рафінату.

Методи екстрагування за способом контакту екстрагенту та стічної води поділяються на перехреснотечійне (одно- і багатократна обробка води свіжими порціями екстрагенту), ступінчасто-протитечійне (перемішування води й екстрагенту в ряді апаратів, що працюють за принципом протитечії), безперервно-протитечійне (перемішування води та екстрагенту в одному апараті за принципом протитечії з наступним поділом). Практичне застосування дістали два останніх (рис. 3.39).

Часто екстракція сумішшю двох розчинників є більш ефективною, ніж роздільне застосування компонентів суміші. Для екстракційного очищення стічних вод застосовують схеми багатоступінчастої противотечійної екстракції і безперервної противотечійної екстракції. Схеми установок одноступінчастої (однократної) й багатоступінчастої екстракції в перехресному струмі не дістали поширення внаслідок недостатньої ефективності та великої витрати екстрагента.

При екстракції за багатоступінчастою протитечійною схемою стічна вода й екстрагент надходять із протилежних кінців установки, що складається з декількох ступенів, кожний з яких уключає змішувач води та екстрагента й відстійник (або відцентровий сепаратор). Стічна вода й екстрагент рухаються назустріч один одному, в результаті очищена стічна вода виходить із останнього ступеня, а кінцевий екстракт – із першого ступеня. На останньому ступені стічна вода, що містить невелику кількість домішок, що вилучаються, змішується із свіжим екстрагентом, а на першому ступені вихідна стічна вода контактує з екстрагентом, що містить деяку кількість домішок. Завдяки цьому досягається більш рушійна сила процесу екстракції й висока ефективність очищення стічних вод.

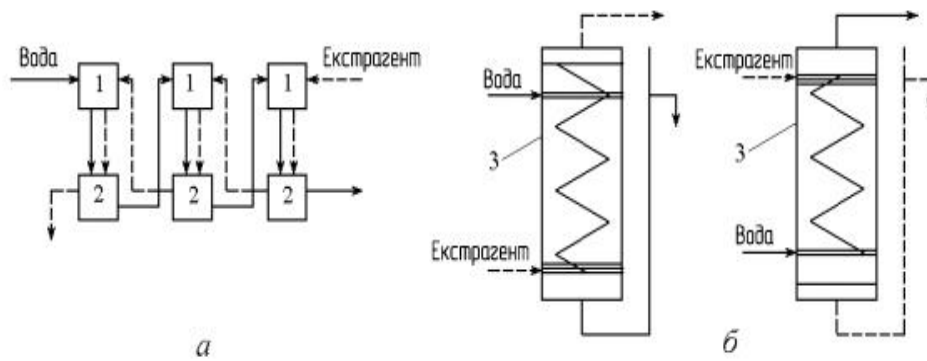


Рис. 3.41 Схеми екстракції: а – ступінчасто-протитечійна; б – безперервно протитечійна: 1 – змішувач; 2 – відстійник; 3 – колона

При безперервній протитечійній екстракції стічна вода (дисперсійне середовище) і краплі диспергованого екстрагента (дисперсна фаза) рухаються назустріч один одному та домішки стічної води безупинно переходять в екстрагент. Поділ фаз відбувається на вході й виході з апарата. Ця схема також забезпечує високу рушійну силу процесу екстракції.

У деяких випадках екстрагент може бути дисперсійним середовищем. Метод безперервної протитечійної екстракції найбільш часто використовується для очищення стічних вод.

Відповідно до зазначених схем для очищення стічних вод застосовують дві групи екстракційних апаратів:

- 1) східчасті екстрактори;
- 2) диференційно-контактні екстрактори, у яких відбувається практично безперервна зміна складу фаз.

Технологічна схема очищення стічних вод екстракційним методом залежить від кількості та складу стічних вод, властивостей екстрагента, способу його регенерації та ряду інших факторів. Зазначена технологічна схема включає звичайно чотири етапи: 1) підготовки води; 2) екстракції; 3) регенерації розчинника з очищеної води; 4) регенерації розчинника з екстракту.

До складу установок підготовки води для екстракційної очищення звичайно включають відстійники, флотатори, фільтри для механічного очищення; нейтралізатори для доведення рН до необхідної величини; карбонізатори для обробки стічних вод, що містять аміак; поверхневі холодильники для охолодження стічної води до температури не вище ніж 30 – 40<sup>0</sup>С.

Очищена від емульгованих і суспендованих часток (наприклад, смол, масел, нафталіну, золи) стічна вода надходить на екстракційну установку. Розчинений у воді екстрагент звичайно регенерується шляхом відгону у вигляді азеотропної суміші з водою. Відгін розчинника здійснюється звичайно в насадковій колоні, в яку зверху подається підігріта очищена вода, а знизу – гостра пара.

Розчинники, що мають високий тиск пари, можуть бути регенеровані шляхом віддування повітрям або іншими газами. Це дозволяє знизити витрату тепла на підігрів води, а також зменшити втрати розчинника, викликані гідролізом при підвищеній температурі.

Для розчинників, що легко гідролізуються, мають високу вартість і володіють високою температурою кипіння, теплоємністю й теплою пароутворення, може бути доцільним застосування методу реекстракції.

Сутність методу полягає в тому, що розчинник з води екстрагується іншим більш дешевим розчинником, що потім може бути легко вилучений з води методом перегонки.

Для регенерації розчинника з фенольних екстрактів використовують двоступінчасту ректифікацію. На першому ступені в ректифікаційній колоні, що працює при атмосферному тиску, відганяється частина розчинника. Концентрований екстракт надходить для повного видалення розчинника в ректифікаційну колону другого ступеня, що працює під вакуумом  $6 \times 10^3$  Па або при атмосферному тиску. Відгін розчинника у вигляді азеотропної суміші з водою, що має температуру менше ніж  $100^{\circ}\text{C}$  (для азеотропної суміші бутилацетат – вода –  $90,2^{\circ}\text{C}$ ), проводять гострою парою.

*Регенерація екстрагенту* може бути проведена із застосуванням вторинної екстракції – з іншим розчинником, а також випаровуванням, дистиляцією, хімічною взаємодією або осадженням. Оскільки абсолютно нерозчинних у воді рідин немає, то в процесі екстракції частина екстрагенту розчиняється в стічній воді, тобто він стає новим забруднювачем її, тому необхідно видаляти екстрагент з рафінату. Втрати розчинника з рафінату допустимі лише за умови його розчинності у воді не вище ГДК, але тільки при його дуже низькій вартості. Найбільш поширеним способом вилучення розчинника з рафінату є адсорбція або відгонка парою (газом). Для очищення стічних вод найбільш часто застосовують процеси *протитечійної багатоступінчастої екстракції* (3.42, 3.43) і *безперервної протитечійної екстракції* (3.44). Схема

багатоступінчастої екстракційної установки являє собою батарею змішувачів та відстійників. Кожний ступінь містить змішувач води з екстрагентом і відстійник.

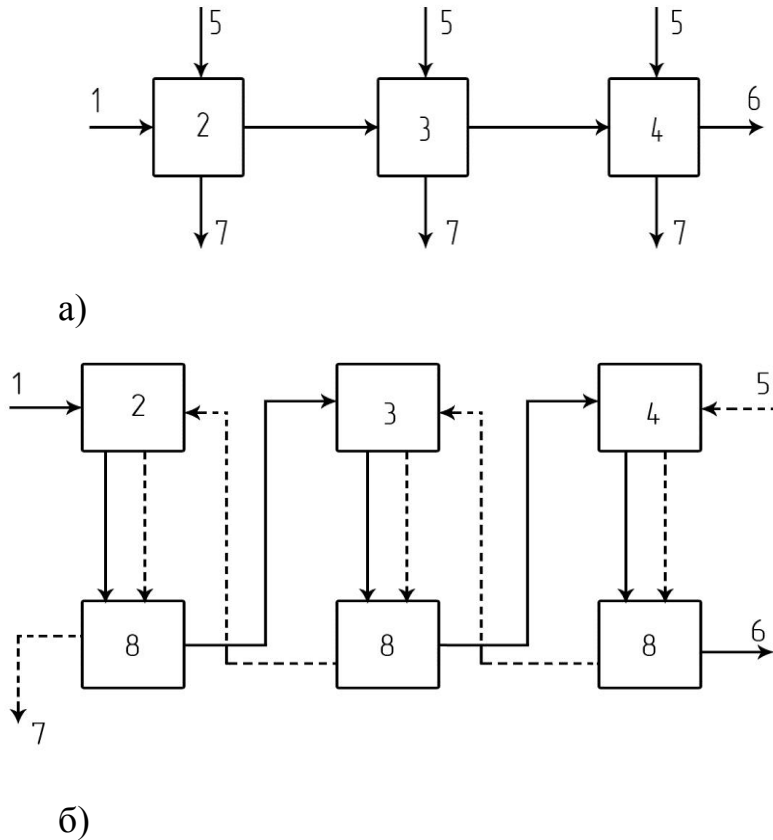


Рис. 3.42 Схеми екстракції: а) схема багатоступеневого перехресного очищення; б) схема ступеневої протитечійної екстракції: 1 – подача; 2, 3, 4 – екстракційні установки; 5 – подача чистої води; 6 – випуск обробленої стічної води; 7 – відвід відпрацьованого екстрагенту; 8 – відстійники

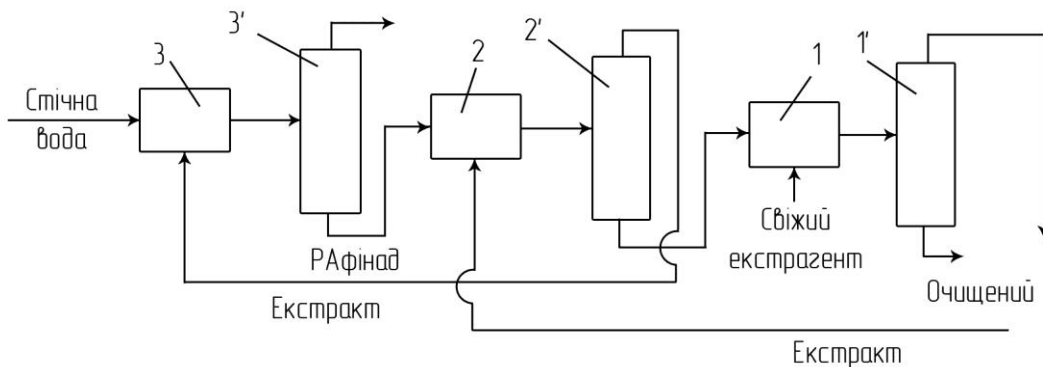




Рис. 3.43 Схема багатоступінчастої протитечійної екстракції: 1-3 – змішувачі; 1' - 3' – відстійники

Свіжий екстрагент та стічна вода надходять із протилежних сторін. На першій стадії стічна вода з невеликим умістом домішок перемішується зі свіжим екстрагентом, а на останній вихідна стічна вода змішується з екстрагентом, який уже містить значну кількість вилучених речовини. Такий рух потоків сприяє створенню великої рушійної сили процесу екстракції та ефективному очищенню стічних вод.

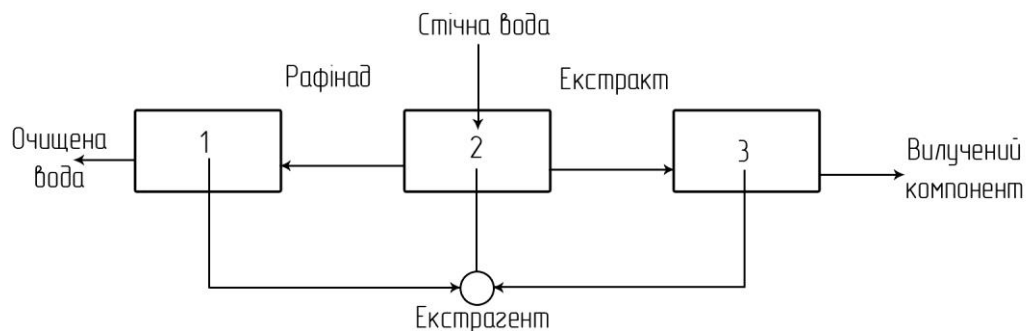


Рис. 3.44 Схема безперервної протитечійної екстракції з регенерацією екстрагенту з екстракту і рафінату: 1 – система для видалення екстрагенту з рафінату, 2 – колона, 3 – система для видалення екстрагенту з екстракту також

Екстракція проводиться в апаратах різної конструкції: розпилювальних, насадкових, тарілчастих колонах та у відцентрових екстракторах.

### 3.7.6 Очищення перегонкою і ректифікацією

Перегонка і ректифікація є поширеним методом видалення зі стічних вод розчинених органічних рідин. Установки перегонки й ректифікації стічних вод, як правило, входять до складу технологічних схем основних виробництв. Видалені зі стічної води домішки звичайно використовують на цих же виробництвах.

Для очищення стічних вод застосовують просту перегонку, перегонку в присутності водяної пари або інертних носіїв, азеотропну перегонку, а також ректифікацію у відгінних колонах, за наявності водяної пари та азеотропну ректифікацію.

Специфічність процесу очищення стічних вод цими методами зумовлюється відносно малими концентраціями домішок і необхідністю практично повного виділення їх зі стічних вод.

Просту перегонку проводять на установці періодичної дії шляхом поступового випарювання стічної води, що перебуває в перегінному кубі. Пара, що утворюється, конденсується в конденсаторі-холодильнику, й дистилят надходить у збірник. Просту перегонку здійснюють також і безперервним методом. Метод простої перегонки доцільно застосовувати для очищення стічних вод від домішок, температура кипіння яких значно нижче від температури кипіння води (ацетон, метиловий спирт тощо).

Досить часто для очищення стічних вод застосовують перегонку з водяною парою. Відмінність цієї схеми від схеми простої перегонки полягає в уведенні гострої пари безпосередньо в стічну воду, що спрощує конструкції перегінних апаратів, знижує витрату тепла на перегонку. Для відгону зі стічної води домішок використовують інертні носії, наприклад газу: диоксид вуглецю, азот та ін. Застосування цього методу доцільно для виділення домішок, що мають високий тиск пари і відповідно низьку температуру кипіння, вміст яких у стічній воді невеликий (100 - 200 мг/л).

Недоліком методу відгону з інертними носіями є складності, які пов'язані з відділенням дистиляту, що важко відділяється від інертного носія.

Метод очищення у відгінних ректифікаційних колонах застосовується для виділення зі стічних вод багатьох органічних домішок (бензолу, хлорбензолу, бутилацетата та ін.).

Пароциркуляційний метод очищення полягає у ректифікації стічних вод у відгінній колоні з використанням циркулюючої водяної пари та подальшого відмивання циркулюючої пари за допомогою лугу або інших реагентів.

### **3.7.7 Десорбція, дезодорування і дегазація розчинених домішок**

Багато стічних вод забруднені леткими неорганічними й органічними домішками. При пропусканні повітря або іншого інертного малорозчинного у воді газу (діоксид вуглецю, азот, топкові димові газу) через стічну воду летючий компонент дифундує в газову фазу. Десорбція зумовлена більш високим парціальним тиском газу над розчином, ніж у навколишньому повітрі. Рівноважний парціальний тиск газу, що

видаляється, знаходять за законом Генрі. Кількість речовини  $M$ , яка перейшла з рідкої фази в газову, визначають за рівнянням масопередачі

$$M = K_y \cdot F \cdot \Delta C_{cp}, \quad (3.39)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт масопередачі, що дорівнює в цьому випадкові, коефіцієнту масовіддачі в газовій фазі  $\beta_y$ ;  $F$  – поверхня контакту фаз;  $\Delta C_{cp}$  – середня рушійна сила процесу десорбції. Ступінь видалення летючих речовин із стічних вод збільшується зі зростанням температури газорідинної суміші, коефіцієнта масовіддачі й поверхні контакту фаз. Десорбційна з води речовина направляється на адсорбцію або на каталітичне спалювання.

*Дезодорацію* проводять для очищення неприємно пахнучих стічних вод. Для цього можна використовувати аерацію, хлорування, ректифікацію, дистиляцію, обробку димовими газами, окислення киснем під тиском, озонування, екстракцію, адсорбцію та мікробіологічне окислення. Найбільш ефективним вважається *метод аерації*, який полягає в продуванні повітря через стічну воду. Недолік методу полягає в тому, що деякі забруднення не видаляються методом аерації та залишаються в стічній воді.

Неприємно пахнучі стічні води очищають також *продуванням гострою парою*. Ступінь очищення від сірководню і метилмеркаптану досягає 100%, від інших речовин – до 90%. Промислове застосування має й *хлорування* неприємно пахнучих стічних вод. При цьому відбувається окислення хлором сірковмісних сполук.

Очищення стічних вод від сірководню проводять також *окисленням киснем повітря* при атмосферному тиску за наявності каталізатора (залізна стружка, графітові матеріали). Високий ступінь очищення може бути досягнутий при використанні рідкофазового окислення сірчистих речовин киснем повітря під тиском.

Сірководень з води можна видалити гідроксидом заліза, в лужному і в нейтральному середовищі. Більш ефективно відбувається очищення при одночасному введенні у воду *озону або діоксиду хлору і фільтруванні води* через шар активного вугілля. Ступінь дезодорації сірководню, метил меркаптану й диметилсульфіду залежить від їх концентрації в стічній воді та змінюється від 80 до 100%.

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

Найбільш повна дегазація досягається при розбризкуванні у вакуумі й одночасному підігріві води.

При *термічній дегазації* води від розчиненого діоксиду вуглецю або кисню пропускають пар через воду і нагрівають її до температури кипіння при зовнішньому тиску. В цьому випадку парціальний тиск газу над водою знижується до нуля та 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 пари при великій поверхні контакту фаз протягом достатнього часу.

Температура води повинна бути близька до температури насиченої пари при певному тиску. 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 та повітрі.

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

Для видалення кисню з води, її фільтрують через легкоокиснюючі сталеві стружки. При фільтруванні води залізо окислюється

$$4\text{Fe} + 3\text{O}_2 = 2\text{Fe}_2\text{O}_3.$$

При обробленні води сульфідом натрію утворюється сульфат натрію

$$2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 = 2\text{Na}_2\text{SO}_4.$$

Кращим обезкиснюючим воду реагентом є гидразин

$$\text{O}_2 + \text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}.$$

Реакція проходить значно швидше, ніж при окисненні сульфіду. Каталізатором виступає мідь, скло, активоване вугілля.

### **3.8 Очищення стічних вод від розчинених органічних домішок деструктивними методами**

До основних деструктивних методів знешкодження стічних вод від органічних домішок відносять термоокислювальні, окислювальні методи (наприклад, озонування, хлорування), а також електрохімічне окислення.

Деструктивний метод застосовують у разі неможливості або економічної недоцільності вилучення домішок зі стічних вод. Вибір деструктивного методу для знешкодження стічних вод здійснюється з урахуванням витрати стічних вод, складу і властивостей домішок, вимог до якості очищеної води та можливості її повторного використання.

До термоокислювальних методів знешкодження стічних вод відносять парофазне окислювання ("вогневий" метод) та рідкофазне окислювання. Сутність цих методів полягає в окислюванні домішок киснем повітря при підвищеній температурі.

### **"Вогневий" метод**

Сутність термоокислювального методу знешкодження "вогневим" методом полягає у тому, що стічна вода, яка вводиться в розпиленому стані у високотемпературні (900-1000°C) продукти горіння палива, випаровується й органічні домішки води згорають, утворюючи продукти повного згорання.

Мінеральні домішки при цьому утворюють тверді або розплавлені частки, які виводяться з робочої камери печі або виносяться димовими газами.

Недоліком цього методу є висока витрата палива та перегрів водяної пари до 900-1000°C. У зв'язку з цим застосування "вогневого" методу знешкодження стічних вод доцільно:

- 1) для невеликої кількості стічних вод, що містять високотоксичні органічні домішки, вилучення і знешкодження яких іншими методами неможливо або економічно недоцільно;
- 2) при вилученні розчинених цінних мінеральних домішок;
- 3) у разі наявності горючих виробничих відходів (наприклад, кубові залишки, що скидаються), газу, які можуть бути використані замість палива.

### **Метод рідкофазного окислювання**

Сутність термоокислювального рідкофазного знешкодження стічних вод («морого» спалювання) полягає в окислюванні киснем повітря органічних домішок стічної води при підвищеній температурі (звичайно до 350°C) і тиску, що забезпечує знаходження води в рідкій фазі. Температура процесу повинна бути нижче ніж 374°C – критичної температури води. Перевага цього методу знешкодження стічних вод полягає в значно менших втратах тепла внаслідок відсутності необхідності випарювання води й нагрівання пари до високих температур. Залежно від температури

та часу контакту окислювання органічних домішок стічних вод відбувається повністю або частково.

Висока концентрація домішок виключає необхідність підігріву води в теплообміннику, крім пускового періоду. В той же час доцільно здійснювати підігрів повітря і зволожувати його у зволожувачі. Рекуперация надлишкової кількості тепла можлива також шляхом одержання водяної пари, використововуваного потім для опалення або на виробництві.

Ефективність знешкодження стічних вод залежить в основному від температури процесу окислювання. Зі збільшенням температури вміст домішок у стічній воді різко зменшується, а швидкість реакції окислювання зростає.

Збільшення парціального тиску кисню при постійній температурі практично не робить впливу на ефективність процесу окислювання.

### **3.9 Біологічне очищення. Фізіологія біологічного очищення**

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

Стічні води, що пройшли механічне і фізико-хімічне очищення, містять ще досить велику кількість розчинених та тонкодиспергованих нафтопродуктів, а також інших органічних забруднень і не можуть бути випущені у водойму без подальшого очищення. Найбільш універсальним для очищення стічних вод від органічних забруднень є біологічний метод. Він оснований на здатності мікроорганізмів використовувати різноманітні речовини, що містяться в стічних водах, як джерела живлення в процесі їх життєдіяльності. Завданням біологічного очищення є перетворення органічних забруднень на нешкідливі продукти окислення –  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  й ін. Процес біохімічного руйнування органічних забруднень в очисних спорудах відбувається під впливом комплексу бактерій і найпростіших мікроорганізмів, що розмножуються в певній споруді. Для правильного використання мікроорганізмів при біологічному очищенні

необхідно знати фізіологію мікроорганізмів, тобто фізіологію процесу харчування, дихання, росту та їх розвитку.

Кожен живий організм відрізняється від неживого наявністю обміну речовин, у процесі якого відбувається засвоєння поживних речовин і виділення продуктів життєдіяльності. Основними процесами обміну речовин є живлення й дихання. При харчуванні у клітку з навколишнього середовища надходять та засвоюються поживні речовини й наявна в них потенційна хімічна енергія. Харчування є процесом асиміляції, тому що тут спостерігається утворення нових речовин. При диханні відбувається окислення або розкладання складних органічних речовин, що супроводжується виділенням енергії, необхідної для процесів життєдіяльності. Складні біохімічні процеси розділяються на два види: процеси, пов'язані із засвоєнням клітиною поживних речовин із зовнішнього середовища (асиміляція), і процеси розпаду сполук в організмі (дисиміляція). У тілі мікроорганізмів міститься понад 70 елементів, з яких основними є вуглець, водень, азот, сірка, фосфор, калій, кальцій, магній і залізо. З них перші чотири елементи називаються органогенними, оскільки вони утворюють органічні речовини й при згоранні виділяються у вигляді газоподібних речовин, а інші елементи називаються мінеральними, або зольними, тому що при спалюванні вони утворюють золу. До органічних речовин відносять білки, нуклеїнові кислоти, вуглеводи та ліпіди. Вуглеводи відіграють роль живильного, дихального матеріалу і відкладаються в клітині у вигляді запасних поживних речовин. Живильні речовини потрапляють у клітину завдяки поверхневому поглинанню (адсорбції). Клітина здатна притягувати частинки та іони завдяки наявності заряду, який залежить від рН розчину. Залежно від способу засвоєння вуглецю мікроорганізми діляться на автотрофні і гетеротрофні.

Перша група мікроорганізмів може синтезувати органічні речовини, використовуючи вуглекислий газ, воду і мінеральні солі. Ці мікроорганізми діляться на фото-та хемоавтотрофи залежно від методу використання енергії для синтезу. Фотоавтотрофи використовують енергію Сонця. До цієї групи відносять мікроорганізми, що мають пігменти, що діють подібно хлорофілу в рослин. Харчуються хемоавтотрофи так само, як фотоавтотрофи, тільки для синтезу використовують вони хімічну енергію, яка звільняється при реакції окислення різних неорганічних речовин. А гетеротрофні мікроорганізми харчуються готовими

органічними речовинами. До них належать бактерії, цвілі й дріжджі (живляться мертвою їжею) і паразити (живляться живою їжею), такі, як патогенні бактерії, віруси й бактеріофаги. Крім вуглецевого живлення, мікроорганізми засвоюють азотисті сполуки, зольні елементи та вітаміни.

Так само як усе живе, мікроорганізми дихають. При диханні відбувається процес окислення складних органічних сполук, що супроводжується виділенням енергії, яка йде на підтримку життєдіяльності клітини.

Мікроорганізми, які для дихання використовують кисень, називаються аеробними. Мікроорганізми, які не споживають кисень для дихання, називаються анаеробними. Кількість енергії, що виділяється, залежить від дихального матеріалу і ступеня його окислення. Якщо процес окислення йде до кінцевої стадії, то енергії виділяється більше, ніж при неповному окисненні. Як дихальний матеріал можуть бути використані вуглеводні, спирти, органічні кислоти та ін. Енергія, що звільняється при диханні мікроорганізмів, використовується ними лише на 10–25%. Інша частина енергії виділяється в навколишнє середовище у вигляді тепла, світла чи електрики. Цим пояснюється самонагрівання бродильних середовищ і гниючих матеріалів (використання гною у парниках як біологічного джерела тепла). Ферменти – це складні органічні речовини, що виробляються живими організмами. Вони відіграють роль каталізаторів біохімічних процесів, і присутність їх у живих організмах зумовлює складні хімічні процеси синтезу й розпаду. Ферменти, як каталізатори, прискорюють реакцію, але не входять до складу кінцевого продукту. Дія ферментів полягає в тому, що, вступаючи у взаємодію зі субстратом, вони утворюють нестійкий комплекс «субстрат–фермент», у результаті чого молекула субстрату деформується. Це призводить до ослаблення внутрішньомолекулярних зв'язків та полегшує розщеплення молекули. На відміну від каталізатора ферменти каталізують ферментативну реакцію й дуже нестійкі до різких змін зовнішнього середовища (температури, рН і хімічних реагентів). Оптимальна температура для більшості ферментативних реакцій – 30...40°C, максимальна – 55...60°C. При температурі 80°C ферменти інактивуються. При дуже малій концентрації ферменту й великій концентрації субстрату або при великій концентрації ферменту і малій концентрації субстрату швидкість ферментативної реакції сповільнюється. При оптимальній концентрації субстрату швидкість реакції прямо пропорційна концентрації ферменту.



Таблиця 3.12

Допустимі максимальні концентрації шкідливих речовин у стічних водах, для яких можливе біологічне їх окислення

Речовина	Допустима концентрація шкідливих речовин в стічних водах, мг/л	Ступінь видалення в процесі повної біологічної очистки, %
Нафта і нафтопродукти	25	85 - 90
Біологічно м'які (що окисляються на спорудах біологічного очищення) аніонні	20	80
Те ж, неіоногенні	50	90
Проміжні аніонні	20	60
Те ж, неіоногенні	20	75
Формальдегід	25	80
Сульфід	1	99,5
Мідь	0,5	80
Нікель	0,5	50
Кадмій	0,1	60
Хром (трьохвалентний)	2,5	80
Цинк	1	70
Сірчані фарбники	25	90
Миш'як	0,1	50
Ціаніди[4]	1,5	-
Ртуть	0,005	-
Свинець	0,1	50
Кобальт	1	50

Уміст мікроорганізмів у воді залежить від ступеня її забрудненості органічними речовинами. Глибинні води (артезіанські, ключові) містять мало мікроорганізмів, а поверхневі більше. В основу очищення поверхневих вод закладений процес самоочищення. Він заснований на використанні мікроорганізмами як їжі речовин, що знаходяться у воді. Мікроорганізми розкладають ці речовини і, позбавляючи себе їжі, гинуть. Але кількість забруднень, при якому ще живуть і працюють мікроорганізми, не повинна бути й дуже високою. Існують допустимі максимальні концентрації шкідливих речовин, при яких мікроорганізми ще

можуть існувати. Таким чином, існує залежність між кількістю мікроорганізмів та концентрацією забруднень. Інтенсивність і ефективність біологічного очищення стічних вод залежать від швидкості розмноження бактерій. У процесі очищення стічних вод зазвичай виникає багатокомпонентний субстрат, тобто води, забруднені багатьма органічними й неорганічними речовинами. Мікроорганізми харчуються різними забрудненнями. Залежно від живильного середовища одні мікроорганізми розвиваються, а інші гинуть. Змінюючи витрату і концентрацію стічних речовин, можна регулювати процес фізіологічної активності мікроорганізмів і тим самим змінювати ступінь очищення стічних вод. Як правило, в споруди біологічного очищення подаються активний мул і живильне середовище, які ідеально перемішуються й рухаються в поршневному режимі вздовж споруди. За такої схеми роботи в аеротенках на початку спорудження кількість мікроорганізмів незначна, а в кінці споруди досягає максимуму. Розподіл поживних речовин відбувається в зворотному порядку. Активний мул являє собою дрібні пластівці від світлого до темно-коричневого кольору, які складаються з великого числа багат шарово розташованих або флокульованих клітин. Активний мул - це аморфний колоїд. Біоплівка являє собою слизові нарости товщиною 1-2 мм і більше того ж кольору, що й активний мул. Активний мул – це складний комплекс мікроорганізмів різних груп, таких, як бактерії та гриби. Між цими видами мікроорганізмів існує певний зв'язок. Вони можуть складатися як симбіотичні або як антагоністичні. Часто продукти життєдіяльності одних мікроорганізмів служать харчуванням інших (метабіоз).

Для кожного виду мікроорганізмів існують свої мінімальні, оптимальні та максимальні температури. Залежно від реагування на температуру мікроорганізми можна підрозділити на термофільні, мезофільні й психрофільні.

Температура стічних вод протягом року може коливатися в широкому діапазоні, що викликає різку зміну в поведінці мікроорганізмів. Різкі перепади температур несприятливо впливають на життєдіяльність мікроорганізмів. При низьких температурах процес життєдіяльності мікроорганізмів і процес біологічного очищення сповільнюються, а також погіршується глибина очищення та процес флокуляції. Погіршення процесу флокуляції призводить до винесення окремих мікроорганізмів із вторинних відстійників. Чим вища температура, тим менше кисню,

розчиненого у воді. У зимовий період розчиненого у воді кисню більше, однак активність мікроорганізмів нижче й, отже, кількість споживаного ними кисню менша. Тому для підтримання високої активності мікроорганізмів у літній період необхідно посилити аерацію. Для збільшення ефективності очищення стічних вод у зимовий період слід збільшити кількість мікроорганізмів в очисних установках. Якість очищення стічних вод залежить від наявності кисню у воді.

**Спори для біологічного очищення.** Переваги біологічного методу очищення – можливість видаляти зі стічних вод різноманітні органічні сполуки, в тому числі токсичні, простота конструкції апаратури, відносно невисока експлуатаційна вартість. До недоліків слід віднести високі капітальні витрати, необхідність суворого дотримання технологічного режиму очищення, токсичну дію на мікроорганізми деяких органічних сполук і необхідність розведення стічних вод у випадку високої концентрації домішок. Очисні спори діляться на аеробні та анаеробні. Аеробні методи очищення набули більшого поширення в порівнянні з анаеробними. При аеробному методі життєдіяльність мікроорганізмів підтримується за допомогою вільного кисню у воді. Ці методи широко застосовують при очищенні побутових стічних вод. Основою процесу біологічного очищення є постійне відтворення мікроорганізмів. Процес добре простежується на схемі. Стічна вода подається в аеротенк аеробного біологічного очищення. Сюди також подаються активний мул і повітря. Всі ці три компоненти перемішуються. Мікроорганізми знищують забруднення й повітря, що знаходиться у воді. Цей процес супроводжується збільшенням біомаси. Суміш очищеної води та активного мулу надходить у вторинний відстійник, де відбувається розділення суміші на очищену воду й активний мул. Очищена вода випускається у водойму. Частина активного мулу з відстійника регенерується та подається в аеротенк, а інша частина виходить у накопичувач мулу. В біофільтрі очищення стічних вод проводиться мікроорганізмами біоплівки, що знаходиться на поверхні наповнювача.

Біологічне очищення стічних вод можна проводити в природних і штучних спорудах. Як природні спори біологічного очищення застосовують поля фільтрації, зрошення та біологічні ставки. Для очищення деяких видів стічних вод, наприклад побутових, ці спори використовують і в наш час. Проте промислові стічні води, особливо з умістом нафти, повільно очищаються в природних спорудах, тому їх

біологічне очищення проводять у штучних спорудах. До таких споруд найчастіше відносять біофільтри, аэротенки та біологічні ставки. Біофільтри являють собою залізобетонні або цегляні резервуари, заповнені фільтруючим матеріалом, який укладається на дірчасте днище і зрошується стічними водами. Для завантаження біофільтрів застосовують шлак, щебінь, пластмасу та ін. Очищення стічних вод у біофільтрах відбувається під впливом мікроорганізмів, що заселяють поверхню завантаження й утворюють біологічну плівку. При контакті стічної рідини з цією плівкою мікроорганізми видаляють з води органічні речовини, внаслідок чого стічна вода очищається.

Аэротенки являють собою залізобетонні резервуари довжиною 30–100 м і більше, шириною 3–10 м і глибиною 3–5 м (рис. 3.45).



Рис. 3.45 Коридор аэротенка

Зона активації в аэротенку

Очищення стічних вод в аэротенках відбувається під впливом скупчень мікроорганізмів (активного мулу). Для нормальної їх життєдіяльності в аэротенках подають повітря й поживні речовини. Ефективність процесу очищення в аэротенках, якісний стан і окислювальна здатність активного мулу визначаються умовами, до яких відносять: склад і властивості стічних вод, гідродинамічні умови перемішування, співвідношення кількості поданих забруднень та життєздатної мулу, кисневий режим споруди, температура, активна реакція середовища, наявність елементів харчування, наявність активаторів або інгібіторів процесу й ін. Диспергування повітря у воді проводять за допомогою механічних і пневматичних аэраторів. Пневматичні аэратори підрозділяються залежно від розміру аэрованої бульбашок: дрібнопузирчасті, середньопузирчасті та крупнопузирчасті. При механічній і пневматичній системах аэрації відбувається перемішування мулу суміші й повітря за допомогою механічних пристроїв. Механічні аэратори

підрозділяються на аератори малого й глибокого занурення. Аератори малого занурення насичують повітрям поверхневий шар води і потім насичену киснем воду перемішують за рахунок своєї енергетичної потужності. Аератори глибокого занурення перемішують придонні шари води з повітрям. Подальше перемішування всього обсягу води відбувається без енергії аератора. Переваги механічних аераторів – висока ефективність та економічність, а також відсутність необхідності в будівництві повітродувних станцій і комунікацій.

Для біологічного очищення невеликих кількостей суміші стічних вод, у якій переважають побутові стічні води, можуть застосовуватися аэротенки-відстійники, які конструктивно забезпечують об'єднання двох технологічних процесів очищення: біоочищення та відстоювання.

### **Основні показники біохімічного очищення стічних вод**

Контактуючи з органічними речовинами, мікроорганізми частково окислюють їх, перетворюючи у воду, діоксид вуглецю, нітрит- і сульфат-іони та ін. Інша частина речовини йде на утворення біомаси. Розчеплення органічних речовин називають *біохімічним окисленням*.

*Біохімічні показники.* Стічні води, направлені на біохімічне очищення, яка характеризується величиною БПК та ХПК. БПК – це біохімічна потреба в кисні, тобто кількість кисню, що потрібна при біохімічних процесах окислення органічних речовин (не включаючи процес нітрифікації) за певний проміжок часу (2, 5, 8, 10 діб), у мг кисню на 1 мг речовини. Наприклад, БПК<sub>5</sub> – біологічна потреба в кисні за 5 діб, БПК<sub>повн</sub> – повна БПК до початку нітрифікації. ХПК – хімічна потреба в кисні, тобто кількість кисню, еквівалентне кількості витраченого окисника, необхідного для окислення всіх відновників, які містяться у воді. ХПК також виражають у мг кисню на 1 мг речовини.

Біохімічною активністю мікроорганізмів називають біохімічну діяльність, пов'язану з руйнуванням органічних забрудників стічних вод. Можливість біохімічного окислення (біорозкладення стічних вод) характеризують через біохімічний показник, тобто відношенням БПК<sub>повн</sub>/ХПК. Його значення коливається в широких межах для різних груп стічних вод: промислові стічні води мають низький біохімічний показник (0,05...0,3), побутові стічні води – вище ніж 0,5. При відношенні (БПК/ХПК)100% = 50% речовини піддаються біохімічному окисленню.

При цьому необхідно, щоб стічні води не містили отруйних речовин та домішок солей важких металів. Біохімічний показник необхідний для розрахунку й експлуатації промислових споруд для очищення стічних вод.

Для можливості подачі стічних вод на біохімічне очищення встановлюють максимальні концентрації токсичних речовин, які не впливають на процеси біохімічної окислення (МКБ) і на роботу очисних споруд (МКБ о.с.). Для неорганічних речовин, які практично не піддаються біохімічному окисленню, також установлюють максимальні концентрації, при перевищенні котрих воду не можна піддавати біохімічному очищенні.

**Аеробний метод біологічного очищення.** Аеробний метод заснований на використанні аеробних груп організмів, для життєдіяльності яких необхідний постійний притік кисню і температура 20...40 °С. При аеробному очищенні мікроорганізми культивуються в активному мулі чи біоплівці. Анаеробні методи очищення проходить без доступу кисню; їх використовують в основному для знешкодження осадів.

Активний мул складається з живих організмів та твердого субстрату. Спільнота всіх живих організмів (накопичення бактерій, найпростіші черви, плісняві гриби, дріжді, актиноміцети, водорості), які населяють мул, називають біоценозом. Активний мул становить собою амфотерну колоїдну систему, яка при рН = 4...9 має негативний заряд. Суха речовина активного мулу містить 70-90% органічних та 30-10% неорганічних речовин. Субстрат являє тверду відмерлу частину залишків водоростей та інших твердих залишків; до нього кріпляться організми активного мулу. Субстрат становить до 40% активного мулу. В активному мулі знаходяться мікроорганізми різних груп. За екологічними групами мікроорганізми діляться на анаеробів та аеробів, термофілів та мезофілів, галофілів та галофобів.

Якість мулу визначається швидкістю його осадження і ступенем очищення рідини. Стан мулу характеризується «муловим індексом», є відношенням об'єму осаджуваної частини активного мулу до маси висушеного осаду (в грамах) після відстоювання протягом 30 хвилин. Чим гірше осідає мул, тим більший «муловий індекс» він має. Біоплівка росте на наповнювачі біофільтра, вона має вигляд слизуватих виростів товщиною 1...3 мм і більше. Біоплівка складається з бактерій, грибів, дріжджів та інших організмів. Число мікроорганізмів менше, ніж у активному мулі.



Рис. 3.46 Піна в аеротенку-змішувачі

**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 й азоту в стічній воді, від її температури. Для того, щоб відбувався процес біохімічного окислення органічних речовин, які знаходяться у стічних водах, вони повинні потрапити всередину клітин мікроорганізмів. До поверхні клітин речовини потрапляють за рахунок конвективної та молекулярної дифузії, а всередину клітин – дифузією через напівпроникні цитоплазматичні мембрани. Але більша частина речовини потрапляє всередину клітин за допомогою спеціального білка-переносника. Створений розчинний комплекс «речовина–переносник» дифундує через мембрану в клітину, де він розпадається, а білок–переносник уключається до нового циклу перенесення речовини. Основну роль у процесі очищення стічних вод відіграють процеси перетворення речовини, які проходять усередині клітин мікроорганізмів. Ці процеси закінчуються окисленням речовини з виділенням енергії та синтезом нових речовин із затратою енергії.

**Кінетика біохімічного окислення.** Швидкість біохімічних реакцій визначається активністю ферментів, яка залежить від температури, рН і наявності в стічній воді різних речовин.

*Ферменти*, які являють собою складні білкові сполучення, виконують роль прискорюючих каталізаторів. З підвищенням температури швидкість ферментативних процесів підвищується, але до певного рівня.

Для кожного фермента існує оптимальна температура, вище від якої швидкість реакції падає. До числа речовин-активаторів, які підвищують активність ферментів, відносять багато вітамінів та катіони  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ . У цей же час солі важких металів, сильна кислота, антибіотики є інгібіторами, тобто знижують активність ферментів. Мікроорганізми здатні окислювати багато органічних речовин, але для цього потрібен різний час адаптації. Легко окислюються бензойна кислота, етиловий і аміловий спирти, гліколі, хлоргідриди, ацетон, гліцерин, анілін, складні ефіри.

Речовини, які знаходяться у стічних водах у колоїдному чи малодисперсному стані, окислюються з меншою швидкістю, ніж речовини, розчинені у воді.

Рівняння кінетики ферментативних реакцій запропоноване Михаелісом та Ментеном. Воно представляє швидкість проходження реакцій усередині клітин мікроорганізмів

$$v = v_{\text{макс}}[S]/(k_M + [S]), \quad (3.40)$$

де  $v = dP/dt$  – швидкість утворення продукту P з речовини S,  $v_{\text{макс}}$  – максимальне значення швидкості,  $k_M$  – константа Михаеліса–Ментена, моль/л. Константа  $k_M$  характеризує залежність швидкості ферментативної реакції від концентрації субстрату в стаціонарному стані процесу. Для окислення органічних речовин мікроорганізмами необхідний кисень, але вони можуть використовувати його лише 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 визначити за рівнянням масовіддачі

$$M = \beta_V \cdot V(C_p - C), \quad (3.41)$$

де M – кількість абсорбованого кисню, кг/с,  $\beta_V$  – об'ємний коефіцієнт масовіддачі,  $\text{с}^{-1}$ , V – об'єм стічної води в споруді,  $\text{м}^3$ ;  $C_p$ , C – рівноважна концентрація та концентрація кисню в масі рідини,  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Кількість абсорбованого кисню може бути збільшена за рахунок зростання коефіцієнта масовіддачі чи рушійної сили. На швидкість біохімічного окислення впливає турбулізація стічних вод у очисних спорудах, що сприяє розпаду пластівців активного мулу на більш малі й збільшує швидкість надходження поживних речовин та кисню мікроорганізмам. Турбулізація потоку досягається активним перемішуванням, при якому



активний мул знаходиться у підвішеному стані, що забезпечує рівномірне розділення його в стічній воді.

*Доза активного мулу* залежить від «мулового індексу». Чим він менший, 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 та рН середовища. Найбільш оптимальна температура біохімічної очищення стічних вод коливається в межах 20...30 °С. Перевищення температури може привести до загибелі мікроорганізмів. При більш низьких температурах знижується швидкість очищення, уповільнюється процес адаптації мікробів до нових видів забруднень, погіршуються процеси флокуляції й осадження активного мулу.

**Анаеробні методи біохімічної очищення.** Анаеробні методи очищення використовують для знешкодження осадів, які утворюються при біохімічній очищенні промислових стічних вод, а також як першу стадію очистки дуже концентрованих промислових стічних вод ( $BPK_{повн} \approx 4...5$  г/л), котрі містять органічні речовини, що руйнуються анаеробними бактеріями в процесах бродіння. Залежно від виду кінцевих продуктів розрізняють види бродіння: спиртове, пропіоновокисле, молочнокисле, метанове та ін. Кінцевими продуктами бродіння є: спирти, кислоти, ацетон, гази бродіння ( $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ).

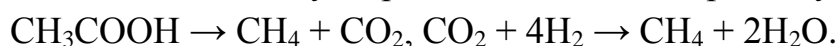
Для очищення стічних вод використовують метанове бродіння, процес складний та багатостадійний. Процес метанового бродіння складається із двох фаз: кислої та лужної (або метанової). В кислотній фазі із складних органічних речовин утворюються нижчі жирні кислоти, спирти, амінокислоти, аміак, гліцерин, ацетон, сірководень, діоксин вуглецю й водень. Ці проміжні продукти в лужній фазі утворюють метан і діоксин вуглецю.

Основна реакція утворення метану

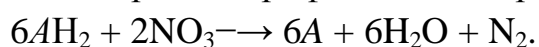


де  $H_2A$  – органічна речовина, що містить  $H_2$ .

Метан може утворюватися внаслідок розпаду оцтової кислоти



При денітрифікації в анаеробних умовах



За певних умов кінцевим продуктом може бути і аміак. Основними параметрами анаеробного зброджування є температура, доза завантаження

осаду і ступінь його перемішування. Процеси зброджування ведуть у мезофільних (30...35°C) та термофільних (50...55°C) умовах. Повного зброджування в метантенках досягнути неможливо.

Середній рівень розпару органічних речовин становить близько 40%.

### 3.10 Хімічні методи очищення стічних вод

Хімічні й фізико-хімічні способи використовують для очищення стічних вод від колоїдних і розчинених речовин. До основних хімічних способів очищення відносять окислювання забруднюючих воду речовин, нейтралізація із уведенням у стічні води речовин з кислотою або лужною реакцією для забезпечення в них рН у межах 6, 5–8,5.

Хімічне очищення може здійснюватися як самостійний метод перед подачею виробничих стічних вод у систему оборотного водопостачання, а також перед спуском їх у водойму або міську каналізаційну мережу. Більшу небезпеку становлять кислі стоки, які до того ж зустрічаються значно частіше, ніж лужні. Найбільш часто стічні води забруднені кислотами – сірчаною, азотною, соляною, а також їхніми сумішами. У більшості кислих стоків містять солі важких металів, які необхідно видаляти.

З метою попередження корозії матеріалів очисних споруд, порушення біохімічних процесів у водоймах, а також з метою осадження зі стічних вод солей важких металів кислі й лужні стоки необхідно піддавати нейтралізації.

При хімічному очищенні застосовують такі способи нейтралізації:

- взаємна нейтралізація кислих і лужних стічних вод;
- нейтралізація реагентами (розчини кислот, негашене вапно, гашене вапно  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , кальцинована сода, аміак);
- фільтрування через нейтралізуючі матеріали (вапно, вапняк  $\text{CaCO}_3$ , доломіт  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$ , магнезит  $\text{MgO}$ ).

Вибір способу нейтралізації залежить від багатьох факторів: виду й концентрації кислот, що забруднюють виробничі стічні води, витрат і режиму надходження відпрацьованих вод на нейтралізацію, наявності реагентів, місцевих умов і т.п.

У процесі нейтралізації сірчано-кислих стічних вод вапняним молоком утворюється осад гіпсу, який має вологість 98 – 99%.

Установки для нейтралізації стічних вод (рис. 3.47) включають реагентне господарство, усереднювачі, змішувачі, контактні резервуари, відстійники для виділення шламу.

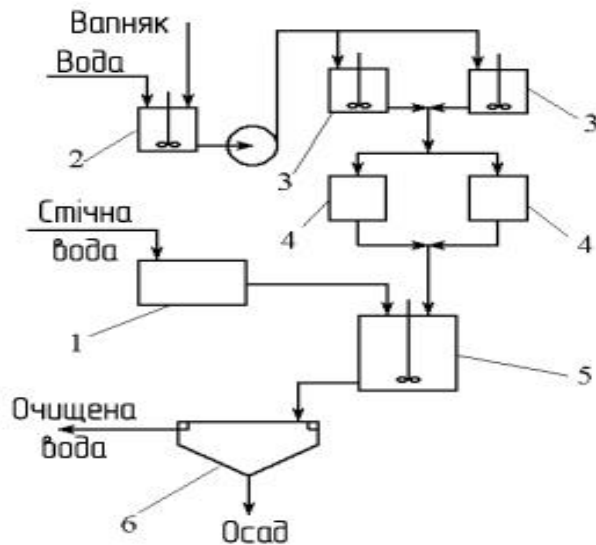


Рис. 3.47 Схема установки нейтралізації стічних вод:

1 – змішувач; 2 – апарат для приготування реагенту; 3 – баки для розчинів; 4 – дозатори; 5 – нейтралізатор; 6 – відстійник

Час перебування води в камері нейтралізації при використанні вапняного молока становить 5-30 хвилин залежно від наявності у воді солей важких металів та інших домішок.

Як правило, виробничі стічні води являють собою слабоконцентровані суспензії або емульсії, що містять колоїдні частки розміром 0,001-0,1 мкм, дрібнодисперсні частки розміром 0,1 –10 мкм, а також частки розміром більше ніж 0,1 мкм.

У процесі механічного очищення із стічних вод легко видаляються частки розміром більше ніж 10 мкм, дрібнодисперсні й колоїдні частки практично не видаляються. Стічні води багатьох виробництв після споруд механічного очищення являють собою агрегативно стійку систему. Для їх очищення використовують методи коагуляції, при цьому агрегативна стійкість порушується, утворюються більші агрегати часток, які видаляють зі стічних вод механічними методами.

Застосування електрохімічних методів для очищення промислових стічних вод оснований на їх електролізі, тобто на пропусканні через них постійного електричного струму за допомогою занурених електродів. Очищення методом електрокоагуляції оснований на їх електролізі з використанням металевих (стальних або алюмінієвих) анодів, що підлягають електролітичному розчиненню. Внаслідок розчинення анодів

вода збагачується відповідними іонами, які потім утворюють у нейтральному чи слабколужному середовищі гідроокис алюмінію або гідрозакис заліза, який під впливом розчиненого у воді кисню переходить у гідроокись заліза. У результаті здійснюється процес коагуляції, аналогічний обробці води відповідними солями алюмінію або заліза.

Однак на відміну від застосування коагулянтів при електрокоагуляції вода не збагачується сульфатами чи хлоридами, вміст котрих в очищеній воді лімітується як при скиданні у водойми, так і при повторному використанні в системах оборотного водопостачання.

До хімічних методів очищення стічних вод відносять нейтралізацію, окислення та відновлення. Їх застосовують для видалення розчинних речовин та в замкнених системах водопостачання. Хімічне очищення проводять іноді як попереднє перед біологічним очищенням або останнє як метод доочищення стічних вод.

### **3.10.1 Нейтралізація стічних вод**

Стічні води, що містять мінеральні кислоти або луги, перед скиданням їх у водойми чи перед використанням у технологічних процесах нейтралізують. Практично нейтральними вважаються води, що мають рН = 6,5 ... 8,5. Нейтралізацію можна проводити різними шляхами: шляхом змішування кислих і 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 осади. Для нейтралізації кислих вод можуть бути використані: NaOH, KOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>OH (аміачна вода), CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, доломіт (CaCO<sub>3</sub> · MgCO<sub>3</sub>), цемент. Найбільш доступним реагентом є гідроксид кальцію (вапняне молоко) з умістом 5 ... 10% активного вапна Ca (OH)<sub>2</sub>. Іноді для нейтралізації застосовують відходи виробництва: шлаки металургійних виробництв. Реагенти вибирають залежно від складу й концентрації кислої стічної води. Розрізняють три види кислотомісних стічних вод:

- 1) води, що містять слабкі кислоти (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, CH<sub>3</sub>COOH);
- 2) води, що містять сильні кислоти (HCl, HNO<sub>3</sub>),
- 3) води, що містять сірчану і сірчисту кислоти.

При нейтралізації вапняним молоком стічних вод, що містять сірчану кислоту, в осад випадає гіпс CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O, що викликає відкладення його на стінках трубопроводів. Для нейтралізації лужних стічних вод використовують різні кислоти або кислі гази, наприклад, гази, які

відходять, які містять CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та ін. Застосування кислих газів дозволяє не тільки нейтралізувати стічні води, а й одночасно проводити очищення самих газів від шкідливих компонентів. Кількість кислого газу, необхідного для нейтралізації, може бути визначена за рівнянням масовіддачі:

$$M = k \cdot \beta_{жс} \cdot F \cdot \Delta C, \quad (3.42)$$

де  $M$  – кількість кислого газу, необхідного для нейтралізації;  $k$  – фактор прискорення хемосорбції;  $\beta_{жс}$  – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі;  $F$  – поверхня контакту фаз;  $\Delta C$  – рушійна сила процесу.

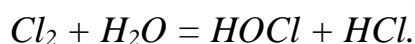
Нейтралізація лужних вод димовими газами є ресурсозберігаючою технологією, оскільки при цьому ліквідується скидання стічних вод, скорочується споживання свіжої води, економиться теплова енергія на підігрів свіжої води, а також очищаються димові гази від кислих компонентів (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> та ін.) і від пилу.

### 3.10.2 Окислення забруднювачів стічних вод

Для очищення стічних вод використовують такі окислювачі: газоподібний і скраплений хлор, діоксид хлору, хлорат кальцію, гіпохлорити кальцію і натрію, перманганат калію, біхромат калію, пероксид водню, кисень повітря, пероксисірчані кислоти, озон, піролюзит й ін. У процесі окислення токсичні забруднення, що містяться у стічних водах, у результаті хімічних реакцій переходять до менш токсичних, які видаляють з води. Активність речовини як окислювача визначається величиною окислювального потенціалу. Перше місце серед окислювачів займає фтор, який через високу агресивність не може бути використаний на практиці.

Для інших речовин величина окисного потенціалу дорівнює: для озону 2,07; для хлору – 0,94; для пероксиду водню – 0,68; для перманганату калію – 0,59.

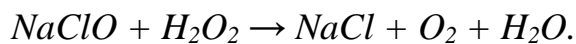
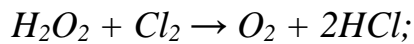
*Хлор* та речовини, що містять "активний" хлор, є найбільш поширеними окислювачами. Їх використовують для очищення стічних вод від сірководню, гідросульфідів, метилсірчистих сполук, фенолів, ціанідів тощо. При введенні хлору у воду утворюється хлорнуватиста і соляна кислоти:



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

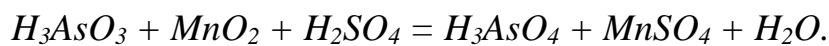
У розведених розчинах процес окислення органічних речовин відбувається повільно, тому використовують каталізatori – іони металів змінної валентності ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{CO}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{2+}$ ,  $\text{Ag}^{2+}$ ).

У процесах водообробки використовують також відновні властивості пероксиду водню. У нейтральному і слаболужному середовищах він легко взаємодіє з хлором та гіпохлоритами, переводячи їх у хлориди:



Ці реакції використовують при дехлоризації 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 та знезараження. Озон окислює як неорганічні, так і органічні речовини, розчинені в стічній воді. Озонуванням можна очищати стічні води від фенолів, нафтопродуктів, сірководню, сполук миш'яку, ПАР, ціанідів, барвників, канцерогенних ароматичних вуглеводнів, пестицидів та ін.

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

Дія озону в процесах окислення може відбуватись у трьох різних напрямках: безпосереднє окислення з участю одного атома кисню; приєднання цілої молекули озону до окислюваної, з утворенням озонідів; каталітичне посилення окисляє вплив кисню, наявного в озонованому повітрі. Окислення речовин може бути пряме і непряме, а також здійснюватися каталізом й озонолізом.

Кінетика прямих реакцій окислення може бути виражена рівнянням:

$$-\ln [C_t] / [C_0] = k [O_3] \cdot \tau,$$

де  $C_0$ ,  $C_t$  – початкова і кінцева концентрація речовини, мг/л;  $k$  – константа швидкості реакції, л/(моль·с);  $O_3$  – середня концентрація озону під час проходження реакції, мг/л;  $\tau$  – тривалість озонування, с.

*Непряме окислення* – це окислення радикалами, що утворюються в результаті переходу озону з газової фази в рідину і його саморозкладення. Каталіз – каталітичний вплив озонування полягає в посиленні ним

окислювальної здатності кисню, який наявний в озонованому повітрі. Озоноліз являє собою процес фіксації озону на подвійному або потрійному вуглецевому зв'язку з наступним його розривом і утворенням озонідів, котрі, як і озон, є нестійкими сполуками і швидко розкладаються. Озонування являє собою процес абсорбції, супроводжуваний хімічною реакцією в рідкій фазі. Витрата озону, необхідного для окислення забруднень, може бути визначена за рівнянням масообміну

$$M = \alpha F \Delta C \beta^*, \quad (3.43)$$

де  $M$  – витрата озону, що переходить з газової фази в рідку, кг / с;  $\beta$  – коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі при проходженні в ній хімічної реакції, м/с;  $F$  – поверхня контакту фаз, м<sup>2</sup>;  $\Delta C$  – рушійна сила процесу, кг/м<sup>3</sup>. Процес очищення стічних вод значно збільшується при сумісному використанні ультразвуку та озону, ультрафіолетового опромінення та озону. Ультрафіолетове опромінення прискорює окислення в 10<sup>2</sup> ... 10<sup>4</sup> разів.

Озон має високу окислювальну здатність і при нормальній температурі руйнує багато органічних речовин, що знаходяться у воді. При цьому можливе одночасне окислення домішок, дезодорація, знебарвлення, знезараження стічної води й насичення її киснем. Перевагою цього методу є відсутність хімічних реагентів при очищенні стічних вод. Розчинність озону у воді залежить від рН і кількості домішок у воді. За наявності у воді кислот та солей розчинність озону збільшується, а за наявності лугів – зменшується.

Озон дисоціює на повітрі й у водному розчині, перетворюючись на кисень. У водному розчині озон дисоціює швидше. Із зростанням температури і рН швидкість розпаду озону різко зростає. Озон можна отримати різними методами, але найбільш економічним є пропускання повітря або кисню через електричний розряд високої напруги (5000-25000 В) в генераторі озону (озонатори), який складається з двох електродів, розташованих на невеликій відстані один від одного. Промислове отримання озону ґрунтується на розщепленні молекул кисню з подальшим приєднанням атома кисню до нерозщеплених молекул під дією тихого напівкоронного або коронного електричного розряду. Для отримання озону необхідно застосовувати очищене та осушене повітря чи кисень. Одна із конструкцій промислового озонатора являє собою горизонтальну металеву трубчасту посудину типу теплообмінника, всередині кожної труби на прокладках з фторопласту, вставлені скляні циліндри, закриті з

одного кінця і мають на внутрішній поверхні графіті – мідне струмопровідне покриття (7000-10000 В). Корпус озонатора заземлений. Високовольтний газовий розряд виникає в тонкому кільцевому проміжку між металевою трубою й скляним циліндром. В установці озонування стічних вод з барботажним адсорбентом стічна вода надходить у змішувач, у якому вона змішується з реагентом для одержання необхідного значення рН, і далі насосом подається в барботажний адсорбер, а звідти – до збірника очищеної води. Озоно-повітряна суміш надходить у барботажний адсорбер з озонаторної установки. Відпрацьовані гази з адсорбера направляються в апарат для очищення і потім випускаються в атмосферу. Можлива також подача цих газів на рекуперацію озону. Змішання води з озонованим повітрям може здійснюватися різними способами: барботуванням води через фільтри, дірчасті (пористі) труби, шляхом змішування за допомогою ежекторів, мішалок і т.д. Щоб збільшити час контактування озону зі стічною водою та полегшити умови його розчинення, озонування слід проводити в два шаблі. Озонаторні установки на нафтобазах застосовують в основному для знезараження стічних вод від тетраетилсвинцю. Ефективність очищення досягає 80-90%. Для більш повного очищення необхідно застосовувати озонування за наявності каталізатора – силікагелю, який розташовується в контактній колоні шарами. Озон при транспортуванні до місця введення має тенденцію до розкладання, у зв'язку з чим комунікації озоно-повітряної суміші повинні бути максимально короткими. Найбільш придатним матеріалом трубопроводів для озоно-повітряної суміші є скло. Оптимальний час транспортування по скляному трубопроводу 6...8 хв., по трубопроводу з нержавіючої сталі – 4...6 хв. Перед подачею стічної води на озонаторну установку її очищають від емульгованих масел і нафтопродуктів.

### **3.10.3 Очищення стічних вод відновленням**

Методи відновного очищення стічних вод застосовують для видалення із 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. Для відновлення ртуті та її сполук застосовують сульфід заліза, боргідрид натрію, гідросульфід натрію, гідразин, залізний порошок, сірководень, алюмінієву пудру.



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, оснований на відновленні його до тривалентного з наступним осадженням у вигляді гідроксиду в лужному середовищі. Як відновники використовують активне вугілля, сульфат заліза, бісульфат натрію, водень, діоксид сірки, відходи органічних речовин, піритні недогарок.

Для відновлення хрому найбільш часто використовують розчини гідросульфїта натрію.

Для осадження тривалентного хрому застосовують лужні реагенти  $Ca(OH)_2$ ,  $NaOH$  та ін:  $Cr^{3+} + OH^- = Cr(OH)_3$

За наявності соди у стічних водах хром повністю видаляється з них.

### **3.11 Використання мембранних технологій для очищення стічних вод**

Дослідження процесів розділення з використанням молекулярних сит дозволило виокремити мембранний метод, як перспективний для тонкого очищення. Цей метод характеризується високою чіткістю розділення сумішей речовин. Напівпроникна мембрана – перегородка, що володіє властивістю пропускати переважно певні компоненти рідких або газоподібних сумішей. Широко мембранний метод використовують для оброблення води та водних розчинів, очищення стічних вод, очищення і концентрації розчинів.

#### **3.11.1 Мембрани**

Процеси мембранного очищення визначаються властивостями мембран, потоків у них і рушійних сил. Для цих процесів важливий характер потоків до мембрани з боку розділених середовищ і відведення продуктів розділення з протилежного боку. Принципова відмінність мембранного методу від традиційних прийомів фільтрування – поділ продуктів у потоці, тобто поділ без осадження на фільтроматеріалі осаду. Основні вимоги, рекомендовані до напівпроникної мембрани, що використовується в процесах мембранного поділу, такі: висока роздільна здатність (селективність); висока питома продуктивність (проникність); хімічна стійкість до дії середовища системи; незмінність характеристик при експлуатації; достатня механічна міцність, що відповідає умовам монтажу, транспортування та зберігання мембран; низька вартість. Для розділення або очищення деяких нетерmostійких продуктів застосування

мембранного методу є вирішальним, тому що цей метод працює при температурі навколишнього середовища.

У той же час мембранний метод має недолік – накопичення поділюваних продуктів поблизу робочої поверхні поділу. Це явище називають концентраційною поляризацією, яка зменшує проникнення поділюваних компонентів у прикордонний шар, проникність і селективність, а також скорочує терміни служіння мембран. Для запобігання цього явища проводять турбулізацію шару рідини, котра прилягає до поверхні мембрани, для прискорення перенесення розчиненої речовини. Для мембран використовують різні матеріали, а відмінність у технології виготовлення мембран дозволяє отримати відмінні за структурою і конструкцією мембрани, що застосовуються у процесах очищення. Процеси, що виникають при поділі сумішей, визначаються властивостями мембран. Необхідно враховувати молекулярні взаємодії між мембранами і розподільними потоками, фізико-хімічну природу яких визначає швидкість переносу. Ці взаємодії з матеріалом мембран відрізняють мембранний метод від мікроскопічних процесів звичайного фільтрування. Мембранні методи вирізняються типами використовуваних мембран, рушійними силами, що підтримують процеси поділу, а також галузями їх застосування. Існують мембранні методи шести типів: мікрофільтрація – процес мембранного розділення колоїдних розчинів і суспензій під дією тиску; ультрафільтрація – процес мембранного розділення рідких сумішей під дією тиску, оснований на розходженні молекулярних мас або молекулярних розмірів компонентів поділюваної суміші; зворотний осмос – процес мембранного розділення рідких розчинів шляхом проникнення через напівпроникну мембрану розчинника під дією прикладеного розчинного тиску, що перевищує його осмотичний тиск; діаліз – процес мембранного розділення за рахунок відмінності швидкостей дифузії речовин через мембрану, що проходить за наявності градієнта концентрації; електродіаліз – процес проходження іонів розчиненої речовини через мембрану під дією електричного поля у вигляді градієнта електричного потенціалу; розділення газів – процес мембранного розділення газових сумішей за рахунок гідростатичного тиску і градієнта концентрації.

У низці технологічних прийомів, що використовуються для розділення сумішей за розмірами частинок мембранним методам надають велике значення. Вибір процесу для застосування в заданій ділянці поділу

сумішей залежить від різних факторів: характеру поділюваних речовин, необхідного ступеня поділу, продуктивності процесу і його економічної оцінки. Промислове використання процесів мембранного розділення вимагає надійного, стандартного і технологічного устаткування. З цією метою застосовують мембранні модулі, які компактні, надійні й економічні. Вибір конструкції модуля залежить від виду процесу розділення та умов експлуатації в промислових установках.

Таблиця 3.13

Характеристика синтетичних мембран

Тип	Матеріал	Структура	Метод	Застосування
Керамічні й металічні	Глина, силікагель, алюмосилікат, графіт, срібло, вольфрам	Мікропори з діаметром від 0,05 до 20 мкм	Плавлення та спікання керамічних металічних порошків	Фільтрування при підвищених температурах, розділення газів
Скляні	Скло	Мікропори з діаметром від 10 до 100 мкм	Виведення розчинної кислоти фази із двокомпонентної	Фільтрування суспензій повітря
Спечені полімерні	Політетрафтор етилен, поліетилен, поліпропилен	Мікропори з діаметром від 0,1 до 20 мкм	Плавлення спікання полімерного порошку	Фільтрування суспензій повітря
Протравлені	Полікарбонат, поліефір	Мікропори з діаметром від 0,02 до 20 мкм	Опромінення полімерної плівки травлення кислотою	Фільтрування суспензій біологічних розчинів
Симетричні мікропористі зі зворотною фазою	Целюлозні ефіри	Мікропори з діаметром від 0,1 до 10 мкм	Виливка полімерного розчину осадження полімера осаджувачем	Стерильне фільтрування, очищення води, діаліз
Асиметричний	Целюлозний ефір, поліамід,	Гомогенна чи мікропориста	Лиття полімерного	Ультрафільтрація і розділення

Тип	Матеріал	Структура	Метод	Застосування
	полісульфон	, «покриття» мікропористої підкладки	розчину осадження полімера осаджувачем	ізворотним осмосом молекулярних розчинів
Складові	Целюлозний ефір, поліамід, полісульфон	Гомогенна полімерна плівка на мікропористій підкладці	Осадження тонкої плівки на мікропористій підкладці	Зворотний осмос, розділення молекулярних розчинів
Гомогенні	Силіконовий каучук	Гомогенна полімерна плівка	Екструзія гомогенної полімерної плівки	Розділення газів
Іонообмінні	Полівінілхлорид, полісульфон, поліетилен	Гомогенна чи мікропориста полімерна плівка позитивно чи негативно зарядженими фіксованими іонами	Занурення іонообмінного порошку в полімер чи сульфонування й амінування гомогенної полімерної плівки	Електродіаліз, знесолювання

Таблиця 3.14

## Промислові процеси розділення з використанням мембран

Процес	Мембрана	Рухома сила	Метод розділення	Застосування
Мікрофільтрація	Симетрична мікропориста мембрана з радіусом пор від 0,1 до 10 мкм	Гідростатичний тиск від 0,01 до 0,1 Мпа	Сітчастий механізм, зумовлений радіусом пор і адсорбцією	Стерильне фільтраційне освітлення
Ультрафільтрація	Асиметрична мікропориста мембрана з радіусом пор	Гідростатичний тиск від 0,05 до 0,5 Мпа	Сітчастий механізм	Розділення макромолекулярних розчинів

Процес	Мембрана	Рухома сила	Метод розділення	Застосування
	від 1 до 10 мкм			
Зворотний осмос	Асиметрична мембрана типу «оболонки»	Гідростатичний тиск від 20 до 10 Мпа	Механізм дифузії розчину	Відділення солей і мікророзчинених речовин від розчинів
Діаліз	Симетрична мікропориста мембрана з радіусом пор від 0,1 до 10 мкм	Гідростатичний градієнт концентрації	Дифузія в конвективному вільному шарі	Відділення солей і мікророзчинених речовин від макромолекулярних розчинів
Електродіаліз	Катіоно-аніонообмінні мембрани	Гідростатичний градієнт електричного потенціалу	Електричний заряд і розмір	Знесолювання іонних розчинів
Розділення газів	Гомогенний чи пористий полімер	Гідростатичний тиск, градієнт концентрації	Розчинність, дифузія	Розділення газових сумішей

### 3.11.2 Мікрофільтрація

Мікрофільтрація – процес мембранного розділення колоїдних розчинів і суспензій під дією тиску. Розмір поділюваних частинок становить від 0,1 до 10 мкм. Мікрофільтрація – перехідний процес від звичайного фільтрування до мембранних методів. Для мікрофільтрації використовують мембрани із симетричною мікропористою структурою. Розміри пор від 0,1 до 10 мкм. Дрібні частинки розчиненої речовини й розчинник проходять через мембрану, а концентрація затримуваних частинок зростає. Потік розчину вздовж розділової мембрани дозволяє видаляти концентрований шар, домішки твердих частинок та інших утворень, від яких була необхідність звільнити розчин і розчинник. Пройшов через мембрану розчинник виносить мікророзчинення, які направляють на технологічні лінії для розділення в наступних циклах. Широко мембранний метод мікрофільтрації використовують при поділі суспензій, емульсій та очищенню забруднених механічними домішками

промислових стічних вод, а також при отриманні стерильних розчинів. Уживані для мікрофільтрації мембрани мають пористу структуру і діють як глибокі фільтри. Утримувані частинки осаджуються всередині мембранної структури. Для видалення осідаючих часток з поверхні мікрофільтраційної мембрани використовують прийоми спеціального впливу: поперечний потік, зворотне промивання, ультразвукова вібрація.

Довговічність мембран залежить від хімічної стійкості матеріалу, з якого вони зроблені. Мікрофільтрації здійснюють в апаратах плоскорамного типу. При промисловому використанні мікрофільтрації зазвичай застосовують горизонтальні пластинчасті системи або патронні фільтри; найбільш поширені рамні фільтр-преси. Як патронні фільтри застосовують гофрований мембранний патрон, розташований у корпусі, розрахованому на роботу під тиском. Вихідний розчин надходить у фільтр з боку корпусу, продукт збирається в центральній трубці, яка ущільнена з корпусом прокладкою. При постійному гідростатичному тиску продуктивність фільтра поступово зменшується до значення, при якому подальша експлуатація стає неекономічною і фільтр замінюють.

Таблиця 3.15

Порівняльна характеристика апаратів різних типів

Тип	Переваги	Недоліки
Фільтр-прес	Невеликий об'єм води в апараті на одиницю поверхні мембрани, надійність і простота конструкції, незначна зайнята площа підлоги	Можливість утворення застійних зон, важкодоступний для очищення, невелика щільність укладки мембран в апараті до 150 м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> , ручна зборка
Фільтр-прес с вузькими переточними каналами	Те ж, зручність роботи з в'язкими розчинами за рахунок підвищення лінійної швидкості потоку, що змазує мембрану	Те ж, можливість утворення корків, щільність укладки мембран до 200-250 м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>
Трубчасті прямими трубами	Простота очищення, невеликий гідравлічний опір, можливість ефективного зниження концентраційної	Великий об'єм води в апараті, порівняно висока вартість, великі габарити і зайнята площа підлоги, щільність укладки мембран

Тип	Переваги	Недоліки
	поляризації, можливість заміни окремих трубчастих елементів	160-200 м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>
З трубами, звернутими по спіралі	Те ж, крім простоти очищення	Те ж, крім великих габаритів
Рулонні	Низькі капітальні витрати, щільність укладання мембран до 650 м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> , незначна зайнята площа підлоги, незначний об'єм води в апараті	Можливість утворення корків, важкість очищення, підвищений гідравлічний опір
З порожнистими волокнами	Мінімальна вартість, максимальна щільність укладки мембран (до 16500 м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup> ), невеликий об'єм води в апараті	Важкість роботи на забруднених рідинах, важкість очищення, можливість утворення корків, високі вимоги до попередньої водопідготовки, підвищений гідравлічний опір, значно більш низька питома продуктивність мембран

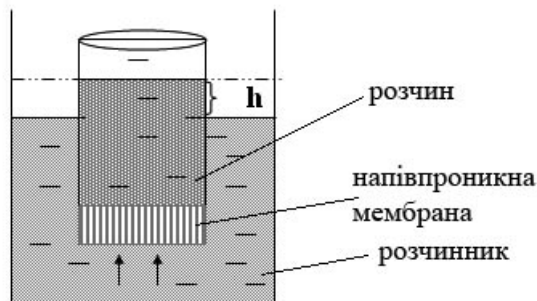
### 3.11.3 Ультрафільтрація та зворотний осмос

*Зворотним осмосом й ультрафільтрацією* називають процеси фільтрування розчинів через напівпроникні мембрани, які вибірково пропускають розчинник і повністю або частково затримують молекули розчинених у них речовин, під тиском, що перевищує осмотичний тиск.

В основі цих способів лежить явище осмосу – самовільного переходу розчинника (води) в розчин через напівпроникну мембрану. Тиск  $\pi$  у розчині, що змушує розчинник переходити через мембрану, називають осмотичним.

Осмотичний тиск, який виникає при дифузійному процесі мимовільного переходу розчинника через розділову мембрану, напівпроникну в ділянку більш концентрованого розчину, називають осмосом. Зворотний осмос – процес мембранного розділення рідких

розчинів шляхом переважного проникнення через напівпроникну мембрану розчинника під дією прикладеного до розчину тиску, що перевищує його осмотичний тиск. Осмос – самовільний перехід розчинника через напівпроникну перегородку в розчин.



Зворотний осмос використовують для розділення розчинів без фазових перетворень. Розчинник дифундує через мембрану, а розчинена речовина затримується. Як і при ультрафільтрації, при зворотному осмосі не потрібно підвищення температури та хімічного впливу. Процес зворотного осмосу відрізняється від ультрафільтрації галуззю застосування й апаратами. Недоліки методу зворотного осмосу – процеси концентраційної поляризації та підвищену вимогу до ущільнюючих пристроїв апаратів.

Створивши над розчином тиск  $p_1$ , котрий дорівнює осмотичному, осмос припиняється і настає стан рівноваги. Якщо ж над розчином створити надмірний тиск  $p_2$ , котрий перевищує осмотичний тиск  $\pi$  на величину  $\Delta p$ , то перехід розчинника буде здійснюватися у зворотному напрямку й тоді процес називають зворотним осмосом.

Величина осмотичного тиску  $\pi$  (в Па) для розчинів визначається за рівнянням Вант-Гоффа

$$\pi = \beta R T C / M, \quad (3.44)$$

де  $\beta = (1 + \alpha)$  – коефіцієнт Вант-Гоффа;  $\alpha$  – ступінь дисоціації розчиненої речовини;  $R$  – газова постійна;  $T$  – абсолютна температура розчину, К;  $c$  – концентрація розчиненої речовини, г/л;  $M$  – молекулярна маса розчиненої речовини, г/моль.

Механізм фільтрування через пористу мембрану пояснюється тим, що пори такої мембрани досить великі, щоб пропускати молекули розчинника, але дуже малі, щоб пропускати молекули розчинених речовин. При зворотному осмосі відокремлюються частки (молекули, гідратовані іони), розміри яких не перевищують розмірів молекул розчинника.



При ультрафільтрації відбуваються поділ, фракціонування й концентрування розчинів. Один з розчинів збагачується розчиненою речовиною, а інший збіднюється. Мембрани пропускають розчинник і певні фракції молекулярних з'єднань. Рушійна сила ультрафільтрації – різниця тиску по обидві сторони мембрани. Ця сила витрачається на подолання сил тертя та взаємодії між молекулами рідкої фази й полімерними молекулами мембрани. Зазвичай процес ультрафільтрації проводять при порівняно низьких робочих тисках 0,3 – 1 МПа. Збільшення тиску вищезазначеного призводить до ущільнення мембрани, зменшення діаметра пор, зміни селективності розділення і, як правило, до зниження продуктивності. Ультрафільтрації зазвичай піддаються речовини, в яких молекулярна маса розчинених компонентів набагато більше молекулярної маси розчинника. Ефективність поділу залежить від структури мембран, швидкості течії та концентрації поділюваної розчину, форми, розміру й дифузійної здатності розчинених молекул. Недолік процесу – сильна концентраційна поляризація, тобто на поверхні мембрани може утворюватися щільний осад – шар гелю. Гідравлічний опір цього шару в низці випадків може бути вищим, ніж опір самої мембрани. Способи зниження концентраційної поляризації різні: збільшення швидкості омивання поверхні мембрани потоком поділюваної рідини, робота в пульсуючому режимі подачі розчину, турбулізація потоку. Точка гелеутворення залежить від його хімічних та фізичних властивостей. Ультрафільтрація – нова технологія. Результат розділення – два розчини, один з яких є збагаченим, а інший – збіднений розчиненою речовиною, які містяться у вихідному розчині, що підлягає поділу. Велике значення має використання цього процесу при поділі речовин, чутливих до температурного режиму, оскільки при ультрафільтрації розчини не нагріваються і не піддаються хімічному впливу. Звідси дуже низькі енергетичні витрати, приблизно в 20 – 60 разів нижче, ніж при дистиляції. З усіх видів мембранного розділення ультрафільтрація знайшла найбільш різноманітне застосування. Важливе промислове застосування ультрафільтрації – поділ емульсії масла і води. Ультрафільтраційні системи за рахунок поверхонь фільтрації й міцної структури матеріалу мембран забезпечують поділ розчинів без утрат і відділення чистого фільтрату від суспензій. Тому ультрафільтрацію часто використовують для уловлювання волокон та часток з фільтрату після використання волокнистих і зернистих фільтрів іонообмінних та сорбційних систем.

Галузь використання ультрафільтрації постійно розширюється. Причина цього – можливість відновлення зі стічних вод цінних компонентів, які іншим способом відновити дуже важко або взагалі неможливо. Стійкість матеріалу, з якого виготовлені мембрани, визначає їх довговічність і працездатність. Мембрани на основі похідних целюлози нестійкі до дії кислот та лугів. Ацетатні мембрани найбільш стійкі на ділянці рН = 4,5-5; при рН = 6 термін служби цих мембран скорочується майже вдвічі, а при рН = 10 становить усього кілька днів. Ацетатні мембрани нестійкі до дії органічних розчинників і активних речовин, оскільки вони утворюють сольвати із ацетату целюлози, викликаючи їх набухання.

Таблиця 3.16

Умови та характеристики матеріалів, використовуваних для виготовлення мембран

Матеріал	рН	Макс. температура при рН=7,(°С)	Стійкість до впливу	
			хлора	розчинників
Ацетат целюлози	4,5-9	55	Добра	Погана
Поліамід	3-12	80	Погана	Добра
Полісульфен	0-14	80	Добра	Добра
Поліакрилонітрил	2-12	60	Добра	Погана
Поліфуран	2-12	90	Погана	Добра

На селективність мембран, крім співвідношення розмірів молекул, часток і розмірів пор, впливає обмінна взаємодія між розчиненою речовиною й речовиною мембрани. Ультрафільтрація дозволяє проводити очищення стічних вод від домішок нафтопродуктів, коли гідрофобні молекули вуглеводнів затримуються гідрофільними полярними ацетатцелюлозними мембранами (АЦМ) з розмірами пор, що перевищують розміри молекул затримуваних речовин. Експлуатаційні характеристики мембран багато в чому залежать від гідродинамічних умов у поверхні мембрани. Характеристики мембран можуть змінюватися і при тривалому зберіганні. У мембранному апараті розміщують мембранні модулі, що включають у себе один або кілька з'єднаних мембранних елементів. За способом укладання мембран модулі для розділення методами ультрафільтрації та зворотного осмосу, поділяють на чотири основних типи: плоскорамні типу фільтр-прес, трубчасті, рулонні, капілярні (у

вигляді порожнистих волокон). Конструкції мембранних модулів розрізняються між собою розподілом вихідного потоку, робочим тиском, капітальними та експлуатаційними витратами. До недоліків трубчастих систем можна віднести порівняно високі капітальні й експлуатаційні витрати. Апарати з трубчастими фільтруючими елементами застосовують для процесу ультрафільтрації.

Таблиця 3.17

Ультрафільтраційні мембранні модулі, що використовуються при ультрафільтрації

Тип модуля	Питома поверхня, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	Капвитрати	Експл. витрати	Регулювання потоку	Легкість очищення
Трубчастий	25-50	Високі	Високі	Добре	Добре
Плоскорамний	400-600	Високі	Низькі	Середнє	Погана
Рулонний	800-1000	Дуже низькі	Низькі	Погане	Погана
Порожнисті волокна	600-1200	Низькі	Низькі	Добре	Середня

Рулонний модуль являє собою систему плоских рам і плит, згорнутих у вигляді спіралі. Апарати рулонного типу широко застосовують у техніці поділу й концентрації розчинів. Високоєфективним є використання ультрафільтраційних апаратів для очищення та знебарвлення висококольорових маломутних природних вод від розчинених органічних речовин та мікроорганізмів.

Таблиця 3.18.

Показники якості вихідної висококольорової маломутної води, обробленої ультрафільтраційних методом

Показник	До установки	Після установки
Мутність, мг/л	0,1-4	0
Перманганатна окислюваність, мг О <sub>2</sub> /л	15-20	3,4-5,5
Жорсткість загальна, мг.екв/л	0,44	0,18
Лужність, мг.екв/л	0,29	0,22
Сульфати, мг/л	Следи	Следи
Температура, °С	0,2-0,5	0,3-0,6
Колі-індекс	2380	< 3

Процеси ультрафільтрації добре поєднуються з різними методами розділення і концентрування рідких середовищ: зворотний осмос, діаліз, електродіаліз та ін.. При цьому створюються вискоефективні технологічні ланцюги із замкнутим водопостачанням та поверненням у виробництво цінних продуктів у концентрованому вигляді. Техніко-економічні показники мембранних методів розділення характеризують процес ультрафільтрації як малоенергоємних з низкою переваг у порівнянні з іншими методами.

Таблиця 3.19

Порівняльні техніко-економічні показники методів на стадії попереднього очищення природних вод

Показник	Очищення	
	електрокоагуляція	ультрафільтрація
Ступінь очищення від орг. речовин, %	50-60	40-70
Ступінь очищення від колоїдів заліза, %	30-40	70-90
Знекремнювання, %	20-30	20-30
Ступінь затримання мікрочастинок розміром > 0,5 мкм, %	-	99,9
Витрата електроенергії, кВт/м <sup>3</sup>	0,6	1,1
Витрата заліза, г/м <sup>3</sup>	30	0
Питома продуктивність, м <sup>2</sup> /(м <sup>3</sup> .ч)	2	0,7
Металоємність, кг/м <sup>3</sup>	0,8	0,2

Зворотний осмос і ультрафільтрація принципово відрізняються від звичайного фільтрування. Якщо при звичайному фільтруванні осад відкладається на фільтрувальній перегородці, то при зворотному осмосі й ультрафільтруванні утворюються два розчини, один з яких збагачений розчиненою речовиною.

Зворотний осмос широко використовується для знесолення води в системах водопідготовки теплоелектроцентралей (ТЕЦ) і підприємств з виробництва напівпровідників, кінескопів, медикаментів, для очищення деяких промислових та міських стічних вод. Установа зворотного осмосу (рис. 2.46.) складається з насоса високого тиску й модуля (мембранного

елемента), з'єднаних послідовно. 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 забруднювачів менше, ніж розмір молекул води. Це пояснюється явищем адсорбції молекул води на поверхні мембрани.

При ультрафільтрації розчинені речовини затримуються на мембрані тому, що розмір молекул їх більше, ніж розмір пор, або внаслідок великого тертя їх молекул об стінки пор мембрани. Ефективність процесу залежить від властивостей мембран. Вони повинні володіти високою селективністю, великою проникністю, стійкістю до дії середовища, сталістю характеристик у процесі експлуатації, достатньою механічною міцністю, низькою вартістю.

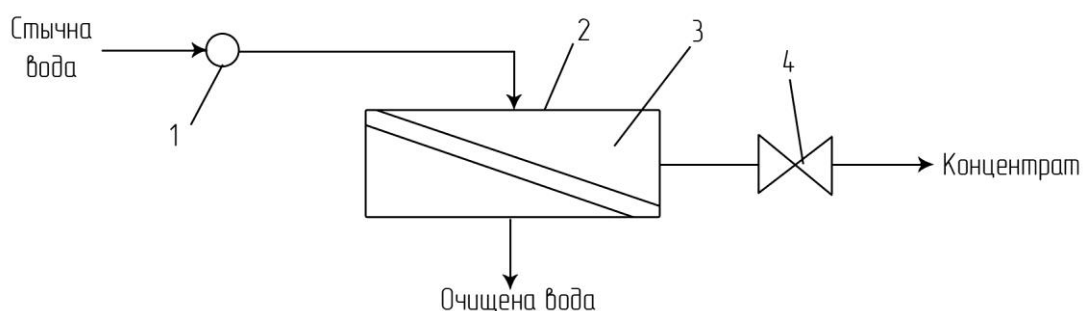


Рис. 3.48 Схема установки зворотного осмосу: 1 – насос; 2 – модуль зворотного осмосу, 3 – мембрана, 4 – випускний клапан

Для проведення процесу застосовують непористі – динамічні й дифузійні мембрани, що являють собою квазігомогенні гелі, та пористі мембрани у вигляді тонких плівок, виготовлені з полімерних матеріалів. Найбільш поширені полімерні мембрани з ацетатцелюлози, поліетилену, політетрафторетилену, пористого скла. Процес мембранного поділу залежить від тиску, гідродинамічних умов і конструкції апарата, фізико-хімічної природи й концентрації стічних вод, умісту в них домішок, від температури. Збільшення концентрації розчину призводить до зростання осмотичного тиску розчинника, підвищенню в'язкості розчину і зростання концентрації поляризації, тобто до зниження проникності та селективності.

Переваги методу – відсутність фазових переходів при відділенні 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 розділення компонентів і терміну служби мембран; проведення процесу при підвищених тисках, що вимагає спеціальних ущільнень апаратури.

Зворотний осмос рекомендується використовувати при такій концентрації електролітів: для одновалентних солей – не більше 5 ... 10%; для двовалентних – 10 ... 15%; для багатовалентних – 15 ... 20%. Для органічних речовин ці межі вищі. Для зменшення впливу концентрації поляризації організовують рециркуляцію розчину і турбулізацію прилеглого до мембрани шару рідини.

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 високому тиску відбувається ущільнення матеріалу мембран, що викликає зниження проникності, тому для кожного виду мембран установлюють максимальний робочий тиск. Зі зростанням температури збільшується проникність мембран, але при цьому підвищується осмотичний тиск, який зменшує проникність; також починається усадка і стягування пор 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 й 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) типу фільтр-прес з плоскопаралельними фільтруючими пристроями;
- 2) з трубчастими фільтруючими елементами;
- 3) з рулонними або спіральними елементами;
- 4) з мембранами у вигляді порожнистих волокон.

Характерні вимоги, пропоновані для оборотноосмотичних мембран – високі проникність і селективність, а також здатність протистояти значній різниці тиску по обидва боки мембрани. Характеристики різних мембран наведені в таблиці.

Таблиця 3.20

## Характеристика ацетатцелюлозних мембран різних типів

Показник	МГА-80	МГА-90	МГА-95	МГА-100
Дефектність у структурі	-	-	Відсутність поперечних і продольних полос	
Загальна пористість, %	75±3	75±3	75±3	75±3
Водопроникність при тиску 5 МПа, л/(м <sup>2</sup> .добу), не менше ніж	600	350	250	150
Солезатримування, %, не менше ніж	80	90	95	97,5

Крім ущільнювальних мембран з різних полімерів використовують мембрани з жорсткою структурою, отримані плазмовою полімеризацією. Їх здатність – стабільне збільшення селективності й проникності протягом тривалого часу (перші 6-8 добу), відмінні характеристики при порівняно високій концентрації вихідного розчину. До мембран з жорсткою структурою відносять металеві, з пористого скла, динамічні та ін. Великий розвиток дістають динамічні мембрани. На установках зворотного осмосу застосовують попередню фільтрацію вихідної води від твердих частинок і забруднень. Кількість концентрату становить зазвичай 25–50% від кількості розчину, який надходить.

### 3.12 Електрохімічні методи очищення стічних вод

Для очищення стічних вод від різних розчинних і диспергованих домішок застосовуються процеси анодного окислення й катодного відновлення, електрокоагуляції, електрофлокуляції та електродіаліз. Усі ці процеси відбуваються на електродах при проходженні через стічну воду постійного електричного струму (рис. 2.47). Електрохімічні методи дозволяють отримувати 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.

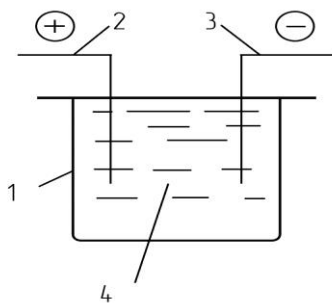


Рис. 3.49 Схема електролізу: 1 – корпус; 2 – анод; 3 – катод; 4 – діафрагма

При проходженні стічної води через міжелектродний простір електролізера відбувається електроліз води, поляризація частинок, електрофорез, окислювально-відновні процеси, взаємодія продуктів електролізу один з одним.

Ефективність електрохімічних методів оцінюється за щільністю струму, напругою, коефіцієнтом корисного використання напруги, виходом по струму, виходом по енергії. Щільність струму – це відношення струму до поверхні електрода ( $A/m^2$ ,  $A/cm^2$ ).

Напруга електролізера складається з різниці електродних потенціалів і падіння напруги в розчині:

$$U = e_a - e_k + \Delta e_a + \Delta e_k + \Delta U_{el} + \Delta U_{diaф}, \quad (3.45)$$

де  $e_a$  і  $e_k$  – рівноважні потенціали анода і катода;  $\Delta e_a$  і  $\Delta e_k$  – величина анодної та катодної поляризації;  $\Delta U_{el}$  і  $\Delta U_{diaф}$  – падіння напруження в електроліті й діафрагмі.

Падіння напруги в електроліті (стічній воді) за відсутності пухирців газу визначають за законом Ома:

$$\Delta U_{el} = i \cdot \rho \cdot \delta, \quad (3.46)$$

де  $i$  – щільність струму в стічній воді,  $A/cm^2$ ;  $\rho$  – питомий опір,  $Om \cdot cm$ ;  $\delta$  – відстань між електродами,  $cm$ .

При виділенні газових бульбашок, унаслідок подовження потоку між електродами,  $\Delta U_{el}$  зростає. Відношення  $\eta_{напр} = (e_a - e_k)/U$  називають коефіцієнтом корисного використання напруги.

Вихід по струму – це відношення теоретично необхідної кількості електрики до практично витраченої, виражене в частках одиниці або в % (відсотках).

**Анодне окислення і катодне відновлення.** В електролізері (рис.3.50) на позитивному електроді – аноді іони віддають електрони, тобто проходить реакція електрохімічного окислення; на негативному



електроді – катоді відбувається приєднання електронів, тобто проходить реакція відновлення. Ці процеси розроблені для очищення стічних вод від розчинених домішок (ціанідів, амінів, спиртів, альдегідів, нітросполук, сульфідів, меркаптанів). У процесах електрохімічного окислення речовини, що знаходяться в стічній воді, повністю розпадаються з утворенням  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  та  $\text{H}_2\text{O}$  або утворюються більш прості й не токсичні речовини, які можна видаляти іншими методами.

Як анод використовують електрохімічно нерозчинні матеріали: графіт, магнетит, діоксиди свинцю, марганцю і рутенію, котрі наносять на титанову основу. Катоди виготовляють з молібдену, вольфраму сплаву із залізом або нікелем, з графіту, нержавіючої сталі та інших металів, покритих молібденом, вольфрамом або їх сплавами. Процес проводять в електролізерах з діафрагмою і без неї. Крім основних процесів електроокислення й відновлення, одночасно можуть відбуватися електрофлотація, електрофорез і електрокоагуляція.

**Електрокоагуляція.** При використанні нерозчинних електродів коагуляція може відбуватися в результаті електрофоретичних явищ та розряду заряджених частинок на електродах, утворених у розчині речовин (хлор, кисень), що руйнують сольватні оболонки на поверхні частинок забруднень. Такий процес можна використовувати для очищення стічних вод при невисокому вмісті колоїдних частинок і низької стійкості забруднень. Схема електрокоагуляційної установки наведена на рисунку 3.51.

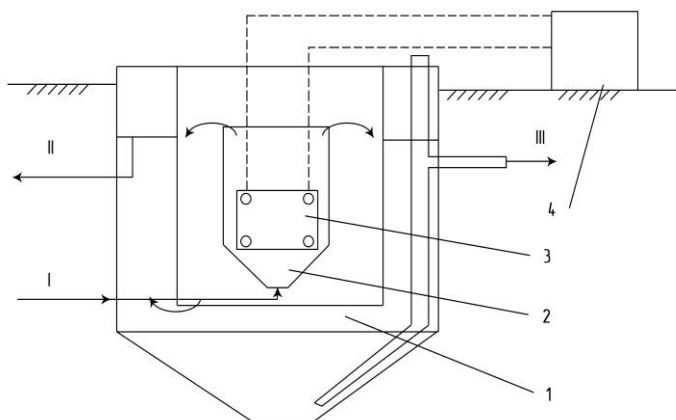


Рис. 3.51 Електрокоагуляційна установка: I – подача стічної води; II – відведення освітленої води; III – випускання осаду; 1 – відстійник; 2 – резервуар-електрокоагулятор; 3 – пакет плоских листових сталевих електродів; 4 – випрямляч електричного струму

Для очищення промислових стічних вод, що містять високостійкі забруднення, проводять електроліз з використанням *розчинних сталевих або алюмінієвих анодів* (рис. 3.52). 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. З підвищення концентрації зважених речовин більше ніж 100 мг/л ефективність електрокоагуляції знижується. Зі зменшенням відстані між електродами витрата енергії на анодне розчинення металу зменшується. Електрокоагуляцію рекомендується проводити в нейтральному або слаболужному середовищі при щільності струму не більше ніж  $10 \text{ A/m}^2$ , відстані між електродами не більше ніж 20 мм і швидкості руху не менше ніж 0,5 м/с.

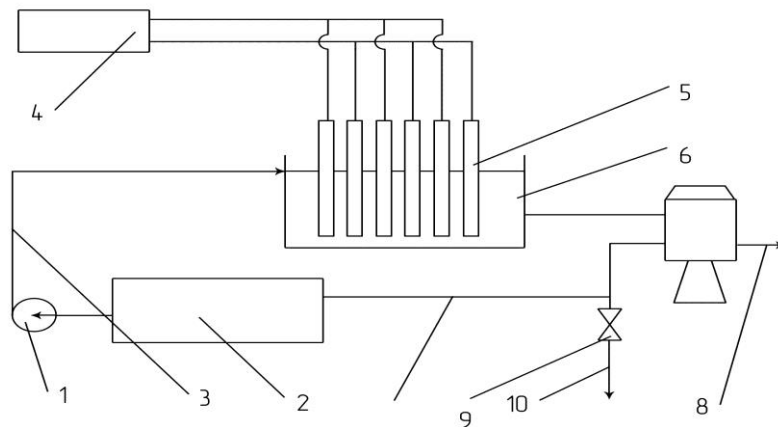


Рис. 3.52 Схема електрокоагуляційного очищення стічних вод: 1 – насос; 2 – промивна ванна; 3 – трубопровід; 4 – випрямляч електричного струму; 5 – електроди; 6 – електролізер; 7 – центрифуга; 8 – відвід осаду; 9 – вентиль; 10 – зливання очищеної води; 11 – трубопровід для подачі води при повторному користуванні.

Переваги електрокоагуляції: відсутність потреби в реагентах, мала чутливість до змін умов процесу очищення, отримання шламу з хорошими структурно-механічними властивостями. Недолік методу – підвищена витрата металу й електроенергії.

**Електрофлотажія.** Стічна рідина при пропусканні через неї постійного електричного струму насичується бульбашками водню, що утворюється на катоді. Електричний струм, що проходить через стічну воду, змінює хімічний склад рідини, властивості й стан нерозчинних домішок. В одних випадках ці зміни позитивно впливають на процес очищення стоків, в інших – ними треба управляти, щоб отримати

максимальний ефект очищення. При проходженні води через міжелектродний простір відбуваються такі процеси, як електроліз, поляризація частинок, електрофорез, окислювально-відновні реакції, а також реакції між окремими продуктами електролізу. Інтенсивність процесів, що відбуваються, залежить від хімічного складу стічної води, матеріалу електродів, які можуть бути розчинними й нерозчинними, і від параметрів електричного струму (напруга та щільність). Застосування розчинних електродів (залізних або алюмінієвих) викликає анодне розчинення металу. В результаті цього процесу у воду переходять катіони заліза або алюмінію, які, зустрічаючись із гідроксильними групами, утворюють  $Al_2O_3$ ,  $Al(OH)_3$  або  $Fe_2O_3$ ,  $Fe(OH)_3$ , що є поширеними в практиці обробки води коагулянтами. Одночасне утворення пластівців коагулянту і бульбашок газу в обмежених умовах міжелектродного простору створює передумови для надійного закріплення газових пухирців на пластівцях, інтенсивної коагуляції забруднень, енергійного проходження процесів сорбції, адгезії та як наслідок більш ефективної флотації. Коагуляція забруднень у міжелектродному просторі може відбуватися не тільки за рахунок розчинення анода, але й у результаті електрофізичних явищ, розряду заряджених частинок на електродах. Ці процеси особливо виявляються у разі застосування нерозчинних електродів. Вибір матеріалу електродів може бути пов'язаний з агрегативно стійкістю частинок забруднень стічної рідини. Матеріал та геометричні параметри електродів впливають на розмір бульбашок газу. Заміна пластинчастих електродів на дротяну сітку призводить до зменшення крупності бульбашок і, отже, до підвищення ефективності очищення води.

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

Основну роль при електрофлотації відіграють бульбашки, що утворюються на катоді. Розмір бульбашок водню значно менший, ніж при інших методах флотації. Діаметр бульбашок змінюється від 20 до 100 мкм. Дрібні бульбашки водню мають більшу розчинність, ніж великі. З перенасичених газом розчинів стічних вод найдрібніші бульбашки виділяються на поверхні частинок забруднень, сприяючи ефекту флотації.

Оптимальне значення щільності струму 200 ... 260 А/м<sup>2</sup>, газовміст – близько 0,1%.

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

Електродіаліз – процес сепарації іонів солей, здійснюваний у мембранному апараті під дією постійного електричного струму, застосовуваний для опріснення високомінералізованих стічних вод. Процес очищення стічних вод електродіалізом оснований на поділі іонізованих речовин під дією електрорушійної сили, створюваної в розчині по обидві сторони мембран. Цей процес широко використовують для опріснення солоних вод. Останнім часом його почали застосовувати і для очищення промислових стічних вод.

Процес проводять у електродіалізаторах, найпростіша конструкція яких складається з трьох камер, відокремлених одна від одної мембранами. В середню камеру заливають розчин, а в бічні, де розташовані електроди, – чисту воду. Аніони струмом переносяться в анодний простір. На аноді виділяється кисень і утворюється кислота. Одночасно катіони переносяться в катодний простір. На катоді виділяється водень й утворюється луг. У міру проходження струму концентрація солей в середній камері зменшується до тих пір, поки не стане близькою до нуля.

У найпростішому електродіалізаторі є дві мембрани. Одна з них – аніонообмінна – пропускає в анодну зону аніони. Інша мембрана – катіонообмінна – розташована з боку катода і пропускає катіони в катодний простір. Зазвичай електролізери для очищення води роблять багатокамерними: 100 – 200 камер з чергуванням катіоно- й аніонопроникними мембранами. Електроди поміщають у крайніх камерах. У багатокамерних апаратах досягається найбільший вихід по струму. Електродіалізатор розділений чергованими катіонітовими та аніонітовими мембранами, створюючи концентровані (ропні) й знесолюючи (дилуатні) камери.

Під впливом постійного струму катіони, рухаючись до катода («-»), проникають через катіонітові мембрани, але затримуються ваніонітових, а аніони, рухаючись в напрямку "анода («+»), проходять через аніонітові мембрани, але затримуються катіонітовими. У результаті цього з одного ряду камер (наприклад, парних) іони обох знаків виводяться в суміжний

ряд камер. Мембрани для електродіалізатора виготовляють у вигляді гнучких листів прямокутної форми або рулонів з термопластичного полімерного сполучення і порошку іонообмінних смол. У таблиці 7.1 наведено основні властивості іонітових мембран, що випускаються вітчизняною промисловістю. Електродіалізні апарати бувають двох типів: прокладкові і лабіринтові.

Електродіалізатори прокладного типу (ЕДУ-50, ЕХО-М-5000×200, «Родник-3») мають горизонтальну вісь електричного поля; їхня пропускна здатність 2 – 20 м<sup>3</sup>/год. Електродіалізатори лабіринтового типу (Е-400М, Еду-2, Еду-1000, АЕ-25) мають вертикальну вісь електричного поля; їхня пропускна здатність 1 – 25 м<sup>3</sup>/год. Оптимальна сфера застосування електродіалізаторів – для стічних вод із концентрацією солей 3 – 8 г/л. У всіх конструкціях електродіалізаторов в основному застосовують електроди, виготовлені з платинованого титану. Для ефективної роботи апаратів велике значення має промивання електродних камер, що охороняє крайні мембрани від руйнування продуктами електролізу.

Технологічні схеми електродіалізних установок (ЕДУ) складаються з таких вузлів: 1) апаратів попередньої підготовки вихідної води; 2) власне електродіалізної установки; 3) кислотного господарства та системи стисненого повітря; 4) фільтрів, завантажених активованим вугіллям БАУ або АГ-3, і бактерицидних установок. Технологічні схеми бувають наступних типів – прямотечійні, циркуляційні порційні, циркуляційні безперервної дії.

Прямотечійні ЕДУ, в яких стічна вода послідовно або паралельно проходить через апарати установки, і солеміст води знижується від вихідного до заданого за один прохід.

Циркуляційні (порційні) ЕДУ, в яких певний обсяг частково знесоленої води з бака ділюата перекачується через мембранний електродіалізний апарат назад у бак до тих пір, поки не буде досягнуто необхідний ступінь знесолення.

Циркуляційні ЕДУ безперервної дії, в яких частина стічної води безперервно змішується з частиною неповністю знесоленої води (ділюата), проходить через електродіалізатор і подається споживачу або в резервуар очищеної води. ЕДУ з апаратами, що мають послідовну гідравлічну систему руху потоків у робочих камерах.

Кожна із зазначених вище технологічних схем має певні переваги та недоліки, і їх вибір проводиться на підставі техніко-економічних

розрахунків. Вихідними параметрами для розрахунку є: конкретні місцеві умови, пропускна здатність ЕДУ, солевміст і склад оброблюваних стічних вод. Наприклад, при добовій витраті стічних вод понад 300 – 500 м<sup>3</sup> вважається раціональним застосування технологічних схем прямопоточного типу. При використанні електрохімічно активних (іонообмінних) діафрагм підвищується ефективність процесу і знижується витрата електроенергії. Іонообмінні мембрани проникні тільки для іонів, що мають заряд того ж знаку, що й у рухливих іонів. Зазвичай електролізери для очищення води роблять багатокамерними (100 – 200 камер) з чергуються катіоно-та аніонопроникними мембранами. Електроди поміщають у крайніх камерах. У багатокамерних апаратах досягається найбільший вихід по струму. Для знесолення води застосовують гомогенні й гетерогенні мембрани. Гомогенні мембрани складаються тільки з однієї смоли і мають малу механічну міцність. Гетерогенні мембрани являють собою порошок іоніту, змішаний зі сполучною речовиною – каучуком, полістиролом, метилмеркаптаном та ін. З цієї суміші вальцюванням отримують пластини. Мембрани повинні володіти малим електричним опором. На ефективність роботи електродіалізатора великий вплив робить відстань між мембранами. Зазвичай вона становить 1 – 2 мм. Щоб уникнути засмічення мембран, стічні води перед подачею в електродіалізатор повинні бути очищені від зважених і колоїдних частинок.

Витрата енергії при очищенні 1 м<sup>3</sup> стічної води, що містить в 1 л 250 мг домішок, до залишкового вмісту солей 5 мг становить 7 кВт год. Зі збільшенням вмісту солей у воді питома витрата енергії зростає. Основним недоліком електродіалізу є концентраційна поляризація, яка веде до осадження солей на поверхні мембран і зниження показників очищення.

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

Для знесолення води застосовують гомогенні та гетерогенні мембрани. Гомогенні мембрани являють собою порошок іоніту, змішаний зі сполучною речовиною. Мембрани повинні володіти малим електричним опором. Відстань між мембранами дуже впливає на ефективність роботи електродіалізатора. Вона становить 1 ... 2 мм.

Витрата енергії при очищенні води, що містить 250 мг/л домішок до залишкового вмісту 5 мг/л, становить 7 кВт год/м<sup>3</sup>. Зі збільшенням солевмісту у воді питома витрата енергії зростає. Основним недоліком електродіалізу є концентраційна поляризація, яка веде до осадження солей на поверхні мембран і зниження показників очищення.

Електрокоагуляційні методи застосовують в основному для очищення стічних вод із нейтральною або слабколужною реакцією (рН=5-9). Електрокоагуляція у поєднанні з електрофлотацією або без неї застосовується головним чином для видалення зі стічних вод нерозчинених тонкодиспергованих домішок, що утворюють у воді різні колоїдні системи. Електрофлотацію застосовують (рис. 5.3) для обробки невеликої кількості стічних вод і технологічних розчинів у гальванічному виробництві при витраті не більше ніж 20–40 м<sup>3</sup>/год з високим умістом солей і низькою електропровідністю.

При електрофлотації можливе використання коагулянтів і та флокулянтів, а також комбіновані схеми напірної флотації й електрофлотації.

Сутність цього способу очищення стоків полягає в перенесенні забруднюючих часток із рідини на її поверхню за допомогою пухирців газу, що утворюються при електролізі стічної води. У процесі електролізу води на катоді виділяється водень, а на аноді – кисень. Основну роль у процесі флотації часток відіграють пухирці водню.

При застосуванні розчинних електродів (залізних або алюмінієвих) на аноді відбувається їх розчинення, у результаті чого утворюються пластівці гідроокисів. Такі установки називаються електрокоагуляційно-флотаційними. При витраті стоків до 10-15 м<sup>3</sup>/год флотоустановки однокамерні, а при більшому – двокамерні горизонтального або вертикального типу.

Розрахунок установок для електрофлотації або електрокоагуляції зводиться до визначення загального об'єму установки, об'ємів електродного відділення та камери флотації.

## РОЗДІЛ 4

### ОБРОБЛЕННЯ ОСАДІВ СТИЧНИХ ВОД

У процесах біохімічного очищення в первинних і вторинних відстійниках утворюються великі обсяги осадів, які необхідно утилізувати або обробляти з метою зменшення забруднення біосфери. Осади мають різний склад та велику вологість. Їх поділяють на 3 групи:

- 1) осади в основному мінерального складу,
- 2) осади переважно органічного складу;
- 3) змішані осади, що містять як мінеральні, так і органічні речовини.

Осади характеризуються вмістом сухої речовини (в г / л або в%); вмістом беззольної речовини (у% від маси сухої речовини); елементним складом; в'язкістю і плинністю; гранулометричним складом.

Осади стічних вод являють собою важкофільтруючі суспензії. У вторинних відстійниках в осаді знаходиться в основному надлишковий активний мул, обсяг якого в 1,5 ... 2 рази більше, ніж обсяг осаду з первинного відстійника. Питомий опір осаду ( $r = \text{см} / \text{г}$ ) є одним з визначальних показників для вибору методу обробки осадів. В осадах міститься вільна (60 ... 65%) і пов'язана (30 ... 35%) вода. Вільна вода порівняно легко може бути видалена з осаду, зв'язана вода (колоїдно-пов'язана та гігроскопічна) набагато важче. Колоїдно-пов'язана волога обволікає тверді частинки гідратною оболонкою й перешкоджає їх сполученню у великі агрегати. Коагулянти позитивно зарядженими іонами нейтралізують негативний заряд частинок осаду. Після цього окремі тверді частинки звільняються від гідратної оболонки і з'єднуються разом у пластівці. Звільнена вода легше фільтрується. Зруйнувати гідратну оболонку можна також короткочасною термічною обробкою. Обробка осаду активного мулу включає:

- 1) ущільнення осаду гравітаційним, флотаційним, відцентровим і вібраційним методами;
- 2) стабілізацію осадів в аеробних й анаеробних умовах;
- 3) кондиціонування осадів реагентними та безреагентними способами;
- 4) теплову обробку;
- 5) рідиннофазного окиснення органічної частини осаду киснем повітря;



- б) зневоднення осадів на мулових майданчиках і механічним способом;
- 7) сушку осадів;
- 8) спалювання осадів.

#### **4.1 Гідромеханічне зневоднення осадів стічних вод**

У процесі очищення стічних вод утворюються осади, обсяг яких становить від 0,5 до 1% обсягу стічних вод для станцій спільного очищення побутових і виробничих стічних вод та від 10 до 30% для локальних очисних споруд. Умовно осади можна розділити на три основні категорії – мінеральні осади, органічні осади та надлишкові активні мули. Основні завдання сучасної технології обробки полягають у зменшенні їх об'єму й у подальшому перетворенні у нешкідливий продукт, який не викликає забруднення навколишнього середовища.

В осадах містяться сполуки кремнію, алюмінію, заліза, оксиду кальцію, магнію, калію, натрію, нікелю, хрому тощо. Хімічний склад осадів дуже впливає на їх водовіддачу. З'єднання заліза, алюмінію, хрому, міді, а також кислоти, луки й деякі інші речовини, що містяться у виробничих стічних водах, сприяють інтенсифікації процесу зневоднення осадів і знижують витрати хімічних реагентів на їх коагуляцію перед зневодненням. Масла, жири, азотні сполуки, волокнисті речовини, навпаки є несприятливими компонентами. Оточуючи частки осаду, вони порушують процеси ущільнення та коагуляції, а також збільшують уміст органічних речовин в осаді, що позначається на погіршенні його водовіддачі.

Механічне зневоднення осадів промстоків може проводитися екстенсивними й інтенсивними методами. Екстенсивні методи здійснюються у різного роду ущільнювачах, інтенсивне зневоднення та згущення проводиться за допомогою фільтрування, центрифугування, гідроциклонування і т.п.

*Фільтрування* являє собою процес відділення твердих речовин від рідини, що відбувається при різниці тиску над фільтруючим середовищем і під ним. Для зневоднення осадів та шламів зазвичай використовують вакуум-фільтри й фільтр-преси. Фільтруючим середовищем на фільтрах є фільтрувальна тканина і шар осаду, що прилипає до тканини та утворює в процесі фільтрування додатково фільтруючий допоміжний шар, який

власне й забезпечує затримання найдрібніших частинок суспензії. У міру збільшення шару роль фільтруючої перегородки (тканини) зводиться лише до підтримки фільтруючого допоміжного шару. Збільшення товщини шару забезпечує поліпшення якості фільтрату, але в той же час у результаті збільшення опору проходження води через пори і капіляри шару осаду зменшується швидкість фільтрації.

*Фільтрація суспензій* характеризується питомим опором осаду. В цьому випадку під осадом мається на увазі шар, який відкладається на фільтрувальній перегородці при фільтруванні суспензій.

Питомим опором осаду називається опір одиниці маси твердої фази, що відкладається на одиниці площі фільтра при фільтруванні під постійним тиском суспензії, в'язкість рідкої фази якої дорівнює одиниці.

Питомий опір осаду, що характеризує опір фільтрації і фільтраційність (водовіддачу) осадів, визначають за формулою

$$i = (2 P.F_2/\eta.m_{уд})b, \quad (4.1)$$

де  $P$  – тиск (вакуум), при якому відбувається фільтрування;  $F$  – площа фільтруючої поверхні;  $\eta$  – в'язкість фільтрату;  $m_{уд}$  – маса твердої фази осаду, що відкладається на фільтрувальній перегородці при отриманні одиниці об'єму фільтрату;  $b = t/U_2$  – параметр, що отримується дослідним шляхом ( $t$  – час фільтрації),  $U$  – обсяг фільтрату, що виділяється.

Під *центрифугуванням* розуміють розподіл неоднорідних фаз за допомогою відцентрових сил. Воно здійснюється в апаратах, званих центрифугами.

Центрифугування суспензій і шламів проводиться двома методами. В першому випадку центрифугування виконується в роторах, що мають суцільну стінку, в другому – перфоровану. Центрифугування в перфорованих роторах є процесом, окремі елементи якого подібні з фільтрацією та пресуванням шламів.

Процеси центрифугування в суцільних роторах поділяються на центрифугальне освітлення й осаджувальне центрифугування. Осаджувальне центрифугування є процесом розділення суспензій, що містять значну кількість твердої фази. Основним параметром центрифуг є фактор поділу  $K_p$  – відношення прискорення відцентрової сили до прискорення сили тяжіння:

$$K_p = w_0^2/(g.r), \quad (4.2)$$

де  $w_0 = 2 \pi n r / 60$  – окружна швидкість обертання, м/с;  $n$  – частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{м/с}^2$ ;  $r$  – радіус обертання, м.

Серед апаратів для відцентрового поділу різних рідких відходів значного поширення набули також рідинні сепаратори, що працюють за принципом тонкошарового центрифугування (сепарування). У нафтовій промисловості вони застосовуються, наприклад, для очищення водонафтових пасткових емульсій, відділення механічних домішок із присадок до мастил, очищення глинистого розчину, що застосовується при бурінні нафтових свердловин, очищення стічних вод нафтопереробних заводів, відділення кислого гудрону від світлих дистилатів і т.д.

У практиці згущення й зневоднення осадів з очисних споруд малих і середніх промислових та транспортних підприємств найбільше поширення дістали гідроциклони, котрі застосовуються, як правило, в комбінації з розташованими нижче бункерами – ущільнювачами осаду. За конструктивними особливостями всі гідроциклони можна розбити на такі групи: а) конічні гідроциклони, б) циліндричні гідроциклони, в) турбоциклони (центроциклони).

Осадження частинок суспензії в полі дії відцентрової сили, що має місце при роботі гідроциклонів, у багато разів інтенсивніше від осадження їх у полі вертикальних сил, які виникають під дією сили тяжіння в ущільнювачах вертикального або горизонтального типу. Фактор поділу  $K_p$ , що показує, у скільки разів швидкість переміщення частки під дією відцентрової сили більше від швидкості її осідання під дією сили тяжіння, визначається таким чином:

$$K_p = 18 \cdot \delta^2 (\rho_{\text{ч}} - \rho_0) \mu_0 \cdot w_T^2 / [18 \cdot \delta^2 (\rho_{\text{ч}} - \rho_0) \mu_0 \cdot g \cdot r] = w_T^2 / g \cdot r, \quad (4.3)$$

де  $\delta$  – діаметр частинки суспензії;  $\rho_{\text{ч}}$  – щільність частинки суспензії;  $\rho_0$  – щільність рідини (середовища);  $\mu_0$  – абсолютна в'язкість рідини;  $W_T$  – тангенціальна швидкість на радіусі поділу;  $g$  – прискорення сили тяжіння;  $r$  – радіус обертання.

Значення фактора поділу  $K_p$  коливаються в межах від 500 до 2000. У гідроциклонах, як і в центрифугах, поділ суспензій відбувається під дією відцентрової сили, але за способом дії вони значно відрізняються. У центрифугі суспензія разом з барабаном при постійній кутовій швидкості зовсім або майже (шнекові центрифуги) не рухається щодо барабана. При цьому на частки не діють ніякі дотичні сили. У гідроциклоні ж на частинки суспензії діють великі тангенціальні сили, що підтримують їх у

безперервному відносному русі. Між шарами суспензії виникає напруга зсуву, що діє на тверду частку як поперечна сила. Відомо, що для збільшення глибини відбору частинок суспензії в центрифугах при постійній частоті обертання барабана необхідно збільшити його діаметр. У гідроциклонах, навпаки, це прямо пропорційно пов'язане зі зменшенням діаметра апарату. У той же час зменшення діаметра гідроциклона веде до зниження його продуктивності. Тому в тих випадках, коли потрібно добитися більш тонкого очищення необхідного продукту при значних витратах останнього, використовують батарейні гідроциклони (мультигідроциклони), що являють собою кілька паралельно включених елементарних гідроциклонів.

Фільтрування застосовують для виділення зі стічних вод тонкодисперсних твердих або рідких речовин. Поділ проводять за допомогою пористих або зернистих перегородок, які пропускають рідину і затримують дисперговану фазу. Процес йде під дією гідростатичного тиску стовпа рідини, підвищеного тиску над перегородкою або вакууму після перегородки.

Вибір перегородок залежить від властивостей стічної води, температури, тиску фільтрування і конструкції фільтра. Як перегородки використовують металеві перфоровані листи та сітки, тканинні перегородки з природного, штучного й синтетичного волокна. Фільтровані перегородки повинні володіти мінімальним гідравлічним опором, механічною міцністю та гнучкістю, хімічною стійкістю, вони не повинні набухати і руйнуватися при заданих умовах фільтрування.

Різницю тисків по обидві сторони фільтрованої перегородки створюють різними способами. Якщо простір над суспензією поєднують із джерелом стисненого газу або простір під фільтрованою перегородкою приєднують до джерела вакууму, то відбувається процес фільтрування при постійній різниці тисків.

При цьому швидкість процесу зменшується у зв'язку зі збільшенням опору шару осаду зростаючої товщини.

Якщо суспензію подають на фільтр поршневим насосом з постійною продуктивністю, то здійснюється процес фільтрування при постійній швидкості, при цьому різниця тисків збільшується внаслідок збільшення опору шару осаду зростаючої товщини. Якщо суспензію подають на фільтр відцентровим насосом, продуктивність котрого зменшується при зростанні опору осаду, що зумовлює підвищення різниці тисків, то

проводиться процес фільтрування при змінних різницях тисків і швидкості. Фільтрування проводять при таких різницях тисків:

- під вакуумом –  $5 \cdot 10^4 \dots 9 \cdot 10^4$  Па;
- під тиском стисненого повітря – не більше ніж  $3 \cdot 10^5$  Па;
- під час подачі поршнеvim або відцентровим насосом – до  $5 \cdot 10^5$  Па;
- під гідростатичним тиском – до  $5 \cdot 10^4$  Па.

Процес фільтрування проводять з утворенням осаду на поверхні фільтруючої перегородки або із закупоркою пор фільтруючої перегородки. Фільтрування з утворенням осаду спостерігається при достатньо високій концентрації твердої фази в суспензії (понад 1% об'ємно.).

Фільтрування із закупорюванням пор фільтруючої перегородки називають висвітленням, воно відбувається при концентрації твердої фази менше ніж 0,7 % об'ємно.

При поділі суспензій з невеликою концентрацією тонкодисперсної твердої фази часто застосовують фільтрувальні допоміжні речовини, що перешкоджають проникненню твердих частинок у пори фільтрувальної перегородки. Як допоміжні речовини використовують тонкодисперсні або тонковолокнисті матеріали: діатоміт, перліт, азбест, целюлозу, активоване вугілля, деревне борошно.

При додаванні допоміжної речовини до поділюваної суспензії концентрація твердих частинок у ній збільшується, що запобігає закупорюванню пор фільтруючої перегородки.

#### *Рівняння фільтрування.*

Фільтрування проходить у ламінарному режимі внаслідок невеликого розміру пор у шарі осаду та фільтрувальної перегородки, а також малої швидкості руху рідкої фази в порах. Швидкість фільтрування в загальному випадку виражають у диференціальній формі.

Швидкість фільтрування прямо пропорційна різниці тисків, але обернено пропорційна в'язкості рідкої фази і загальному гідравлічному опору шару осаду та фільтруючої перегородки:

$$dV/(S \cdot dt) = \Delta P / [\mu_0 (R_{oc} + R_{fn})], \quad (4.5)$$

де  $\Delta P$  – різниця тисків, Па;  $\mu_0$  – в'язкість рідкої фази суспензії, Па·с;  $R_{oc}$  – опір шару осаду, м<sup>-1</sup>;  $R_{fn}$  – опір фільтруючої перегородки м<sup>-1</sup>.

Обсяг осаду можна виразити через висоту шару осаду  $h_{oc}$ , а також через відношення обсягу осаду до обсягу фільтрату  $x_0$ :

$$h_{oc} \cdot S = x_0 \cdot V, \quad (4.6)$$

звідки товщина осаду становитиме

$$h_{oc} = x_o SV. \quad (4.7)$$

Опір шару осаду дорівнює

$$R_{oc} = r \cdot h_{oc} = R_o \cdot x_o \cdot V/S, \quad (4.8)$$

де  $R_o$  – питомий об'ємний опір осаду,  $m^{-2}$ .

За інших рівних умов швидкість фільтрування тим більша й продуктивність фільтра тим вища, чим менше обсяг отриманого фільтрату або пропорційна цьому обсягу товщина шару осаду на фільтруючій перегородці. Тому для підвищення продуктивності фільтру необхідно прагнути до можливо швидкого видалення осаду з фільтруючої перегородки. Для найбільшої продуктивності фільтрів періодичної дії доцільно якомога частіше повторювати цикли його роботи, подаючи на фільтр невеликі порції суспензії. Однак часте повторення циклів роботи фільтра з основних операцій, що включає саме фільтрування, промивання і продування осаду, тягне за собою настільки ж часте повторення допоміжних операцій завантаження суспензії та видалення осаду. В кожному разі існує оптимальна тривалість циклу роботи фільтру, при якій фільтр володіє найбільшою продуктивністю.

Відцентрове фільтрування осадів стічних вод досягається обертанням суспензії в перфорованому роторі – барабані. Фільтрування під дією відцентрової сили проводять на фільтруючих центрифугах. Поділ суспензії у фільтруючих центрифугах складається зі стадії утворення, ущільнення і механічного сушіння осаду з можливим промиванням осаду, тобто швидкість відцентрового фільтрування змінюється в часі.

Для 1-го періоду застосовують закономірності кінетики фільтрування. Під дією відцентрової сили в масі фільтрованої суспензії розвивається тиск, що забезпечує відцентрове фільтрування. У результаті відбувається відкладення осаду на внутрішній поверхні барабана ротора і видалення освітленої води через фільтруючу перегородку й отвори в барабані. Відцентрова сила змінюється зі зміною радіуса. Відцентрову силу, що діє на масу елементарного кільця суспензії об'ємом  $dV = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H \cdot dr = F \cdot dr$ , можна виразити у вигляді

$$dG_{ц} = dm \cdot w_0^2 / r = dm \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (4.9)$$

де  $d_m$  – маса елементарного кільця;  $r$  – радіус кільця;  $w_0$  – колова швидкість обертання кільця;  $\omega = \pi \cdot n/30$  – кутова швидкість обертання кільця;  $n$  – число обертів на хвилину.

*Маса елементарного кільця*

$$dm = F \cdot dr \cdot \rho_c, \quad (4.10)$$

а тиск на прилеглий до кільця шар, що розвивається відцентровою силою, яка додається до кільця:

$$dP_{ц} = dG_{ц}/F = F \cdot dr \cdot \rho_c \cdot \omega^2 \cdot r / F = \rho_c \cdot \omega^2 \cdot r \cdot dr, \quad (4.11)$$

де  $\rho_c$  – щільність суспензії.

Тиск на фільтруючу перегородку, що розвивається всією масою суспензії в барабані знаходимо інтегруванням останнього рівняння в межах ( $R_2 \dots R_1$ ):

$$\Delta P_{ц} = \rho_c \cdot \omega^2 (R_1^2 - R_2^2) / 2, \quad (4.12)$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – зовнішній і внутрішній радіуси шару суспензії в центрифугі.

*Центрифуги* можуть бути періодичними або безперервної дії, горизонтальними, вертикальними або похилими; за способом вивантаження осаду з ротора: з ручним, ножним, поршневым, шнековим чи відцентровим вивантаженням. Центрифуги періодичної дії застосовують при витратах суспензії менше ніж 5 м<sup>3</sup>/год. у широкому діапазоні концентрацій з частинками діаметром більше ніж 10 мкм.

Центрифуги безперервної дії з шнековим вивантаженням осаду застосовуються для поділу концентрованих суспензій з розміром частинок більше ніж 100 мкм. У системах очищення стічних вод використовують горизонтальні шнекові центрифуги для виділення часток гідравлічною крупністю 0,2 мм (протитечійні) і 0,05 мм (прямотечійні).

#### **4.2 Механічна переробка твердих відходів**

Утилізація твердих відходів приводить до необхідності або їх поділу на компоненти з подальшою переробкою сепарованих матеріалів різними методами або надання їм певного виду. Для тих промислових відходів, утилізація яких не пов'язана з необхідністю проведення фазових перетворень чи впливу хімічних реагентів, але які не можуть бути використані безпосередньо, застосовуються два види механічної обробки: подрібнення або компактування (пресування). Це однаковою мірою стосується відходів як органічного, так і неорганічного походження. Класифікація методів подрібнення наведена в таблиці 4.1.

Після подрібнення, за яким може слідувати фракціонування, відходи перетворюються в продукти, готові для подальшого використання. Твердий матеріал можна зруйнувати і подрібнити до частинок бажаного розміру роздавлюванням, розколюванням, розламуванням, різанням, розпилюванням, стиранням і різними комбінаціями цих способів. За

розміром шматків вихідної сировини й кінцевого продукту подрібнення умовно ділять на кілька класів, виходячи з яких вибирають подрібнююче обладнання.

Один з недоліків, що виникають при подрібненні в'язких, пружних і в'язкопружних матеріалів (гума, деякі види термопластів та ін.), полягає в тому, що при кімнатній температурі енерговитрати на їх переробку дуже великі, хоча безпосередньо на подрібнення витрачається не більше ніж 1% енергії, основна ж її частина перетворюється в теплоту. Тому в останні 15 ... 20 років усе більше застосування дістає техніка криогенного подрібнення, яка дозволяє охолоджувати матеріал нижче від температури крихкості. Як правило, як охолоджуючий агент використовують рідкий азот, що має температуру - 196 ° С, що нижче від температури крихкості більшості полімерних матеріалів. При такому способі дроблення різко зростає ступінь подрібнення, підвищується продуктивність процесу, знижуються питомі енерговитрати, запобігається окислення продукту.

Таблиця 4.1

Класифікація методів подрібнення

Клас подрібнення	Розмір шматків до потрібнення, мм	Розмір шматків після подрібнення, мм
<b>Дроблення:</b>		
- велике	1000	250
- середнє	250	20
- дрібне	20	1 ... 5
<b>Помел:</b>		
- грубий	1 ... 5	0,1 ... 0,04
- середній	0,1 ... 0,04	0,005 ... 0,015
- тонкий	0,1 ... 0,02	0,001 ... 0,005
- колоїдний	<0,1	<0,001

*Дроблення.* Інтенсивність і ефективність хімічних дифузійних та біохімічних процесів зростає зі зменшенням розмірів шматків (зерен), що переробляються. Метод дроблення використовується для отримання з великих шматків перероблюваних продуктів крупністю до 5 мм. Як основні технологічні показники дроблення розглядають ступінь й енергоємність дроблення.

*Подрібнення.* Метод подрібнення використовують для отримання з кускових відходів зернових і дрібнодисперсних фракцій крупністю менше ніж 5 мм. При переробці твердих відходів використовують агрегати



грубого й тонкого подрібнення: стрижневі, кульові та ножові млини, дезінтегратори, дискові та кільцеві млини, бігуни. Як несуче середовище при сухому подрібненні найчастіше застосовують повітря, рідше димові або інертні гази, а при мокрому – воду. Подрібнення відходів пластмас і гумових технічних виробів проводять при низьких температурах (кріогенне подрібнення). Робота  $A$ , витрачена при дробленні або подрібненні на руйнування вихідного матеріалу прямо пропорційна новоутвореній поверхні  $F$ :

$$A = k_1 \cdot \Delta F, \quad (4.16)$$

де  $k_1$  – коефіцієнт пропорційності;  $\Delta F$  – приріст поверхні.

Ступінь дроблення  $i$  виражає відношення розмірів шматків, підлягаючих дробленню  $d_n$  та шматків роздробленого матеріалу  $d_k$ :

$$i = D_n / d_k. \quad (4.17)$$

Робота внутрішніх сил пружності за відсутності втрат дорівнює роботі зовнішніх сил, що викликали пружну деформацію тіла:

$$A = \sigma^2 \cdot V / (2 E), \quad (4.18)$$

де  $\sigma$  – напруження, що виникає при деформації;  $V$  – обсяг деформованого тіла;  $E$  – модуль пружності (модуль Юнга).

Робота подрібнення одного шматка розміром  $D$  дорівнює

$$A = k_2 \cdot D^3, \quad (4.19)$$

де  $k_2$  – коефіцієнт пропорційності.

В узагальненому вигляді робота, що витрачається на деформацію руйнування шматків і утворення нових поверхонь, дорівнює

$$A = \gamma \cdot \Delta V + \sigma \cdot \Delta F, \quad (4.20)$$

де  $\gamma$ ,  $\sigma$  – коефіцієнти пропорційності;  $\Delta V$  – деформований обсяг;  $\Delta F$  – знову утворена поверхню.

У чистому вигляді робота при дробленні пропорційна середньгеометричному між об'ємом  $V$  і знову оголеною (утвореною) поверхнею

$$S: A = K_6 (VS), \quad (4.21)$$

де  $K_6$  – коефіцієнт Бонда.

**Класифікація та сортування (сепарація) відходів.** У низці випадків переробка подрібнених відходів повинна супроводжуватися їх розподілом на фракції за крупністю.

Для розділення кускових і сипучих матеріалів застосовують різні способи:

- просіювання або просівання;

- поділ під дією гравітаційно-інерційних сил;
- поділ під дією гравітаційно-відцентрових сил.

*Просівання* являє собою процес поділу на класи за крупністю різних за розмірами шматків (зерен) матеріалу при його переміщенні на ніздрюватих поверхнях (колосникових решітках, решетах, дротяних сітках, щілиноподібних ситах).

Основним показником *просівання* є його ефективність  $E$ , що визначається відношенням кількості підрешіткового продукту до його загальної кількості у вихідному матеріалі (у %):

$$E = 104 (\alpha - \nu) / \alpha (100 - \nu), \quad (4.22)$$

де  $\alpha$  і  $\nu$  – зміст нижнього класу у вихідному матеріалі й надрешітному продукті, %. Для розділення твердих матеріалів у вигляді пульп використовуються класифікатори грубої та тонкої класифікації. Повноту поділу при класифікації характеризують коефіцієнтом поділу:

$$KE = \beta - \nu, \quad (4.23)$$

де  $\beta$  і  $\nu$  – зміст цього класу в зливі та пісках, %.

При гравітаційному і відцентровому способах поділ подрібнених продуктів на класи або виділення цільового продукту здійснюється методом роздільного висаджування частинок із несучого середовища під дією гравітаційно-інерційних або гравітаційно-відцентрових сил.

Поділ сипучих матеріалів під дією гравітаційно-інерційних сил проводиться в газових осадниках та гідравлічних класифікаторах, а під дією гравітаційно-відцентрових сил – у сепараторах циклонного типу, з обертовими лопатями і т.п.

У тому випадкові, якщо відходи можуть містити металеві включення, їх зазвичай пропускають через магнітний сепаратор (наприклад, з рухомою стрічкою). У магнітному полі, створюваному за допомогою електромагнітів, відбувається відділення магнітних металів від органічної частини відходів.

*Кускування відходів.* Поряд з методами зменшення розмірів кускових матеріалів і їх поділу на класи крупності в рекуперативній технології твердих відходів поширені методи, пов'язані з укрупненням дрібнодисперсних частинок, які використовують прийоми гранулювання, таблетування, брикетування та високотемпературної агломерації.

*Гранулювання* – процес формування агрегатів кулястої або циліндричної форми з порошків, паст, розплавів або розчинів, що переробляються. Ці процеси базуються на різних прийомах обробки

матеріалів: обливання, пресування порошків у дисперсних потоках, гранулювання розплавів. Здатність гранулюючих матеріалів до ущільнення й формування характеризують значеннями коефіцієнтів їх гранулоємності:

$$K_1 = (\gamma/\gamma_0)P_{\text{пл}}; K_2 = \sigma/P_{\text{пл}}, \quad (4.24)$$

де  $\gamma$  і  $\gamma_0$  – поточна і вихідна щільність гранулюючого матеріалу, т / м<sup>3</sup>;  $\sigma$  – межа міцності гранул при стисненні, Па;  $P_{\text{пл}}$  – тиск ущільнення, Па. Величини  $K_1$  та  $K_2$  дозволяють обгрунтовано рекомендувати метод гранулювання для цього матеріалу: чим більше значення  $K_1$  та  $K_2$ , тим меншими зусиллями забезпечується задана ступінь ущільнення матеріалу.

*Брикетування* – підготовчі та самостійні операції в практиці утилізації твердих відходів. Брикетування дисперсних матеріалів проводять без сполучного при тисках пресування  $P_{\text{пл}} > 80$  МПа і з добавками сполучного при тиску  $P_{\text{пл}} \leq 15 \dots 25$  МПа. На процес брикетування дисперсних матеріалів істотний вплив роблять склад, вологість і крупність матеріалу, температура, питомий тиск і тривалість пресування. Необхідний питомий тиск пресування зазвичай знаходиться в зворотній залежності від вологості матеріалу.

*Пресування при високих тисках* – один із способів поліпшення умов експлуатації полігонів (звалищ). Ущільнені відходи дають меншу кількість фільтрату і газових викидів, при цьому знижується ймовірність виникнення пожеж.

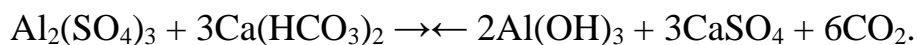
### **4.3 Фізико-хімічні основи обробки та утилізації відходів**

#### **4.3.1 Реагентна обробка осадів стічних вод**

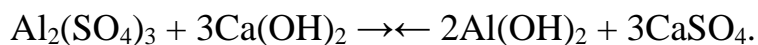
Більшість осадів, що утворюються в процесі очищення промислових і міських стічних вод, гальванічні шлами тощо являють собою важкороздільні суспензії. Для їх успішного зневоднення необхідна попередня підготовка – кондиціонування. Мета кондиціонування – поліпшення водовіддаючих властивостей опадів шляхом зміни їх структури та форм зв'язку води. Від умов кондиціонування залежить продуктивність обезводнювання апаратів, чистота відокремлюваної води й вологість зневодненого осаду. Кондиціонування може здійснюватися кількома способами, які відрізняються за своїм фізико-хімічним впливом на структуру оброблюваного осаду. Найбільше поширення з них дістали: хімічна (реагентна) обробка; теплова обробка; рідиннофазне окиснення; заморожування і відтавання. У практиці обробки осадів промислових стічних вод найчастіше застосовуються хімічні (реагентні) методи

обробки. *Реагентна обробка* – це найбільш відомий і розповсюджений спосіб кондиціонування, за допомогою якого можна зневоднювати більшість осадів стічних вод. При реагентній обробці відбувається коагуляція – процес агрегації тонкодисперсних та колоїдних частинок, утворення великих пластівців з розривом сольватних оболонок і зміна форм зв'язку води, що призводить до зміни структури осаду й покращення його водовіддаючих властивостей. Для реагентної обробки використовуються мінеральні та органічні сполуки – коагулянти і флокулянти.

Як мінеральні коагулянти застосовують солі заліза, алюмінію і вапна. Ці реагенти вводять в оброблюваний осад у вигляді 10% розчинів. Найбільш ефективним є хлорне залізо, яке застосовують у поєднанні з вапном. Хімічний механізм взаємодії коагулянтів з осадом такий. Уведений у водне середовище сірчаноокислий алюміній взаємодіє зі вмісними у воді бікарбонатами, утворюючи спочатку гелеподібний гідрат оксиду алюмінію:

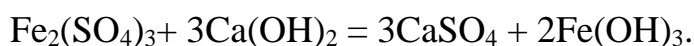
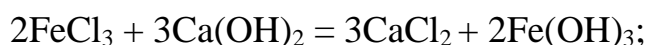


Якщо лужність середовища недостатня, вона збільшується шляхом додання вапна, і тоді



Утворені пластівці гідрату захоплюють суспензовані й знаходяться у водному середовищі в колоїдному стані речовини і за сприятливих гідродинамічних умов швидко осідають в ущільнювачі та добре віддають воду на апаратах для механічного зневоднення шляхом фільтрації або центрифугування.

При застосуванні солей заліза утворюються нерозчинні гідроксиди заліза



Найбільший ефект коагулювання досягається при рН = 4 ... 8,5. Із точки зору повноти реакції та економії реагенту велике значення має добре й швидко його змішання з оброблюваним осадом. Сірчаноокисле оксидне залізо менш ефективно, але зате більш дешевий і доступний реагент. Орієнтовно можна сказати, що при дозах сірчаноокислого заліза, в 1,5 ... 2 рази перевищують дози хлорного заліза, продуктивність обезводнювання апаратів та вологість зневодненого осаду однакові.

Вапно використовують не тільки в поєднанні із солями заліза, але і як самостійний коагулянт, що стало в низці випадків дуже ефективним. При використанні як коагулянт спостерігається тенденція до її регенерації із золи після спалювання зневоднених опадів. Недоліками мінеральних реагентів є дефіцитність, висока вартість, корозійність, а також труднощі при їх транспортуванні, зберіганні, приготуванні та дозуванні.

За кордоном для кондиціонування опадів промислових стічних вод поряд з мінеральними реагентами дістають застосування синтетичні флокулянти. Синтетичні поліелектроліти, або полімери, вводяться в осад безпосередньо перед центрифугуванням чи фільтруванням. Ці полімери знищують або зменшують електричні негативні зусилля суспензованих твердих частинок, які прагнуть утримати їх на відстані. За рахунок тяжіння цих частинок утворення пластівців і сепарування відбуваються значно швидше й ефективніше. Синтетичні органічні флокулянти – лінійні, водорозчинні макромолекули зі ступенем полімерізації до (50 ... 200) –  $10^3$ . За фізико-хімічними властивостями вони поділяються на такі групи:

- неіонні (поліакриланід, поліоксиетилену і т.д.);
- іоногенні гомополімери (аніонні, поліметакрилова кислота тощо, катіонні - поліаміни та ін);
- іоногенні сополімери (аніонні, катіонні) .

Оскільки в опадах стічних вод в основному знаходяться негативно заряджені колоїди, то найбільший інтерес становлять катіонні флокулянти. Катіонні синтетичні органічні флокулянти містять пов'язаний з полімером атом азоту, заряджений у воді позитивно, йі вільно рухається протиіон кислотного залишку ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{CH}_3\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Br}^-$  і т.д.). Серед синтетичних флокулянтів найбільшого поширення набув поліакриламід (ПАА) – розчинний у воді полімер, що містить у своїй ланцюговій молекулі іоногенні групи. При його дисоціації утворюється високомолекулярний полівалентний аніон та багато простих маловалентних катіонів, тому такі речовини називають поліелектролітами.

Дія ПАА пояснюється адсорбцією його молекул на пластівцях гідроксиду, що утворюється при гідролізі коагулянтів. Через витягнуті форми адсорбція відбувається в різних місцях декількома частками гідроксиду, в результаті чого останні виявляються пов'язаними разом.

#### **4.3.2 Фізико-хімічні методи вилучення компонентів з відходів**

Багато процесів утилізації твердих відходів оснований на використанні методів вилуговування (екстрагування), розчинення та

кристалізаційної переробки. Вилуговування (екстрагування) ґрунтується на витягу одного або декількох компонентів з комплексного твердого матеріалу шляхом його (їх) виборчого розчинення в рідині – екстрагентів. Розрізняють просте розчинення і вилуговування з хімічною реакцією. Швидкість вилуговування змінюється в ході процесу й залежить від концентрації реагентів, температури, величини поверхні твердої фази:

$$dG/d\tau = -j.F, \quad (4.25)$$

де  $G$  – кількість вилуговуваної речовини у твердій фазі;  $j$  – кількість вилуговуваної речовини, що переходить у розчин в одиницю часу  $\tau$  з одиниці поверхні твердої фази (потік вилуговування, питома швидкість вилуговування);  $F$  – поверхня взаємодії фаз. Розчинення полягає в гетерогенній взаємодії між рідиною і твердою речовиною, супроводжуваній переходом твердої речовини в розчин. Можливість самовільного розчинення твердої речовини оцінюється знаком величини  $\Delta G$  (зміна енергії Гіббса):

$$\Delta G = \Delta H_p - T.\Delta S, \quad (4.26)$$

де  $\Delta H_p$  – зміна ентальпії;  $T$  – абсолютна температура;  $\Delta S$  – зміна ентропії.

При  $\Delta G < 0$  можливе розчинення,  $\Delta G = 0$  відповідає рівновазі в системі, при  $\Delta G > 0$  імовірний процес кристалізації. Розчинність твердих речовин у рідинах звичайно обмежена концентрацією насичення  $C_S$ . Швидкість розчинення можна розглядати як масообмінний процес:

$$dG/d\tau = K_m F(C_S - C_\tau), \quad (4.27)$$

де  $G$  – кількість розчиненої речовини, кг.;  $K_m$  – коефіцієнт масопередачі (константа швидкості процесу);  $F$  – загальна поверхня розчинених частинок у момент часу  $\tau$ , м<sup>2</sup>;  $C_\tau$  – концентрація розчину в момент часу  $\tau$ , кг/м<sup>3</sup>.

*Кристалізація* – це процес виділення твердої фази у вигляді кристалів з насичених розчинів, розплавів чи парів. Для оцінювання поведінки розчинів при їх кристалізації та раціонального вибору способу проведення цього процесу використовують діаграми стану розчинів, що виражають залежність розчинності солей від температури. Швидкість процесу кристалізації залежить від ступеня перенасичення розчину, температури, інтенсивності перемішування, вмісту домішок тощо, вона змінюється в часі, проходячи через максимум.

Створення необхідного для кристалізації перенасичення розчину забезпечують охолодженням гарячих насичених розчинів (ізогідрична кристалізація) і видаленням частинок розчинника шляхом випарювання

(ізотермічна кристалізація) або комбінацією цих методів (вакуумкристалізація, фракційна кристалізація, кристалізація з випаровуванням розчинника в потоці повітря або іншого газу - носія). У практиці кристалізації з розчинів іноді використовують кристалізацію висолювання (введення в розчин речовин, що знижують розчинність солі), виморожування (охолодженням розчинів до мінусових температур з виділенням кристалів солі або їх концентрування видаленням частинок розчинника у вигляді льоду) або за рахунок хімічної реакції, що забезпечує перенасичення розчину, а також високотемпературну (автоклавно) кристалізацію, що забезпечує отримання кристалогідратів з мінімальним умістом вологи.

#### **4.3.3 Збагачення при рекуперації твердих відходів**

У практиці рекуперації твердих відходів промисловості використовують методи збагачення переробки: гравітаційні, магнітні, електричні, флотаційні й спеціальні. Гравітаційні методи – основані на відмінності в швидкості в рідкому (повітряному) середовищі частинок різного розміру та щільності. Вони об'єднують збагачення осадів під дією змінних у напрямку вертикальних струменів води (повітря); збагачення у важких суспензіях, щільність яких є проміжною між щільністю поділюваних частинок; збагачення в переміщуваних по похилих поверхнях потоках, а також промивання для руйнування та видалення глинистих, піщаних й інших мінеральних, а також органічних домішок.

Магнітне збагачення використовують для відділення парамагнітних (слабомагнітних) і феромагнітних (сильномагнітних) компонентів (тобто речовин з питомою магнітною сприйнятливістю  $\chi$  вище від  $10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг) сумішей твердих матеріалів від їх діамагнітних (немагнітних) складових.

Питомою магнітною сприйнятливістю  $\chi$  (у м<sup>3</sup>/кг) називають об'ємну магнітну сприйнятливість речовин, віднесену до його щільності. Слабомагнітні матеріали, збагачені в сильних магнітних полях (напруженістю  $H \approx 800 \dots 1600$  кА / м), сильномагнітні – в слабких полях ( $H \approx 70 \dots 160$  кА / м).

Електричні методи збагачення основані на різниці електрофізичних властивостей поділюваних матеріалів і включають сепарацію в електростатичному полі, полі коронного розряду, коронно-електростатичному полі й трибоадгезійну сепарацію. Електростатична сепарація базується на різниці електропровідності та здібності до електризації тертям (трибоелектричного ефект) мінеральних частинок

суміші, що розділяється. При невеликій різниці в електропровідності частинок використовують електризацію їх тертям. Наелектризовані частинки направляють в електричне поле, де відбувається їх сепарація.

Сепарація в полі коронного розряду, створеного між коронуючими (зарядженим до 20 ... 50 тис. В) і осаджувальними (заземленим) електродами, ґрунтується на іонізації перетинаючих це поле мінеральних частинок, осідаючими на них іонами повітря, й на відмінності інтенсивності передачі придбаного заряду поверхні осідального електрода, що виражається в різних траєкторіях руху частинок.

Трибоадгезійна сепарація основана на різниці в адгезії (прилипання) до поверхні наелектризованих тертям частинок роздільного матеріалу.

#### **4.4 Термічні методи знешкодження мінералізованих стоків**

Мінералізовані відходи значно поширені в хімічних виробництвах, теплоенергетиці та інших галузях промисловості. Найбільш поширеними методами, що дозволяють знешкодувати мінералізовані стоки, є термічні. Тут можливі такі напрями:

- значне зменшення обсягів стоків при їх граничному концентруванні й зберігання цих розчинів в штучних або природних сховищах;
- виділення зі стоків солей та інших цінних речовин і застосування опріснення води для потреб промисловості й сільського господарства.

Процес розділення води і мінеральних речовин може здійснюватися в дві стадії: концентрування вихідного розчину й виділення з нього сухого залишку. Якщо здійснюється перша стадія, то концентрований розчин спрямовується на подальшу переробку або в крайньому випадку на захоронення. Можна подавати стічні води, минаючи стадію концентрування, безпосередньо на виділення з них сухих речовин, наприклад, у розпилювальну сушильню чи в камеру спалювання, наприклад циклонний реактор.

Концентрування розчинів може здійснюватися у випарних, виморожувальних, кристалогідратних установках безперервної та періодичної дії.

У випарних установках концентрація розчину підвищується внаслідок видалення парів розчину при випаровуванні рідини. Ці установки найбільш поширені в техніці концентрування розчинів. Вони поділяються на випарні установки, в яких кипіння здійснюється на поверхні нагрівання або у винесеній зоні, й установки адіабатного випаровування, в яких випаровування перегрітої рідини відбувається в



адіабатній камері. Випарні установки можна умовно поділити на установки, в яких розчин контактує з поверхнею нагріву, і установок, у яких розчин не контактує з поверхнею нагріву. В установках першого типу утворюються відкладення солей з відповідним зниженням щільності теплового потоку і продуктивності установок. Це зумовлює періодичні зупинення агрегатів для очищення поверхонь нагріву, що знижує техніко-економічні показники та ускладнює їх експлуатацію.

Ступінь концентрування розчину в них суттєво обмежений через різке збільшення відкладень із зростанням концентрації розчину. Для поліпшення умов роботи доводиться застосовувати спеціальні заходи щодо зниження відкладень.

В установках другого типу тепло передається проміжному гідрофобному рідкому, твердому або газовому теплоносію, який потім при безпосередньому контакті нагріває чи випаровує розчин. Нагрітий розчин подається в камери адіабатного випаровування. Ступінь концентрування розчину в таких установках істотно підвищується, тому що небезпека відкладень на поверхнях нагріву практично виключається. В установках, що використовують методи виморожування, концентрування мінералізованих стоків ґрунтується на тому, що кількість солей у кристалах льоду значно менше, ніж у розчині, утворюється прісний лід. Унаслідок цього, у міру утворення льоду, концентрація солей у розчині підвищується. Концентрування мінералізованих вод можна також здійснити двома способами: виморожуванням при випаровуванні під вакуумом або заморожуванням за допомогою спеціального холодильного агента. У кристалогідратних установках концентрування стічних вод ґрунтується на здатності деяких речовин (фреони, хлор та ін.) при певних умовах утворювати кристалогідрати. При цьому молекули води переходять у кристалогідрати, а концентрація розчинів підвищується. При плавленні кристалів знову виділяється вода, яка є гідратотворчим агентом. Процес гідратоутворення може відбуватися при температурі нижче і вище від навколишнього середовища. В першому випадку, як правило, необхідне застосування холодильних установок, а в другому – кристалогідратна установка може використовувати низькопотенційне тепло. Холодильні та кристалогідратні методи опріснення і концентрування мінералізованих стоків застосовуються ще порівняно рідко, але в силу своїх позитивних якостей можуть дістати в майбутньому широке застосування.

#### **4.5 Термічні методи кондиціонування осадів стічних вод**

Термічному кондиціонуванню перед зневодненням піддаються органічні осади міських і промислових стічних вод, що пройшли біологічне очищення. До методу термічного кондиціонування належать теплова обробка, рідиннофазне окиснення, заморожування і відтавання (останнє в основному для кондиціонування опадів водопровідних станцій).

Теплова обробка є одним з перспективних методів кондиціонування. Вона застосовується для кондиціонування осадів міських і промислових стічних вод із зольністю 30 ... 40%. У технологічних схемах, що завершуються стадією зневоднення, її переваги, крім підготовки осадів до зневоднення, полягають у забезпеченні надійної стабілізації та повної стерилізації опадів. Суть методу теплової обробки у нагріванні опадів до температури 150 ... 200 ° С і витримці їх при цій температурі в закритій ємності протягом 0,5 ... 2 год. У результаті такої обробки відбувається різка зміна структури осаду, близько 40% сухої речовини переходить у розчин, а частина, що залишилася, набуває водовіддавальні властивості. Осад після теплової обробки швидко ущільнюється до вологості 92-94%, і його обсяг становить 20 ... 30% від початкового.

Рідиннофазне окиснення набуло поширення за кордоном в останні 50 років. Його сутність полягає в окисненні органічної частини осаду киснем повітря при високій температурі й тиску. Ефективність процесу оцінюється глибиною окислення органічної частини осаду (зниженням ГДК осаду). Ця величина залежить в основному від температури обробки. Для окислення на 50% необхідна температура близько 200 ° С, на 70% і більше – температура 250 ... 800 ° С. Окислення осаду супроводжується виділенням тепла. При вологості осаду близько 96% виділеного тепла достатньо для самопідтримки температурного режиму та основна енергія витрачається на подачу стисненого повітря.

#### **4.6 Сушіння вологих матеріалів**

Сушіння являє собою процес видалення вологи з твердого або пастоподібного матеріалу шляхом випаровування рідини, що міститься в ньому за рахунок підведеного до матеріалу тепла. Це термічний процес, який вимагає значних витрат тепла.

Сушіння широко застосовується в хімічній, хіміко-фармацевтичній, харчовій та інших галузях промисловості. Відносно значне поширення сушіння дістало в ділянці обробки осаду міських стічних вод (барабанні сушарки, сушіння у зустрічних струменях). Процеси термічного видалення

тієї частини вологи, яку неможливо видалити механічним шляхом, можуть також дістати використання при обробці промислових відходів, які необхідно підготувати до транспортування й подальшої переробки (наприклад, гальванічні шлами), а також при обробленні деяких відходів хімічної, харчової та інших галузей промисловості. Сушіння здійснюється конвективним, контактним, радіаційним і комбінованими способами.

Метод сушіння вибирають на основі технологічних вимог до висушеного продукту і з урахуванням техніко-економічних показників. Процес сушіння здійснюється за рахунок теплової енергії, що виробляється в генераторі тепла. Генератором тепла можуть служити парові або газові калорифери, топки, що працюють на твердому, рідкому або газоподібному паливі, інфрачервоні випромінювачі й генератори електричного струму. Вибір генератора тепла зазвичай визначається схемою і методом сушіння, фізичними властивостями висушеного матеріалу та потрібним режимом сушіння. За можливості доцільно використовувати тепло відхідних газів або відпрацьованого пару, при цьому одночасно утилізуються теплові відходи. Сушіння відрізняється від випарювання тим, що в першому випадку видалення вологи відбувається при будь-якій температурі, у другому – якщо тиск утвореної пари дорівнює тиску навколишнього середовища (наприклад, кипіння води відбувається при тискові, рівному барометричному). Випарювання відбувається з усієї маси рідини, при сушінні ж волога видаляється з поверхні висушеного матеріалу. Випарювання – більш інтенсивний процес, ніж сушка, проте не всі матеріали можна піддавати випарюванню. Так, волога з твердих матеріалів видаляється тільки тепловою сушкою.

*Конвективне сушіння* повітрям або газом є найбільш поширеним. У повітряній сушці, так само як і в газовій, тепло передається від теплоносія безпосередньо висушуваній речовині. Для отримання матеріалу необхідної якості особлива увага повинна приділятися технологічним режимом сушіння, правильного вибору параметрів теплоносія й режим процесу (вибір оптимальної температури нагрівання матеріалу, його вологості тощо). Оптимальний режим сушіння, що впливає на технологічні властивості матеріалу, залежить від зв'язку вологи з матеріалом. У міру видалення вологи з поверхні матеріалу за рахунок різниці концентрації вологи всередині матеріалу і на його поверхні відбувається рух вологи до поверхні шляхом дифузії. У деяких випадках має місце так звана

термодифузія, коли рух вологи всередині матеріалу відбувається за рахунок зменшення різниці температур на поверхні й усередині матеріалу. При конвективному сушінні обидва процеси мають протилежний зміст, а при сушінні струмами високої частоти – однакове. При сушінні деяких матеріалів до низької кінцевої вологості тепло витрачається не тільки на підігрів матеріалу та випаровування вологи з нього, але і на подолання зв'язку вологи з матеріалом. У більшості випадків при сушінні видаляється водяна пара, проте в хімічній промисловості іноді доводиться видаляти пари органічних розчинників. Незалежно від того, яка рідина буде випаровуватися, закономірності процесу ті ж.

#### 4.7 Термохімічна обробка твердих відходів

При утилізації й переробці твердих відходів використовують різні методи термічної обробки вихідних твердих матеріалів та отриманих продуктів: це різні прийоми піролізу, переплаву, випалу і вогневого знешкодження (спалювання) багатьох видів твердих відходів на органічній основі.

*Піроліз* являє собою процес розкладання органічних сполук під дією високих температур за відсутності або недовліку кисню. Характеризується протіканням реакцій взаємодії й ущільнення залишкових фрагментів вихідних молекул, в результаті чого відбувається розщеплення органічної маси, рекомбінація продуктів розщеплення з отриманням термодинамічно стабільних речовин: твердого залишку, смоли, газу. Застосовуючи термін "піроліз" до термічного перетворення органічного матеріалу, мають на увазі не тільки його розпад, але і синтез нових продуктів. Ці стадії процесу взаємно пов'язані й проходять одночасно з тією лише відмінністю, що кожна з них переважає в певному інтервалі температури або часу. Загальну схему піролізу можна представити таким чином:

$\text{тверді відходи} + Q \rightarrow \text{твердий залишок} + \text{рідкі продукти} + \text{гази} \pm Q_i$ ,  
де  $Q$  – додаткове тепло,  $Q_i$  – вторинне тепло. Слід відрізнити піроліз від близького до нього процесу газифікації. Газифікація є термохімічним високотемпературним процесом взаємодії органічної маси або продуктів її термічної переробки з газифікуючими агентами, в результаті чого органічна частина або продукти її термічної переробки перетворюються на горючі гази. Як газифікуючі агенти застосовують повітря, кисень, водяну пару, діоксид вуглецю, а також їх суміші. Процеси піролізу відходів набули більшого поширення, ніж газифікація. Піролізу піддаються тверді побутові та близькі до них за складом промислові відходи, відходи

пластмас, гуми (у тому числі автомобільні покришки), інші органічні відходи.

Із санітарної точки зору процес піролізу володіє кращими показниками у порівнянні зі спалюванням. Кількість газів, що відходять, піддаються очищенню, набагато менше, ніж при спалюванні відходів. Обсяг твердого залишку, одержуваного за схемою високотемпературного піролізу, може бути значно зменшений. Твердий залишок можна використати у промисловості (сажа, активоване вугілля тощо). Таким чином, деякі схеми піролізу відходів можуть бути безвідходними. Високотемпературний піроліз у порівнянні з іншими методами має низку переваг:

- при ньому відбувається більш інтенсивне перетворення вихідного продукту;
- швидкість реакцій зростає з експоненціальним збільшенням температури, у той час як теплові втрати зростають лінійно;
- збільшується час теплового впливу на відходи.

## РОЗДІЛ V

### Проектування та розрахунок споруд очищення стічної води (на прикладі стічних вод підприємства харчової промисловості)

В даному розділі розглянуті питання пов'язані з сучасними методами очистки промислових стічних вод пивоварного заводу в м. Полтава.

Проблема забрудненості і очистки промислових стічних вод на сьогодні ставиться дуже гостро, адже за нестачі водних ресурсів, хорошої якості, які б могли використовуватися не тільки в питних цілях, але й у виробничих і технічних, ставиться питання як найкращого очищення стічних вод. Не тільки з метою збереження чистоти навколишнього середовища, здоров'я людей, але й економії природних водних ресурсів, використовуючи очищені стічні води повторно в технологічних і виробничих процесах.

#### Характеристика технології виробництва пива

Перед тим, як визначати технологію очистки стічних вод пивзаводу, варто зазначити опис технології виробництва пива та безалкогольного напою – квасу, який иакож виробляється на цьому заводі.

#### Сировина для виробництва пива, показники якості сировини і готової продукції

Пиво — слабоалкогольний напій, насичений вуглекислим газом, що має специфічний аромат та смак. Вміст в пиві вуглекислого газу пояснюється його здатністю втамовувати спрагу. Гіркі речовини хмелю, що містяться в пиві, стимулюють травлення. Пиво, завдяки присутності вуглеводів, білків, вітамінів і органічних кислот має певну поживну цінність. Так один літр світлого пива має калорійність (400...500) ккал (1700...2000 кДж). Темні сорти пива місять до 800 ккал (3400 кДж). Вміст алкоголю в пиві невеликий і змінюється в широких межах від 2,5 до 8% об. Показники якості пива визначаються лабораторним-аналізом і органолептичними методами та повинні відповідати стандартам.

Основною сировиною для виробництва пива є ячмінний солод, хміль і несолоджені матеріали (кукурудзяне, ячмінне, рисове борошно тощо). В значній мірі визначає якість пива вода, вміст якої в пиві складає майже 90%. Тому до води використовуються такі вимоги як і до питної, у

відповідності до стандарту. Не допускається вміст у воді заліза більше 5 мг/л; жорсткість води для виготовлення світлого пива не повинна перебільшувати 1,8 мг-екв/л. Для приготування темних сортів пива рекомендується вода, що має жорсткість (5,5...7,0) мг-екв/л. Воду забруднену тваринними відходами, які містять аміак, азотну, азотисту, фосфорну кислоти використовувати для приготування пива заборонено. Вода не повинна містити мікроорганізми, що утворюють плісені.

Якість солоду оцінюють за числом одиниць амінолітичної активності (АС), що містяться в 1 г солоду, за зовнішнім виглядом зерна, запахом. Частину солоду (від 15 до 50%) замінюють ячмінним або кукурудзяним борошном, рисовою січкою, цукром, тощо. Для приготування темних сортів пива частину світлого солоду замінюють темним, карамельним і спаленим солодом. Хміль — багаторічна витка дводомна рослина. В пивоварінні використовують його жіночі суцвіття, що називаються шишками. На чарунках шишок хмелю є лицулінові зерна, що містять ароматичні і смакові речовини, наявність яких є причиною використання хмелю в пивоварінні. Хміль надає аромат і колір, придушує розвиток мікроорганізмів, збільшує піностійкість і стійкість пива при зберіганні. Контроль якості солоду, несолоджених матеріалів, хмелю, води і пива здійснюють лабораторним аналізом і органолептичними методами.

#### Технологічна схема виробництва пива

Узагальнена структурна схема виробництва пива приведена на Рис.1 включає такі етапи: підготовка солоду і його заміників, готування пивного суслу, прояснення і охолодження суслу, головне бродіння, доброджування, віджимка, прояснення і розливання пива. Солод і несолоджений ячмінь для готування суслу попередньо піддають очищенню на полірувальних машинах і подрібненню.

Мета подрібнення: відкриття складових частин для дії ензимів з послідовним затиранням, оскільки вихід екстрату і швидкість фільтрування залежить від якості помелу. Подрібнення необхідно вести так, щоб мучнисті частинки зерна були добре подрібнені, а оболонки, що складаються із целюлози, зберігались і були не дуже подрібненими використовувались у подальшому як фільтруючий шар (осадок). Для подрібнення солоду використовують чотирьох чи шестивальцові дробарки.

Дробарка має дві пари гладких вальців однакового діаметру. Верхня пара вальців виконує грубе попереднє подрібнення, при цьому одержується значна кількість лушпиння і крупки. Після грубого

подрібнення помел надходить до вібруючих сит. На цих ситах задержується груба крупка і лушпиння, а тонка крупка і борошно відокремлюються і надходять до бункеру. Схід із сит надходить на другу щіру вальців, де повторно подрібнюється несолоджений ячмінь, який частково замінює солод. Використовують і двохвальцові дробарки з рифленими вальцями.

Затирання — процес готування сусла для бродіння. Мстою цього процесу є екстрагування розчинних речовин солоду і переведення в розчинний стан нерозчинених речовин. Цей перехід здійснюється дією на солод, ензимів (ферментів), що містяться в ньому. Змішаний з водою та подрібнений солод називається затором. Розчин, який одержують в процесі затирання називається суслим. Водорозчинні речовини солоду (цукор, продукти розпаду білків, деякі кислоти і інші), легко розчинюються у воді. Крохмаль, що міститься в солоді такі як частина білкових речовин, у воді нерозчинені. Тому вони піддаються оцукрюванню, що проходить під дією ферментів амілази, яка міститься в солоді. Кінцевим продуктом розщеплення крохмалю є цукор (мальтоза) та декстрини, які є важливою складовою частиною сусла і готового пива. В процесі затирання в затор іде розщеплення складних білкових сполучень під дією протеолітичних ензимів.

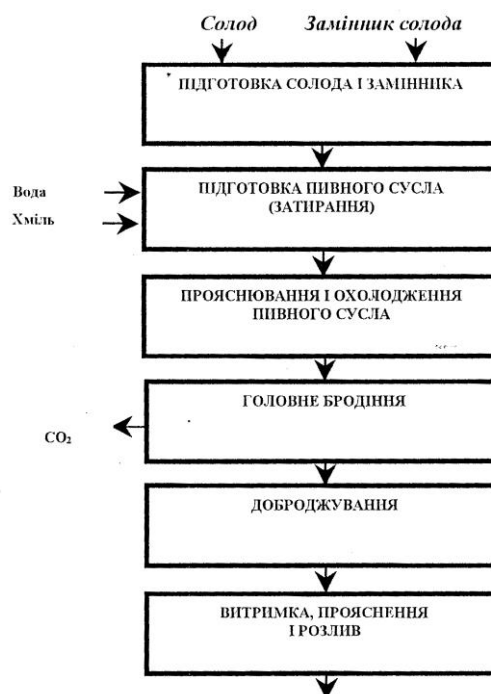


Рис 5.1. Узагальнена функціональна схема виробництва пива

На рис. 5.2 зображена технологічна схема варочного відділення пивоварного заводу, в якому готують пивне сусло.



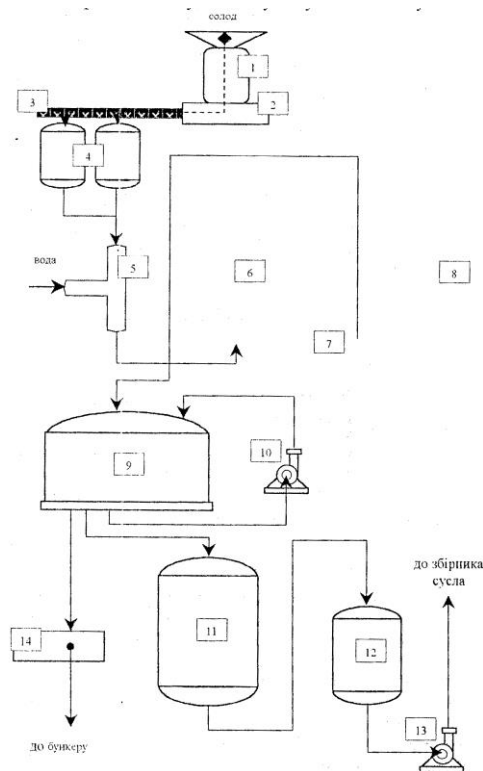


Рис.5.2. Техногічна схема варочного відділення пивзаводу.

Солод через автоматичні ваги 1 надходить до солододробовки. Дроблений солод шнеком і подається до бункерів 4, а потім у предзаторник 5, в якому змішується з теплою водою з температурою (40...50) °С. Одержана тістоподібна маса надходить до заторного чану б, що має мішалку. В ньому тістоподібна маса перемішується (затирається). По закінченню затирання частина заторної маси (біля 40%) відцентровим насосом 7 перекачується в за-торний котел 8, який крім мішалки має парову сорочку. Тут маса нагрівається до температури оцукрювання (70 °С). Після закінчення оцукрювання вона доводиться до кипіння. Після недовгочасного кипіння (біля 15 хв), яке необхідне для розварювання крупних частинок солоду, розриву оболонок крохмальних зерен і клейстиризації крохмалю, заторна маса перекачується у заторний чан б. Кип'ячена частина затору носить назву першої відвари.

При змішуванні першої відвари з некип'яченою частиною затору залишається в спокої (15...30) хв. для оцукрювання. Після цього знову відбирають 40% маси і перекачують у заторний котел 8 (друга відварка), де її нагрівають до кипіння і кип'ятять 15 хв. Другу відварку повертають у заторний чан б, де встановлюється температура 75 °С. Далі всю заторну масу насосом 7 передають до фільтраційного чану 9, що служить для відокремлення дробини від суслу. Він має ситчасте дно, розташоване на

(8... 12) м вище основного дна. На цьому ситчастому дні відкладається шар дробини, через який іде фільтрування сусла. На початку фільтрування одержується мутне сусло. Його насосом 10 повертають в фільтраційний чан. Коли на ситі утворюється фільтраційний шар, сусло стає прозорим і його направляють до сусловарочного казана, де його кип'ятять разом із хмелем. При кип'ятінні сусла з хмелем відокремлюється частина води, сусло ароматизується, іде денатурація білків сусла і його стерилізація.

Гаряче охмелене сусло опускається у хмелевідокремлювач 12. В ньому затримуються пелюстки хмелю, а сусло надходить до збірника гарячого сусла за допомогою насосу 13. Вилучена солодова дробина із фільтраційного чану 9 направляється в монжу 14, а звідси в приймальний бункер. Дробина використовується як корм для худоби.

Описана схема має назву відварної. В залежності від кількості відваром розрізняють одно-, дво-, трьохвідварочний спосіб приготування сусла. Фільтрування сусла проводиться у фільтраційних чанах із ситчастими днищами або у фільтрпресах.

Освітлення та охолодження сусла. При кип'ятінні сусла іде звертання білків. Для їх відокремлювання сусло піддають проясненню відстоюванням чи сепаруванням. Відстоювання проводиться в холодильних тарілках з великою площею. Тут сусло піддають аерації та охолодженню. Процес відстоювання, в результаті якого випадають в осадок білково-дубильні сполуки, протікає повільно. Тому для інтенсифікації процесу використовують відцентрові осаджувальні сепаратори.

Освітлене сусло направляється на охолодження в зрошувальні, пластинчаті і інші теплообмінники. Конструкції яких були розміщені в 4-у розділі.

Головне бродіння (шумування) сусла. Готове сусло направляється на бродіння, яке в пивоварному виробництві проводиться у дві стадії. В кожній стадії використовуються спеціальні раси дріжджів — так звані дріжджі низького бродіння. Ці дріжджі до кінця бродіння опускаються на дно бродильного посуду, завдяки чому сусло освітлюється.

Перший етап бродіння — головне бродіння — іде при температурі (6...9) °С. Бродильні апарати для проведення головного бродіння виготовляються із сталі, алюмінію чи залізобетону відкритого типу, прямокутної чи циліндричної форми. Закриті бродильні апарати допускають можливість використовувати вуглекислоту, що

відокремлюється при бродінні. Циліндричні апарати (танки) встановлюються вертикально чи горизонтально. їх діаметр від 1,3 до 2,3 м. Довжина змінюється в залежності від об'єму.

Танк наповнюють охолодженим суслим на 1/3 його об'єму і додають дріжджі, після чого заповнюють танк суслим до встановленого об'єму. Тривалість головного бродіння, в залежності від концентрації суслиа змінюється від 7 до 10 діб. Головне бродіння закінчується після досягнення певної ступені бродіння. Одержане, так зване, молоде пиво перекачують насосом для доброджування і витримки в лагерне відділення, обладнаного такими ж ганками. В цьому відділенні підтримується температура (0...1) °С. На рис. 6.3. зображена апаратурно-технологічна схема лагерного відділення. З бродильного відділення молоде пиво поступає в лагерні танки, де йде процес доброджування. Спиртове бродіння в них протікає помалу, оскільки температура пива в них підтримується (0...2) °С. В молодому пиві міститься біля 1% екстрактивних речовин біля 0,2% (масових) вуглекислого газу.

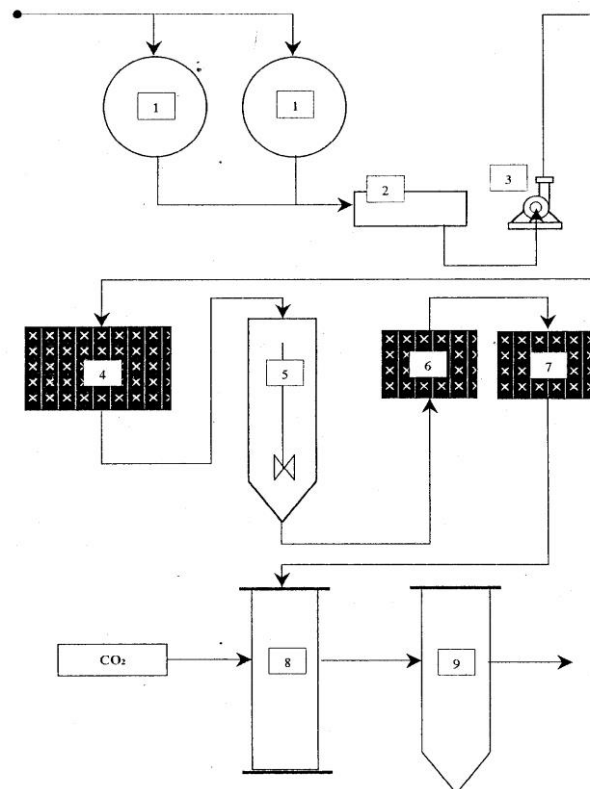


Рис. 5.3 Апаратурно-технологічна схема лагерного відділення

В процесі доброджування вміст екстрактивних речовин зменшується, а вміст вуглекислоти в пиві збільшується до (0,30...0,35)%. Доброджування йде при тиску в танку (0,03...0,05) МПа, що підвищує розчинність вуглекислого газу. Тривалість доброджування та витримка пива залежить

від сорту. Так, пиво типу жигулівського втримують — 21 добу, типу московського — 42, а лєнінградське — 90 дїб.

Освітлення пива починається після закінчення бродіння. Осадкові в танку дріжджі збирають частинки білків і хмільних смол. Частково прояснене пиво з лагерних танків надходить у змішувач 2, цим досягається вирівнювання якості пива, одержаного в різних танках. Із змішувача насосом 3 пиво направляється в пластинчатий холодильник 4, де воно охолоджується ропою до температури (0... 1) °С. Охоложене пиво надходить у змішувач 5, де до нього додається діатомїт (кізельгур). Суспензія діатомїту із пивом далі надходить на фільтр 6. В ньому фільтрі фільтруючим шаром є шар діатомїту, відкладений на картонній чи тканинній поверхні. Освітлене пиво ще другий раз охолоджується в холодильнику 7 і надходить до карбонї затору 8, де його додатково (у випадку необхідності) насичують вуглекислотою. Готове пиво надходить до збірників, звідки воно їде на розлив.

Зараз в практику пивоваріння широко втілюються методи бродіння, що значно скорочують строки приготування пива і підвищуючи продуктивність заходів. Ці способи засновані на доброджуванні пива при відсутності кисню. В пиві утворюється мало альдегідів і воно дозріває швидше.

Бродіння сусла на сучасних пивоварних заводах проводиться за більш короткий час. Повне бродіння сусла здійснюється на 11 дїб в спеціальних танках об'ємом 100 м<sup>3</sup>. Бродіння їде при періодичному зниженні температури бродильного середовища від 14 до 20 °С. Керування температурою бродіння проводиться автоматично за спеціальною програмою. Накоплений вуглекислий газ також періодично виводиться та скраплюється. Виведення з дріжджів (осаду) проводять через нижній патрубок. Втілення у виробництво скороченого методу бродіння дозволило збільшити продуктивність, знизити витрати та підвищити якість пива. Доставка пива до торгової мережі здійснюється в автоцистернах.

Питання керування процесом пивоварного виробництва спеціально розглядати і не будемо, оскільки вони засновані майже на тих же принципах, що і попередні технологічні процеси. Особливістю основних етапів приготування пива — затирання і бродіння сусла є можливість керування ними за заданою програмою.

### **Виробництво безалкогольних напоїв**

Для виробництва безалкогольних напоїв основною сировиною є вода (90%), а також цукор, спиртовані соки або екстракти із плодів ягід, харчові кислоти (лимонна, молочна), ароматичні настої, есенції та вуглекислий газ. Виробництво газованих напоїв складається із таких операцій: обробка (зм'якшення) води, підготовка білого цукрового сиропу, купажию сиропів, газування води вуглекислим газом, підготовка посуду, розливання напоїв, бракераж готової продукції, пакування і зберігання.

Готування групового сиропу полягає в розчиненні цукру у воді, кип'ятіння з метою знищення слизоутворюючих бактерій. Інвертний цукровий сироп готують з добавкою лимонної кислоти після кип'ятіння і охолодження його до 70 °С на кожній 100 кг цукру. Купажні сиропи готують змішуванням всіх складових за рецептурою (крім газованої води) в закритих ємностях з механічними мішалками. Для дозування використовують сироподозувальні машини. Налитий у пляшки у купажний сироп доливають газованою водою. Насичення води вуглекислим газом здійснюють у сатураторах. Розливання води здійснюють на автоматичних лініях, що складаються із пляшкостійних машин, дозуючих, розливних, закупорювальних, бракеражних автоматів та автоматів для укладки пляшок.

Хлібний квас — продукт молочнокислого і спиртового бродіння сусла, підготовленого із суміші соложених і несоложених хлібоприпасів і цукру. Для виготовлення хлібного квасу використовують солод із жита та ячменю, несоложені матеріали І цукор. Процес складається із підготовки сировини і квасного сусла, бродіння квасного сусла, купажування та розливання квасу в пляшки або інші ємкості.

Зараз хлібний квас готують в основному із концентратів квасного сусла, які готують із сухого житнього і ячмінного солоду з добавкою кукурудзяного борошна і уявляють собою в'язку, густу темно-коричневу кисло-солодку рідину з місткістю 72% сухих речовин. Готують концентрати на окремих підприємствах або цехах.

Виробництво квасного сусла здійснюють у такій послідовності: житній солод і борошно подають до запарника, змішують з водою, підігрівають під піском пару 20 кПа протягом 2-х годин, передають до заторного чану з додаванням води і доведення до температури 55 °С, вигримують (15...20) хв., знову нагрівають до 63 °С протягом 60 хв, потім до 72 °С протягом (20...25) хв. Та до 80 °С протягом 10 хв. Одержану масу затору відстоюють,

зм'якшують сусло, проливають, повторно відстоюють і знову зтягують сусло.

Підготовлене таким чином сусло з місткістю сухих речовин не менш ніж 2% додають 25% цукрового сиропу, закваску чистої культури дріжджів молочнокислих бактерій — (2..4)% і направляють до бродильних чанів.

Бродіння відбувається при температурі (25...30) °С до зниження сухих речовин в суслі до (0,6... 1,0)% і кислотності (2,0...2,5 мл на 1 розчину лучів на 100 мл квасу. Заквашене сусло бродить (14... 16) годин. Молодий квас купажують, тобто зміщують з цукровим сиропом, охолоджують до (10... 12) °С і подають на розлив.

Сорти квасу готують на одній основі але вони відрізняються різноманітністю завдяки добавкам: квас хлібний, квас ароматний, квас медовий, квас московський, квас для окрошки, тощо. За добавки використовують чебрець, тмин, хміль, мед, тощо.

Квас є непрозорим напоєм і при відстоюванні дає невеликий осадок із хлібних кришок і дріжджів, має коричневий колір з червонуватим відтінком. Смак кислуватий і освіжаючий з ароматом житнього хліба. Місткість алкоголю — не нижче 0,5%.

### **Розрахунок необхідного ступеню очищення стічних вод.**

Для проведення очистки стічних вод на системі очисних споруд необхідно розрахувати ефективність очистки, яку мають забезпечувати запроектовані споруди в залежності від допустимих концентрацій забруднюючих речовин для подальшого використання стічних вод або скидання їх у каналізаційну систему.

Отже, ефективність (ступінь) очистки (%) визначається за формулою:

$$\varepsilon = \frac{C_{СК} - C_{ДОП}}{C_{СК}} 100\%$$

$C_{СК}$  - концентрація забруднюючих речовин у стічних водах,

$C_{ДОП}$  - допустима концентрація забруднюючих речовин.

#### **1. Зважені речовини:**

$$\varepsilon = \frac{695 - 15}{695} 100\% = 97,84\% ;$$

**2. рН:**

$$\varepsilon = \frac{5,0 - 7,0}{5,0} 100\% = 40\% ;$$

**3. Загальна твердість:**

$$\varepsilon = \frac{142 - 5,5}{142} 100\% = 98,24\% ;$$

**4. Солевміст:**

$$\varepsilon = \frac{1545 - 750}{1545} 100\% = 51,46\% ;$$

**5. Ca<sup>2+</sup> :**

$$\varepsilon = \frac{92 - 3}{92} 100\% = 96,74\% ;$$

**6. Mg<sup>2+</sup> :**

$$\varepsilon = \frac{25,4 - 0,3}{25,4} 100\% = 98,82\% ;$$

**7. Cl<sup>-</sup> :**

$$\varepsilon = \frac{290 - 1,5}{290} 100\% = 99,48\%$$

**8. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> :**

$$\varepsilon = \frac{205 - 50}{205} 100\% = 75,61\%$$

**9. БСК<sub>5</sub> :**

$$\varepsilon = \frac{1020 - 3}{1020} 100\% = 99,71\%$$

**10. ХСК:**

$$\varepsilon = \frac{1300 - 10}{1300} 100\% = 99,23\%$$

**11. Фосфор (P<sub>2</sub> O<sub>5</sub>):**

$$\varepsilon = \frac{12,0 - 0,5}{12,0} 100\% = 95,83\%$$

**12. Азот:**

$$\varepsilon = \frac{85 - 2,0}{85} 100\% = 97,65\%$$

**13. ПАР:**

$$\varepsilon = \frac{37-0,3}{37}100\% = 99,19\%$$

#### 14. Кольоровість:

$$\varepsilon = \frac{59-6}{59}100\% = 89,83\%$$

#### Техніко-економічне обґрунтування вибраної системи очистки.

Кількість стічних, які утворюються на даному підприємстві – 570 м<sup>3</sup>/доб;

На даному пивоварному заводі використовується така схема очистки стічних вод від забруднень: стічні води спочатку подаються на решітки з ручною очисткою, потім на вертикальну пісколовку, до первинного радіального відстійника відстійника, контактного усереднювача, флотатор, далі йде колодязь з насосами, метатенки, газова свічка, первинний радіальний відстійник, змішувач, одноступінчатий однокамерний аеротенк, вторинні радіальні відстійники I і II ступенів, гравітаційно – піщаний фільтр з нисхідним потоком, відділювач мулу, регенератор, хлораторна, контактний резервуар, повітрорудна станція, бункер для піску.

Для покращення системи очистки стічних вод підприємства, в даному курсовому проекті пропонується удосконалена система очистки із застосуванням сучасних методів і обладнання для очищення стічної води. Порівняння обладнання, яке використовується на підприємстві і те, яке рекомендується та його переваги, наводиться в таблиці техніко – економічного обґрунтування вибраної системи очистки стічних вод.

Очисне обладнання в таблиці представлено в порядку його застосування в процесі очистки.

Таблиця 5.1

Техніко – економічне обґрунтування вибраної системи очистки стічних вод пивоварного підприємства.

№ п/п	Очисне обладнання, яке використовується на підприємстві	Рекомендації	Переваги
1	2	3	4
<b>Механічне очищення</b>			



<p>1. <b><u>Ручна решітка</u></b> – застосовується для затримки із стічних вод забруднення великих розмірів, і являється спорудою, яка готує стічні води до подальшої, більш повної очистки. Вона прискорює очищення води на всіх послідуєчих етапах очищення, а також зберігає обладнання від виходу з ладу, шляхом його засмічення.</p>	<p><b><u>Механізована решітка – рухома решітка, суміщена з дробарками (решітки - дробарки).</u></b></p>	<p>Механізована решітка набагато полегшує процес її очищення від затриманих нею забруднень. Видалені з неї домішки, подаються на дробарку. Процес транспортування домішок на дробинку – механізований.</p>
<p>2. <b><u>Вертикальна пісколовка</u></b> – призначена для видалення із стічних вод важких мінеральних домішок (головним чином піску) і встановлюється перед відстійниками. Застосування пісколовок обумовлено тим, що при сумісному видаленні у відстійниках мінеральних і органічних домішок виникають значні ускладнення при видаленні осаду із відстійників і подальшому його зброджуванні в метантенках. Робота пісколовок заснована на використанні гравітаційних сил. Пісколовки розраховуються таким чином, щоб в них випадали в осад пісок та інші важкі мінеральні частинки, але не випадали в осад домішки органічного походження.</p>	<p><b><u>Горизонтальна пісколовка з прямолінійним рухом води</u></b></p>	<p>Пісок, який осідає на дно пісколовки з прямолінійним рухом води, переміщається до приямку, який розташований на початку споруди, скребками, при цьому відбувається часткова відмивка піску. Із приямку пісок видаляється гідроелеватором чи пісковими насосами. Дія горизонтальної пісколовки основана на тому, що при русі стічної води (в резервуарі, каналі, відстійнику) кожна нерозчинна частинка, яка знаходиться в ній, переміщується разом зі струменем води і водночас рухається вниз під дією сили тяжіння зі швидкістю, яка відповідає крупності і щільності частинки.</p>
<p>3. <b><u>Контактний усереднювач</u></b> – призначений для забезпечення безперебійної та стабільної роботи очисних споруд, в ньому відбувається вирівнювання концентрацій і витрат стічних вод, які</p>	<p><b><u>Проточний прямокутний багатокоридорний усереднювач</u></b></p>	<p>Поступання на очисні споруди промислових стічних вод з постійними витратами і усередненою концентрацією забруднень створює ряд переваг – підвищення ефективності як механічної,</p>

	<p>поступають на очисні споруди.</p>		<p>так і послідуєчих фізико-хімічної і біологічної очистки стічних вод. В результаті цього досягаються більш високоякісні показники очищеної води. Введення в комплекс очисних споруд резервуарів – усереднювачів дозволить продовжити термін служби очисних споруд. Усереднення потоку стічних вод в обрано виді усереднювала, здійснюється за рахунок диференціювання потоку, який, поступаючи в усереднювач, розділяється на ряд струменів, які протікають по коридорах різної довжини. В результаті в збірному лотку змішуються струмені різної концентрації, які поступили в усереднювач в різний час.</p>
4.		<p><b><u>Освітлювач з природною аерацією у вигляді вертикального відстійника з внутрішньою камерою флокуляції.</u></b></p> <p><b><u>2шт.</u></b></p> <p>призначений для інтенсифікації процесу первинного відстоювання при підвищеному вмісті важкоосаджувальних речовин. В освітлювачах досягається зниження концентрації забруднень на 75 % по завислим речовинам і на 15% по БПК<sub>нов</sub> за рахунок суміщення процесів осадження, утворення пластівців і фільтрації</p>	<p>Потік стічної води, який поступає через центральну трубу в камеру флокуляції, ежектує повітря, внаслідок різниці рівнів води в лотку, що подає і освітлювачі. Із камери флокуляції, де відбувається часткове окислення органічних речовин, посилення утворення пластівців і сорбція забруднень, стічна вода направляєється у відстійну зону, в якій при проходженні через шар зваженого осаду затримуюються дрібнодисперсні зважені частинки. Освітлена вода відводиться через круговий периферійний лоток. Плаваючі речовини затримуються внутрішньою стінкою збірного лотка і по мірі накопичення скидаються через спеціальний кільцевий лоток. Осад, що випав,</p>

		стічної води через шар завислого осаду.	видаляється під гідростатичним напором.
5.	<b><u>Флотатор</u></b> – застосовують для видалення із стічних вод масел, жирів, нафтопродуктів, латексів, смол, гідроокисів, продуктів органічного синтезу, поверхнево – активних речовин (ПАР), тонкодисперсних завислих речовин, які мають гідравлічну крупність до 0,01 мм/с і менше, деяких емульсованих рідин, гідроокисидів важких металів, полімерів і т.д., а також для розділення мулових сумішей. При оптимальних умовах ефект очистки досягає 85-95%.	<b><u>Комбінація флотатора – відстійника і електрофлотатора – радіального відстійника з вбудованою внутрішньою елктофлотаційною камерою</u></b>	Флотатор – відстійник являє собою радіальний відстійник з вбудованою всередині підвісною флотаційною камерою, з комбінованим механізмом для розподілення стічної води, згрібання піни і збору осаду. У флотаторі – відстійнику стічні води через водорозподілювач поступають до флотаційної камери, де найменші пухирці повітря, що виділяються з води, тягнуть за собою поверхнево – активні речовини і утворюють пінний шар, який видаляється. Тут же відбувається і осадження важких зважених речовин. Із флотаційної камери стічні води направляються у відстійну зону і далі через отвори у дні піднімаються вгору між піноутримуючою стінкою і стінкою відстійника, переливаються по кромці водозливу у відповідний кільцевий лоток. <b><u>Електрофлотатор</u></b> - використовується для кращого доочищення січних вод від поверхнево- активних речовин (ПАВ). Електрофлотатор облаштований комбінованим механізмом для розподілення стічної води, згрібання піни і збору осаду диспергатором, а також електродами.
6.	<b><u>Первинний радіальний відстійник</u></b> – призначений для видалення із стічні води грубо дисперсних домішок, які під дією гравітаційної сили осідають на дно відстійника чи спливають на його поверхню. Даний вид	<b><u>Первинний вертикальний відстійник неперервної дії (проточний) з вбудованим преаратором</u></b>	В порівнянні з горизонтальними у вертикальних відстійниках більш зручно видаляти осад. Відстійник займає меншу площу. Преаратор призначений для попередньої аерації стічної води з метою

	відстійника використовується перед спорудами біологічної очистки стічних вод.		підвищення ефективності освітлення при відстоюванні у первинних відстійниках, з подальшою подачею на аеротенки. Відбувається видалення зважених речовин БСК та зменшення показника БСК. Видалення зважених речовин відбувається на 5-10%.
<b>Біологічне очищення</b>			
7.	<b><u>Оноступінчатий однокамерний аеротенк</u></b> – очищення стічних вод за допомогою мікроорганізмів, які використовують забруднювачі стічних вод в якості джерела живлення в процесі життєдіяльності.	<b><u>Багатокамерний аеротенк – змішувач з денітрифікатором</u></b>	Очищення стічної води відбувається в резервуарі, в якому знаходиться шар пластівців активного мулу, через який вона і проходить. Мікроорганізми, що знаходяться в шарі активного мулу і біоплівки, різноманітні: бактерії, найпростіші гриби, деякі вищі організми (коловратки, черв'яки, кліщі), водорості, віруси. В аеротенках відбувається очищення стічних вод по таким параметрам, як: БСК, ХСК, завислі речовини, азот, фосфор. Денітрифікатори в даному випадку використовуються для видалення зі стічних вод нітратів і нітритів та азоту. В денітрифікаторах відбувається розкладання окислених форм азоту до азоту молекулярного.
<b>Механічне очищення</b>			
8.	<b><u>Вторинний радіальний відстійник I ступеню</u></b> – використовуються для затримання активного мулу, який поступає разом з очищеною водою із аеротенків чи для затримання біологічної плівки, яка поступає з водою із біофільтрів.	<b><u>Вторинний вертикальний відстійник I ступеню</u></b>	Покращують очищення води після біологічної очистки.

9.	<b>Біологічне очищення</b>		
		<p><b><u>Високонавантажувальні біофільтри</u></b></p> <p>-</p> <p>пристрої, в якому стічна вода фільтрується через загрузочний матеріал, покритий біологічною плівкою, яка утворена колоніями мікроорганізмів.</p>	<p>Відмінною рисою цих споруд являється більш висока, ніж в звичайних крапельних біофільтрах, окислювальна потужність, що обумовлено незамулюваністю таких фільтрів і кращим обміном повітря в них.</p> <p>Підвищена швидкість руху стічної води забезпечує постійне винесення затриманих важкоокислювальних нерозчинних домішок і відмерлої біоплівки.</p> <p>Високонавантажувальні біофільтри можуть забезпечити будь-яку задану ступінь очистки стічних вод, тому вони застосовуються як для часткової, так і для повної їх очистки.</p> <p>В порівнянні з крапельними мають більшу пропускну здатність по об'єму пропускаємої через них води, а не по кількості перероблених (окислених) забруднень. Підвищена ж ефективність цих біофільтрів по видаленню із стічних вод забруднюючих речовин досягається при збільшенні висоти шару завантаження, збільшення крупності зерен завантаження і кращому повітрообміну.</p>
10.	<b>Механічне очищення</b>		
	<p><b><u>Вторинний радіальний відстійник II ступеню</u></b> – використовується для доочищення очищеної води від біологічної плівки, яка поступає після біологічного доочищення на біофільтрах.</p>	<p><b><u>Вторинний вертикальний відстійник II ступеню</u></b></p>	<p>Покращує очищення води після біологічного фільтру.</p>

11.	<b>Механічне очищення</b>		
<p><u><b>Гравійно – піщаний фільтр з нисхідним потоком</b></u> - призначений для глибокого доочищення води від дрібнодисперсних частинок та залишків, які застаються в очищеній стічній воді після біологічної очистки. Має зернисте завантаження.</p>	<p><u><b>Гравійно –піщаний одношаровий фільтр з висхідним потоком</b></u></p>	<p>Ефективність очистки по БСК<sub>нов</sub> - 50-65 %, по завислим речовинам – 80-90%. Загрузочний матеріал – кварцевий пісок (1,5 – 2 м) і гравій (0,75 - 0,95 м). Швидкість фільтрування при нормальній роботі – 11-12 м/год, при форсованій – 13-14 м/год. Інтенсивність промивки, л/(с·м<sup>3</sup>): повітрям – 18-20, повітрям (18-20) і водою (3-4), водою – 6-7.</p>	
12.	<b>Фізико – хімічне очищення</b>		
	<p><u><b>Адсорбційний фільтр із загрузкою з активованого вугілля.</b></u> <u><b>Катіонний фільтр, Аніонний фільтр</b></u> відбувається поглинання твердим тілом речовин із навколишнього середовища. Речовина, яка поглинається називається адсорбатом, а фільтр відповідно адсорбентом. В даному випадку адсорбційний фільтр застосовується для доочистки стічних вод після біологічної очистки, особливо по такому показнику, як фосфор.</p>	<p>Активоване вугілля являється одним із найбільш ефективних завантажувальних матеріалів для адсорбційних фільтрів. Пористість активованого вугілля – 60-75 %, питома площа поверхні – 400-900 м<sup>2</sup>/г. <u><b>Катіонний фільтр</b></u> – призначений для глибокого доочищення води від катіонів, що зумовлюють мінеральний склад, колірність, твердість, солевміст, та від ПАР. <u><b>Аніонний фільтр</b></u> – призначений для глибокого доочищення води від аніонів, що зумовлюють мінеральний склад, колірність, твердість, солевміст, та від ПАР.</p>	
13.	<p><u><b>Хлорування води</b></u></p>	<p><u><b>Озонування води</b></u></p>	<p>Озонування порівняно з хлоруванням є більш ефективнішим і безпечнішим засобом знезараження. По-перше зводить до мінімуму</p>

			<p>кородування труб та технологічного обладнання, а по-друге, даний спосіб покращує колірність води, усуває неприємні запахи, по – третє відпадає необхідність в транспортуванні дезинфікантів і їх зберіганні , так , як озон виробляється на місці, дозування озону не вимагає такої точності, як дозування хлору, і він являється набагато безпечнішим, як для працівників, так і для користувачів.</p>
--	--	--	--

### **Розробка технологічної схеми, підбір обладнання, розрахунок технологічних та конструктивних параметрів**

Для ефективної роботи очисних споруд необхідно правильно підібрати технологічне обладнання з вірно заданими параметрами. Для цього виконується розрахунок кожної стадії очистки.

#### **Розрахунок решітки**

Решітки використовуюються для затримання із стічної води крупних нерозчинних забруднень і являються спорудами, які готують стічні води до подальшої, більш повної очистки. Прозори між стержнями решіток повинні бути якомога меншими, щоб затримувати якомога більше грубих домішок для полегшення роботи відстійників. Виходячи із цих вимог, ширина прозорів між решітками повинна становити  $b=16\div 19$  мм. Швидкість потоку стічних вод між стержнями решітки не повинна перевищувати 1м/с.

Решітки устанавлюються на всіх очисних станціях незалежно від способу подачі на них стічної води – самопливом чи під напором після насосної станції, яка має решітки з прозорами більше 20 мм. Решітки поділяють на нерухомі і рухомі, суміщені з дробарками (решітки – дробарки). В нашому випадку ми застосовуємо рухома решітку, суміщену з дробарками. Решітки мають стержні прямокутної форми.

#### **1) Визначимо розмір решіток.**

Максимальна секундна витрата стічної води становить:

$$q_{\max} = Q \cdot K_H / (16 \cdot 3600);$$

$Q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год. Приймаємо двозмінний робочий день;  
 $K_H$  – коефіцієнт нерівномірності - 1,25;

$$q_{\max} = 570 \cdot 1,25 / (16 \cdot 3600) = 0,0124 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Приймаємо глибину в камері перед решіткою  $h_1 = 0,1$  м, середню швидкість руху води в прозорах  $v_p = 0,25$  м/с та ширину прозорів  $b = 0,016$  м.

Загальне число прозорів решітки:

$$n = \frac{q_{\max}}{b \cdot h_1 \cdot v_p} k_3;$$

$k_3$  - коефіцієнт, що враховує стиснення прозорів граблями і затриманими забрудненнями, приймаємо 1,05.

$$n = \frac{0,0124}{0,016 \cdot 0,1 \cdot 0,25} \cdot 1,05 = 33 \text{ шт.}$$

Загальна ширина решітки:

$$B_p = s(n-1) + bn,$$

де  $s$  - товщина стержнів решітки – 6 мм;

$$B_p = 0,006(33-1) + 0,016 \cdot 33 = 0,72 \text{ м};$$

Кількість – 2 шт., 1 резервна.

Час перебування води у решітці становить 10,0 секунд.

### **Розрахунок пісколовки**

Пісколовки призначені для видалення зі стічних вод важких мінеральних домішок (головним чином піску) і встановлюються перед відстійниками.

Пісколовки поділяють на горизонтальні з круговим і прямолінійним рухом води і вертикальні з рухом води знизу вгору і пісколовки з



вихровим рухом води останні поділяються на тангенціальні і аеруємі). У нашому випадку застосуємо горизонтальну пісколовку з прямолінійним рухом води. Вони являють собою у плані подовжені прямокутні резервуари. Стічна вода підводиться до пісколовки і відводиться від неї лотками. Для вимкнення пісколовок із роботи ні підвідних і відвідних лотках в розподільчій камері устанавлюють затвори. Осад із пісколовок видаляється гідроелеваторами. Подача робочої рідини до гідроелеваторів і відведення пульпи здійснюється самостійними напірними трубопроводами через камеру перемикання, обладнану задвижками. Виходячи з того, що витрата стічних вод напротязі доби коливається, для підтримки стабільної швидкості руху води, пісколовка повинна мати не менше двох відділень, з таким розрахунком, що в години мінімальної витрати, частина відділень відмикалась з робочого стану. Оптимальна швидкість руху води в пісколовці – 0,3 м/с – верхня межа, нижня – 0,15 м/с. В основному в пісколовках затримується пісок з гідравлічною крупністю – 0,2 – 0,25 мм, який становить 65 % всієї кількості піску. Час перебування води в пісколовці – 30 - 60 с.

Обираємо двохсекційну пісколовку.

**1) Площа живого перерізу одного відділення:**

$$n = q_{\max} / (v_p n);$$

$n$  – кількість відділень, приймаємо 2, 1 резервна.

$$n = 0,0124 / 0,3 \cdot 2 = 0,021 \text{ м}^2$$

**2) Довжина пісколовки:**

$$L = 1000khv/u;$$

$k$  - коефіцієнт, що враховує вплив турбулентності та інших факторів на роботу пісколовки. Для частинок діаметром 0,25 мм приймаємо рівним 1,3.

$h$  - глибина проточної частини пісколовки, 1 м.

$u$  - гідравлічна крупність піску, приймаємо 24,2 мм/с.

$v$  - швидкість руху води у горизонтальній пісколовці, приймаємо 0,3 м/с.

$$L = 1000 \cdot 1,3 \cdot 1 \cdot 0,3 / 24,2 = 16,12 \text{ м.}$$

**3) Необхідна площа дзеркала води:**

$$F = q_{\max} / u_0, \text{ де}$$

$q_{\max}$  – максимальний приток стічних вод, м<sup>3</sup>/с;

$u$  - гідравлічна крупність піску, приймаємо 24,2 мм/с.

$n$  – кількість відділень, приймаємо 2 (1 резервний).

$$F = 0,0124 / 0,0242 = 0,51 \text{ м}^2$$

#### 4) Загальна ширина пісколовки при максимальному приткові:

$$B = F/L = 0,51 / 16,12 = 0,032 \text{ м}$$

Така ширина являється недостаємюю , тому приймаємо ширину:  $B = 3$  м.

Кут нахилу стінок приямку до горизонту не менше  $60^0$ .

### Розрахунок усереднювача

Об'єм і хімічний склад стічних вод багатьох промислових підприємств з часом змінюється. Для забезпечення безперебійної роботи очисних споруд стічні води направляються до усереднювачів, де відбувається вирівнювання концентрацій і витрат. Також різкі коливання витрат й кількості забруднень стічних вод ускладнюють їх очищення, що збільшує вартість виконуваних робіт. Для усереднення витрати й кількості забруднення стічних вод застосовують контактні й проточні усереднювачі. При невеликих витратах і періодичному скиданні води використовують контактні усереднювачі. У більшості ж випадків використовують проточні усереднювачі, які виконують у вигляді багатокоридорних резервуарів або резервуарів із перемішувачами.

В усереднювачах із перемішувачами усереднення досягається за рахунок інтенсивного перемішування води. Воно може здійснюватися шляхом барботування води повітрям, спеціальними перемішувачами або циркуляцією води в резервуарах, що створюється насосами.

В нашому випадку ми застосовуємо прямоточний прямокутний багатокоридорний усереднювач (усереднювач – накопичувач), який має відстійну частину. Стічна вода при підході до споруди розділяється на дві частини і подається в рівних кількостях до правої і лівої половини усереднювача, а потім поступає на розподільчі жолоби, які рівномірно розподіляють стічну воду по всьому перерізу усереднювача. Із жолобів вода стікає в поздовжні коридори, які мають різну довжину, але один і той же переріз, завдяки чому вода рухається з однаковою швидкістю. Частина стічної води, яка поступила в перший, найбільш короткий коридор, зразу ж починає зливатися в збірний жолоб, де змішується з водою, яка поступила

із інших коридорів. Частина ж стоку із довгого коридору починає зливатися в збірний жолоб значно пізніше і буде змішуватися з водою, яка поступила в усереднювач пізніше із більш коротких коридорів. Таким чином, автоматично відбувається усереднення концентрації стічних вод. Також в нашому випадку розглядається можливість залпового скиду.

Число секцій усереднювача – 2.

### 1) Об'єм багатокоридорного усереднювача:

$$V = Q \cdot t,$$

$Q$  - витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год, у двозмінний робочий день  
 $Q = 570/16 = 36$  м<sup>3</sup>/год;

$t$  - час знаходження води в усереднювачі - 4 год.;

$$V = 36 \cdot 4 = 144 \text{ м}^3;$$

2) Проектуємо прямокутний усереднювач-накопичувач, який складається з двох відділень глибиною  $H=4$  м, площа кожного відділення буде:

$$F = 144 / (n \cdot H) = 144 / (2 \cdot 4) = 18 \text{ м}^2.$$

На плані розміри споруди приймаємо  $L \times B = 6 \times 3$  м. По ширині кожне відділення ділимо на 3 коридори шириною  $b=1$  м.

### Розрахунок освітлювача

Відстоювання являється найбільш простим і часто застосовуваним на практиці виділенням із стічних вод грубодисперсних домішок, які під дією гравітаційної сили осідають на дно відстійника чи спливають на його поверхню.

В залежності від необхідного ступеню очистки стічних вод відстоювання застосовується або з метою попередньої її обробки перед очисткою на інших, більш складних спорудах, або як спосіб остаточної очистки, якщо по місцевим умовам потрібно виділяти зі стічних вод тільки нерозчинні (осаджувальні або вспливаючі) домішки.

Для вловлювання зі стічних вод нерозчинних забруднень застосовують відстійники періодичної (контактні) і безперервної (проточні) дії. У

практиці очищення стічних вод в основному використовують відстійники безперервної дії.

По напрямку руху рідини в споруді відстійники поділяють на горизонтальні та вертикальні. Для очищення стічних вод широко використовують також радіальні відстійники, які є різновидом горизонтальних. Відстійники з обертовими збірно-розподільчими пристроями мають круглу форму в плані, а рух води в них практично відсутній (крім збурювань, створюваних збірно-розподільчим пристроєм).

Отримали широке застосування так звані тонкошарові відстійники. Особливість їх полягає в тому, що відстійна зона розділяється секціями й трубчастими елементами на неглибокі шари, де забезпечується ламінарний рух освітленої води.

В залежності від призначення в технологічній схемі очисної станції відстійники поділяються на первинні і вторинні. Первинні відстійники служать для попереднього освітлення стічних вод, що надходять на біологічне або фізико-хімічне очищення, а вторинні – для освітлення стічних вод, що пройшли біологічну чи фізико-хімічну очистку.

В даному курсовому проекті ми обираємо для технологічної схеми очищення промислових стічних вод освітлювач з природною аерацією, який являє собою вертикальний відстійник з внутрішньою камерою флокуляції. Він знижує концентрацію забруднень, по зважені речовинам на 75 % і по БПК<sub>нов</sub> на 15%.

Стічна вода поступає по лотку в центральну трубу, на кінці якої прикріплений відражаючий щит. Внаслідок різниці рівнів води (0,6 м) у підводящому лотку і освітлювачі відбувається ежекція повітря потоком стічних вод, які поступають до освітлювача. В камері флокуляції відбувається часткове окислення органічних речовин і посилене утворення пластівців, які сприяє інтенсифікації процесу. Із камери флокуляції стічна вода направляється до відстійної зони освітлювача, в якій при проходженні через шар завислого осаду, затримуються дрібнодисперсні завислі частинки. Освітлена вода через кромку водозливу переливається в периферійний лоток і далі у відвідний. Осад, що випав під гідростатичним напором видаляється по трубі до мулового колодязя. Плаваючі речовини затримуються внутрішньою стінкою збірного лотка і по мірі накопичення, скидаються до мулового колодязя по трубі через кільцевий лоток.

В даному курсовому проекті приймаємо такі параметри освітлювача з природною аерацією:

- діаметр -  $d=3$  м;
- висота циліндричної частини -  $h_1 = 3$  м;
- висота конічної частини –  $h_2 = 2$  м;
- об'єм робочий -  $v_1 = 54$  м<sup>3</sup>;
- час знаходження води у освітлювачі – 1,5 год;
- число освітлювачів – 2;
- пропускна здатність при тривалості 1,5 год і числі освітлювачів – 2 – 162 м<sup>3</sup>/год;
- різниця рівнів води (для забезпечення аерації) – 0,6 м;
- об'єм камери флокуляції повинен забезпечувати 20 хвилинне перебування води. Глибина камери складає м, діаметр нижнього перерізу призначається, виходячи зі швидкості руху води (8-10) мм/с;
- швидкість руху води в центральній трубі - 0,5 – 0,7 м/с;
- глибина нейтрального шару між нижнім краєм камери флокуляції і поверхнею осаду в муловій частині приймається – 0,6 м.
- кількість осаду, що випав по сухій речовині:

$$W = Q \cdot (C - C_1) / 10^6;$$

$Q$  – витрата стічних вод, що надходять на очищення, 570 м<sup>3</sup>/добу;

$C$  і  $C_1$  – початковий і кінцевий вміст зважених речовин у воді при ефективності очистки 75%.

- по завислим речовинам  $C_1 = 695 \cdot (1 - 0,75) = 174$  мг/л,  
 $W = 570 \cdot (695 - 174) / 10^6 = 0,3$  т/добу.
- по БПК<sub>5</sub> - на 15%,  $C_1 = 1020 \cdot (1 - 0,15) = 867$  мг·О<sub>2</sub>/л;

## Розрахунок флотатора

Флотація – процес молекулярного прилипання частинок матеріалу, що флотується до поверхні розділу двох фаз, звичайного газу (частіше кисню) і рідини, який обумовлений надлишком вільної енергії поверхневих граничних шарів, а також поверхневими явищами змочування.

Процес очищення промислових стічних вод, які містять ПАВ, нафту, нафтопродукти, масла, волокнисті матеріали, тонкодисперговані зважені речовини, що мають гідравлічну крупність до 0,01 мм/с і менше, методом флотації, заключається в утворенні комплексів – «частинки – пухирці», зпливанні цих комплексів і видаленні, пінного шару, що утворився з поверхні рідини, що обробляється. Прилипання частинки, яка знаходиться в

рідині, до поверхні газового пухирця можливе тільки тоді, коли спостерігається незмочування чи погане змочування частинок рідиною. Цей процес залежить від розмірів і змочуваності поверхні часток, частоти зіткнення й сил взаємного притягання й відштовхування часток і пухирців. Процес утворення аерофлокул може бути інтенсифікований за рахунок застосування різних реагентів-збирачів, піноутворювачів, що сприяють гідрофобізації поверхні часток, підвищенню дисперсності й стійкості газових пухирців, активації процесу флоатації. Найбільш ефективне видалення забруднень досягається при рівномірному розподілі пухирців в повному обсязі рідини, а також відносній стабільності аерофлокул.

Флотатори застосовують також для видалення забруднюючих речовин зі стічних вод перед біологічною очисткою, для розділення мулових сумішей, в технологічних схемах глибокої очистки біологічно очищених стічних вод, при повторному використанні очищених стічних вод.

Найбільш суттєві принципіальні відмінності способів флоатації пов'язані з насиченням рідини пухирцями повітря визначеної крупності. Тому по цьому принципу можна виділити наступні способи флоатаційної обробки промислових стічних вод:

- 1) Флоатація з виділенням повітря із розчину (вакуумні, напірні і ерліфтні флоатаційні установки);
- 2) Флоатація з механічним диспергуванням повітря (імпелерні, безнапірні і пневматичні флоатаційні установки);
- 3) Флоатація з подачею повітря через пористі матеріали;
- 4) Електрофлоатація.

Флоатаційні установки можуть складатися із одного чи двох відділень (камер).

В даному курсовому проекті ми використаємо установку напірної флоатації (з виділенням повітря із розчину).

При напірній флоатації повітря вводять компресором через сатуратор, де вода насичується повітрям. Тиск у сатураторі рівний 0,3-0,5 МПа. Із сатуратора вода виходить у флоатаційну камеру, де тиск понижується до атмосферного і пухирці починають виділятися з води.

Згідно рекомендацій [1] приймаємо:

- кількість флотаторів - 2 шт;
- тривалість флоатації – 30 хв. – 0,5 год;
- висота флоатаційної камери  $H_k = 1,5$  м;

— діаметр флотаційної камери  $D_k$ , визначається за формулою:

$$D_k = 0,6\sqrt{Q_\phi/v},$$

де

$Q_\phi$  - витрата стічних вод, що поступають на один флотатор, 36 м<sup>3</sup>/год,

$v$  - висхідна швидкість руху води, 6 мм/с;

$$D = 0,6\sqrt{36/6} = 1,5 \text{ м};$$

— час перебування у флотаційній камері – 10 хв;

— загальний час перебування у флотаційній камері і відстійній зоні – 30 хв;

— висота відстійної зони -  $H_0=1,5$  м;

— висота флотатора –  $H_\phi=3$  м;

$$\text{об'єм флотатора} - V_\phi = Q \cdot t_\phi = 36 \cdot 0,3 = 10,8 \text{ м}^3,$$

де

$t_\phi$  - тривалість флотації, яка визначається експериментально і приймається рівною 0,3 год;

— площа флотатора – при ширині флотатора –  $B = 2$ , і довжині  $L=1,8$ ,

$$S_\phi = 3,6 \text{ м}^2;$$

— діаметр флотатора, приймаємо по формулі:

$$D_\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{cp} \cdot t_o}{\pi \cdot H_o \cdot 60}},$$

де

$t_o$  - час перебування у відстійній зоні, який рівний – 20 хв;

$$D_\phi = \sqrt{\frac{4 \cdot 36 \cdot 20}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 60}} = 3 \text{ м};$$

— ефект затримання завислих речовин - 30 – 50 % (відповідно при флотації без коагуляції і з коагуляцією);

— вологість свіжовипавшого осаду 95 % при об'ємній масі – 1,05 т/м<sup>3</sup>;

— ефективність очищення:

- по ПАВ – на 70 % ,  $C_1=37 \cdot (1- 0,70)= 11,1$  мг/л;

- по завислим речовинам (на 30-50%), приймаємо – 50%,  
 $C_1= 174 \cdot (1- 0,50) = 87$  мг/л;

- по БПК<sub>5</sub>-на 50-60%,приймаємо – 55%, $C_1 = 867 \cdot (1 - 0,55) = 390$  мг·О<sub>2</sub>/л;
  - по ХПК – на 55 – 65%, приймаємо – 50%,  $C_1 = 1300 \cdot (1 - 0,50) = 650$  мг/л;
- кількість саду, що випав  $W_o$ , т/доб, по сухій речовині визначається за формулою:

$$W = Q \cdot (C - C_1) / 10^6,$$

$Q$  – витрата стічних вод, що надходять на очищення, 570 м<sup>3</sup>/добу;

$C$  і  $C_1$  – початкова і кінцева концентрація (при ефективності видалення – 55%) зважених речовин у стічній воді, г/м<sup>3</sup>;

$$W = 570 \cdot (174 - 87) / 10^6 = 0,05 \text{ т/добу};$$

### Розрахунок електрофлотатора

Електрофлотатор застосовується для доочищення стічної води (особливо від ПАВ).

Суть електрофлотаційного способу очистки стічних вод заключається в переносі забруднених часточок із рідини на її поверхню, за допомогою пухирців газу, які утворюються при електролізі стічної води. В процесі електролізу стічної води, на катоді виділяється водень, а на аноді – кисень. Основну роль в процесі флотації частинок грають пухирці, що виділяються на катоді. Розмір пухирців, які відриваються від поверхні електроду, залежить від величини крайового кута змочування, кривизни поверхні електроду, а також від його конструкції. Заміна пластинчатого катоду на проволочний, призводить до зменшення крупності пухирців і, як наслідок, до підвищення ефективності роботи електрофлотатора.

Розрахунок установок для електрофлотації чи електрокоагуляції зводиться до визначення загального об'єму  $V_y$  установки, об'ємів електродного відділення  $V_e$  камери флотації  $V_\phi$ , м<sup>3</sup>:  $V_y = V_e + V_\phi$ ;

Об'єм електродного відділення визначається із можливості розміщення в ньому необхідної електродної системи. Ми розраховуємо горизонтальну установку, тому, при її розрахунку ширина секції  $B$ , приймається в залежності від пропускної можливості  $Q$ : при  $Q = 36$  м<sup>3</sup>/год < 90 м<sup>3</sup>/год,  $B = 2$  м, згідно [6]. Число камер електрофлотатора – 2.

**1) Число пластин електродів, які розміщуються в установці:**

$$n = (B - 2 \cdot a_1 + a_2) / (\delta + a_2),$$

де



$a_1$  – величина зазору між крайніми пластинами та стінками камери, 100 мм;

$a_2$  – величина зазору між пластинами, 20 мм;

$\delta$  – товщина пластини, 10 мм.

$$n = (2 - 2 \cdot 0,1 + 0,02) / (0,01 + 0,02) = 61;$$

**2) Необхідна площа пластин електродів, м<sup>2</sup> :**

$$f_e = f_{a.e} / (n_e - 1),$$

де  $f_{a.e}$  - площа активної поверхні електродів, м<sup>2</sup> :

$$f_{a.e} = E \cdot Q / i,$$

де

$E$  – питома кількість електродів, 150 А·год/м<sup>3</sup>;

$Q$  – розрахункова витрата стічних вод, 36 м<sup>3</sup>/год;

$i$  – щільність струму на електродах, 50 А/м<sup>2</sup>;

Звідси:

$$f_{a.e} = 150 \cdot 36 / 50 = 108 \text{ м}^2;$$

$$f_e = 108 / (61 - 1) = 1,8 \text{ м}^2;$$

**3) Назначаємо висоту пластин –  $h_e = 1,5$  м, їх довжина:**

$$l_e = \frac{f_e}{h_e} = \frac{1,8}{1,5} = 1,2 \text{ м};$$

**4) Визначимо довжину електродної камери, м:**

$$L_e = l_e + 2 \cdot a_1;$$

$$L_e = 1,2 + 2 \cdot 0,1 = 1,4 \text{ м};$$

**5) Визначаємо об'єм електродної камери, м<sup>3</sup> :**

$$V_e = B \cdot H_e \cdot L_e,$$

де

$H_e$  - робоча висота електродної камери, м:

$$H_e = h_1 + h_2 + h_3,$$

де

$h_1$  - висота освітленого шару, рівна – 1 м;

$h_2$  - висота захисного шару, рівна – 0,3 м;

$h_3$  - висота шару шламу, рівна – 0,4 м;

Звідси:

$$H_e = 1 + 0,3 + 0,4 = 1,7 \text{ м};$$

$$V_e = 2 \cdot 1,7 \cdot 1,4 = 4,76 \text{ м}^3;$$

**6) Визначаємо об'єм флотаційної камери, м<sup>3</sup> :**

$$V_{\phi} = Q \cdot t_{\phi},$$

де

$t_{\phi}$  - тривалість флотації, яка визначається експериментально і приймається рівною 0,3 год;

$$V_{\phi} = 36 \cdot 0,3 = 10,8 \text{ м}^3;$$

**7) Довжину  $L_{\phi}$  і висоту  $H_{\phi}$  флотаційної камери визначаємо, виходячи із її об'єму  $V_{\phi}$  і ширини  $B$ :**

Ширина флотаційної камери  $B=2$  м, висота  $H_{\phi} = 1,8$  м, довжина  $L_{\phi} = 3$  м;

**8) Об'єм установки:**  $4,76+10,8 = 15,56 \text{ м}^3$ .

**9) Площа установки:** при ширині електрофлотатора  $B=2$ , і довжині  $L=4,4$ ,  $S_{\phi} = 8,8 \text{ м}^2$ ;

**10) Тривалість перебування у електрофлотаційній установці – 30 хв або 0,5 год.**

**11) Ефективність очищення:**

- по ПАВ – на 97 % ,  $C_1 = 11,1 \cdot (1 - 0,97) = 0,33$  мг/л;
- по завислим речовинам – 75%,  $C_1 = 87 \cdot (1 - 0,75) = 21,75$  мг/л;
- по БПК<sub>5</sub> - на 60%,  $C_1 = 390 \cdot (1 - 0,60) = 156$  мг·О<sub>2</sub>/л;

Кількість осаду, що випав по сухій речовині:

$$W = Q \cdot (C - C_1) / 10^6$$

$Q$  – витрата стічних вод, що надходять на очищення, 570 м<sup>3</sup>/добу;

$C$  і  $C_1$  – початковий і кінцевий вміст зважених речовин у воді при ефективності очистки 75%

$$W = 570 \cdot (87 - 21,75) / 10^6 = 0,037 \text{ т/добу};$$

**Розрахунок первинного вертикально відстійника з вбудованим преаератором.**

Первинні відстійники застосовуються перед спорудами для біологічної очистки.

Вертикальний відстійник представляє собою круглий в плані резервуар з конічним дном.

Стічна вода підводиться до центральної труби і спускається по ній вниз. При виході із нижньої частини центральної труби, вони змінює напрямку руху і повільно піднімається вгору до зливного жолобу. При цьому із стічної води випадають грубодисперсні домішки, щільність яких,

більша щільності стічної води. Для кращого розподілення води по всьому перерізу відстійника і запобіганню змулення осаду, водою, яка опускається, центральну трубу роблять з раструбом, нижче, якого установлюють відражаючий щит.

Преаератори застосовують для інтенсифікації роботи первинних відстійників і покращення освітлення стічних вод. В процесі аерації відбувається флокуляція і коагуляція найдрібніших частинок нерозчинних домішок у стічній воді, щільність, яких мало відрізняється від щільності самої води. В результаті ці частинки змінюють свою гідравлічну крупність і швидше осідають при послідуєчому відстоюванні.

Аерація стічних вод може здійснюватися як без додавання до них надлишкового мулу із вторинних відстійників після біофільтрів чи аеротенків, так і з додаванням такого мулу. В останньому випадку процес називається біокоагуляцією.

Проста аерація (без додавання мулу), менш ефективна, вона покращує роботу первинних відстійників на 5 - 8 % (по затримці зважених речовин і по зниженню БПК).

Попередня аерація сприяє (за рахунок більш повного видалення зважених речовин) кращій підготовці стічних вод до послідуєчої їх біологічної очистки.

Число робочих секцій приймаємо не менше 2, тривалість аерації 20 хв., витрата повітря 0,5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> аеруємої стічної води. Таким чином ми покращимо БПК на 10%.

Застосовуємо вертикальний первинний відстійник з вбудованим преаератором. Розрахунок первинного відстійника здійснюємо, як для вертикального відстійника із нисхідним потоком.

#### 1) Радіус відстійника, визначаємо по формулі:

$$R = \sqrt{\frac{Q}{(5,6 \cdot H \cdot K \cdot u_0)}}$$

де

$Q$  - пропускна здатність первинного відстійника, яка знаходиться за формулою:

$$Q = \frac{Q_{заг}}{N} = \frac{36}{1} = 36 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$Q_{заг}$  - розрахункова кількість стічних вод – 36 м<sup>3</sup>/добу;

$N$  – число робочих відстійників, приймаємо - 1 ;

$K$  - коефіцієнт використання об'єму відстійника - 0,65;

$H$  – робоча глибина відстійної частини, приймається в межах – 2,7-3,8 м, приймаємо – 3 м;

$u_0$  - умовна гідравлічна крупність, що відповідає заданому ефекту освітлення для реальних розмірів споруди, 0,17 мм/с.

$$R = \sqrt{\frac{36}{(5,6 \cdot 3 \cdot 0,65 \cdot 0,17)}} = 4,5 = D = 2 \cdot R = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ м};$$

2) Швидкість потоку – 2-3 мм/с;

3) Висота нейтральної зони між низом відображуючого щита і рівнем осаду – 0,3 м;

4) Час перебування води - 90 хвилин або 1,5 год;

5) Довжина центральної труби рівна розрахунковій глибині відстійної частини -  $H_1=3$  м.

9) Діаметр центральної труби:

При швидкості в ній  $v_{ц.тр.} = 0,03$  м/с.

$$d_{ц.тр.} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{n \cdot \pi \cdot v_{ц.тр.}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0124}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,03}} = 0,5 \text{ м},$$

де

$n$  - кількість відділень, 2 шт.

4) Діаметр її раструба:  $d_p = d_{ц.тр.} \cdot 1,35 = 0,5 \cdot 1,35 = 0,7$  м.

5) Висота щілини  $H_2$  між нижньою кромкою центральної труби і поверхнею відображувального щита, визначаємо визначаємо із умови забезпечення в ній швидкості  $v_{щ} = 0,02$  м/с.

$$H_2 = Q / (n \cdot \pi \cdot d_p \cdot v_{щ}) = 0,0124 / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,7 \cdot 0,02) = 0,14 \text{ м};$$

6) Приймаємо кут нахилу стінок конусної частини до горизонту рівним  $60^\circ$ ;

7) Загальна висота відстійника – 4,2 м.

8) Ефективність очищення:

- по завислим речовинам – 50%,  $C_1 = 21,75 \cdot (1 - 0,50) = 10,88$  мг/л;
- по БПК<sub>5</sub> - на 10%,  $C_1 = 156 \cdot (1 - 0,10) = 140,4$  мг/л;

Кількість осаду, що утвориться:

$$W = 570 \cdot (21,75 - 10,88) / 10^6 = 0,0062 \text{ т/добу}.$$

**Розрахунок аеротенку**

Очищення води в аеротенках відносять до біологічних методів очищення стічних вод. Вона відбувається за допомогою життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу. Стічна вода неперервно перемішується і аерується до насичення киснем повітря. Активний мул являє собою суспензію мікроорганізмів, здатну до флокуляції.

При біологічній очистці стічних вод протікають два процеси – сорбція забруднень активним мулом і їх внутрішньоклітинне окислення мікроорганізмами. Швидкість сорбції значно перевищує швидкість біоокислення, тому після закінчення процесу сорбції і досягнення потрібного ефекту очищення по БПК, мул, що відділився у відстійнику, направляється в регенератор (секція аеротенка) з метою біоокислення залишкових забруднень стічних вод.

Концентрація зважених речовин в стічній воді, яка оступає на аеротенки, не повинна перевищувати 150 мг/л. Для забезпечення нормального ходу процесу біологічного окислення, в аеротенк необхідно неперервно подавати повітря, що досягається за допомогою пневматичної, механічної чи пневмомеханічної системи аерації.

Аеротенки бувають одноступінчаті і багатоступінчаті, з регенерацією і без неї.

В нашому випадку, ми застосовуємо одноступінчатий, багатокамерний аеротенк - змішувач, який складається з чотирьох камер, у трьох з них відбувається змішування стічних вод з активним мулом, а в четвертій відбувається процес нітрифікації і денітрифікації.

Обираємо аеротенки-змішувачі. В них підведення і відведення стічної води і мулу здійснюється рівномірно по довжині довгих сторін коридору аеротенку. При цьому вважається, що відбувається повне перемішування стічної води, з водою, яка знаходиться в аеротенку, навантаження забруднень на мул і швидкість їх окислення (швидкість використання кисню) однакові у всіх точках споруди.

Виконаємо розрахунок аеротенку:

**1) Час перебування води у аеротенку:**

$$t=(L_a - L_t)/a \cdot (1-s) \cdot \rho,$$

де

$L_a$  – БПК<sub>5</sub> стічних вод, 140,4 мг·О<sub>2</sub>/л;

$L_t$  – БПК<sub>5</sub> очищеної води після першого ступеню очистки, (при ефективності очистки – 80%),  $C_1 = 140,4 \cdot (1 - 0,80) = 28,08$  мг·О<sub>2</sub>/л;

a – доза мулу – 1,5 г/л;

s – зольність мулу, 0,3;

ρ – питома швидкість окислення, мг БПК на 1 г беззольної речовини на годину, 30,26 мг/г·год;

$$t = (140,4 - 28,08) / 1,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 30,26 = 3,5 \text{ год} \sim 4 \text{ год};$$

## 2) Питома витрата повітря:

$$q = \frac{q_0 \cdot (L_a - L_t)}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_T \cdot K_3 \cdot (C_a - C_o)};$$

$q_0$  - питома витрата повітря - 1 мг/мг;

$K_1$  – коефіцієнт, що ураховує тип аератора, 0,75 для середньопухирцевої аерації;

$K_2$  – коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аераторів, на 6 м рівний 3,3.

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод, рівний 1;

$K_3$  – коефіцієнт якості води, 0,85.

$C_a$  – розчинність кисню у воді, 10 мг/л.

$C_o$  – вміст кисню у стічній воді, 2 мг/л.

$$q = \frac{1 \cdot (140,4 - 28,08)}{0,75 \cdot 3,3 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot (10 - 2)} = 6,67 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

## 3) Визначаємо інтенсивність аерації:

$$I = q \cdot H / t,$$

де

H – робоча глибина аеротенку, м

$$I = 6,67 \cdot 4,5 / 4 = 7,5$$

## 4) Навантаження на активний мул:

$$t = (L_a - L_t) / a \cdot (1 - s) \cdot t;$$

$$q_{\text{мул}} = (140,4 - 28,08) / 1,5 \cdot (1 - 0,3) \cdot 4 = 26,74 \text{ мг/л};$$

## 5) Приймаємо такі розміри аеротенку:

– двохкоридорний аеротенк, який складається із чотирьох секцій;

– робоча глибина аеротенку – 4,5 м;

– ширина одного коридору – 4 м, загальна ширина двох коридорів – 8 м;

– довжина коридору – 20 м;

– площа аеротенку -  $S_a = 20 \times 8 = 160 \text{ м}^2$ ;

6) Тоді об'єм аеротенку становитиме – розрахуємо, виходячи із питомої витрати повітря і площі аеротенку –

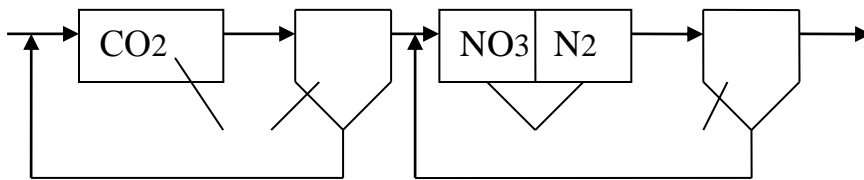
$$W = h \cdot S_a = 4,5 \cdot 160 = 720 \text{ м}^3;$$

7) Ефективність очищення:

- по ХПК – на 80 % ,  $C_1 = 650 \cdot (1 - 0,80) = 130$  мг/л;
- по БПК<sub>5</sub> - на 80%,  $C_1 = 140,4 \cdot (1 - 0,80) = 28,08$  мг·О<sub>2</sub>/л;
- азот – на 95%,  $C_1 = 85 \cdot (1 - 0,95) = 4,25$  мг/л;

8) Як уже було згадано вище, четверта секція аеротенку відводиться на процес нітрифікації і денітрифікації.

У аеротенках – змішувачах цей процес загалом можна зобразити такою схемою –

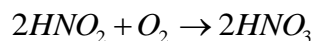
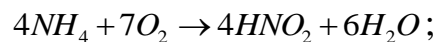


1 – аеротенк;

2 – відстійник;

3 – змішувач з зонами нітрифікації і денітрифікації;

При самій денітрифікації, концентрація амонійного азоту змінюється в незначних кількостях. Тому, необхідно попередньо окислити амонійний азот до нітритів і нітратів. Реакція здійснюється нітрифікуючими мікроорганізмами і протікає в дві стадії:



## Розрахунок вторинного вертикального відстійника I ступеню

Вторинні відстійники призначені для затримання активного мулу, який поступає з очищеною водою із аеротенків, чи для затримання біологічної плівки, яка поступає разом з водою із біофільтрів.

Вертикальні вторинні відстійники конструктивно не відрізняються від первинних, але мають меншу висоту.

Розрахунок вертикальних відстійників полягає у визначенні їх глибини і діаметру по заданим швидкостям води  $v$  і тривалості відстоювання  $t$ , від яких залежить ефект затримання мулу.

Розрахунок вторинного вертикального відстійника I ступеню проводиться аналогічно з розрахунком первинного вертикального відстійника.

**1) Радіус відстійника, визначаємо по формулі:**

$$R = \sqrt{\frac{Q}{5,6 \cdot H \cdot K \cdot u_0}},$$

де

$Q$  - пропускна здатність первинного відстійника, яка знаходиться за формулою:

$$Q = \frac{Q_{заг}}{N} = \frac{36}{1} = 36 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$Q_{заг}$  - розрахункова кількість стічних вод – 36 м<sup>3</sup>/добу;

$N$  – число робочих відстійників, приймаємо - 1 ;

$K$  - коефіцієнт використання об'єму відстійника - 0,65;

$H$  – робоча глибина відстійної частини, приймається в межах – 2,7-3,8 м, приймаємо – 3 м;

$u_0$  - умовна гідравлічна крупність, що відповідає заданому ефекту освітлення для реальних розмірів споруди, 0,17 мм/с.

$$R = \sqrt{\frac{36}{5,6 \cdot 3 \cdot 0,65 \cdot 0,17}} = 4,5 = D = 2 \cdot R = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ м};$$

**2) Швидкість потоку – 2-3 мм/с;**

**3) Висота нейтральної зони між низом відображую чого щита і рівнем осаду – 0,3 м;**

**4) Час перебування води - 90 хвилин або 1,5 год;**

**5) Довжина центральної труби рівна розрахунковій глибині відстійної частини -  $H_1=3$  м.**

**9) Діаметр центральної труби:**

При швидкості в ній  $v_{ц.мп.} = 0,03$  м/с.

$$d_{ц.мп.} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{n \cdot \pi \cdot v_{ц.мп.}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0124}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,03}} = 0,5 \text{ м},$$

де

$n$  - кількість відділень, 2 шт.

**4) Діаметр її раструба:  $d_p = d_{ц.мп.} \cdot 1,35 = 0,5 \cdot 1,35 = 0,7$  м.**



**5) Висота щілини  $H_2$  між нижньою кромкою центральної труби і поверхнею відображувального щита, визначаємо визначаємо із умови забезпечення в ній швидкості  $v_{щ} = 0,02$  м/с.**

$$H_2 = Q / (n \cdot \pi \cdot d_p \cdot v_{щ}) = 0,0124 / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,7 \cdot 0,02) = 0,14 \text{ м};$$

**9) Приймаємо кут нахилу стінок конусної частини до горизонту рівним  $60^\circ$ ;**

**10) Загальна висота відстійника – 4,2 м.**

**11) Ефективність очищення:**

- по завислим речовинам – на 50 % ,  $C_1 = 10,88 \cdot (1 - 0,50) = 5,44$  мг/л;
- по БПК<sub>5</sub> - на 10%,  $C_1 = 28,08 \cdot (1 - 0,10) = 25,27$  мг·О<sub>2</sub>/л;

### **Розрахунок біофільтру**

Біологічний фільтр – споруда, в якій стічна вода фільтрується через завантажувальний матеріал, покритий біологічною плівкою, яка утворена колоніями мікроорганізмів.

Біофільтр складається:

- із фільтруючої загрузки (тіло фільтра) із шлаку, гравію, керамзиту, щебню, пластмас, азбестоцементу, які поміщаються в резервуар з водопроникними чи водонепроникними стінками;
- водорозподільного пристрою, який забезпечує рівномірне з невеликими інтервалами зрошування стічною водою поверхні загрузки біофільтру;
- дренажного пристрою для видалення профільтрованої води;
- повітророзподільного пристрою за допомогою якого поступає, необхідне для окислювального процесу повітря.

Проходячи через загрузку біофільтру, забруднена вода залишає в ній нерозчинні домішки, які не осіли в первинному відстійнику, а також колоїдні і розчинні органічні речовини, які сорбуються біологічною плівкою. Мікроорганізми, які густо заселяють біоплівку, окисляють органічні речовини і звідси черпають енергію, необхідну для своєї життєдіяльності. Частину органічних речовин мікроорганізми використовують як пластичний матеріал для збільшення своєї маси. Таким чином, із стічної води видаляються органічні речовини в той же час збільшується маса активної біологічної плівки в тілі біофільтру.

Відпрацьована і відмерла плівка змивається протікаючою стічною водою і виноситься із тіла біофільтра. Необхідний для біохімічного процесу кисень повітря поступає в товщу загрузки, шляхом природної і штучної вентиляції фільтра.

Для даного курсового проекту обираємо високозавантажувальний біофільтр.

Високонавантажувальні біофільтри ще називають аерофільтри. Відмінною рисою цих споруд являється більш висока, ніж в звичайних краплинних біофільтрах, окислювальна потужність, що обумовлено незамулюваністю таких фільтрів і кращим обміном повітря в них. Досягається це завдяки більш крупному завантажувальному матеріалу і підвищеному навантаженню в кілька разів по воді.

Підвищена швидкість руху стічної води забезпечує постійне винесення затриманих важкоокислювальних нерозчинних домішок і відмерлої біоплівки. Кисень, який поступає до тіла біофільтра витрачається в основному на біологічне очищення частини забруднень, не винесених із тіла фільтра.

Конструктивними відмінностями високонавантажувальних біофільтрів являються більша висота шару завантаження, більша крупність її зерен і особливості дна і дренажу, яка забезпечує можливість штучної продувки матеріалу завантаження повітрям. Міждонний простір повинен бути закритим, і туди подається вентилятором повітря. На відвідних трубопроводах повинні бути передбачені гідравлічні затвори глибиною 200 мм.

Особливостями експлуатаційного характеру являється необхідність зрошування всієї поверхні біофільтра з можливо невеликими перервами в подачі води і підтримці підвищеного навантаження по воді на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні біофільтра (в плані). Тільки при цих умовах забезпечується промивка фільтрів.

Його розрахунок:

- 1) **Крупність завантажувального матеріалу** – 40-60 мм, приймаємо 50 мм;
- 2) **Висота шару завантаження** – 2 - 4 м, приймаємо 2 м;
- 3) **Визначимо допустиму концентрація стічних вод, що подаються на біофільтр:**

$$L_{oon} = k \cdot L_t,$$

де

$k$  – коефіцієнт, що враховує середньозимову температуру (вище 14 °С) стічних вод і робочу висоту біофільтру ( $H=3,5$  м) – 9,6;

$L_t$  - БПК очищеної води, 3 мг·О<sub>2</sub>/л;

$$L_{\text{дон}} = 9,6 \cdot 3 = 28,8 \text{ мг} \cdot \text{О}_2 / \text{л};$$

**4) Коефіцієнт рециркуляції:**

$$n = \frac{L_a - L_{\text{дон}}}{L_{\text{дон}} - L_t} = \frac{25,27 - 28,8}{28,8 - 3} = 0,14;$$

**5) Площа біофільтрів:**

$$F = \frac{Q \cdot (n+1) \cdot L_{\text{дон}}}{N} = \frac{570 \cdot (0,14+1) \cdot 28,8}{3000} = 6,24 \text{ м}^2,$$

де

$Q$  - середньодобовий приток стічних вод – 570 м<sup>3</sup>/добу;

$N$  – допустиме навантаження, г БПК<sub>20</sub> на 1 м<sup>2</sup> площі біофільтра на добу, приймається в залежності від середньорічної температури повітря (для більше 6 °С – 3000);

**6) Визначимо діаметр біофільтра: з формули визначення площі круга:**

$$S = \pi \cdot R^2, \text{ звідси}$$

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}} = \sqrt{\frac{6,24}{3,14}} = 1,41 \text{ м};$$

**7) Загальний об'єм фільтрувального середовища:**

$$W = F \cdot H$$

$$W = 6,24 \cdot 3,5 = 21,84 \text{ м}^3$$

**8) Гідравлічне навантаження на об'єм біофільтру:**

$$q = N / L_{\text{дон}} = 3000 / 28,8 = 104,17 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{добу});$$

**9) Час знаходження води у біофільтрі – 4 год;**

**10) Ефективність очищення:**

- по ХПК – на 95 %,  $C_1 = 130 \cdot (1 - 0,95) = 6,5$  мг/л;
- по БПК<sub>5</sub> - на 80 %,  $C_1 = 28,08 \cdot (1 - 0,80) = 5,62$  мг·О<sub>2</sub>/л;
- азот – на 90%,  $C_1 = 4,25 \cdot (1 - 0,90) = 0,43$  мг/л;
- фосфор – на 90 %,  $C_1 = 10 \cdot (1 - 0,90) = 1$  мг/л;

**Розрахунок вторинного вертикального відстійника II ступеню**

Вторинні відстійники призначені для затримання активного мулу, який поступає з очищеною водою із аеротенків, чи для затримання біологічної плівки, яка поступає разом з водою із біофільтрів.

Вертикальні вторинні відстійники конструктивно не відрізняються від первинних, але мають меншу висоту.

Розрахунок вертикальних відстійників полягає у визначенні їх глибини і діаметру по заданим швидкостям води  $v$  і тривалості відстоювання  $t$ , від яких залежить ефект затримання мулу.

Розрахунок вторинного вертикального відстійника II ступеню проводиться аналогічно з розрахунком первинного вертикального відстійника.

**1) Радіус відстійника, визначаємо по формулі:**

$$R = \sqrt{\frac{Q}{(5,6 \cdot H \cdot K \cdot u_0)}},$$

де

$Q$  - пропускна здатність первинного відстійника, яка знаходиться за формулою:

$$Q = \frac{Q_{заг}}{N} = \frac{36}{1} = 36 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$Q_{заг}$  - розрахункова кількість стічних вод – 36 м<sup>3</sup>/добу;

$N$  – число робочих відстійників, приймаємо - 1 ;

$K$  - коефіцієнт використання об'єму відстійника - 0,65;

$H$  – робоча глибина відстійної частини, приймається в межах – 2,7-3,8 м, приймаємо – 3 м;

$u_0$  - умовна гідравлічна крупність, що відповідає заданому ефекту освітлення для реальних розмірів споруди, 0,17 мм/с.

$$R = \sqrt{\frac{36}{(5,6 \cdot 3 \cdot 0,65 \cdot 0,17)}} = 4,5 = D = 2 \cdot R = 2 \cdot 4,5 = 9 \text{ м};$$

**2) Швидкість потоку – 2-3 мм/с;**

**3) Висота нейтральної зони між низом відображуючого щита і рівнем осаду – 0,3 м;**

**4) Час перебування води - 90 хвилин або 1,5 год;**

**5) Довжина центральної труби рівна розрахунковій глибині відстійної частини -  $H_1=3$  м.**

**а. Діаметр центральної труби:**

При швидкості в ній  $v_{ц.тр.} = 0,03$  м/с.

$$d_{ц.мп.} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{n \cdot \pi \cdot v_{ц.мп.}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0124}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,03}} = 0,5 \text{ м,}$$

де

$n$  - кількість відділень, 2 шт.

6) **Діаметр її раструба:**  $d_p = d_{ц.мп.} \cdot 1,35 = 0,5 \cdot 1,35 = 0,7 \text{ м.}$

7) **Висота щілини  $H_2$  між нижньою кромкою центральної труби і поверхнею відображувального щита, визначаємо** визначаємо із умови забезпечення в ній швидкості  $v_{щ} = 0,02 \text{ м/с.}$

$$H_2 = Q / (n \cdot \pi \cdot d_p \cdot v_{щ}) = 0,0124 / (2 \cdot 3,14 \cdot 0,7 \cdot 0,02) = 0,14 \text{ м;}$$

8) **Приймаємо кут нахилу стінок конусної частини до горизонту рівним  $60^\circ$ ;**

9) **Загальна висота відстійника – 4,2 м.**

10) **Ефективність очищення:**

- по завислим речовинам – на 50 % ,  $C_1 = 5,44 \cdot (1 - 0,50) = 2,72 \text{ мг/л;}$
- по БПК<sub>5</sub> - на 10%,  $C_1 = 5,62 \cdot (1 - 0,10) = 5,06 \text{ мг} \cdot \text{O}_2 / \text{л;}$

### **Розрахунок гравійно-піщаного фільтру**

Для глибокого доочищення вод від дрібнодиспергованих часток, а також для доочищення стічних вод після біологічної очистки застосовують зернисті фільтри.

В результаті доочистки стічних вод в завантаженні фільтрів затримуються дрібнодисперсні завислі частинки і активний мул, які виносяться із відстійників чи освітлювачів, а також деякі специфічні компоненти (нафтопродукти, фосфор та інші), характерні для стоків окремих промислових підприємств.

В залежності від якості доочищених стічних вод, вимог до ступеню доочистки води, технологічних і техніко – економічних показників для доочистки стічних вод застосовують фільтри наступних конструкцій:

- з нисхідним чи висхідним потоком води;
- радіальні одношарові чи двошарові;
- з рухомим навантаженням;
- каркасно – засипні;
- аеруємі;

– з плаваючим завантаженням;

В якості завантажувального матеріалу використовують: кварцевий пісок крупних фракцій, гравій, гранітний щебінь, гранульований доменний шлак, антрацит, горілі породи, керамзит, полістирол, шунгизит.

Фільтри з нисхідним рухом води можуть мати одношарове й багатошарове завантаження.

Для зниження концентрації дрібнодиспергованих часток та зважених речовин після біологічної очистки приймаємо піщаний фільтр одношаровий з висхідним рухом води.

Завантаження фільтра – кварцевий пісок по гравійному підстилаючому шару. Висота гравійного шару з крупністю зерен 2 – 40 мм приймається 0,6 м.

Для регенерації завантаження фільтра передбачають водну ви водно – повітряну промивку. Для видалення шару активного мулу, який утворюється на завантаженні, застосовують попередню поверхневу промивку фільтрів за допомогою механізму для рихлення, встановленого над завантаженням в кожному фільтрі. Механізм реверсивно рухається по спеціальним рельсам, одночасно пересуваючи дві дирчасті труби, які розташовані в кожній секції фільтра на відстані 100 мм від верху завантаження. В труби під тиском подається вода і вихідні із отворів труб струмені води розрихляють верхній шар завантаження на глибину до 20 см. Інтенсивність водяної промивки висхідним потоком фільтрувальної води складає – 16-18 л/(с·м<sup>2</sup>), тривалість 6-8хв;

Тривалість процесу фільтрування – 1год, або 60 хв;

**1) Середній щосекундний скид на фільтр:**

$$q=Q/16\cdot 3600=570/16\cdot 3600=0,01\text{ м}^3/\text{с}.$$

Проектуємо одношаровий піщаний фільтр з висхідним потоком води. Висота шару завантаження - 1,2 м, швидкість фільтрування – 7 м/год.

Ефективність очистки по завислим речовинам 70-80 %, по БПК<sub>нов</sub> - 50-60%. Коефіцієнт, що враховує промивку барабанних сіток – m=0,003. Тривалість простою фільтра через промивку, потрібно приймати рівною – 0,33 год.

**а. Сумарну площу фільтрів визначаємо за площею:**

$$F = \frac{Q \cdot k_1 \cdot (1+m)}{T \cdot v_\phi - 3,6 \cdot n \cdot (W_1 \cdot t_1 + W_2 \cdot t_2) - n \cdot v_\phi \cdot t_3};$$

$Q$  - витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год – 36 м<sup>3</sup>/год ;

$k_1$  – коефіцієнт нерівномірності, 1,25;

$T$  – тривалість роботи очисних споруд за добу, 16 год.;

$v_\phi$  - швидкість фільтрування, - 11 м/год;

$n$  – кількість промивання фільтру за добу - 2, тобто цикл фільтра 8 годин;

$W_1$  - інтенсивність промивки водою і повітрям-3-5 л/(с·м<sup>2</sup>), приймаємо – 3 л/(с·м<sup>2</sup>), з тривалістю водно – повітряної продувки  $t_2$ - 10-20 хв, приймаємо–10 хв =0,17 год;

$W_2$  - інтенсивність промивки водою – 6 л/(с·м<sup>2</sup>), тривалістю – 8 хв = 0,13 год;

$t_3$  - тривалість простою фільтра із-за промивки – 0,33 год.;

$m$  – коефіцієнт, що враховує витрату води на промивку барабанних сіток – 0,003;

$$F_\phi = \frac{570 \cdot 1,25 \cdot (1+0,003)}{16 \cdot 7 - 3,6 \cdot 2 \cdot (3 \cdot 0,17 + 6 \cdot 0,13) - 2 \cdot 7 \cdot 0,33} = \frac{714,64}{98,09} = 7,3 \text{ м}^2$$

## 2) Число фільтрів:

$$N = 0,5 \cdot \sqrt{F_\phi} = 0,5 \sqrt{7,3} = 2 \text{ шт.}$$

Отже маємо 2 фільтри, розміром на плані -  $F_1 = 2,7 \times 2,7$  м і один резервний.

Тоді швидкість фільтрування при форсованому режимі:

$$v_{\phi,\phi} = v_\phi \cdot N / (N - N_p) = 7 \cdot 2 / (2 - 1) = 14 \text{ м/год};$$

## 3) Розраховуємо розподільчу систему фільтра.

При інтенсивності промивання фільтра - 6 л/(с·м<sup>2</sup>), кількість промивної води, необхідної для одного фільтра:

$$q_{np} = F_1 \cdot W_3 = 7,3 \cdot 6 = 43,8 \text{ л/с.}$$

## 4) Діаметр колектора розподільчої системи знаходимо по швидкості входу промивної води:

$$d_{кол} = \sqrt{q_{np} / 0,785 \cdot v_{кол}},$$

де

$$v_{кол} = 1-1,2 \text{ м/с};$$

$$d_{кол} = \sqrt{0,0438/0,785 \cdot 1,2} = 0,22 м = 220 мм;$$

Приймаємо відстань між відгалудженнями розподільної системи  $m=0,3$  м. Площа дна фільтра, що припадає на кожне відгалудження при зовнішньому діаметрі колектора 240 мм:

$$f_{від} = (6 - 0,24) \cdot 0,3 / 2 = 0,86 м^2 ;$$

**5) Витрата промивної води, яка поступає через одне відгалудження:**

$$q_{від} = f_{від} \cdot W_3 = 0,86 \cdot 6 = 5,16 л/с$$

**6) Діаметр труб приймаємо 25 мм (ГОСТ 3262-75), швидкість виходу води у відгалудження:**

$$v = q / 1000 \cdot d_{від}^2 \cdot 0,785 = 5,16 / 1000 \cdot 0,025^2 \cdot 0,785 = 10,53 м/с;$$

**7) Для забезпечення 95% рівномірності промивання фільтра промивна вода повинна подаватися під напором у початок розподільчої системи:**

$$H_0 = 2,91 \cdot h_0 + 13,5 \cdot \frac{v_{кол}^2 + v^2}{2 \cdot g} = 2,91 \cdot 1,2 + 13,5 \cdot \frac{1,2^2 + 10,53^2}{2 \cdot 9,81} = 11,73 м,$$

де

$h_0$  – висота завантаження фільтра гравієм, 1,2 м.

**8) Витрата промивної води, що витікає через отвори в розподільчій системі:**

$$q_{np} = \mu \cdot \Sigma f_0 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0} ,$$

де

$\mu$  - коефіцієнт витрати (для отворів) – 0,62;

$\Sigma f_0$  - загальна площа отворів розподільної системи, яка знаходиться за формулою:

$$\Sigma f_0 = \frac{q_{np}}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_0}} = \frac{0,0438}{0,62 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 11,73}} = 0,00465 м^2 = 46,5 см^2 ;$$

**9) При  $d_0=10$  мм площа отвору  $f_0=0,78$  см<sup>2</sup>, тоді загальна кількість отворів:**

$$n = \Sigma f_0 / f_0 = 46,5 / 0,78 = 60 шт;$$

**10) Загальна кількість відгалуджень на кожному фільтрі:**

$$N = (3/0,3) \cdot 2 = 20;$$



11) Кількість отворів, які припадають на кожне відгалудження -  $60/20=3$ ;

12) Довжина кожного відгалудження:

$$l_{\text{від}} = (6 - 0,24) / 2 = 2,88 \text{ м};$$

11) Відстань між отворами:

$$l_o = l_{\text{від}} / 12 = 2,88 / 12 = 0,24 \text{ м};$$

12) Виконаємо розрахунок збірних відвідних жолобів фільтру:

Приймаємо чотири жолоби з трикутною основою. Відстань між жолобами складе:  $6/4=1,5$  м (рекомендується не більше 2,2 м).

Витрати промивної води, яка приходиться на один жолоб:

$$q_{\text{жс}} = q_{\text{пр}} / 4 = 43,8 / 4 = 10,95 \text{ л/с};$$

13) Приймаємо ширину жолобу  $B=0,35$ . Площа поперечного перерізу жолобу в місці його прилягання до збірного каналу, визначаємо по формулі Д. М. Мінца:

$$f = 1,73 \cdot \sqrt[3]{(q_{\text{жс}}^2 / q) \cdot B};$$
$$f = 1,73 \cdot \sqrt[3]{(0,01095^2 / 9,81) \cdot 0,35} = 0,0281 \text{ м}^2;$$

Конструктивно приймаємо такі розміри жолоба – ширина – 0,35 м, висота відстійної частини (заповнення водою) – 0,12 м, висота циліндричної частини – 0,20 м, висота конічної частини – 0,17 м, загальна висота жолоба – 0,37 м.

При цьому найменше перевищення кромки жолобу над рівнем води в ньому складає 8 см.

14) Висота кромки над рівнем завантаження:

$$\Delta h_{\text{жс}} = (h_0 \cdot e / 100) + 0,3 = (1,2 \cdot 25 / 100) + 0,3 = 0,6 \text{ м},$$

де

$e=25\%$  - відносне розширення фільтруючого завантаження;

З урахуванням товщини дна загальна висота жолобу –  $0,37 + 0,04 = 0,41$  м. Як наслідок, відстань від низу жолобу до верху завантаження фільтру буде:  $0,6 - 0,41 = 0,19$  м, що задовольняє вимоги.

18) Ефективність очищення:

- по завислим речовинам – на 70 % ,  $C_1 = 2,72 \cdot (1 - 0,70) = 0,82$  мг/л;
- по БПК<sub>5</sub> - на 60%,  $C_1 = 5,62 \cdot (1 - 0,60) = 2,25$  мг·О<sub>2</sub>/л;

## Розрахунок сорбційного фільтру

Адсорбція – це процес поглинання твердим тілом речовини із оточуючого середовища. Тіло, що поглинає називається адсорбентом, а тіло, що поглинається – адсорбатом. Адсорбційна доочистка може застосовуватися сумісно з методом біологічної очистки як метод попередньої очистки, доочистки чи самостійно.

Адсорбційні методи цілком ефективні для видалення із стічних вод цінних розчинних речовин із їх послідуною утилізацією і для використання очищених стоків і системі оборотного водопостачання промислових підприємств.

В якості сорбентів застосовують різноманітні штучні і природні пористі матеріали: золу, подрібнений кокс, торф, силікагелі, алюмогелі, активні глини і т.д. Найбільш ефективним сорбентами являється активоване вугілля різних марок. Основними показниками сорбентів являються: пористість, структура пор, хімічний склад. Пористість активованого вугілля складає – 60-75 %, а питома площа поверхні – 400-900 м<sup>2</sup>/г. Активність сорбенту характеризується кількістю поглинаючої речовини на одиницю об'єму чи маси сорбенти (кг/ м<sup>3</sup>, кг/кг).

Найбільш простою спорудою являється насипний фільтр, який являє собою колону з нерухомим шаром сорбенту, через який фільтрується, стічна вода, що оброблюється. Швидкість фільтрації залежить від концентрації розчинених і стічних водах речовин і коливається від 1-2 до 5-6м/год; крупність зерен сорбенту складає від 1,5-2 до 4-5 мм. Найбільш раціональний напрямок фільтрації рідини – знизу вгору, так, як в цьому випадку спостерігається рівномірне заповнення всього перерізу колони і відносно легко витісняються пухирці повітря і газів, які потрапляють в шар сорбенту разом зі стічною водою.

Зазвичай сорбційна установка представляє собою кілька паралельно працюючих секцій, які складаються із трьох – п'яти послідовно розташованих фільтрів. По досягненні граничного насичення, головний фільтр відмикається на регенерацію, а вода, що обробляється подається на наступний фільтр. Після регенерації головний фільтр вмикається в схему очищення уже в якості останнього ступеня.

Для очистки здебільшого застосовуються циліндричні одноярусні адсорбери, в які завантажуються активоване вугілля, з висотою шару – 2,5-2,7 м і крупністю фракцій – 0,25 – 1 мм.

Для зменшення окислюваності води та зменшення кольоровості в технологічній схемі передбачається адсорбційна установка з активованого вугілля і крупністю фракцій 0,25 - 1 мм.

Швидкість фільтрування  $v=4$  м/год.

**1) Загальна площа паралельно працюючих адсорберів:**

$$F_{заг} = Q/v = 36/4 = 9 \text{ м}^2,$$

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

**а. Загальна висота вугільного завантаження:**

$$H_{заг} = H_m + H_p,$$

де

$H_m$  - 5 м;

$H_p$  - резервна висота вугільного завантаження, приймаємо - 20 %

$H_m$  - 1 м;

**3) Загальна висота завантаження складе 6 м.**

**4) Діаметр адсорбера рівний 3 м.**

Об'єм адсорбера розраховуємо на час перебування у ньому стічних вод протягом 90 хв., тобто  $V_{адс} = 54 \text{ м}^3$ ;

**5) Число послідовно працюючих адсорберів:**

$$n = H_{заг} / H_{адс} = 6 / 2,5 = 2,$$

де

$H_{адс}$  - висота вугільного завантаження в одному адсорбері;

**б) Ефективність очищення:**

- фосфор – на 70 %,  $C_1 = 1 \cdot (1 - 0,70) = 0,3 \text{ мг/л}$ ;

## Розрахунок іонообмінника

Гетерогенний іонний обмін, або іонообмінна сорбція, - процес обміну між іонами, які знаходяться в розчині, і іонами, які знаходяться на поверхні твердої фази – іоніту.

Очистка промислових стічних вод методом іонного обміну дозволяє вділяти і утилізувати цінні домішки (сполуки миш'яку, фосфору, а також хром, цинк, свинець, мідь, ртуть, та інші метали), ПАВ і радіоактивні речовини, очищати стічну воду до допустимих концентрацій з послідовним її використанням в технологічних процесах чи в системах оборотного водопостачання.

По знаку заряду, іонів, якими обмінюються, поділяють на катіоніти і аніоніти, які проявляють відповідно кислотні і основні властивості. Іоніти поділяються на природні і штучні, чи синтетичні. Практичне значення мають неорганічні природні і штучні алюмосилікати, гідрооксиди і солі багатовалентних металів; застосовуються також іоніти, отримані хімічною обробкою вугілля, целюлози і лігніну. Однак провідна роль належить синтетичним органічним іонітам – іонообмінним смолам.

Розрізняють наступні види іонітів:

1) сильнокислі катіоніти, які містять сульфогрупи  $\text{SO}_3\text{H}$ , і сильноосновні аніоніти, які містять четвертинні амонієві основи;

2) слабокислі катіоніти, які містять карбоксильні  $\text{COOH}$  і фенольні групи, які дисоціюють при  $\text{pH} > 7$ , а також слабоосновні аніоніти, які містять первинні  $\text{NH}_2$  і вторинні  $\text{NH}$  аміногрупи, які дисоціюють при  $\text{pH} < 7$ ;

3) іоніти змішаного типу, які проявляють властивості суміші сильних і слабких кислот і основ.

Важливою властивістю іонітів являється її поглинальна здатність, так звана, обмінна ємність. Повна ємність іоніту – кількість іонів, які знаходяться у стічній воді (в г-екв.іонів/л), які можуть бути поглинуті 1  $\text{м}^3$  іоніту до повного насичення. Робоча ємність іоніту – кількість іонів, які знаходяться у стічній воді (в г-екв.іонів/л), які можуть бути поглинуті 1  $\text{м}^3$  до початку проскоку в фільтрат поглинутих іонів.

При контакті іонітів з водою відбувається їх набухання внаслідок осмотичних явищ; об'єм іонітів зазвичай збільшується в 1,2-2 рази. На кінетику обміну впливають також температури, концентрація іонів і т.д.

#### **Розрахунок іонообмінника:**

В якості першої ступені іонообмінної установки приймаємо  $H$  - катіонітовий фільтр для остаточного видалення з очищеної води катіонів металів та пом'якшення води, якості завантаження якого виступає сильно кислотний катіоніт КУ-2.

Розрахунок  $H$  - катіонітового фільтру зводиться до визначення загальної площі і кількості фільтрів, необхідних для пом'якшення розрахункової витрати води заданої жорсткості (142 мг-екв/л).

#### **1) Об'єм катіоніта визначаємо за формулою:**

$$V_k = K_{с.н.} \cdot Q_{нов} \sum [K] / (n_{фц} E_{роб.к}),$$

де  $K_{с.н.} = 1,1-1,35$  – коефіцієнт для врахування витрати води на власні потреби установки;

$$\sum [K] = 6,75 + 10 = 16,75 \text{ г-екв/м}^3$$

$Q_{нов}$  – корисна витрата знезараженої стічної води, м<sup>3</sup>/добу;

$n_{фц}$  – число фільтроциклів за добу;

$E_{роб.к.}$  – робоча обмінна здатність катіоніту, г-екв/м<sup>3</sup>;

$$E_{роб.к.} = K_{е.р.} K_{обм} E_{пол.к.} - 0,5q \sum [K],$$

де  $K_{е.р.}$  – коефіцієнт ефективності регенерації при питомій витраті  $H_2SO_4$  150 г/г-екв поглинутих катіонів дорівнює 0,91;

$K_{обм}$  – коефіцієнт для врахування зниження обмінної здатності катіоніта,  $K_{обм} = 0,85$ ;

$E_{пол.к.}$  – повна обмінна здатність катіоніта, що для КУ-2 дорівнює 800 г-екв/м<sup>3</sup>;

$q$  – питома витрата освітленої води на відмивку 1м<sup>3</sup>  $H$  – катіоніта,  $q = 5 \text{ м}^3 / \text{м}^3$ ;

$$E_{роб.к.} = 0,91 \cdot 0,85 \cdot 800 - 0,5 \cdot 5 \cdot 16,75 = 576,92 \text{ г-екв/м}^3;$$

$$V_k = 1,25 \cdot 570 \cdot 16,75 / 2 \cdot 576,92 = 10 \text{ м}^3.$$

**2) Визначимо загальну площу катіонітових фільтрів  $F_k$  приймаючи висоту завантаження  $H_k = 2,5$  м:**

$$F_k = V_k / H_k, \quad F_k = 10 / 2,5 = 4 \text{ м}^2.$$

Приймаємо 2 робочих катіонітових фільтри діаметром 2 м і один резервний, тоді загальна площа фільтрів складе: 4 м<sup>2</sup>.

**3) Швидкість фільтрування води через катіонітовий фільтр складе:**

$$v_k = Q / (16 \cdot F_k), \quad v_k = 570 / (16 \cdot 4) = 9 \text{ м/год.}$$

В якості другої ступені іонообмінної установки приймаємо аніонітові фільтри зі слабкоосновним аніонітом АН-18.

**5) Розрахункову швидкість фільтрування визначасмо за формулою:**

$$v_a = (E_{роб.А.} H_A - 0,5 H_A [A]) / T [A] + 0,02 E_{роб.А.} \ln[A] - 0,1 [A] \ln[A],$$

де  $H_A$  – висота завантаження аніонітового фільтру,  $H_A = 2,5$  м;

$[A]$  – вміст іонів кислот в стічній воді,  $[A] = 290 / 35,453 + 205 / 48,03 + 10 = 22,45$  г-екв/м<sup>3</sup>;

$E_{роб.А.}$  – робоча обмінна здатність аніоніта,  $E_{роб.А.} = 1000$  г-екв/м<sup>3</sup>;

$T$  – тривалість роботи кожного фільтра між регенераціями:

$$T = 16 / n_{рег} - t_1 - t_2 - t_3, \quad T = 16 / 2 - 0,25 - 1,5 - 3 = 3,25 \text{ год,}$$

де  $n_{рег}$  – кількість регенерацій за добу;

$t_1$  – тривалість зрихлювання аніоніту;

$t_2$  –тривалість пропускання через аніоніт регенеруючого розчину лугу;

$t_3$  – тривалість відмивання аніоніту після регенерації;

$$v_a = (1000 \cdot 2,5 - 0,5 \cdot 2,5 \cdot 22,45) / (3,25 \cdot 22,45 + 0,02 \cdot 1000 \cdot \ln 22,45 - 0,1 \cdot 22,45 \cdot \ln 22,45) = 19,28 \text{ м/год.}$$

#### б) Загальна площа аніонітових фільтрів:

$$F_A = Q / (n_{\text{рег}} T v_a), \quad F_A = 570 / 2 \cdot 3,25 \cdot 19,28 = 4,55 \text{ м}^2.$$

Приймаємо 2 робочих фільтра і один резервний діаметром 1,5 м. Тоді загальна площа фільтрів складе 4,5 м<sup>2</sup>, а фактична швидкість фільтрації:

$$v_{\text{факт}} = Q / (n_{\text{рег}} T F_A), \quad v_{\text{факт}} = 570 / 2 \cdot 3,25 \cdot 4,5 = 19,49 \text{ м/год.}$$

Регенерацію катіонітів проводитимемо 8%-вим розчином сірчаної кислоти, а аніонітів – 5%-вим розчином лугу.

#### 7) Тривалість перебування на катіонітовому і аніонітовому фільтрі по 60 хв. відповідно.

#### 8) Ефективність очищення:

- по загальній твердості – на 97 % ,  $C_1 = 142 \cdot (1 - 0,97) = 4,26$  мг – екв./л;
- по солевмісту - на 60%,  $C_1 = 1545 \cdot (1 - 0,60) = 618$  мг/л;
- по катіонам – на 98%,  $C_1 = 117,4 \cdot (1 - 0,98) = 2,3$  мг/л;
- по аніонам – на 95%,  $C_1 = 495 \cdot (1 - 0,95) = 24,75$  мг/л;

### Розрахунок знезаражування води

Озон  $O_3$  являється алотропним видозміненням кисню з молекулярною масою – 48. Окислювабно – відновлювальний потенціал озону вищий, ніж у кисню і хлору, внаслідок чого він має більші бактерицидні і окислювальні властивості. Озон виконує універсальну дію, яка проявляється в тому, що одночасно із знезараженням води, відбувається покращення фізико – хімічних і органолептичних показників води. Цим обумовлена необхідність підвищення дози озону для дезинфекції води при наявності в ній органічних забруднень.

Озонаторні установки складаються із наступних основних елементів: озонаторів для синтезу озону, обладнання для підготовки та транспортування повітря, приладів електроживлення, камера контакту

озону з оброблювальною водою, обладнання для утилізації залишкового озону в оброблювальній газовій суміші.

Озон отримують із повітря: для отримання 1 кг озону потрібно 50 - 60 м<sup>3</sup> повітря. Повітря потрібно забирати із незабрудненої зони на висоті не менше 4 м над краєм даху будівлі.

В порівнянні з іншими окисниками, наприклад хлором, озон має ряд переваг. Його можна отримувати безпосередньо на очисних спорудах, причому в якості сировини використовують технічний кисень чи атмосферне повітря. Перспективність застосування озонування як окислювального методу обумовлена також тим, що воно не призводить до збільшення сольового складу очищуваних стічних вод, не забруднює воду продуктами реакції, а сам процес легко піддається повній автоматизації.

В процесі обробки стічних вод озон, який подається в камеру реакції у вигляді озонкисневої чи озонповітряної суміші, вступає в хімічні реакції з забрудненнями стічних вод. Таким чином, озонування являє собою абсорбційний процес, ускладнений хімічними реакціями.

Найбільш економічним способом, являється отримання озону безпосередньо на очисних спорудах, шляхом тихого (короткого) електричного заряду в повітрі. Тихий розряд утворюється у вузькому газовому просторі між двома електродами, до яких підведений струм під напругою 5-25 тис.В. В озонаторах використовуються електроди із скла, внутрішня поверхня, яких покрита металічною амальгамою. Її шар являється електродом високої напруги.

Озонатори мають вертикальні контактні камери, де вода активно перемішується. Контакт триває  $T=10$  хвилин. Доза озону –  $D=10$  мг/л води.

**1) Середня секундна витрата води на очисну:**

$$q_{cp} = Q_{cp.дoб} / (16 \cdot 3600) = 570 / (16 \cdot 3600) = 0,01 \text{ м}^3/\text{с};$$

**2) Максимальна годинна витрата:**

$$Q_{макс.год} = Q_{cp.дoб} \cdot K_{заг.макс.} / 16 = 44,53 \text{ м}^3/\text{год},$$

де

$K_{заг.макс.}$  - загальний коефіцієнт нерівномірності;

**3) Максимальна витрата озону:**

$$Q_{оз.} = Q_{макс.год} \cdot D_{оз.} / 1000 = 44,53 \cdot 10 / 1000 = 0,45 \text{ кг/год},$$

де

$D_{оз.}$  - доза озону, приймаємо – 10 г/м<sup>3</sup>;

Тривалість контакту -  $T_{оз.} = 10$  хв.;

#### 4) Витрата озону на добу складе:

$$Q_{\text{оз.доб}} = Q_{\text{сп.доб}} \cdot D_{\text{оз.}} / 1000 = 570 \cdot 10 / 1000 = 5,7 \text{ кг/доб};$$

Приймаємо озонатори типу ОП-315 з нормальною продуктивністю по озону  $O_1 = 3,8$  кг/год. При цьому середня витрата повітря рівна  $300 \text{ м}^3/\text{год}$ , витрата охолоджуючої води  $q_6 = 30 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Приймаємо два робочих озонатори, припускаючи, що максимальна продуктивність одного озонатора може досягати 4 кг/год. Крім цього, приймаємо також один резервний озонатор (рекомендується 10-20% резервних озонаторів).

#### 5) Потрібна витрата води на два робочих озонатори:

$$q = q_6 \cdot n / 3600 = 30 \cdot 2 / 3600 = 0,017 \text{ м}^3/\text{с};$$

Визначаємо розміри контактних (барботажних) камер для змішування озono-повітряної суміші з водою. Приймаємо висоту води в камері  $H_k = 4$  м.

#### б) Загальна площа камер повинна дорівнювати:

$$F = Q_{\text{макс.год}} \cdot T_{\text{оз.}} \cdot 60 / (3600 \cdot H_k) = 44,53 \cdot 10 \cdot 60 / (3600 \cdot 4) = 2 \text{ м}^2;$$

#### 7) Тривалість озонування – 30 хв., або 0,5 год.

Приймаємо дві секції розміром на плані  $0,5 \times 0,5$  м. Для розподілення озono – повітряної суміші біля дна контактної камери розташовуються перфоровані (керамічні пористі) труби довжиною  $l = 500$  мм, внутрішнім діаметром 64 мм і зовнішнім діаметром 92 мм. Керамічні пористі труби під'єднуються до чотирьох колекторів: до двох, які розташовуються на відстані по 0,5 м від стін, і до двох – через 1 м один до другого. Довжина колекторів 4,14 м. відстань між керамічними трубами приймається рівною 0,5 м.

### Розрахунок РЧВ

Резервуари чистої води приймаємо згідно довідкової літератури. Кількість – 2 шт., глибина 5 м, довжина 12 м, ширина 12 м. Башта промивної води –  $100 \text{ м}^3$ ;

### Розрахунок збору мулу та мулових майданчиків



Найбільш простим і розповсюдженим способом зневоднення осадів, являється сушіння їх на мулових майданчиках з природною основою (з дренажем чи без жренажу), з поверхневим відводом води і на майданчиках – ущільнювачах.

Перші являють собою зплановані ділянки землі (карти), обваловані з усіх боків земляними валами. Сирий осад із відстійників чи зброджений із метатенків, двохярусних відстійників) до 99,5 % (незброджений активний мул), періодично наливається невеликим шаром на ділянки і підсушується до вологості 75-80%.

Волога з осаду частково просочується в ґрунт, але більша частина її видаляється за рахунок випарювання. Об'єм осаду при цьому зменшується. Підсушений осад має структуру вологої землі. Його можна брати на лопату і навантажувати у вагонетки і самоскиди для транспортування до місця використання.

В нашому випадку для зневоднення і складування осаду обираємо обваловані мулові майданчики на штучній основі. Майданчики обладнані трубчатим дренажем, викладеним в канави, заповнені щебнем і гравієм. Відстань між дренажними канавами рекомендується приймати рівною – 6-8 м, початкову глибину канави – 0,6 м з уклоном 0,003.

На малих очисних станціях з метою зручності експлуатації ширину окремих карт приймають не більше 10 м. Розміри карт слід призначати з урахуванням розміщення осаду, який випускається за один раз при товщині шару влітку 0,25 – 0,3 м і взимку 0,5 м.

Карти відділяють одна від одної огорожувальними валами, висоту яких приймають на 0,3 м вище робочого рівня.

Осад розподіляється по картах за допомогою труб чи дерев'яних лотків, які укладаються в більшій мірі в самому роздільному валу з уклоном 0,01 – 0,03 і обладнуються випускними каналами.

Мулові майданчики необхідно своєчасно звільняти від підсушеного осаду. На малих очисних станціях, осад вручну погрузають в машини і відвозять для використання його в якості добрива.

Майданчики плануються за межею водоочисних споруд. Розрахунковий період накопичення приймаємо рівним 3 рокам.

Мул подається з освітлювача, первинного, вторинного відстійників першого та другого ступенів.

#### **Розрахунок мулових майданчиків:**

##### **1) Добовий об'єм збродженого осаду рівний:**

$$W_{зб} = \frac{V_{oc}}{ab},$$

де

*a* – коефіцієнт зменшення об'єму мулу за рахунок його розпаду при зброджуванні, рівний - 2;

*b* – коефіцієнт зменшення об'єму мулу за рахунок його з 95-ї до 90%-ї вологості, рівний - 2.

$V_{oc}$  – витрата сирого осаду, яка знаходиться за формулою:

$$V_{oc} = \frac{100 \cdot O_{cух}}{(100 - W_{oc}) \cdot \rho_{oc}},$$

де

$W_{oc}$  - вологість волого осаду, % (коливається від 93 до 95 %), в нашому випадку – 95 %;

$\rho_{oc}$  - щільність відповідно волого осаду і активного мулу – 1;

$O_{cух}$  - витрата осаду (по сухій речовині), т/доб,

$$O_{cух} = \frac{C \cdot \mathcal{E} \cdot K}{1000 \cdot 1000} \cdot Q,$$

де

*C* - початкова концентрація завислих речовин - 695 мг/л;

$\mathcal{E}$  – ефект затримання завислих речовин в первинних відстійниках в долях одиниці – 0,5;

*K*- коефіцієнт, який враховує збільшення об'єму осаду за рахунок крупних фракцій завислих речовин, які не уловлюються при відборі проб для аналізу, приймається – 1,1-1,2, приймаємо – 1,2;

*Q* – середній приток стічних вод на очисну станцію - 570 м<sup>3</sup>/доб;

$$O_{cух} = \frac{695 \cdot 0,5 \cdot 1,2}{1000 \cdot 1000} \cdot 570 = 0,24 \text{ т/доб};$$

$$V_{oc} = \frac{100 \cdot 0,24}{(100 - 95) \cdot 1} = 4,8 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$W_{зб} = \frac{4,8}{2 \cdot 2} = 1,2 \text{ м}^3/\text{добу};$$

#### **в. Необхідна площа мулових майданчиків:**

$$F_{мул.м} = \frac{365 \cdot V_{oc}}{h},$$

де

*h* – висота складування мулу на майданчиках – приймаємо 2 м;

$$F_{\text{мрт.м}} = \frac{365 \cdot 4,8}{2} = 876 \text{ м}^2;$$

Кількість робочих майданчиків – 2 і один резервний.

Прийнято ширину одного майданчика - 15 м, довжину 30 м. Площа одного майданчика 450 м<sup>2</sup>.

### **Розробка технології очищення стічних вод з використанням очищеної води для промислового водопостачання**

На пивоварному заводі, що розглядається для очищення стічних вод, які утворюються в результаті роботи підприємства використовується наступна очисна технологічна схема, яка включає в себе таке технологічне обладнання:

- 1.** Спочатку стічна вода, що надходить на очисні споруди, поступає на механізовану рухомих решітки суміщені з дробарками, тобто крупні механічні домішки, що виділяються з решітки механічним шляхом, і транспортуються на дробарки, після дробарок, вони видаляються на майданчик для механічних домішок. Час знаходження стічної води на решітці – 10 секунд. Кількість решіток – 2 і одна резервна.
- 2.** Після решіток вода поступає на горизонтальну двохсекційну пісколовку з прямолінійним рухом води для видалення важких мінеральних домішок (головним чином піску). Осад із пісколовки видаляється гідроелеватором. Потім пісок і домішки видаляються на піскову площадку. Час знаходження води в пісколовці – 30 секунд. Кількість решіток – 1.
- 3.** Після пісколовки вода поступає на прямокутний багатокоридорний усереднювач, де відбувається усереднення і вирівнювання концентрації забруднюючих речовин у воді і її витрат. Число секцій усереднювача – 2. Час знаходження води в усереднювачі – 4 год.
- 4.** Після усереднювача стічна вода поступає до освітлювача з природною аерацією, який являє собою вертикальний відстійник з внутрішньою камерою флокуляції. В ньому відбувається очищення води по БПК і завислих речовинам. Осад, що виділився із стічної води під гідростатичним напором видаляється по трубі і направляється на стабілізатор, піна, що утворилася в камері флокуляції направляється до пінозбірного баку. Час знаходження води у освітлювачі – 1,5 год. Число освітлювачів – 2.
- 5.** Після освітлювача вода надходить до напірного флотатора, де відбувається очистка стічних вод, шляхом флокації – процесу прилипання

частинок домішок гідравлічною крупністю до 0,01 мм/с до пухирців повітря, і утворення комплексів «частинки – пухирці», які вспливають на поверхню рідини, утворюючи пінний шар. Потім піна скребками видаляється до пінозбірного баку. Паралельно у флотаторі випадають в осад більш важчі мінеральні забруднення, які видаляються на стабілізатор, потім на вакуум-фільтр, де відбувається зневоднення і далі на мулові майданчики. У флотаторі відбувається очищення по БПК, ХПК, завислих речовинах і ПАВ. Число флотаторів – 2. Тривалість перебування води у флотаторі – 0,5 год.

**6.** Далі вода поступає до електрофлотатора для кращого доочищення по таким показникам, як ПАВ, БПК, завислі речовини. В електрофлотаторі забруднюючі частинки переносяться із рідини на її поверхню, в процесі електролізу стічної води. При якому використовуються електроди – катод і анод. На катоді виділяється водень, а на аноді – кисень. Основну роль в процесі флотації відіграють пухирці, які утворюються на катоді. Саме вони утворюють комплекс «пухирці – забруднюючі частинки» і спливають на поверхню рідини і утворюють пінний шар, який скребками видаляється у пінозбірний бак. Осад з мінеральних частинок, який випав у електрофлотаторі, видаляється на стабілізатор, потім на вакуум-фільтр, де відбувається зневоднення і далі на мулові майданчики. Час знаходження води в електрофлотаторі – 0,5 год.

Кількість електрофлотаторів – 1. Число камер – 2.

**7.** Після електрофлотатора стічна вода поступає до первинного вертикального відстійника з вбудованим преаератором, який призначений для видалення грубодисперсних домішок, які під дією гравітаційних сил осідають на дно відстійника у відстійній зоні. А вбудований преаератор потрібен для насичення поступаючої води повітрям з метою підвищення ефективності очищення і освітлення стічних вод. У первинному вертикальному відстійнику відбувається очищення стічної води потаких показниках, як: зважені речовини і БПК. Осад, що утворився у відстійнику видаляється на стабілізатор, потім на вакуум-фільтр, де відбувається зневоднення і далі на мулові майданчики, збитковий мул, що виділяється у відстійнику частково йде на установку по триманню кормових дріжджів, частково на стабілізатор і вакуум-фільтр і частково подається у вторинний вертикальний відстійник I ступеню. Число відстійників – 1. Час знаходження води у відстійнику – 1,5 год.

**8.** Після первинного вертикального відстійника вода поступає на біологічну очистку до одноступінчатого чотирьохкоридорного аеротенку-змішувача з відділенням для нітрифікації і денітрифікації. аеротенку. Процес очищення стічної води відбувається за допомогою життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу аеротенку. Мікроорганізми сорбують забруднюючі речовини і переробляють їх (окислюють). Очищена вода разом з активним і надлишковим мулом поступає на вторинний вертикальний відстійник I ступеню. В аеротенку відбувається очищення стічних вод по таких показниках, як: ХПК, БПК, азот амонійний. Час знаходження води в аеротенку – 4 год.

**9.** З аеротенку вода поступає до вторинного вертикального відстійника I ступеню, в якому відбувається очищення води після аеротенку від активного і надлишкового мулу, шляхом відстоювання. По конструкції він схожий з первинним вертикальним відстійником. Осад з вторинного відстійника направляється на стабілізатор, потім на вакуум-фільтр, де відбувається зневоднення і далі на мулові майданчики, збитковий мул, що виділяється у відстійнику частково йде на установку по триманню кормових дріжджів, частково на стабілізатор і вакуум-фільтр і частково подається у аеротенк. Показники по яких відбувається очищення – БПК, завислі речовини. Час перебування води – 1,5 год. Кількість – 1.

**10.** З вторинного вертикального відстійника I ступеню вода подається на високонавантажувальний біофільтр з реактивним орошувачем, в даній схемі він виступає в якості другого ступеню біологічної очистки. Вода в ньому фільтрується через завантажувальний матеріал покритий біологічною плівкою, яка утворена колоніями мікроорганізмів. В шарі біофільтру залишаються нерозчинні домішки, які не видалилися у первинному вертикальному відстійнику, а також коллоїдні і органічні речовини, які сорбувалися біологічною плівкою. Мікроорганізми окислюють органічні домішки стічної води, що поступає. Очищена вода разом з активним і надлишковим мулом поступає на вторинний вертикальний відстійник II ступеню. У біофільтрі відбувається очищення по таким показникам, як: ХПК, БПК, азот амонійний, фосфор. Час знаходження води на біофільтрі – 4 год. Кількість біофільтрів – 1.

**11.** Після біофільтра вода поступає на вторинний вертикальний відстійник II ступеню, в якому відбувається очищення води після біофільтру від активного і надлишкового мулу, шляхом відстоювання. По конструкції він схожий з первинним вертикальним відстійником. Осад з вторинного

відстійника направляється на стабілізатор, потім на вакуум-фільтр, де відбувається зневоднення і далі на мулові майданчики, збитковий мул, що виділяється у відстійнику частково йде на установку по триманню кормових дріжджів, частково на стабілізатор і вакуум-фільтр і частково подається у вторинний вертикальний відстійник I ступеню. Показники по яких відбувається очищення – БПК, завислі речовини. Час перебування води – 1,5 год. Кількість – 1.

**12.** Після вторинного вертикального відстійника II ступеню вода подається на механічне очищення до одношарового гравійно – піщаного фільтру з висхідним потоком та піщаною загрузкою (кварцевий пісок) на гравійному підстилаючому шарі. В зернистих порах фільтра відбувається глибоке доочищення дрібнодисперсних завислих частинок, а також доочищення води після біологічної очистки, шляхо затримання активного залишкового мулу. Після очищення осад, який утворився із затриманих речовин (активний мул) подається у вторинний вертикальний відстійник I ступеню. Очищення відбувається по таким параметрам, як: завислі речовини, БПК. Тривалість фільтрування – 1 год. Число фільтрів – 2.

**13.** З гравійно – піщаного фільтра очищена вода подається на адсорбційний фільтр (циліндричний одноярусний адсорбер) з завантаження із активованого вугілля (фізико – хімічне очищення). Шар вугілля адсорбує (поглинає) забруднюючі речовини, таким чином відбувається процес очищення. Після очищення, затримані речовини подаються у вторинний вертикальний відстійник I ступеню. Показники по яких відбувається очищення – фосфор. Тривалість перебування води у фільтрі – 1,5 год. Число адсорберів – 2.

**14.** Після адсорбційного фільтра очищена вода подається до іонообмінника, який складається з катіонного і аніонного фільтра (фізико – хімічне очищення). На цих фільтрах відбувається відповідно поглинання катіонів, аніонів, шляхо явища осмосу. Таким чином відбувається процес очищення води. Після очищення, затримані речовини подаються у вторинний вертикальний відстійник I ступеню. Процес очистки проходить по таких параметрах, як: катіони, аніони, загальна твердість, солевміст. Тривалість перебування на катіонному фільтрі (катіоніті) – 1 год, його кількість – 1. Тривалість перебування на аніонному фільтрі (аніоніті) – 1 год, його кількість – 1.

**14.** Після іонообмінника очищення вода поступає на заключну стадію очищення – знзаражування в озонаторній установці. Крім знзараження

озонаторній установці також відбувається покращення фізико – хімічних і органолептичних властивостей очищеної води. Час перебування в озонаторній установці – 10 хв.

Технологічна схема очищення стічних вод промислового підприємства, крім вище наведених складових її очисних апаратів і споруд, передбачає повторне використання вже отриманої очищеної води в необхідних технологічних цілях, в залежності від ступеню очищення води та вимог, що до неї пред'являються. Також ця схема включає в себе систему споруд та технологічних апаратів по знешкодженню, утилізації та переробці відходів.

У процесі проходження всіх видів очищення – механічного, біологічного, фізико-хімічного, від обладнання споруд утворюються відходи і осади, які мають різноманітний фізичний і хімічний склад. Вони піддаються процесам утилізації, переробки та знешкодження.

В нашому випадку ми розглядаємо процес очищення стічних вод пивоварного заводу, тому варто виділити ті відходи, які утворюються в процесі очищення стічних вод.

Основною проблемою технології та екології харчової промисловості є проблема прісної води. Всі підприємства потребують велику кількість води у випадку пивоварної промисловості вода використовується безпосередньо на технологію виробництва. Пивоварне виробництво пов'язане з великою витратою води, основна кількість якої утворює виробничі стоки.

Значна кількість стічних вод утворюється на стадії миття та замочування ячменю, промивки дріжджів, миття виробничих ємкостей, трубопроводів, тари, а також при скиданні кінцевих промивних вод варочного цеху.

Стічні води пивоварного виробництва містять розбавлені розчини цукрів, білків, неорганічних солей, в них також знаходяться частки землі та зерна. Найбільш забрудненими є стоки, що утворюються при митті та замочуванні зерна, від відпрацьованого хмелю та миття відпрацьованих дріжджів. Кількість стічних вод, концентрація їх забруднень залежать, в першу чергу, від потужності підприємства та прийнятої технології. Стічні води пивоварної промисловості є концентрованими по органічним забрудненням, особливо від окремих цехів (варочний, бродильний та розливу продукції).

Існує ряд способів утилізації стічних вод пивоварного виробництва, а саме: з них виділяють пивні дріжджі для медичних та кормових цілей, розпочаті дослідження по вирощуванню водоростей на стічних водах з метою отримання біомаси для вигодівлі худоби. Але промислове їх виробництво здійснено лише на окремих підприємствах.

Також одним з способів вилучення органічних речовин з стічних вод пивоваріння є коагуляція, де в якості коагулянтів застосовують солі амонію, заліза, поліакрилові кислоти. Коагулянти утворюють гідрофобні колоїдні системи, які при коагуляції дають пластівці, що сорбують та захоплюють в процесі осадження частки речовин. Недоліком цього методу є утворення невідновлювальних відходів та низький ефект очистки від органічних домішок.

Незважаючи на існування різноманітних технологій утилізації відходів пивоварної промисловості, більшість стічних вод скидаються у відстійники.

Тому пошук альтернативних засобів утилізації та ефективного очищення таких стічних вод є актуальним для пивоварної промисловості.

Важливим аргументом для вирішення цієї проблеми є підвищення вимог до екологічного стану підприємств та необхідності сплати коштів за розміщення відходів згідно до діючого законодавства України.

Тому в процесі очищення стічних вод пивоварного підприємства постає проблема знезараження і утилізації всіх відходів, побічних продуктів і осадів – переведення їх за допомогою спеціальних технологічних процесів в нешкідливий продукт для оточуючого середовища, здоров'я людей, подальших технологічних та господарських цілей.

Опис технологічної схеми повторного використання очищеної стічної води, утилізації та переробки відходів, що утворилися в процесі очищення стічних вод:

- 1) Відходи, які затримуються решіткою подаються у бункер механічних домішок, а потім вивозяться на звалище ТПВ, або якщо їх можна утилізувати направляються на утилізацію.
- 2) Пісок та дисперговані забруднюючі речовини, які затримуються у пісколовці видаляються на піскові площадки, де вони підсушуються, а потім можуть використовуватися для власних господарських потреб підприємства, чи направлятися на утилізацію на підприємства інших галузей промисловості.



3) Піна, яка утворюється у флотаторі і електрофлотаторі збирається обертаючими скребками згрібається в лоток і видаляється у пінозбірний бак, після чого вона утилізується.

4) Осад, який утворюється в первинному і вторинних відстійниках (суміш збиткового мулу з осадом із первинного відстійника) подається на аеробну стабілізацію в споруди типу аеротенків, які називаються стабілізаторами. При цьому частина активного мулу, що виділяється на вторинних відстійниках I і II ступенів повертається в аеротенк (від вторинного відстійника I ступеню) та у вторинний відстійник I ступеню від вторинного відстійника II ступеню. Частина осаду із первинного відстійника подається у вторинний відстійник I ступеню. Також осади, що утворюються від гравійно-піщаного, адсорбційного фільтра, іонообмінної установки подаються у вторинний відстійник I ступеню. Осади із освітлювача, флотатора і електрофлотатора відводяться на стабілізатор мулу. Метод аеробної стабілізації полягає в довготривалій аерації осадів в спорудах типу аеротенків (стабілізаторів). Аеробна стабілізація – це складний біохімічний процес, в результаті якого відбувається розпад (окислення) основної частини органічних беззольних речовин (ОР) осаду. Органічні речовини осаду, що залишаються, являються стабільними – нездатними до подальшого розкладання (загнивання). Ефективність процесу аеробної стабілізації залежить від тривалості процесу, температури, інтенсивності аерації, а також від складу і властивостей осаду, який окислюється. При тривалості аерації суміші активного мулу з осадом із первинного відстійника – 10-12 діб, розпад беззольної речовини відповідно складає - 30-40 %, питома витрата повітря – 1,2-1,5 м<sup>3</sup>/ м<sup>3</sup> робочої ємності споруди за 1 год. Відстоювання стабілізованих осадів слід проводити напротязі 1,5-2 год в спеціально виділеній зоні, яка влаштована в середині аераційної споруди, чи в окремих відстійниках. Мулова вода повинна направлятися в аеротенки. Стабілізований осад піддається послідуєчій обробці у вакуум-фільтрах для механічного зневоднення. В нашому випадку зневоднення відбувається на барабанних вакуум-фільтрах неперервної дії типу БОУ зі східним полотном для зневоднення сирого осаду і активного мулу. Барабанний вакуум-фільтр – горизонтально розташований барабан, який обертається, частково занурений в корито з осадом. Барабан має дві бокові стінки: внутрішню суцільну і зовнішню перфоровану, обтягнуту фільтрувальною тканиною. Простір між стінками розділений на 16-32 секції, які не з'єднуються між собою. Кожна секція

має відвідний колектор, який входить в торець в цапфу, до якої притиснена нерухома розподільча головка. В зоні фільтрування осад фільтрується під дією вакууму. Потім він просушується атмосферним повітрям. Фільтрат і повітря відводяться в спільну вакуумну лінію. В зоні знімання осаду в секції подається стиснене повітря, яке сприяє відділенню зневодненого осаду від фільтрувальної тканини. Осад знімається з барабану ножем. В зоні регенерації тканина продувається стисненим повітрям чи паром. Для покращення фільтруючої здатності тканини через 8-24 год роботи, фільтр регенерують – промивають водою, інгібованою кислотою чи розчином ПАР.

5) Після зневоднення частина осаду подається на мулові майданчики для подальшого остаточного підсушування та складування, після чого він вивозиться для подальшого використання (наприклад у якості органічних добрив) або утилізації, якщо його не можна використовувати далі.

6) Частина осаду після стабілізатора і вакуум-фільтра направляється на установку по отриманню кормових дріжджів.

7) Важливим є питання водопостачання очисних споруд, самого виробничого підприємства та повторного використання очищеної води. Чиста вода для потреб всього підприємства зберігається в резервуарах чистої води (РЧВ). З них вода подається на виробничі і власні потреби, а також на очисні споруди, які потребують для своєї нормальної роботи чисту воду: гравійно-піщаний фільтр, адсорбційний, іонообмінна установка, озонаторна установка.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – С. 127.
2. Водний кодекс України (зі змінами та доповненнями, внесеними Законом України від 7 грудня 2000 р. №2120-III) // ВВР. – 2001. – №2-3 – Ст.1
3. Маринич О.М., Шищенко П.Г. Фізична географія України: Підручник. – К.: Знання, 2005. – С. 128.
4. Регіональна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро в Полтавській області на період до 2021 року. – Полтава, 2013. – 162с.
5. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.І. Сніжко. – К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с. 59,
6. Голік Ю.С., Ілляш О.Е., Степова О.В. Екологічний стан басейну річки Дніпро в Полтавській області / Вісник Інженерної академії України, №1, 2013 р.- С.197-200.
7. Водоотводящие системы промышленных предприятий: учеб. для вузов/ С.В. Яковлев, И.Я. Карелин, Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов / Под ред. С.В.Яковлева. – М.: Стройиздат,1990. – 510 с.
8. Карпов В. І. Еколого-економічні проблеми довкілля Житомирщини. [Кол. мо-ногр.] / В. І.Карпов, С. П. Сіренький та інші; Під заг. ред. П. П. Михайленка. –Житомир, 2001. – 320 с.
9. Романенко В.Д. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.М. Жукинський, О.П. Оксіюк та ін. - К.: СИМВОЛ - Т, 1998. – 28 с.
10. Яковлев С.В., Карелин С.В., Ласков Ю.М., Калищун В.И. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1996. –591 с.
11. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов. – М.: АСВ, 2004. –704 с.
12. Ветошкин А.Г. Таранцева К.Р. Технология защиты окружающей среды (теоретические основы): учебное пособие /Под ред. доктора технических наук, профессора, академика МАНЭБ и АТП РФ А.Г.Ветошкина –Пенза: Изд-во Пенз. технол. ин-та, 2004. – с.342.
13. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Красавцев Г.Н., Ильичев Ю.И., Кашуба А.И. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.

14. Водоснабжение, канализация и очистка сточных вод коксохимических предприятий / Григорук Н.О. – М.: Metallurgy, 1987. – 120 с.
15. Ансеров Ю.М., Дурнев В.Л. Машиностроение и охрана окружающей среды. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. – 224 с.
16. Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях / В.М. Макаров, Ю.П. Беличенко, В.С. Галустов. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
17. Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод (Справ. пособие) /Под ред. А.И. Жукова. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.
18. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. / Под ред. В.Н. Самохина. – Изд. 2-е. М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
19. Долина Л.Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для механической очистки производственных сточных вод: учеб. пос. – Днепропетровск: Континент. – 2004. – 93 с.
20. Долина Л.Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для физико-химической очистки производственных сточных вод: учеб. пос. – Днепропетровск: Континент, 2004. – 127 с.
21. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. – Л.: Химия, 1977. – 464 с.
22. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1986.
23. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1990. – 224 с.
24. Молоков М.В. Очистка поверхностного стока с территории городов промышленных площадок. – М.: Стройиздат, 1977. – 104 с.
25. Соколов Л.И. Ресурсосберегающие технологии в системах водного хозяйства промышленных предприятий. – М.: АСВ, 1997. – 256 с.
26. Алферова А. А., Нечаев А. П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. – М.: Стройиздат, 1987.
27. Проблемы развития безотходных производств /Б. Н. Ласкорин, Б. В. Громов, А. П. Цыганков, В. Н. Сенин. – М.: Стройиздат, 1985.
28. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств. – М.: Химия 1984.

29. Беспамятнов Г. П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – Л.: Химия, 1987.
30. Абрамович С. Ф. Раппорт Я. Д. Тенденции развития водоснабжения городов за рубежом. Обзор. – М.: ВНИИИС, 1987.
31. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984.
32. Евилович А. З. Утилизация осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1989.
33. А. Г. Банников, А. К. Рустамов, А. А Вакулин. Охрана природы. – М.: Агропромиздат, 1987.
34. 25 Капинос П.И., Панесенко Н.А. Охрана природы. – К.: Выща школа 1991.
35. Охрана окружающей природной среды /Под ред. Г. В. Дуганова. К.: Выща школа 1990.
36. Комплексное использование и охрана водных ресурсов/ Под ред. О. А. Юшманова. – М.: Агропромиздат, 1985.
37. Методы охраны внутренних вод от загрязнения и истощения / Под ред. И. К. Гавич. – М.: Агропромиздат, 1985.
38. 29. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков / Под ред. В. Н. Соколова. – М.: Стройиздат, 1992.
39. 30. Комарова Л.Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды. Техника защиты атмосферы и гидросферы от промышленных загрязнений: учебное пособие. – Барнаул, 2000. – 391 с.
40. Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1983. – 263 с.
41. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. – М.: Химия, 1983. – 288 с.
42. КНД 211.0.009-94 "Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних та технологічних вод."
43. КНД 211.1.2.008-94 "Гідросфера. Правила контролю складу і властивостей стічних та технологічних вод."
44. "Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами" Постанова Кабінету Міністрів України №465 від 25.03.1999 р,
45. Водний Кодекс України//ВВР. – 1995 – № 24.

**Навчальне видання**

**Степова Олена Валеріївна  
Трохименко Ганна Григорівна**

**Технології захисту водного середовища  
Навчальний посібник**

---

Відповідальний за випуск О.В. Степова  
Комп'ютерна верстка О.В. Степова, Г.Г. Трохименко  
Редактор авторська редакція  
Коректор

---

Підписано до друку «\_\_» 2021 р. Папір ксерокс.  
Формат 60x88 1/16. Друк RISO  
Обл. – вид. арк. 6,7. Тираж 20 примірників

0447

---

Поліграфічний центр  
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія  
Кондратюка»  
36011, Полтава, пр. Першотравневий, 24  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру  
видавців, виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції  
Серія ДК, № 932 від 27.05.2002 р.

---

Віддруковано з оригінал-макета ПЦ НУ «Полтавська політехніка імені  
Юрія Кондратюка»

