

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

**О.В. Степова**



***НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК***  
***з дисципліни «Технології захисту довкілля»***

*рівень вищої освіти - "магістр"*  
*спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»*

***модуль 2: ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД***

**Полтава 2023**

**Відповідальний за випуск:** завідувач кафедри прикладної екології та природокористування Ілляш О.Е, к.т.н., доцент.

**Рецензенти:**

Чугай А.В., д.т.н., професор, Одеський державний екологічний університет  
Ілляш О.Е., к.т.н., доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Рекомендовано до друку вченою радою  
Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»,  
Протокол № \_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2023р.

**Степова О.В., д.т.н., професор** Навчальний посібник з дисципліни «Технології захисту довкілля», рівень вищої освіти - "магістр", спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища», модуль 2: ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД. Полтава: Видання НУПП імені Юрія Кондратюка, 2023. 205 с.

Розглянуто основи процесів та технології апаратів обладнання для захисту гідросфери від рідинних скидів з використанням різних методів і способів: механічних, хімічних, фізико-хімічних, біологічних.

Наведено основні конструкції апаратів, установок і споруд для очищення стічних вод від зважених і розчинених домішок. Ці методики розрахунку застосовуються в очищенні стічних вод апаратів, основних технологічних та конструктивних параметрів відстійників, фільтрів, флотаторів, адсорберів, електролізерів, екстракторів, ректифікаційних установок, аеротенків і біофільтрів.

Навчальний посібник підготовлено на кафедрі екології Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. Призначено для студентів, що навчаються за спеціальністю "Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування", і може бути використаний як основна навчальна література при вивченні та курсовому проектуванні з дисципліни "Сучасні методи очищення стічних вод", "Технології та апарати очистки води", а також при дипломному проектуванні і як додаткова навчальна література при вивченні дисциплін студентами інженерних спеціальностей.

## Зміст

ВСТУП		5
Розділ 1.	Характеристика водних ресурсів та їх використання .	8
1.1	Водні дисперсні системи .....	8
1.2	Класифікація і коротка характеристика стічних вод	11
1.3	Склад та властивості виробничих стічних вод .....	13
1.4	Класифікація домішок стічних вод .....	16
1.5	Необхідний ступінь очищення стічних вод .....	19
1.6	Системи водопостачання та водовідведення промислових підприємств .....	24
1.7	Схеми використання води на промислових підприємствах .....	30
1.8	Поверхнево-злизовий стік із територій промислових підприємств .....	35
1.9	Умови випуску виробничих стічних вод у систему міської каналізації та водні об'єкти .....	37
1.10	Технологічний контроль якості води .....	44
Розділ 2.	Способи очищення та апарати переробки стічних вод	45
2.1	Гідромеханічні способи очищення стічних вод. Загальні положення .....	50
2.2	Усереднення промислових стічних вод .....	52
2.3	Проціджування стічних вод .....	54
2.4	Відстоювання стічних вод .....	59
2.4.1	Закономірності відстоювання .....	59
2.4.2.	Осадження частинок у пісколовках .....	61
2.4.3	Осадження домішок у відстійниках .....	65
2.5	Відстоювання у полі відцентрових сил Гідроциклони і центрифуги .....	79
2.6	Фільтрування стічних вод .....	86
2.7	Фізико-хімічне очищення .....	98
2.7.1	Коагуляція і флокуляція .....	99
2.7.2	Флотаційне очищення стічних вод .....	112
2.7.3	Адсорбційне очищення .....	122

2.7.4	Іонний обмін у розчинах стічних вод .....	127
2.7.5	Очищення стічних вод методом екстракції .....	131
2.7.6	Очищення перегонкою і ректифікацією .....	136
2.7.7	Десорбція, дезодорування і дегазація розчинених домішок .....	137
2.8	Біологічне очищення .....	140
2.9	Хімічні методи очищення стічних вод .....	151
2.9.1	Нейтралізація стічних вод .....	153
2.9.2	Окислення забруднювачів стічних вод .....	154
2.9.3	Очищення стічних вод відновленням .....	157
2.10	Використання мембранних технологій для очищення стічних вод .....	157
2.10.1	Мембрани .....	158
2.10.2	Мікрофільтрація .....	161
2.10.3	Ультрафільтрація та зворотний осмос .....	162
2.11	Електрохімічні методи очищення стічних вод .....	169
Розділ 3	Схеми очищення стічних вод деяких виробництв .....	176
3.1	Очищення стічних вод, що містять емульговані нафтопродукти .....	176
3.2	Очищення стічних вод, що містять іони важких металів .....	179
3.3	Очищення стоків, що містять ПАР .....	182
3.4	Очищення стічних вод, що містять білкові сполуки ..	183
Розділ 4	Обробка осадів стічних вод .....	184
4.1	Гідромеханічне зневоднення осадів стічних вод .....	185
4.2	Механічна переробка твердих відходів .....	190
4.3	Фізико-хімічні основи обробки та утилізації відходів	194
4.3.1	Реагентна обробка осадів стічних вод .....	194
4.3.2	Фізико-хімічні методи вилучення компонентів із відходів .....	196
4.3.4	Збагачення при рекуперації твердих відходів .....	197
4.4	Термічні методи знешкодження мінералізованих стоків .....	198
4.5	Термічні методи кондиціонування осадів стічних вод	199
4.6	Сушіння вологих матеріалів .....	200
4.7	Термохімічна обробка твердих відходів ...	201
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	203

## ВСТУП

Природна вода – не тільки джерело водопостачання і транспортний засіб, але й середовище проживання тварин та рослин. Кругообіг води в природі створює необхідні умови для життя людства на Землі. Походження води на землі пов'язане з походженням самої Землі. Існує дві гіпотези походження води на Землі. В першому випадку – це існування готових молекул води в газопиловій хмарі, з якої виникла Земля і яке спостерігається в кометах та метеоритах сьогодні. В другому випадку вода утворилася з водню і кисню після конденсації газопилової хмари в планету Земля. Згодом при підвищенні температури надр Землі та їх дегазації, а також у процесі міграції водню і кисню з центральної частини планети до периферії й хімічних реакцій утворилися молекули води. Походження води, її первинне походження як розчинника та її міграція становлять єдине ціле у вивченні природної води.

Вода відіграє вирішальну роль у багатьох процесах, що проходять у природі, та в забезпеченні життєдіяльності людини. У промисловості воду використовують як сировину і джерело енергії, як хладоагент, розчинник, екстрагент, для транспортування сировини й матеріалів.

Бурхливий розвиток промисловості викликає необхідність у запобіганні негативному впливу виробничих стічних вод на водойми. Багато сучасних технологічних процесів пов'язано зі скиданням стічних вод у водні об'єкти. У зв'язку з надзвичайною різноманітністю складу, властивостей і витрат стічних вод промислових підприємств, необхідне застосування специфічних методів, а також споруд за їх локального, попереднього і повного очищення.

На сьогодні захист навколишнього середовища від стічних вод – одне з головних завдань. Заходи, спрямовані на очищення води, допоможуть зберегти чистим повітряний і водний басейни. Для правильного підходу до розв'язання актуальних завдань у галузі навколишнього середовища необхідні певні знання в цій сфері.

Одним з основних напрямів науково-технічного прогресу є створення маловідхідних і безвідхідних технологічних процесів. У галузі очищення стічних вод таким напрямом є розроблення каналізаційних систем з мінімальним скиданням стічних вод у водойму або без скидання – безстічних систем. Найбільш раціональний спосіб скорочення обсягу стічних вод – це створення оборотних та замкнених систем водопостачання, що виключає скидання води у водойми. При такому водопостачанні передбачається необхідне очищення стічної води, охолодження зворотної води, обробка та повторне використання стічної води.

Створення замкнених систем технічного водопостачання з витягом цінних компонентів, у першу чергу, передбачається при будівництві нових та реконструкції діючих підприємств. Перехід на безстічні системи

каналізації або системи з мінімальним скиданням стічних вод може бути здійснений шляхом багаторазового використання відпрацьованих вод і заміни водяного охолодження на повітряне. При переході низки галузей промисловості на безводні технологічні процеси виключається утворення стічних вод.

Промислові підприємства витрачають величезну кількість води, а деякі вимагають навіть безперервної подачі води. Зі збільшенням потужності підприємств, використанням складних технологічних процесів споживання води збільшується.

Система водовідведення промислових підприємств призначена для забезпечення відведення води, що в силу набутих технологічних і виробничих забруднень перетворилася в стічну воду, яку необхідно очищати перед повторним використанням або скиданням за межі промпідприємств. Після використання у виробничих цілях вода забруднюється або нагрівається, змінює свої первинні властивості, що робить її непридатною для подальшого використання, тобто вона перетворюється у виробничі стічні води (промислові стоки).

У складі інженерних комунікацій кожного промислового підприємства є комплекс водовідвідних мереж і споруд, за допомогою яких здійснюється відведення з території підприємства стічних відпрацьованих вод (якщо подальше використання їх неможливе за технічними умовами або недоцільне за техніко-економічними показниками), а також споруд й устаткування для очищення стічних вод та видалення з них цінних речовин і домішок. При проектуванні очисних споруд необхідно враховувати склад та властивості виробничих стічних вод, норми водовідведення на одиницю продукції, умови випуску виробничих стоків у міську каналізацію й водойми, а також необхідний ступінь їх очищення.

Водовідведення й очищення стічних вод є однією із спеціальних дисциплін, яка розв'язує завдання збору і відведення за межі міст та промислових підприємств використаних і відпрацьованих вод, їх очищення, знешкодження й випуску у водойми, а також вирішує питання обробки опадів, що утворюються при очищенні та їх утилізації.

Стічні води утворюються при використанні природної або водопровідної води для побутових цілей і технологічних процесів промислових підприємств. Стічні води містять у своєму складі органічні забруднення, які здатні загнити й служити середовищем для розвитку різних мікроорганізмів. Тому стічні води є джерелом різних захворювань і поширення інфекцій, що може викликати виникнення епідемій. Окрім органічних забруднень, стічні води містять у своєму складі й мінеральні забруднення, шкідливі та токсичні речовини. Таким чином, стічні води є джерелом забруднення природного довкілля – водойм, ґрунтів і т.д.

Пристрій систем водовідведення усуває всі негативні наслідки від дії стічних вод на природне довкілля. Після очищення стічні води зазвичай скидаються у водойму. Найбільш досконалыми системами водовідведення є такі, що забезпечують очищення і підготовку стічної води до такої якості, при якій можливе повернення води для повторного використання в промисловому або сільському господарстві. Такі системи називаються *безстічними*, або *замкнутими*.

## **Розділ 1. Характеристика водних ресурсів та їх використання**

### **1.1 Водні дисперсні системи**

У промисловості воду використовують як сировину і джерело енергії, як хладоагент, розчинник, екстрагент, для транспортування сировини й матеріалів. Загальна кількість природної води на Землі становить 1386 млн. куб. км, з них кількість прісної води – 35 млн. куб. км., тобто близько 2,5%. Обсяг споживання прісної води у світі досягає 3900 млрд. м<sup>3</sup>/рік. Близько половини цієї кількості споживається безповоротно, а інша половина перетворюється в стічні води. Залежно від ступеня мінералізації (в г / л) води діляться: на прісні (із вмістом солей <1); солонуваті (1 ... 10); солоні (10 ... 50) і розсоли (> 50). У свою чергу прісні води підрозділяються на води малої мінералізації (до 200 мг / л), середньої мінералізації (200 ... 500 мг / л) і підвищеної мінералізації (500 ... 1000 мг / л). За переважним аніоном усі води діляться на гідрокарбонатні, сульфатні та хлоридні. Жорсткість природних вод зумовлена наявністю в них солей кальцію і магнію й виражається концентрацією іонів Ca<sup>2+</sup> і Mg<sup>2+</sup> в ммоль екв / л. Розрізняють загальну карбонатну та некарбонатну жорсткість. Загальна жорсткість становить суму двох жорсткостей: карбонатна – пов'язана з присутністю у воді бікарбонатів кальцію і магнію, а некарбонатних – сульфатів, хлоридів, нітратів кальцію й магнію. Щільність чистої води при 15°C і атмосферному тиску 999 г/м<sup>3</sup>. Зі збільшенням концентрації домішок щільність води зростає. 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 температурі 100°C дорівнює 2250 кДж / кг.

Вода – слабкий провідник електричного струму питома електрична провідність при 18°C дорівнює  $1\ 4,41 \cdot 10^{-8}$  Ом. см. Природна вода, що піддається антропогенному забрудненню, називається денатурованою або природно-антропогенною. Воду, яку використовують у промисловості, підрозділяють на *охолоджуючу*, *технологічну* та *енергетичну*. В промисловості 65 ... 80% витрати води споживається для охолодження рідких і газоподібних продуктів у теплообмінних апаратах. У цих випадках вода не стикається з матеріальними потоками й не забруднюється, а лише нагрівається. Технологічну воду підрозділяють на *середовищеутворюючу*, *промивну* і *реакційну*. Середовищеутворюючу воду використовують для розчинення йі утворення пульп, при збагаченні та переробці руд,

гідротранспорті продуктів та відходів виробництва; промивну – для промивання газоподібних (абсорбція), рідких (екстракція) і твердих продуктів та виробів; реакційну – у складі реагентів, а також при відгонці та інших процесах. Технологічна вода безпосередньо контактує із середовищем. Енергетична вода використовується для отримання пари й нагрівання обладнання, приміщень, продуктів.

Для зменшення споживання свіжої води створюють оборотні та замкнуті системи водопостачання. При оборотному водопостачанні передбачають необхідне очищення стічної води, охолодження оборотної води, обробку і повторне використання стічної води. Застосування оборотного водопостачання дозволяє в 10 ... 15 разів зменшити споживання природної води. Оборотна вода повинна відповідати певним значенням показників: карбонатної жорсткості, рН, умісту завислих речовин та біогенних елементів, значенням ХПК (хімічна потреба в кисні). Оборотну воду в основному використовують у теплообмінній апаратурі для відведення надлишкового тепла. Вона багаторазово нагрівається до 40 ... 45 ° С і охолоджується в градирнях або в бризкальних басейнах. Значна частина її втрачається в результаті краплевинесення та випаровування. Через несправності й нещільності теплообмінників вона забруднюється до певної межі.

Для запобігання корозії, інкрустації, біологічному обростанню частину оборотної води виводять із системи (продувальна вода), додаючи свіжу воду з джерела або очищені стічні води. Основною вимогою до води, що витрачається на підживлення оборотних систем, є обмеження карбонатної й сульфатної жорсткості. Обмежується також уміст завислих речовин.

Для запобігання біологічному обростанню апаратів і споруд у оборотній воді обмежується вміст органічних речовин та з'єднань біогенних елементів (азоту, фосфору), що є живильним середовищем для мікроорганізмів. При роботі без скидання оборотної води для продування ставляться більш жорсткі вимоги до якості води.

Якість води, яка використовується для технологічних процесів, має бути вища, ніж води, яка знаходиться в оборотних системах. *Стічна вода* – це вода, що була у побутовому, виробничому чи сільськогосподарському вжитку, а також пройшла через забруднену територію. Залежно від умов утворення стічні води діляться на *побутові, або господарсько-фекальні (ПСВ), атмосферні (АСВ) і промислові (ПСВ)*.

*Господарсько-побутові* води – це стоки душових, пралень, їдалень, туалетів, від миття підлог й ін. Вони містять домішки, з яких ~ 58% органічних речовин та 42% мінеральних. *Атмосферні води* утворюються внаслідок випадання атмосферних опадів і стікають з територій підприємств. Вони забруднюються органічними та мінеральними речовинами. *Промислові стічні води* – це рідкі відходи, які виникають при



видобутку й переробленні органічної та неорганічної сировини. Стічні води забруднені різними речовинами: 1) біологічно нестійкі органічні сполуки; 2) малотоксичні неорганічні солі; 3) нафтопродукти; 4) біогенні сполуки; 5) речовини зі специфічними токсичними властивостями, в тому числі важкі метали, біологічно жорсткі органічні синтетичні сполуки, що не розкладаються.

Промислові та побутові стічні води містять зважені частки розчинних і нерозчинних речовин. Зважені домішки поділяються на тверді й рідкі, утворюють з водою дисперсну неоднорідну систему. Під неоднорідною системою розуміють систему, що складається з двох або кількох фаз, кожна з яких має свою поверхню поділу та може бути механічно відокремлена від іншої фази. Система, в якій зовнішньою фазою є рідина, називається рідкою неоднорідною системою.

Стічні води багатьох виробництв, крім розчинних неорганічних і органічних речовин містять колоїдні домішки, а також зважені грубодисперсні й дрібнодисперсні домішки, щільність яких може бути більше або менше щільності води.

Класифікація домішок за їх фазово-дисперсним станом:

а) *гетерогенні системи:*

I – суспензії, розмір часток  $10^{-1}$  мкм (суспензії, емульсії, мікроорганізми і планктон),

II – колоїдні розчини, розмір часток  $10^{-1} \dots 10^{-2}$  мкм (золи та розчини високомолекулярних сполук).

б) *гомогенні системи:*

III – молекулярні розчини, розмір часток  $10^{-2} \dots 10^{-3}$  мкм (гази, розчинні у воді, органічні речовини);

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

Залежно від фізичного стану фаз розрізняють такі рідкі неоднорідні системи: суспензії, емульсії й піни. *Суспензія* складається з рідини і зважених у ній твердих частинок. Залежно від розмірів частинок розрізняють грубі суспензії з частинками розміром  $> 100$  мкм, тонкі (0,5 ... 100 мкм) та каламуті (0,1 ... 0,5 мкм). Проміжне становище між суспензіями й істинними розчинами займають колоїдні розчини з розмірами частинок менше ніж 0,1 мкм. *Емульсія* складається з 2-ох рідин, що не змішуються або частково змішуються, одна з яких розподілена в іншій у вигляді рідких крапель. Величина часток дисперсної фази в емульсіях коливається в досить широких межах. *Піна* – система, що складається з рідини і розподілених у ній бульбашок газу. Неоднорідні системи характеризуються масовим або об'ємним співвідношенням фаз та розмірами частинок дисперсної фази. Дисперсну фазу, що складається з частинок неоднакового розміру, прийнято характеризувати фракційним або дисперсним складом, тобто відсотковим умістом частинок різного розміру.

Стічні води являють собою полідисперсні гетерогенні (неоднорідні) агрегатнонестійкі системи. У процесі осадження розмір, щільність, форма частинок, а також фізичні властивості частинок системи змінюються. 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

$$\rho_c = \rho_d \cdot \varphi + \rho_0 (1 - \varphi), \quad (1.1)$$

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

$$\mu_c = \mu_0 (1 + 2,5\varphi), \quad (1.2)$$

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

## 1.2 Класифікація і коротка характеристика стічних вод

У процесі життєдіяльності людина використовує велику кількість води. При використанні її в побуті й промисловості вода забруднюється, в ній накопичуються речовини органічного та мінерального походження й при цьому змінюються її фізичні властивості. І ось таку воду прийнято називати *стічною водою*. Забруднюючи довкілля, стічні води створюють умови для виникнення різних хвороб та епідемій.

*Стічними водами* називають води, використані промисловими або комунальними підприємствами й населенням і підлягають очищенню від різних домішок. Залежно від умов утворення стічні води підрозділяються на:

- побутові (у них приблизно 58% органічних речовин та 42% мінеральних);
- атмосферні (утворюються в результаті випадання опадів, стікаючи з території підприємств, забруднюються органічними й мінеральними речовинами);
- промислові (є рідкі відходи, які виникають при видобутку і переробленні органічної та неорганічної сировини).

Крім того, в стічних водах можуть міститися токсичні речовини (кислоти, луги, солі, важкі метали), які викликають отруєння живих організмів і загибель рослин. Тому стічні води повинні видалятися з населених пунктів та промислових приміщень. Таким чином, водопровідна вода, використовувана в побутовій і виробничій діяльності людини, забруднюючись органічними й неорганічними речовинами, перетворюється на стічну воду та підлягає видаленню.

Найбільшу небезпеку в санітарному відношенні становлять органічні забруднення, оскільки при гнитті вони виділяють шкідливі, погано пахнучі гази, як сірководень, аміак, вуглекислий газ. Крім того, в стічних водах

містяться і мікроби, що викликають захворювання, такі, як дизентерія, черевний тиф, холера.

Мінералогічні забруднення стічних вод не небезпечні для здоров'я людей і тварин, але також повинні віддалятися за межі населених місць. За походженням стічні води можна класифікувати на побутові (господарсько-фекальні), виробничі та атмосферні.

**Побутові стічні води** утворюються в житлових, адміністративних і комунальних будівлях, а також у побутових приміщеннях промислових підприємств. Це води від умивальників, раковин, ванн, унітазів, миття тощо. Вони сильно забруднені мінеральними та органічними речовинами, містять багато бактерій, у тому числі й патогенних. Побутові води небезпечні в санітарному відношенні.

**Виробничі (промислові) води** – утворюються на промислових об'єктах у результаті технологічних процесів виробництва. За мірою забрудненості вони діляться на: а) умовно чисті; б) забруднені.

**Умовно чисті води** не містять специфічних забруднень, у процесі використання вони лише міняють свою температуру (це води від охолодження машин, агрегатів, конденсаційні води).

**Забруднені виробничі води** за складом забруднень і їх концентрацією дуже різноманітні, забрудненість їх залежить від виду виробництва та технології виробництва. Можуть бути води забруднені в основному або мінеральними домішками, або органічними, або змішаними чи містити бактеріальні забруднення, шкідливі, отруйні, радіоактивні речовини й под.

**Атмосферні стічні води** утворюються в процесі випадання дощів та танення снігу й називають їх дощовими, або зливовими. За складом забруднень вони можуть бути близькі до розбавлених побутових і виробничих стічних вод.

Основними характеристиками стічних вод є:

1. Їх кількість, що характеризується витратою, вимірюваною в л/с, м<sup>3</sup>/год; м<sup>3</sup>/добу.
2. Міра рівномірного і нерівномірного утворення й потрапляння стічних вод у водовідвідну систему, яка визначається коефіцієнтами нерівномірності. У таблиці 2 [3] наведено загальні коефіцієнти нерівномірності припливу стічних вод залежно від середньої витрати стічних вод.
3. Види забруднень і вміст їх у стічних водах, що характеризується концентрацією забруднень та вимірюється в мг/л або г/м<sup>3</sup>.

У побутових стічних водах містяться забруднення мінерального й органічного походження. Знаходяться ці забруднення в нерозчиненому і розчиненому станах. Нерозчинені забруднення називаються зваженими речовинами. Найбільш небезпечні – забруднення органічного походження. В середньому в побутових стічних водах зважених речовин органічного

походження міститься 100-300 мг/л. Уміст органічних забруднень, що знаходяться в розчиненому стані, оцінюється величиною біохімічної потребою в кисні (БПК) і хімічною потребою в кисні (ХПК) – 150...600 – 100...400 мг/л. У таблиці 25 [3] приведена кількість речовин, що забруднюють воду, на одного мешканця (так кількість забруднюючих речовин на одного мешканця за зваженими речовинами дорівнює 65 г/добу; БПК – 75 г/доб; азот амонійних солей  $N$  – 8 г/доб; фосфати  $P_2O_5$  – 3,3 г/доб і т.д.).

Різна міра забруднення стічних вод, різна нерівномірність і кількість їх при проектуванні ставлять важливе завдання спільного або роздільного відведення окремих видів стічних вод, спільного або роздільного їх очищення.

### 1.3 Склад та властивості виробничих стічних вод

Виробничі стічні води діляться на 2 основні категорії: забруднені й незабруднені (умовно чисті). Незабруднені води надходять від холодильних, компресорних, теплообмінних апаратів. Вони утворюються при охолодженні виробничого устаткування, готової продукції. Ці води тільки нагріваються і після охолодження використовуються повторно.

Отже, до промислових стічних вод відносять:

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

Хімічно забруднені стічні води, в свою чергу, підрозділяють на:

- органічно забруднені (підприємства м'ясної, харчової, целюлозно-паперової, хімічної промисловості, заводи з виробництва пластмас, каучуку);
- забруднені переважно мінеральними домішками (підприємства металургійної, машинобудівної, рудо- і вуглевидобувної промисловості);
- заводи з виробництва мінеральних добрив, кислот, будівельних матеріалів);
- забруднені мінеральними й органічними домішками (підприємства нафтовидобувної, нафтопереробної, нафтохімічної, текстильної, легкої, фармацевтичної промисловості; заводи з виробництва консервів, цукру, та ін.);
- води, що мають специфічні забруднення.

Речовини, що забруднюють виробничі стічні води, різноманітні й залежать від технології та виду виробництва. За вмістом забруднюючих речовин виробничі стічні води (слабкоконтентровані й висококонтентровані) розділяються на чотири групи: 1-500, 500-5000, 5000-30000 і більше 30 000 мг/л.

Виробничі стічні води можуть розрізнятися за фізичними властивостями забруднюючих їх органічних продуктів (наприклад, за температурою кипіння): менше ніж 120°C, 120–250°C та вище ніж 250°C.

За ступенем агресивності стічні води розділяють на:

- слабоагресивні (слабкокислі із рН = 6-6,5 і слабколужні із рН = 8-9);
- сильноагресивні (сильнокислі із рН < 6 і сильнолужні із рН > 9);
- неагресивні (з рН=6, 5-8).

Для розроблення раціональної схеми водовідведення й оцінки можливості повторного використання виробничих стічних вод визначається їх склад і режим водовідведення. При цьому аналізуються фізико-хімічні показники стічних вод та режим надходження в каналізаційну мережу не тільки загального стоку промислового підприємства, але й стічних вод від окремих цехів.

При аналізі стічних вод повинні визначатися: вміст компонентів, специфічних для певного виду виробництва (фенолів, нафтопродуктів, поверхнево активних, радіоактивних, вибухонебезпечних речовин), загальна кількість органічних речовин, що виражається величинами БПК<sub>повн</sub> і ХПК; активна реакція; інтенсивність окрашення; ступінь мінералізації. Необхідно встановити такі параметри, як кінетика осідання або спливання механічних домішок, коагулюємість стоку та ін. Ці дані дозволяють вибрати найбільш доцільний і економічно обґрунтований метод очищення стічних вод для певного підприємства.

Фізико-хімічні показники виробничих стічних вод окремих підприємств свідчать про широкий діапазон коливань складу цих вод, що викликає необхідність ретельного обґрунтування вибору оптимального методу очищення для кожного виду виробничих стічних вод. На різних підприємствах, навіть при однакових технологічних процесах, склад виробничих стічних вод, режим водовідведення і питома витрата на одиницю продукції, яка випускається, досить різноманітні. Велике значення у формуванні складу виробничих стічних вод має вид сировини, що переробляється.

Виробничі стічні води різних галузей промисловості істотно відрізняються як за складом забруднюючих речовин, так і за їх концентраціями. Так, у стічних водах заводів чорної металургії в окремих цехах затримуються: завислих неорганічних речовин 0,2-5 г/л, окалини 0,3-2 г/л, фенолів 0,7-1 г/л, смол і мастил 0,2-1,8 г/л. У стічних водах целюлозно-паперових заводів завислих речовин затримуються 400-2000 мг/л – це переважно волокно та целюлоза. У стічних водах текстильних підприємств утримуються завислих речовин 250-400 мг/л, миючих речовин 50-120 мг/л. У стічних водах підприємств важкої індустрії затримуються в основному забруднення мінерального походження, а харчової й легкої промисловості – забруднення органічного походження.

Склад стічних вод залежить також від технологічного процесу виробництва, застосовуваних компонентів, проміжних виробів і продуктів, продукції, що випускається, складу вихідної водопровідної води, місцевих умов й інших факторів.

Кількість виробничих стічних вод визначається залежно від продуктивності 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 використовуваної сировини. Укрупнені норми водовідведення в різних галузях промисловості коливаються в широких межах. Так, при збагаченні 1 т вугілля утворюється 0,08 м<sup>3</sup> стічних вод; при виплавленні 1т 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

$$Q_{\text{доб}} = N \times M, \quad (1.3)$$

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. Виробничі стічні води протягом зміни можуть надходити рівномірно або нерівномірно, що пов'язане 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 урахувати графіки добового коливання складу стічних вод за основними фізико-хімічними показниками, а також за специфічними забруднюючими компонентами (поверхнево активними, токсичними і радіоактивними речовинами).

#### **1.4 Класифікація домішок стічних вод**

##### ***Органічні домішки стічних вод***

Органічна речовина побутових стічних вод представлено в основному сечовиною, білками, жирами, вуглеводами і продуктами їх розкладу, різними органічними кислотами, синтетичними поверхнево активними речовинами (СПАР). Відмітною особливістю побутових стічних вод є відносна сталість їх складу, оскільки від кожного мешканця в систему водовідведення надходить у середньому визначена кількість забруднюючих речовин (г /добу), що може бути визначено за СНіПом 2.04.03-85. Виробничі стічні води можуть бути забруднені специфічними органічними речовинами, що залежать від виду виробництва, наприклад нафтою й нафтопродуктами, фенолами, лігніном, різними органічними кислотами, СПАР. Найбільша кількість СПАР знаходиться у стічних водах текстильної, шкіряної та нафтової промисловості.

Уміст 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 **полютантів стічних вод**, 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:  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_4^+$  ( $NH_3$ ),  $SO_4^{2-}$ , ( $H_2S$ ),  $HPO_4^{2-}$  (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 як акцептор електронів та протонів 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  $O_2/дм^3$ . Розчинність кисню у воді при атмосферному тиску визначається температурою, при 20°C у дистильованій воді розчиняється 9,17 мг  $O_2/дм^3$ . Отже, максимальне значення БПК, що визначається при цій температурі, становитиме 6,17 мг  $O_2/дм^3$ . Якщо органічних речовин в аналізованій пробі стічної води знаходиться багато і мікроорганізму потрібна більша кількість кисню для окислення органіки, вдаються до методу розбавлення вихідної проби стічної води. Суть методу полягає в тому, що на одну частину досліджуваної стічної води беруть кілька частин розбавленої води, суміш до межі насичують киснем, розливають в інкубаційні склянки й витримують у термостаті при 20 °С. 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 мг  $O_2/дм^3$  то, отже, БПК досліджуваної стічної води становить 240 мг  $O_2/дм^3$ .

#### *Мінеральні домішки стічних вод і розчинені гази*

У стічних водах неорганічну частину забруднень зіставляють солі, які властиві водопровідній воді та які утворюються в процесі обмінних реакцій в організмі людини, зокрема фосфати й амонійні солі. У **виробничих стічних водах** у високих концентраціях можуть перебувати специфічні мінеральні речовини: олово, мідь, свинець, цинк, кадмій, різні кислоти та ін. **Мінеральні забруднення стічних вод**, в основу складу яких входять завислі речовини, представлені піском і глинистими частинками, що потрапляють у побутові води при митті овочів та фруктів, прибиранні приміщень і т.д. Характер та кількість мінеральних **полютантів 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 біохімічні процеси в них. Розчинений кисень 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 кишечника 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, пов'язаний з питною водою. 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 визначення 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 присутності 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 логічна оцінка якості води була основана на визнанні двох показників: загального мікробного числа (ЗМЧ) і числа бактерій групи *Coli*. Перший показник дає уявлення про загальне обсіменіння води аеробними сапрофіти, 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 сульфатредукуючих клостридій і коліфаги.

### **1.5 Необхідний ступінь очищення стічних вод**

Для правильного визначення необхідного ступеня очищення стічних вод, що спускаються у водойму, в кожному випадку треба мати докладні дані про їх кількість та склад, а також дані детальних обстежень водойми, що характеризують місцеві гідрологічні й санітарні умови. Необхідний ступінь очищення стічних вод визначається відносно загальносанітарних і

органолептичних показників шкідливості та до кожного з нормативних показників забруднення. «Санітарні правила і правила охорони поверхневих вод від забруднення» встановлюють дві категорії водойм (або їх ділянок): I – водойми питного та культурно-побутового призначення й II – водойми рибогосподарського призначення.

Склад і властивості води водних об'єктів першого типу повинні відповідати нормам у створах, розташованих у водотоках на відстані одного кілометра вище від найближчого за течією, а в непроточних водоймах – у радіусі одного кілометра від пункту водокористування. Склад та властивості води в рибогосподарських водоймах мають відповідати нормам у місці витоку стічних вод при розсіюючому випуску (наявність течій), а за відсутності розсіюючого випуску – не далі ніж за 500 м від місця витоку.

Правила встановлюють допустимі значення для наступних параметрів води водойм: зміст плаваючих домішок і зважених речовин, запах, присмак, фарбування й температура води, значення рН, складу та концентрації мінеральних домішок і розчиненого у воді кисню, біологічна потреба води в кисні, склад та гранично допустима концентрація (ГДК) отруйних і шкідливих речовин та хвороботворних бактерій.

Шкідливі й отруйні речовини різноманітні за своїм складом, у зв'язку з чим їх нормують за принципом лімітуючого показника шкідливості (ЛПШ), під яким розуміють найбільш вірогідний несприятливий вплив кожної речовини. При нормуванні якості води у водоймах питного та культурно-побутового призначення використовують три види ЛПШ: санітарно-токсикологічний, загальносанітарний і органолептичний. Для водойм рибогосподарського призначення поряд з указаними використовують ще два види ЛПШ: токсикологічний та рибогосподарський.

Необхідний ступінь очищення стічних вод визначається стосовно загальносанітарних і органолептичних показників шкідливості й у кожному з нормативних показників забруднення. Розрахунки за визначенням необхідного ступеня очищення стічних вод, що спускаються у водойму, проводять за кількістю зважених речовин, допустимого значення БПК суміші річкової води та стічної, за споживанням стічними водами розчиненого кисню, за температурою води, зміною величини активної реакції води водоймища, сольовим складом, ГДК шкідливих домішок.

У загальному вигляді зв'язок між необхідним ступенем очищення стічних вод перед спуском їх у водойму та санітарних вимог виражається співвідношенням

$$C_{ст} \leq \frac{aQ}{q} (c_{зр} - c_p) + c_{зр}; \quad (1.4)$$

де  $C_{ст}$  – концентрація забруднень у стічних водах, яка повинна бути досягнута в результаті їх очищення і коли не будуть порушені санітарні вимоги при спуску у водойму;  $c_{гр}$  і  $c_p$  – відповідно концентрація та ГДК забруднень у воді водойми;  $Q$  і  $q$  – відповідно витрата води у водоймі й розрахункова витрата стічних вод (найменший середньодобовий),  $a$  – коефіцієнт змішування, що показує, яка частина витрат води у водоймищі змішується зі стічними водами в розрахунковому створі.

Для визначення умов змішування і розбавлення стічних вод водного об'єкта у наш час запропоновано багато методик розрахунків різного ступеня складності. Кратність розбавлення стічних вод у річці

$$n = \frac{q + Q_{sm}}{q}, \quad (1.5)$$

де  $q$  – витрати стічних вод,  $m^3/c$ ;  $Q_{sm}$  – частина витрат води водного об'єкта, яка бере участь у розбавленні стічних вод,  $m^3/c$ ;

$$Q_{sm} = aQ_R, \quad (1.6)$$

де  $a$  – коефіцієнт змішування,  $a$  у випадку зосередженого випуску = 0; у створі повного змішування = 1; у інших випадках  $0 < a < 1$ ;

$Q_R$  – витрати води у водному об'єкті,  $m^3/c$ .

При проектуванні та реконструкції підприємств, розташованих поблизу річок, у першу чергу необхідно оцінити можливість скидання виробничих стічних вод у річку. Найбільш простий розрахунок за методом Фролова–Родзиллера. Він оснований на розв'язанні диференціального рівняння турбулентної дифузії при таких припущеннях: річковий потік вважається безмежним, початкове розбавлення відсутнє, випуск стічних вод зосереджений. Для річок зона початкового розбавлення значно коротша, ніж для озер і водосховищ, тому в більшості методик розрахунку розбавлення стічних вод у річках початкове розбавлення не враховують.

Умови змішування стічних вод з водами озер і водосховищ значно відрізняються від умов змішування в річках. Концентрація домішок значно зменшується в початковій зоні змішування, але повне перемішування відбувається на значно більших віддалях від місця випуску, ніж у річках. Крім того, змінюються в часі напрямки та значення швидкості руху повітря над озерами й водосховищами переносять забруднення в різному напрямку від місця випуску. Розрахунок розбавлення стічних вод в озерах і водосховищах проводять двома методами: методом Руффеля та методом Лапшева.

### **Необхідний ступінь очищення стічних вод за кількістю замулюючих речовин**

Гранично допустимий уміст замулюючих речовин у очищенні стічних водах, скинутих у водоймище:

$$C_{\text{см}} = p \left( 1 + \frac{\gamma \cdot Q_p}{Q_{\text{см}}} \right) + C_p, \quad (1.7)$$

де  $p$  – допустиме за санітарними правилами збільшення вмісту замулюючих речовин у водоймищі після спуску стічних вод, мг/л;  
 $C_p$  – мінімальний уміст замулюючих речовин у воді водоймища до спуску стічних вод, мг/л.

### **Необхідний ступінь очищення стічних вод за БПК**

Максимально допустиме значення БПК<sub>повн.</sub> у скинутих стічних водах, мг/л:

$$L_{\text{ex}} = \frac{\gamma \cdot Q}{Q_{\text{см}} \cdot 10^{-k_1 t}} (L_{\text{ГДК}} - L_p \cdot 10^{-k_2 t}) + \frac{L_{\text{ГДК}}}{10^{-k_2 t}}, \quad (1.8)$$

де  $K_1$  – константа швидкості споживання кисню стічними водами залежно від температури. При температурі 21°C  $K_1=0,105$ ;

$t$  – довготривалість перемішування від місця випуску до розрахункового створу:

$$t = \frac{L_{\delta}}{v_{\text{ср}}}, \quad (1.9)$$

$L_{\text{ГДК}}$  – гранично допустиме значення БСК<sub>повн</sub> суміші річної й стічної води в розрахунковому створі, мг/л;

$L_p$  – БПК<sub>повн.</sub> річної води до місця випуску стічних вод, мг/л;

$K_2$  – константа реаерації, що залежить від швидкості течії, характеристики водоймища.

### **Дефіцит кисню після скидання стічних вод у водоймище**

Кисневий режим у водоймищі визначаємо для літнього і зимового періодів. В якості розрахункового приймаємо найбільш несприятливий період, протягом якого слід зберігати необхідний уміст кисню.

Найменший уміст кисню у воді водоймища після скидання стічних вод спостерігається в критичній точці. Якщо в цій точці вміст кисню буде не менше від нормативного, то в усіх останніх пунктах ріки, вгору і вниз по течії, він, напевно, буде більшим.

Дефіцит кисню до скидання стічних вод

$$D_{\text{ен}} = O - O_p, \quad (1.10)$$

де  $O$  – розчинність кисню повітря в чистій воді, мг/л;

$O_p$  – фактичний уміст розчиненого кисню в річці до скидання стічних вод, мг/л.

Значення БПК суміші річної й стічної води в місці скидання може бути трохи більшим, ніж значення  $L_{\text{ГДК}}$ , за рахунок часткового біохімічного самоочищення вод ріки при русі їх до розрахункового створу:

$$L_{\text{сум}} = \frac{L_{\text{ГДК}}}{10^{-k_1 t}}. \quad (1.11)$$

Час руху води від місця скидання стічних вод до пункту, де вона буде мати найменшу кількість розчиненого кисню, діб:

$$t_{кр} = \frac{\lg \left[ \frac{k_2}{k_1} \left( 1 - \frac{D_{ен} \cdot (k_2 - k_1)}{k_1 \cdot L_{сум}} \right) \right]}{k_2 - k_1}. \quad (1.12)$$

Якщо в круглих дужках формули одержуємо від'ємне число, то приймаємо дефіцит кисню в критичній точці, мг/л:

$$D_{ex} = \frac{k_1 \cdot L_{сум}}{k_2 - k_1} (10^{-k_1 t_{кр}} - 10^{-k_2 t_{кр}}) + D_{ен} \cdot 10^{-k_2 t_{кр}}. \quad (1.13)$$

Уміст розчиненого кисню в момент  $t_{кр}$ , мг/л,

$$O_{кр} = O - D_{ex}. \quad (1.14)$$

Якщо значення  $O_{кр}$  буде більшим, ніж нормативне значення вмісту розчиненого кисню, то кисневий режим у річці не буде порушений унаслідок скидання очищених стічних вод. У нашому випадкові кисневий режим у річці не буде порушений внаслідок скидання очищених стічних вод.

#### **Максимально допустима температура води водоймища**

Максимально допустима температура води у водоймі в результаті спуску стічних вод визначається співвідношенням

$$T = \left( \frac{aQ}{q} + 1 \right) T_d + T_p, \quad (1.15)$$

де  $T_p$ ,  $T_d$  – відповідно максимальна температура води водойми до випуску стічних вод відповідно і допустиме підвищення температури води водоймища.

З умови змішування стічних вод з водою ставка виходить залежність для визначення допустимого вмісту кислоти та  $C_{ст.к}$ , або лугу  $C_{ст.л}$  у стічних водах, що спускаються у водойму

$$C_{ст.к} = \frac{aQ}{q} C_k; \quad C_{ст.л} = \frac{aQ}{q} C_l, \quad (1.16)$$

де  $C_k$ ,  $C_l$  – максимальна кількість кислоти або лугу (в мл нормального розчину), яка може бути нейтралізована 1 л води водойм за умови, що в розрахунковому створі рН води залишиться в межах санітарних норм (визначаються за номограмами). Санітарний стан водойми відповідає вимогам норм при виконанні співвідношення

$$\frac{C_{pI}}{C_{ГДК}} + \dots + \frac{C_{pI}^i}{C_{ГДК}^i} \leq 1, \quad (1.17)$$

де  $C_{pI}^i$  – концентрація забруднюючих речовин у річці, мг / л;

$C_{ГДК}^i$  – гранично допустима концентрація забруднюючих речовин у річці, мг/л.

Для водойм питного та культурно-побутового призначення перевіряють виконання трьох, для водойм рибогосподарського призначення – п'яти нерівностей. При цьому кожен речовину можна враховувати тільки в одній нерівності.

Нормами встановлено ГДК більше ніж 400 шкідливих речовин у водоймах питного і культурно-побутового призначення, а також більше ніж 100 шкідливих речовин у водоймах рибогосподарського призначення. ГДК шкідливих речовин у водоймах рибогосподарського призначення, як правило, менше, ніж у водоймах питного та культурно-побутового призначення.

"Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення» забороняють скидати у водойми стічні води, якщо цього можна уникнути, використовуючи більш раціональну технологію, безводні процеси та системи повторного й оборотного водопостачання; якщо стічні води містять цінні відходи, які можна було б утилізувати; якщо стічні води містять сировину, реагенти і продукцію підприємств у кількостях, що перевищують технологічні втрати; якщо стічні води містять речовини, для яких не встановлені ГДК.

При проектуванні очисних споруд необхідно враховувати склад і властивості виробничих стічних вод, норми водовідведення на одиницю продукції, умови випуску виробничих стічних вод у міську каналізацію та водоймища, а також необхідний ступінь їх очищення.

Визначення допустимого складу стічних вод проводять залежно від переважного виду домішок і з урахуванням характеристик водойми, в яку скидають стічні води. Розрахунки за визначенням необхідного ступеня очищення стічних вод, що спускаються у водойму, проводять за кількістю зважених речовин, допустимій величині БПК у суміші річкової води й стічних вод, за споживанням стічними водами розчиненого кисню, за температурою води, забарвленням, запахом і сольовим складом, за ГДК токсичних домішок та інших шкідливих речовин, а також щодо зміни величини активної реакції води водоймища.

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

Усе різноманіття систем водопостачання, які трапляються на практиці, можна класифікувати за основними 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.), змішаного харчування;
- 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 прямоточні, послідовні, з оборотом води.

Вода різними споживачами використовується на різні цілі, які можуть бути поділені на три основні категорії: господарсько – питні цілі, виробничі потреби промисловості, пожежогасіння.

Залежно від призначення об'єкта та умов, що ставляться до 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.

Система водопостачання в процесі роботи повинна задовольняти вимоги надійності й економічності. Під цим слід розуміти подачу води в заданих кількостях, необхідну якість, під заданим натиском з найменшими витратами 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 у будь-яких цілях.

На промислових підприємствах залежно від характеру забруднення стічних вод і способів очищення системи водовідведення промислових підприємств існують загальносплавні, роздільні (повні й неповні) та змішані. Вибір системи водовідведення промислових підприємств досить важливий, тому що на окремих підприємствах можуть утворюватися до 5-10 різних видів стічних вод, які відрізняються за витратою, складом і властивостями забруднень, що утримуються в них.

При виборі системи водовідведення необхідно враховувати такі можливості:

- сумісного або роздільного очищення окремих видів (від окремих цехів) стічних вод;
- добування й використання цінних речовин, що втримуються 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 вид водокористування.

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 і дощових. Особливістю загальносплавної системи є наявність на головному колекторі ливнеспусків, через які частина суміші стічної води скидається у водойму при випаданні сильних дощів (рис. 1.1).

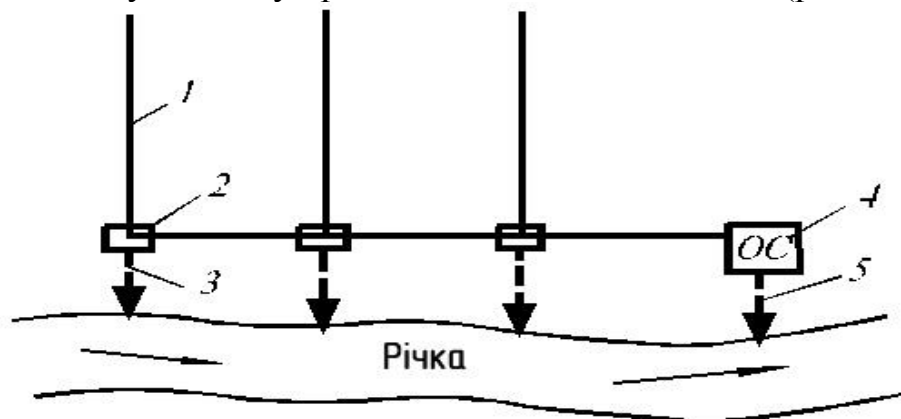


Рис. 1.1 Загальносплавна система водовідведення :

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

Відведення з обслуговуваних об'єктів усіх стічних вод забезпечує добрий санітарний стан міст і промислових підприємств. Застосовувати загальносплавну систему каналізації доцільно за наявності поряд з обслуговуваним об'єктом річок з великою витратою води, в які допустиме скидання значних об'ємів неочищених 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 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 вирішувати очищення різних за складом забруднень



стічних вод 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 якими-небудь 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. На більшості промислових підприємств очищені фенольні стічні води використовують для гасіння коксу.

Роздільну систему водовідведення з локальними очисними спорудами промислових стічних вод доцільно застосовувати при різному характері забруднень побутових і виробничих вод. У стічних водах окремих цехів можуть бути специфічні забруднення, для очищення від яких доцільне влаштування локальних очисних споруд. 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 неможлива, а підприємство перебуває на великому видаленні від міста або селища. Роздільну систему з повним оборотом промислових стічних вод застосовують у випадку маловодності джерел водопостачання, коли свіжої води вистачає тільки на підживлення системи водопостачання. Вибір тієї або іншої 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 1.2) має дві або більше водовідвідних мереж, кожна з яких призначається 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.

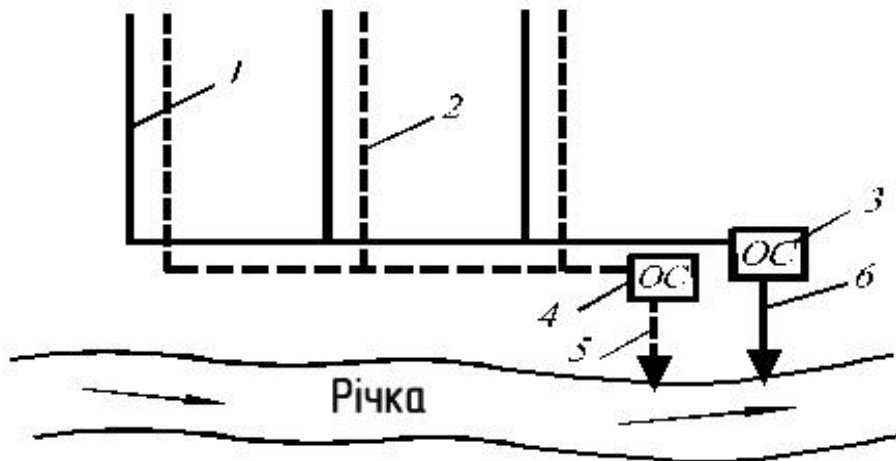


Рис. 1.2 Повна роздільна система водовідведення :

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.

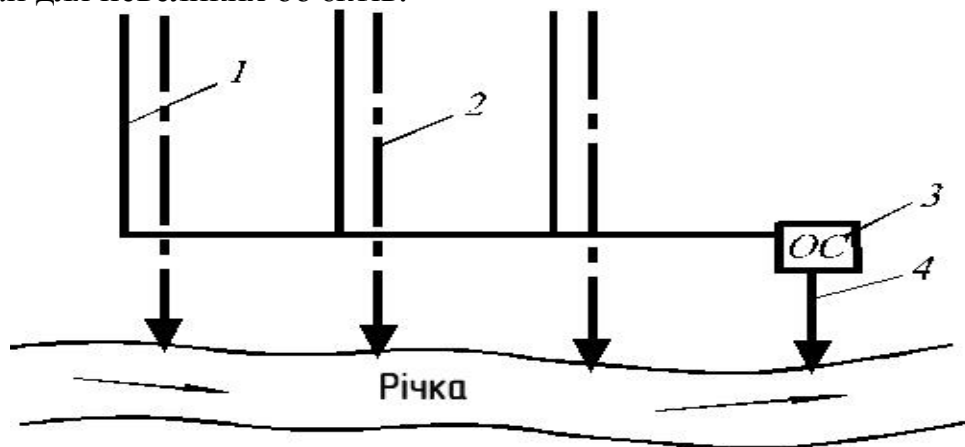


Рис. 1.3 Неповна роздільна система водовідведення :

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 1.4). При цій 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** зазвичай 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.

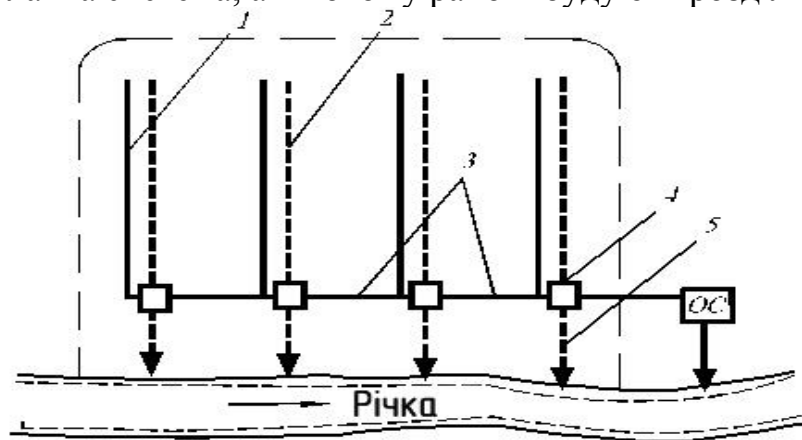


Рис. 1.4 Напівроздільна система водовідведення:

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 в порівнянні 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 ливнеспуски скидається суміш стічних вод, тобто й побутові стічні води, які характеризуються вищими показниками забруднень.
4. Через ливнеспуски можливе підтоплення мережі в період паводків у річках і підвищення рівня води, щовідводиться 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 випаданням 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 збільшені 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 замкнутою 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 замкнута 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 підприємств 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.

### **1.7 Схеми використання води на промислових підприємствах**

Системи водопостачання влаштовують за певними схемами, які являють собою сукупність споруд водопроводу і послідовність розташування їх на місцевості. Проектування будь-якого водопроводу починається з креслення його схеми в плані та визначення складу споруди. Зазвичай у початковій стадії проектування складають дві (або більше) можливі схеми водопостачання, які є варіантами проекту майбутнього водопроводу. Потім проводиться техніко-економічний розрахунок – порівняння варіантів, вибирають найвигідніший. За вибраною схемою остаточно проектують і розраховують всі пристрої системи водопостачання. Існують 3 основні схеми системи водопостачання: прямотечійна схема, прямотечійна з повторним використанням води та оборотна. Існують також комбіновані схеми водопостачання. Назва систем водопостачання в інженерній практиці повторює назву відповідної схеми. Ту чи іншу схему системи водопостачання реалізують залежно від:

- 1). потужності джерела та його характеристики (поверхневі або підземні води, якості води в ньому і т.д.);
- 2). віддаленості джерела води від проммайданчика;
- 3). вимог, що ставляться підприємством до якості води;
- 4). характеру забруднення води після її використання;
- 5). кліматичних умов місцевості.

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

#### ***Прямотечійна система***

При роботі прямотечійної системи (рис 1.5) з джерела водопостачання забирається вся необхідна споживачам кількість води. Тому продуктивність водозабірних пристроїв, очисних споруд та насосів першого підйому доводиться вибирати з умов покриття повної потреби підприємства у воді за добу максимального водоспоживання. Це збільшує розміри і потужності цих елементів, а отже, здорожує їх. Зростає й споживання електроенергії. Крім того, потрібно вибрати джерело з

достатнім дебітом води. Недоліком прямотечійної системи є і те, що відпрацьована вода скидається у природні водойми, дебіт яких повинен дозволяти поглинути ці скиди без порушення екологічної рівноваги.

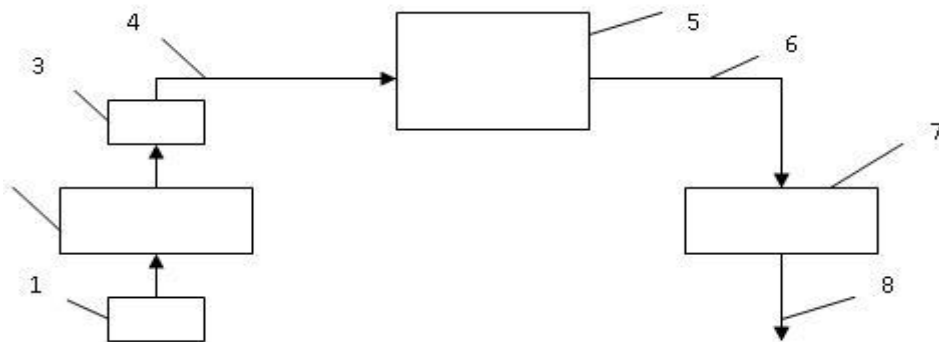


Рис. 1.5 Прямотечійна схема виробничих трубопроводів: 1 – водозабірна споруда; 2 – водоочисна споруда; 3 – насосна станція другого підйому; 4 – водопровід; 5 – промислове підприємство; 6 – скидання відпрацьованої води; 7 – станція очищення стічних вод; 8 – скид води в річку

Прямотечійна схема застосовується для господарсько-питного та протипожежного водопостачання, оскільки повторне використання води цими споживачами виключається! Ця схема водопостачання реалізується в харчовій і фармацевтичній промисловостях як технологічна.

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

Якщо серед споживачів технічної води є споживач з великою витратою, скидна вода від якого за кількістю та всіма параметрами може задовольняти інших споживачів, то в цих випадках застосовують систему повторного використання води (рис. 1.6). Ця система працює за прямотечійним режимом, але з джерела забирається тільки та кількість води, яка необхідна споживачу з великою витратою.

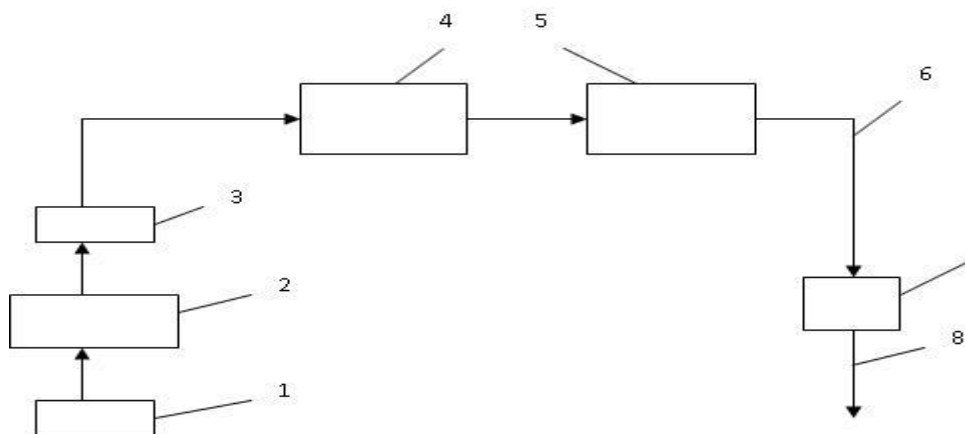


Рис. 1.6 Схема промислового трубопроводу з повторним використанням води

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 забираної природної води і скиданих стоків, знизити продуктивність і здешевити всю систему водопостачання.

### *Зворотна схема водопостачання*

Зворотні системи відкривають великі можливості у здешевленні системи водопостачання, скороченні споживання свіжої води та скидів забруднених стоків. Для створення зворотної системи використовується та обставина, що 70 ... 85% технічної води в технологічних апаратах тільки нагріваються і після охолодження можуть використовуватися повторно.

На підприємствах основну роль у водопостачанні відіграють системи зворотного водопостачання. Нагріта в теплообмінних апаратах оборотна вода знову охолоджується в градирнях, бризкальних басейнах або інших пристроях і циркуляційними насосами повертається в теплообмінники. При цьому вона багаторазово і послідовно піддається фізико-хімічним впливам – упарюється, нагрівається, охолоджується, аерується, багаторазово стикається з охолоджувальною поверхнею та в результаті цього частково втрачається при випаровуванні, крапельному виносі в атмосферу і поступово стає більш мінералізованою. Часто при цьому стабільність води порушується, вона стає корозійною або може призвести до відкладення мінеральних солей, поступово у ній накопичується пил і продукти корозії. Тому для поповнення втрат оборотної води та відновлення її якості системи оборотного водопостачання підживлюють воду. Підживлюча та оборотна вода розрізняються за якістю. Оборотно водопостачання може бути здійснене у вигляді єдиної системи для всього промислового підприємства або у вигляді окремих циклів для одного або групи цехів. Кількість систем оборотного водопостачання на підприємстві встановлюється з урахуванням особливостей і характеру виробництва, призначення води, вимог до її якості, температури, тиску. З метою зменшення діаметра й довжини труб комунікацій слід переважно передбачати на підприємстві роздільні системи оборотного водопостачання окремих виробництв, цехів або установок при максимально можливому наближенні споруд оборотного водопостачання до споживачів води. У звичайних системах оборотного водопостачання, які не мають специфічних забруднень технологічними продуктами, запобігти підвищенню мінералізації в оборотній воді можна шляхом продування (скидання частини оборотної води) й поповнення системи живильною водою. Охолодження води відбувається на градирнях, а очищення проводять шляхом додавання коагулянтів та флокулянтів. Вода, яка використовується для охолодження продуктів через стінки теплообмінної апаратури, повинна бути звільнена від надлишку завислих речовин. Охолоджуюча вода не має містити сірководень і залізо. Крім того, корозійна стійкість теплообмінної апаратури та комунікацій забезпечується лише при дотриманні оптимального вузького інтервалу рН

і при незначному вмісті солей у воді. Для таких систем рекомендується застосовувати коригування рН оборотної води або часткового Н-катіонування, а також здійснювати заходи, що знижують інтенсивність солевмісту. Залежно від якості вихідної води і вимог, що ставляться до якості споживаної води, частина загальної витрати оборотної води може піддаватися обробці (корекційна обробка, пом'якшення, знесолення, хлорування, видалення суспензій). Відпрацьована вода, що використовується у виробництві, й вода, що витрачаються на власні потреби водоочисних установок, не завжди можуть повертатися до рециркуляційних систем і частково скидаються у стічні води. У таких випадках цю витрату води слід урахувувати у загальному балансі системи. В обороті можуть використовуватися три категорії води, що відповідають трьом основним схемами зворотного водопостачання.

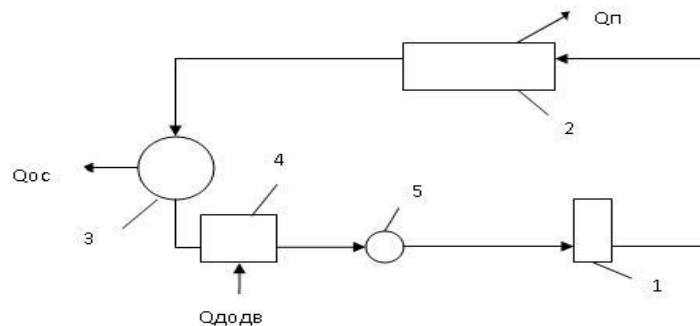


Рис. 1.7 Схема оборотного водопостачання з очищенням оборотної води: 1 – виробництво; 2 – охолоджувач води; 3 – водоочисна споруда; 4 – камера обробки додаткової води; 5 – насосна станція

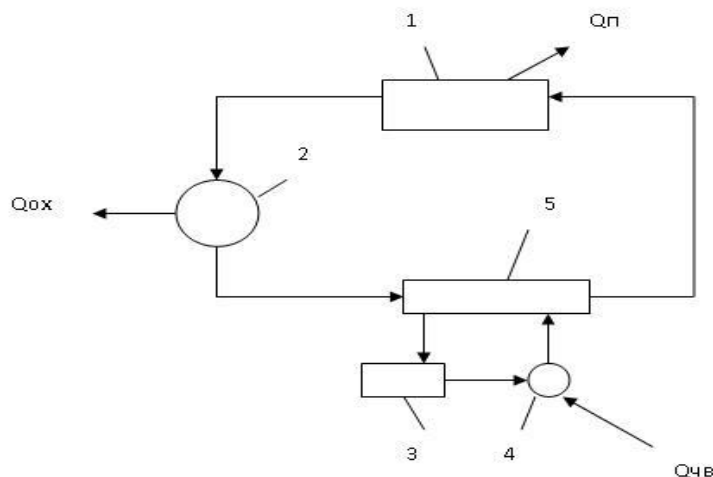


Рис. 1.8. Схема зворотного водопостачання з очищенням та охолодженням зворотної води: 1 – виробництво; 2 – охолоджувач води; 3 – водоочисна споруда; 4 – камера обробки додаткової води; 5 – насосна станція

Перша схема використовується, якщо вода у виробництві не забруднюється, а лише нагрівається і змінюється її термостабільність. У цьому випадкові відпрацьована вода охолоджується, частково виводиться із системи (продування) і знову подається на те ж виробництво, поповнена



вихідної водою з джерела водопостачання. Друга схема застосовується, коли вода у виробництві не нагрівається, але забруднюється. В цьому випадку піддається тільки очищенню (відстоювання, фільтрування) та знову подається на те ж виробництво. Найбільш складний випадок відображає схема, коли вода у виробництві нагрівається і забруднюється. Така відпрацьована вода перед поверненням на виробництво охолоджується, частково виводиться із системи, піддається очищенню та поповнюється вихідної водою з джерела водопостачання. В наш час для поповнення систем зворотного водопостачання використовуються очищені стічні води. Система зворотного водопостачання наповнюється водою в момент початкового введення її в експлуатацію. У подальшому кількість води підтримується постійною, тобто втрати компенсуються. Втрати води із системи оборотного водопостачання складається з наступних утрат: 1) утрати води у виробництві в місцях її використання; 2) втрати води на спорудах освітлення і підготовки води; 3) втрати води в результаті випаровування при охолодженні; 4) втрати води із системи під дією вітру та через крапельне винесення; 5) у деяких випадках з метою підтримки в зворотній воді постійної концентрації будь-якого розчиненої речовини частина води з оборотного циклу може навмисно скидатися і замінюватися свіжою водою з джерела в тій же кількості. [2]

Зворотні системи споруджуються як за технічними умовами, екологічними вимогами й економічними міркуваннями. За технічними умовами застосування цієї системи може виявитися просто необхідно тому, що дебіт наявного природнього вододжерела недостатній для здійснення прямиотечійного водопостачання. Необхідність зворотних систем зумовлюється та екологічними вимогами. Застосування зворотних систем дозволяє знизити кількість скидів забрудненої води у водойми. Найбільш цінними є з екологічної точки зору зворотні системи без скидання продукції – безстокові системи.

У безстокових (замкнених) системах водопостачання на підприємствах замість свіжої води використовується доочищена до норм якості технічної води суміш промислових і побутових стічних вод, попередньо пройшла біологічне очищення. Біологічно очищені стічні води, що використовуються в технічному водопостачанні, повинні відповідати технічним, економічним та санітарно-гігієнічним вимогам. Але й при дотриманні відповідних норм така вода не може використовуватися в харчовій, м'ясо-молочної й фармацевтичної промисловості. З економічних міркувань використання зворотних систем водопостачання дозволяє знизити витрати на спорудження водозабірних пристроїв, насосних станцій першого підйому, водоводів, очисних споруд природної води і каналізаційних ліній.

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

Поверхневий стік утворюється від атмосферних опадів над площею території промислових підприємств. До складу забруднень поверхневого стоку промислових підприємств уходять 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 при випадінні насичуються розчиненими газами, атмосферним пилом, аерозолями, а при стіканні змивають із поверхні дахів, територій і проїздів пил, сміття, бензин, масла й інші забруднення, що перебувають на території промислових підприємств. Концентрації забруднень, що втримуються у поверхневому стоці з територій промислових підприємств за величиною порівнянні з умістом забруднень у виробничих стічних водах. Особливо високі концентрації забруднюючих речовин у поверхневому стоці характерні для автотранспортних, хімічних, машинобудівних та нафтопереробних підприємств. Ступінь забруднення поверхневого стоку багато в чому залежить від культури виробництва.

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, іноді надходять домішки, специфічні для цього виробництва, наприклад, хімічних та нафтопереробних заводів, шкіряних підприємств, м'ясокомбінатів тощо. Такі води слід 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 забруднюючих речовин у тій або іншій кількості.

Поверхневий стік із площадок промислових підприємств має, як правило, більш складний склад на відміну від стоку, що стікає з міських територій. Донедавна вважали, що дошові й поталі води, які стікають із територій міст і площадок промислових підприємств, не становлять серйозної небезпеки для води водоймищ. У цей час встановлено, що поверхнево-зливові стічні води значно забруднені й не можуть скидатися у водойми без обмежень. З огляду на те, що ці стічні води вносять істотний вклад у забруднення водоймищ, питанням очищення і використання поверхнево-зливового 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 повинне 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.

### ***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 й за рубежом ведуться розроблення технологічних схем очищення і конструкцій очисних споруд. Виходячи з характеристики поверхневого стоку, для його очищення рекомендується передбачати споруди механічної та фізико-хімічної очищення. Для забезпечення більш глибокого ступеня очищення, ніж який досягається у відстійних спорудах, застосовуються фільтрування, коагуляція і флотація. 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 забруднюючих речовин та коливаннями показників забруднення для різних підприємств і навіть для різних виробництв усередині одного підприємства. Крім того, багато підприємств м. Харкова й у переважній більшості інших міст України не мають системи організованого збору поверхнево-злизового стоку зі своєї території, а в низці випадків площа водозбору поверхнево-злизового 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 солеміст 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 бувають випадки, коли в дощову мережу скидають значну кількість виробничих стічних вод, у зв'язку з чим дощова мережа перетворюється у виробничо-зливову.

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

У системи каналізації населених пунктів можуть бути прийняті виробничі стічні води, які не викликають порушення в роботі каналізаційних мереж і споруд, забезпечують безпеку їх експлуатації й можуть бути очищені сумісно зі стічними водами населених пунктів до вимог та нормативів, що задовольняють «Правилам охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами».

Забороняється скидати у систему каналізації населених пунктів виробничі стічні води промислових підприємств, котрі містять:

- речовини, які здатні засмічувати труби, колодязі, ґрати або відкладатися на стінках труб, колодязів, ґрат (окалина, вапно, пісок, гіпс, металева стружка та т.п.);
- речовини, що мають руйнівну дію на матеріали труб і елементи споруд каналізації;
- шкідливі речовини в концентраціях, що перешкоджають біологічному очищенню стічних вод;
- небезпечні бактеріальні забруднюючі речовини;
- нерозчинні мастила, смоли й мазут;
- завислі та спливаючі речовини в концентраціях, що перевищують 500 мг/л;
- речовини, для яких не встановлені гранично припустимі концентрації (ГПК) у воді водних об'єктів господарсько-питного, культурно-побутового й рибогосподарського водокористування.

Забороняється також скидати в системи каналізації населених пунктів кислоти, горючі суміші, токсичні й розчинені газоподібні речовини (зокрема, розчинники: бензин, диетиловий ефір, дихлорметан, бензол тощо), здатні утворювати в каналізаційних мережах і спорудах токсичні гази (сірководень, сірковуглець, окис вуглецю, ціанисто-воднева кислота, пари легколетучих ароматичних вуглеводнів та ін.), інші вибухонебезпечні й токсичні суміші.

Не допускається скидання в каналізаційну мережу населеного пункту: стічних вод, витрата і склад яких можуть привести до перевищення припустимого встановленими правилами кількості забруднюючих речовин, а також стічних вод, які мають температуру понад 40°C, рН нижче ніж 6,5 або вище ніж 9, ХСК вище БСК<sub>5</sub> більше ніж у 2,5 разу; концентровані кубові розчини; виробничі стічні води, не забруднені у виробничих процесах (умовно чисті); залпові скидання виробничих стічних вод; ґрунт, будівельне та побутове сміття, а також інші виробничі й господарські відходи; поверхневий стік з території промислових площадок (дощові, талі) та дренажні води при повній роздільній системі каналізації.

У системах водовідведення населених пунктів не допускається об'єднання виробничих стічних вод, взаємодія яких може привести до утворення емульсій, отрутних або вибухонебезпечних газів, а також великої кількості нерозчинних речовин (наприклад, стічних вод, що містять солі кальцію або магнію і лужних розчинів; соду й кислі води; сульфід натрію і води з надмірним умістом луг; хлору, фенолів та т.п.).

Скидання виробничих стічних вод у системи каналізації населених пунктів повинно здійснюватися самостійними випусками з обов'язковим устроєм контрольного колодязя, розташованого за межами підприємства.

Випуски промислових підприємств повинні бути обладнані пристосуваннями (автоматичними пробовідбірниками, витратомірами і, якщо буде потреба, автоматичними запірними пристроями, які опломбовуються) для постійного контролю за витратою та якістю стічних вод.

Відповідно до правил прийому водоканали встановлюють кожному конкретному підприємству режим і нормативи скидання забруднень у систему каналізації населеного пункту. Ці нормативи встановлюють, виходячи зі гранично допустимого скидання (ГДС) стічних вод у водойму, ГДК стічних вод, що надходять на споруди біологічного очищення, ефективності очищення, а також ГДК забруднюючих речовин у воді водоймищ господарсько-питного й рибогосподарського призначення.

Якщо кількість і склад виробничих та інших стічних вод істотно змінюються протягом доби, на промислових підприємствах установлюють спеціальні ємкості – усереднювачі, які забезпечують протягом доби відносно рівномірний режим скидання виробничих стічних вод. Промислові підприємства зобов'язані постійно контролювати кількість та склад виробничих стічних вод, що скидаються в систему каналізації населеного пункту. Контроль здійснюється шляхом аналізу складу стічних вод до й після комплексу локальних споруд з очищення виробничих стічних вод, у контрольних колодязях (у тому числі за відсутності локальних очисних споруд), а також вимірювання кількості стічних вод, що скидаються у контрольних колодязях.

В останні роки спостерігається деяке зростання промислового виробництва, яке, з одного боку, приводить до пожвавлення виробництва, але, з іншого стримується його високою екологічною небезпекою. Зменшенню екологічної небезпеки виробництва повинні служити очисні споруди підприємств. Однак, крім об'єктивних причин (застарілі технології очищення, поганий стан обладнання тощо) існують суб'єктивні причини неефективності природоохоронних заходів, головними з яких є необгрунтоване застосування різних переліків ГДК і необгрунтована регіональна нормотворчість.

Виходячи з відмінності в цілях водоспоживання й у вимогах різних споживачів води до якості водойм, існують як гігієнічні, так і екологічні нормативи для одних і тих же хімічних забруднювачів води.

Гігієнічні ГДК – максимальні концентрації речовин, при яких вони ще не мають прямого чи опосередкованого впливу на стан здоров'я населення (при впливі на організм людини протягом усього життя), а гігієнічні умови водокористування при цьому не погіршуються. Гігієнічні нормативи регламентують уміст забруднюючих речовин тільки в тих водоймах, які використовуються для господарсько-питних і культурно-побутових цілей, включаючи рекреаційне водокористування, й не по всій довжині водойми чи місцях випуску стічних вод, а тільки у пунктів водокористування населення, найближчих від випуску стоків. Розрізняють дві категорії господарсько-питного й культурно-побутового водокористування: до першої категорії належить використання водного об'єкта як джерела господарсько-питного водопостачання, а також для водопостачання підприємств питної промисловості; до другої категорії – використання водних об'єктів для культурно-побутових цілей населення, рекреації та спорту [1].

Поява нових джерел забруднення і розширення їх географії привели до розвитку самостійної системи рибогосподарських (екологічних) ГДК, спрямованих на охорону водойм як бази для організованого рибництва й рибальства. Розрізняють дві категорії рибогосподарського водокористування: до першої категорії відносять використання водного об'єкта для збереження та відтворення цінних видів риби, що володіють високою чутливістю до кисню; до другої – використання водного об'єкта для промислового добування риби й інших водних тварин і рослин [2]. Якщо водоймище використовується для рибогосподарських цілей та водопостачання населення, орієнтуються на найбільш жорсткий норматив. При віднесенні водного об'єкта до певної категорії органи Держкомриболовства керуються постановою Ради Міністрів СРСР № 1045 від 15.09.1958 р., за якою: «всі водойми та їх придаткові води, які використовуються або можуть бути використані для промислового добування риби та інших водних тварин і рослин або мають значення для відтворення запасів промислових риби, вважаються рибогосподарськими

водоймами». Таким чином, згідно з таким не виправдано розширювальним визначенням усі поверхневі водойми віднесені до водойм рибогосподарського користування [3], тобто передбачається, що в усіх поверхневих водоймах країни зберігаються й відтворюються цінні види риб, які мають високу чутливість до кисню, або вони використовуються для промислового добування риби та інших водних тварин і рослин. Виходить, що в усіх випадках поверхнева вода повинна контролюватися за ГДК для рибогосподарських водойм (ГДК РГ). Крім того, оскільки практично всі випуски стічних вод розташовані в межах населеного пункту, то відповідно до правил і норм охорони поверхневих вод [1] нормативи граничної забрудненості водних об'єктів поширюються на самоскидні води, тобто не враховується розбавлення стоків у воді водойми й асимілююча здатність водойм. Таким чином, до якості стоків, що скидаються у водні об'єкти, повсюдно застосовуються вимоги переліку ГДК РХ. Більше того, такі вимоги ставляться не тільки до міських стоків, які скидаються у водні об'єкти, але і до стоків, що надходять у міську каналізацію від підприємств. Тим самим не тільки не враховується розведення промислових стічних вод міськими побутовими стоками, але і перекладається неефективність роботи міських станцій очищення на плечі підприємств. Це не обгрунтовано і посилює вимоги до якості стічних вод підприємств і заганає їх у глухий кут через завідомо неможливого досягнення таких ГДК за допомогою типових технологій очищення стічних вод гальванічного виробництва. Практично на всіх станціях очищення стічних вод гальванічного виробництва застосовується реагентний метод. Головними забруднювачами таких стоків є іони важких металів. Залишкова концентрація іонів важких металів, представлена в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Ефективність реагентного методу очищення стічних вод від важких металів

Іон важкого металу	Залишкова концентрація іона металу, розрахована з твору розчинності, мг/л	Залишкова концентрація іона металу, що спостерігається на практиці при рН 8,5-9,0, мг/л	ГДК <sub>РГ</sub> , мг/л
Fe <sup>2+</sup>	0,44	0,3 – 1	0,1
Fe <sup>3+</sup>	0,21 · 10 <sup>-4</sup>	0,3 – 0,5	0,1
*Cr <sup>3+</sup>	0,13 · 10 <sup>-2</sup>	0,05 – 0,1	0,07
Cu <sup>2+</sup>	0,024	0,1 – 0,15	0,001
Ni <sup>2+</sup>	1,47	0,25 – 0,75	0,01
Zn <sup>2+</sup>	0,17	0,05 – 0,1	0,01
Cd <sup>2+</sup>	2,62	2,5	0,005
Al <sup>3+</sup>	0,23 · 10 <sup>-3</sup>	0,1 – 0,5	0,04

\* - Дані по Cr<sup>6+</sup> не наводяться, тому що на стадії знешкодження стоків, які містять хром, реакція хімічного відновлення Cr<sup>6+</sup> до Cr<sup>3+</sup> проходить повністю.

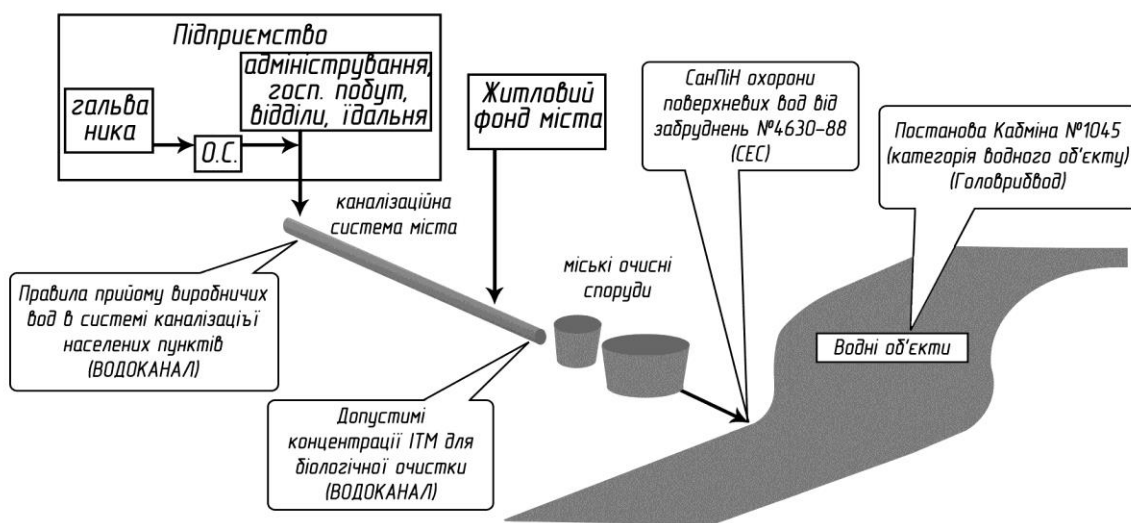


Рис. 1.9 Схема застосування різних переліків ГДК у стічних водах

Отже, протягом усієї господарсько-побутової каналізації будь-якого міста є три точки, в яких до стічних вод повинні застосовуватися різні переліки ГДК (рис. 1.9):

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

2 – перед вступом на міські станції біологічного 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 РГ).

Розглянемо застосування різних переліків ГДК важких металів у стічних водах на прикладі м. В. (рис. 1.10).

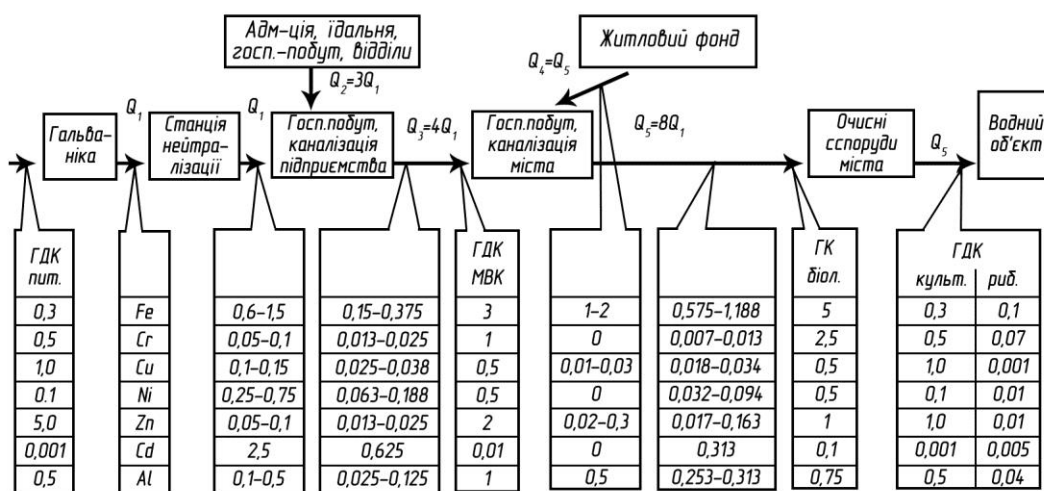




Рис. 1.10 Схема зміни концентрації іонів важких металів у стічних водах від гальванічного цеху до водного об'єкта (Q – обсяг стічних вод).

На підприємстві стічні води гальванічного виробництва (Q1), 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 (Q1) піддаються розбавленню господарсько-побутовими стоками (Q2) 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 (Q3). 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 (Q3) становитиме:  $\text{Fe}^{2+}$  0,075-0,250 мг / л,  $\text{Fe}^{3+}$  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 (Q3) змішуються з побутовими стоками від житлового фонду міста (Q4), 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 (Q5) 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:  $Fe_{\text{заг.}}$  5,0 мг / л;  $Cr^{3+}$  2,5 мг / л;  $Cu^{2+}$  0,5 мг / л;  $Ni^{2+}$  0,5 мг / л;  $Zn^{2+}$  1,0 мг / л;  $Cd^{2+}$  0,1 мг / л;  $Al^{3+}$  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 значне зниження концентрації іонів важких металів (на 40-80 %) за рахунок їх адсорбції активним мулом. Але навіть без урахування цього міські стоки (Q5), що містять промислові та побутові стічні води, за концентрацією іонів важких металів задовольняють вимоги переліку ГДК шкідливих речовин (крім заліза і кадмію) у воді господарсько-питного та культурно-побутового призначення. Перевищення вмісту заліза у стоках над ГДК культурно-побутового призначення визначається переважно внесенням у це перевищення забрудненості залізом побутових стоків. Застосування до міських стічних вод вимог переліку ГДК культурно-побутового призначення має логічну правоту, основу на тезі: «стоки повинні контролюватися за таким же переліком ГДК, за яким контролюється вода, що надходить на підприємства і в житловий сектор». Тим більше, що ГДК ІТМ у питній воді (ГДК<sub>пит.</sub>) практично збігається з їх ГДК у воді господарсько-питного та культурно-побутового призначення. Однак 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 питну воду в стічні води 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 завищеній 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.

### **1.10 Технологічний контроль якості води**

Нормальна експлуатація водопровідно-каналізаційних споруд неможлива без контролю якісних параметрів природних і стічних вод на різних етапах їх очищення, подачі споживачам або випуску їх у водойму. Для цієї мети широко застосовується аналітична техніка та автоматичні прилади у вигляді сигналізації граничних значень вимірюваних величин або шляхом їх реєстрації.

Велика кількість якісних параметрів природних і стічних вод визначається в сучасних умовах тільки шляхом лабораторних аналізів. До таких параметрів відносять: органолептичні, фізико-хімічні, загальний вміст органічних речовин, загальний вміст розчинених речовин, зокрема кисню, ГПК та БПК, вміст окремих речовин. Крім того, проводять індивідуальні аналізи для визначення вмісту найбільш небезпечних речовин (ртуті, фенолу, кадмію).

Для проведення аналізу води необхідно правильно відібрати проби. Правильний і представницький відбір проби води має велике значення для оцінювання протікання технологічних процесів та роботи очисних споруд, для розроблення нових методів очищення води. Місце відбору проб вибирається з урахуванням поставлених завдань, місцевих умов, технології виробництва, розташування цехів і системи очисних споруд.

Для подібного аналізу води звичайно досить відібрати пробу води об'ємом 2 л. Для відбору та зберігання проб найчастіше використовують скляні бутлі з прозорого безбарвного хімічно стійкого скла, забезпеченого гумовими або притертими скляними пробками. У спорудах очищення стічних вод до числа найбільш важливих якісних параметрів, що вимірюються за допомогою приладів, відносять рН й окисно-відновний потенціал, мутність і кольоровість води, вміст розчиненого кисню у воді, вологість осаду. В основі роботи приладів контролю якості води лежать фізико-хімічні методи аналізу. До них належать нефелометричний, турбодиметричний, колориметричний, рефрактометричний, полярометричний, полярографічний, кулонометричний, хроматографічний і маспектроскопічний методи аналізу.

## Розділ 2. Способи очищення та переробки стічних вод

Залежно від кількості стічних вод та складу забруднень можуть застосовуватися різні методи їх очищення: механічні, хімічні, фізико-хімічні, фізичні, біохімічні й комбіновані. Класифікація методів очищення стоків представлена на рисунку. Теоретичні основи методів очищення стічних вод викладені в низці монографій і підручників.

Схема класифікації способів очищення стічних вод наведена на рисунку 2.1

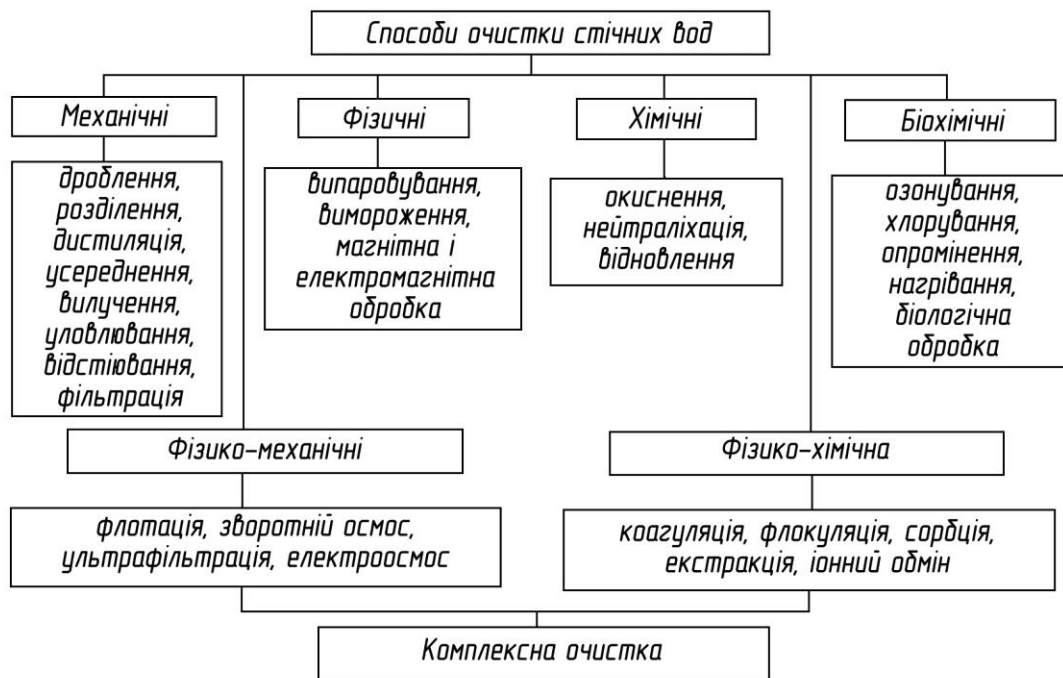


Рис. 2.1 Схема класифікації способів очищення стічних вод

Названі 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 окиснення 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, й 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 задовольняти 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-економічна оцінка способів підготовки води. Економічно перевагу мають, як правило, замкнуті системи водовикористання [1-3]. Однак процес заміни сучасних виробництв безвідхідними, в тому числі й з повністю замкнутою системою водокористування, досить тривалий. Тому частину очищених стічних вод скидають у водойми. У цих випадках необхідно дотримувати встановлених нормативів для відносної концентрації шкідливих речовин в очищених стічних водах.

Застосовувані схеми очищення 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 великою мірою залежить від фонових забруднень. Для зниження концентрацій шкідливих домішок, наявних у стічних водах, до необхідних величин необхідна досить глибоке 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 розбавлених стічних водах.

Наприклад, для зниження солемісту в стічних водах з метою їх повторного використання застосовуються такі методи: іонний обмін, зворотний осмос, електродіаліз, дистиляція, випарювання. Воду, що пройшла стадію знесолення, можна використовувати для 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. На основі інформації про наявні у стоках забруднювачі можна підібрати очисне обладнання для того чи іншого процесу. Очевидно, що вибір установки для обробки стічних вод необхідно здійснювати шляхом зіставлення даних про якість води з характеристиками цих установок (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**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, електрофлотація, 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 стоках –0.5...5 мг / літр	Біологічне очищення + 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 – $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , Fe (заг), $\text{Cd}^{2+}$ 1-100 мг / літр	Реагентні, електрокоагуляція, гальванокоагуляція, іонний обмін, мембранний електроліз, електрофлотація.
Ціаніди	Концентрація 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

Продовження таблиці 2.1		
1	2	3
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 складається з декількох стадій (рис. 2.2), на кожній з яких можуть застосовуватися різні методи очищення стоків і відповідне обладнання водоочищення. Це зумовлено насамперед тим, що багато методів (особливо глибокого очищення стічних вод) не можна використовувати, якщо в стоках наявні зважені та емульговані частинки, певні групи компонентів. Крім того, майже всі методи очищення стічних вод мають верхню межу концентрацій за забруднювачами, від яких цей метод призначений очищати стік. Тому виникає завдання попередньої обробки стічних вод перед застосуванням основних методів очищення. Використання стадійної обробки стічних вод пояснюється ще й тим, що комбінацією декількох типів процесів можна досягти необхідного ступеня очищення з найменшими витратами.

На різних промислових виробництвах застосовується різна кількість стадій водоочищення. Це залежить від організації очищення, використовуваних методів і складу стічних вод. Але для розроблення інформаційної системи процеси очищення стічних вод доцільно розглядати на основі більш узагальненого підходу, а не з точки зору вузької спеціалізації.

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

На **першій стадії** очищення стоків необхідно позбавлятися від великих зважених часток і грубодисперсних емульсій, нейтралізувати отрути і прибрати із стічних вод масла. Якщо таких забруднень стічні води не містять, то необхідно почати очищення з другої стадії, на котрій віддаляються майже всі механічні домішки, й, за необхідності, проводиться підготовка води для подальшого очищення, наприклад, зменшення агресивності стоків, зниження неприйнятних концентрацій окремих забруднювачів. На третій стадії відбувається очищення стічних вод від усіх забруднюючих компонентів до певного рівня. Якщо цього недостатньо, то виникає необхідність у четвертій стадії очищення стоків, на якій застосовуються методи, що дають можливість відбирати розчинні у воді сполуки.

Застосування конкретних методів очищення або їх поєднань на кожній стадії обробки стоків визначається хімічним складом і фізичними параметрами стічної води. Залежно від наявності або відсутності

конкретних класів шкідливих факторів стічній воді можна пропускати деякі стадії очищення. Але легко виявити, що друга й третя стадії є невід'ємною частиною будь-якої схеми обробки стічних вод. Ці обов'язкові стадії очищення – первинна та вторинна обробка стоків – основа будь-якого процесу очищення. Перша стадія, по суті, являє попередню обробку, а остання – глибоке очищення стічних вод. Усі стадії процесу обробки стоків промислового підприємства показано на рисунку. Нижче наведено основні характеристики стадій водоочищення.

### **Попереднє очищення стічних вод**

Якщо стічні води промислового виробництва містять великі зважені частинки або волокна (наприклад, виробництво кераміки), також масла та нафтопродукти, то потрібне ретельне попереднє очищення стоків, яке включає:

- 1). первинне відстоювання стоків із застосуванням або без застосування реагентів залежно від складу стічної води;
- 2). просіювання крізь ґрати або сітчасті фільтри;
- 3). пропускання стічної води через гравійні камери (груба фільтрація стоків);
- 4). коагуляцію (введення в стічну воду солей алюмінію або заліза);
- 5). видалення із стічних вод супертоксикантів за спеціальними методиками;
- б). використання маслоловок для очищення стоків від нафти і масел.

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

### **Первинне очищення стічних вод**

Існує безліч різних видів первинної обробки стічних вод, що володіють різною ефективністю:

- 1). просте (механічне) первинне очищення стоків;
- 2). хімічно посилена первинна обробка з низьким дозуванням хімікатів;
- 3). первинна обробка суспензії;
- 4). первинне біологічне очищення стічної води.

**Первинна обробка стоків** – це перш за механічне очищення всього, хоча тут також відбувається значне зниження кількості забруднень стічних вод. Ця стадія є неоднозначною, методи, що застосовуються на ній, можуть сильно відрізнятися за принципом очищення стоків.

### **Вторинна обробка стічних вод**

**Вторинна обробка** – це основна стадія очищення стічних вод, де відбувається видалення зі стоків більшості забруднювачів. При обробці на цій стадії поряд з фізико-хімічними методами очищення часто використовують процеси біологічного розкладання відходів. Використовуваних на вторинній обробці методів зазвичай буває достатньо



для прийняттого очищення стічних вод. Однак очищення стоків до вимог ГДК 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.

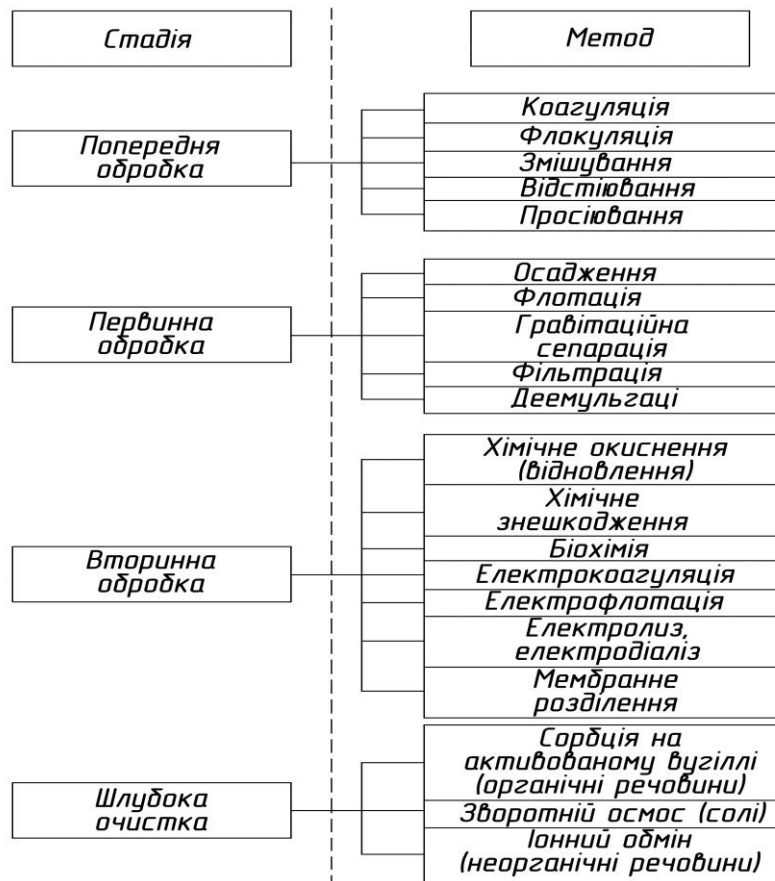


Рис. 2.2 Стадії очищення стічних вод

## 2.1 Гідромеханічні способи очищення стічних вод Загальні положення

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

Для видалення зважених часток із стічних вод використовують періодичні та безперервні гідромеханічні процеси проціджування, гравітаційного й відцентрового відстоювання і фільтрування. Вибір методу залежить від розміру частинок домішок, фізико-хімічних властивостей та концентрації зважених часток, витрати стічних вод і необхідного ступеня очищення. Перед більш тонким очищенням стічні води направляють на

проціджування через грати й сита, які встановлюють перед відстійниками з метою вилучення з них великих домішок. **Осадженням** називається розділення рідких неоднорідних систем шляхом виділення з рідкої фази твердих або рідких зважених частинок під дією сили тяжіння, відцентрової сили. Відповідно розрізняють гравітаційне відстоювання та осаджувальне центрифугування. **Осадження відстоюванням** відбувається під дією сили тяжіння. Для проведення процесу використовують пісколовки, 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 витрати виробничих стічних вод, а також від методів їх подальшої обробки. Як правило, механічне очищення є попереднім, рідше – остаточним етапом для очищення виробничих стічних вод. Воно забезпечує виділення зважених речовин із цих вод до 90 ... 95% і зниження органічних забруднень (за показником БПК<sub>повн</sub>) до 20 ... 25%. Високий ефект очищення стічних вод досягається різними способами інтенсифікації гравітаційного відстоювання – преаерацією, біокоагуляцією, висвітленням у зваженому 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 різного зернистого матеріалу (кварцового піску, гранітного щебеню, дробленого антрациту і керамзиту, горілих порід, чавуноливарного шлаку та інших матеріалів) або через сітчасті барабанні фільтри й мікрофільтри, через високопродуктивні напірні фільтри і фільтри з плаваючим завантаженням – пінополіуретанової або пінополістирольної. Перевага зазначених процесів полягає у можливості застосування їх без додавання хімічних реагентів. Вибір методу очищення стічних вод від зважених часток здійснюється з урахуванням кінетики процесу.

Розміри зважених часток, що містяться у виробничих стічних водах можуть коливатися в дуже 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 досить 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). Колоїдальні частинки (діаметром 0,1 ... 1 мкм) можуть бути видалені фільтруванням, однак через обмежену місткість фільтруючого шару більш відповідним методом при концентраціях зважених часток більше ніж 50 мг / л є ортокінетична коагуляція з наступним осадженням або висвітленням у зваженому шарі. Підвищення технологічної ефективності споруд механічного очищення дуже важливе при створенні замкнутих систем водного господарства промислових

підприємств. Цю вимогу задовольняють різні нові конструкції багатополічкових відстійників, сітчастих фільтрів, фільтрів з новими видами зернистих і синтетичних завантажень, гідроциклонів (напірних, безнапірних, багатоярусних). Застосування цих 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 надійної роботи споруд механічного очищення виробничих стічних вод, як правило, рекомендується застосовувати не менше від двох робочих одиниць основного технологічного призначення—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 цього способу очищення може бути використана в технологічних процесах виробництва або спущена у водойми без порушення їх екологічного стану. В усіх інших випадках механічне очищення служить першим щаблем очищення стічних вод.

## **2.2 Усереднення промислових стічних вод**

Для стоків багатьох підприємств характерні нестабільність їх витрат і складу, що пов'язане з особливостями технологічних процесів. Витрата й забруднення стоків у обмежений період часу можуть змінюватися від мінімуму до максимуму.

Нерівномірність витрат та забруднень стічних вод від промислових підприємств у результаті періодичних і аварійних випусків створює великі ускладнення в налагодженні й підтримці оптимального режиму роботи очисних споруд, знижує якість очищення.

Розрізняють 3 види нестаціонарності потоку:

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

Усереднювачі призначені для регулювання кількості стічної води, що надходить на очисні споруди. Надходження на очисні споруди виробничих стічних вод з постійною витратою й усередненою концентрацією забруднень підвищує ефект як механічної очистки, так і наступних етапів очищення.

У резервуарах - усереднювачах накопичуються і перемішуються стічні води, завдяки чому вирівнюються концентрації забруднень; взаємно нейтралізуються кислі й лужні стоки та виключаються різкі коливання навантаження на весь ланцюжок очисних споруд.

## Типи і конструкції усереднювачів

Усереднювачі в основному проектують у складі локальних станцій очищення промислових стічних вод.

Розрізняють такі типи проточних усереднювачів:

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

Вибір раціональної системи усереднення і розрахунок об'єму усереднювача роблять на основі інформації про характер коливань параметрів вхідних потоків.

Зазначені вимоги звичайно встановлюються на основі аналізу максимально припустимих величин, призначуваних залежно від типу наступних апаратів очисних споруд.

За наявності на підприємстві контрольно-виміральної апаратури зміни складу стічних вод реєструються безперервно, за відсутності контрольно-виміральної апаратури – дискретно, з установленою технологом тривалістю інтервалів між лабораторними аналізами. Для усереднення стічних вод за концентрацією забруднень в усереднювачах будь-якої конструкції вода повинна перемішуватися за допомогою мішалок, насосів 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 вмістом 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 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. Перші застосовують при невеликих витратах, періодичному скиданні й необхідності повного усереднення концентрації забруднень стічних вод. У більшості ж випадків застосовують проточні усереднювачі, які виконують у вигляді резервуарів з перемішувачими пристроями або у вигляді багатоканальних резервуарів (рис.2.3).

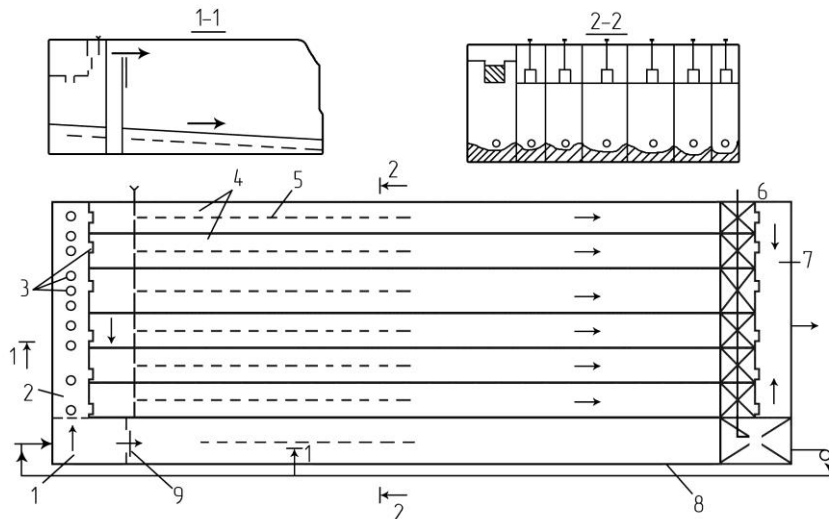


Рис. 2.3 Багатоканальні усереднювачі:

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 можуть бути використані типові ємкісні споруди (нафтоуловлювачі, 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 вибирають залежно від характеру коливань забруднюючих компонентів, виду та кількості завислих речовин, а також динаміки надходження стічних вод.

### 2.3 Проціджування стічних вод

У виробничих стічних водах різних підприємств можуть бути власні специфічні забруднюючі 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 взагалі не придатні для очищення стоків від таких забруднювачів.

Розміри отворів проціджувачів змінюються в широких межах: 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 пропускнуою 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>ч).

Для видалення з води найбільш крупних забруднювачів використовують решітки та сита (рис. 2.4). Решітки виконують роль захисних споруд і служать в основному для вилучення крупних відходів виробництва (папір, уламки деревини, каміння, сміття), потрапляння котрих у подальші очисні споруди можуть викликати засмічення труб і каналів. Решітки поділяються на нерухомі, рухомі й сумісні з дробинками (комінатори). Вони можуть бути з механічною або ручним очищенням, установлюватися вертикально або похило, під кутом 60°. Грати 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 стрижнем має розміри 4x10 мм. Стрижні жорстко закріплені в придонній частині каналу і вільно зверху. Решітки 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 з умови забезпечення в прорізі швидкості руху стічної води 0,8-1 м/с при максимальному притоці на очисні споруди щоб уникнути продавлювання покидьків. Характеристика решіток і сит наведена в таблиці. Очищення решіток від затримання забруднень можна проводити вручну, якщо кількість уловлених забруднень не перевищує 0,1 м<sup>3</sup>/доб, і механічними граблями. Граблі можна встановлювати перед ґратами й 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.

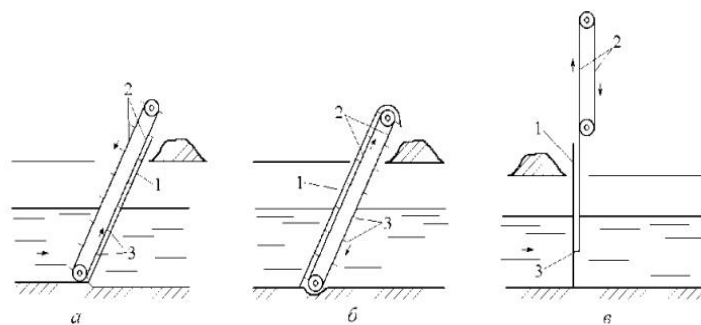


Рис. 2.4 Схеми нерухомих решіток: а – московського типу; б – ленінградського типу; в – вертикальна; 1 – решітка; 2 – нескінченний ланцюг; 3 – граблі

Таблиця 2.2

## 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 фільтрувальної частини, мм	810	728; 810	850	1500	950	950	2560
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

ґрати розміщують в окремих опалюваних та вентиляваних приміщеннях, забезпечених вантажопідйомними пристроями. Решітки-дробарки поєднують функції решітки й дробарки, застосовуються для затримання і дроблення відходів без вилучення їх з потоку стічної води. ґрати-дробарки затримують та дроблять відходи в потоці, в результаті чого відпадають процеси транспортування їх до дробарки і поліпшуються санітарні умови.

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

Барабанні сита (рис. 2.5) є безупинно 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 й обертається в камері зі швидкістю 0,1-0,5 м / с. Швидкість проціджування становить 0,8-1 м / с. Стічні води можуть фільтруватися 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 й видаляються разом з нею. 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.

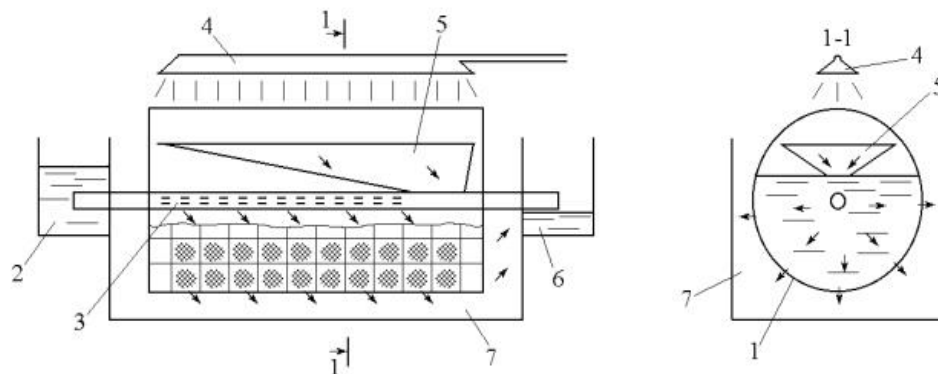


Рис. 2.5 Схема барабанної сітки

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

Стрічкова сітка являє собою безперервне дротове полотно, перекинута через розташовані один над одним два горизонтальних 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 зважених речовин на фракції можуть бути використані 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, як фільтруючий елемент використовують металеві сітки, тканини та полімерні матеріали. Мікрофільтр зазвичай випускають у вигляді обертових барабанів, на котрих нерухомо закріплені або притиснуті до барабана фільтруючі матеріали. Барабани випускають діаметром 1,5–3 м і встановлюють горизонтально. Очищена вода надходить усередину барабана й фільтрується через фільтр назовні. Мікрофільтр широко використовують



для освітлення природних вод. У промисловості застосовують мікрофільтр різних конструкцій. Процес фільтрації 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 2.3

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 2.4

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 2.5

Технічна характеристика мікрофільтром барабанних сіток [1]

Розмір мікрофільтра і 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 2.6

## Технічна характеристика мікросіток

№ сітки	Номинальний 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	-

**2.4 Відстоювання стічних вод****2.4.1 Закономірності відстоювання**

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

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

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

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

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

$$G_{осв} = G_{см} \frac{X_{ос} - X_{см}}{X_{ос} - X_{осв}}; \quad (2.1)$$

$$G_{ос} = G_{см} \frac{X_{см} - X_{осв}}{X_{ос} - X_{осв}}. \quad (2.2)$$

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

Основним параметром, який використовують при розрахунку осадження, є швидкість осадження частинок (гідралічна крупність). При падінні частки під дією сили тяжіння сила, яка рухає частку діаметром  $D_{ч}$ , виражається різницею між її вагою

$$G = m_{ч} g = \pi \frac{d_{ч}^3}{6} \rho_{ч} g \quad (2.3)$$

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

$$A = m_0 g = \pi \frac{d_u^3}{6} \rho_0 g ; \quad (2.4)$$

$$G - A = \pi \frac{d_u^3}{6} g (\rho_u - \rho_0), \quad (2.5)$$

де  $\rho_u$  – щільність твердої частинки, кг/м<sup>3</sup>.

Сила опору середовища за Ньютоном

$$R = \zeta \frac{\pi d_u^2}{4} \frac{\rho_0 \omega_{oc}^2}{2}, \quad (2.6)$$

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:

$$\omega_{oc} = \sqrt{\frac{4gd(\rho_u - \rho_0)}{3\varphi_0}}. \quad (2.7)$$

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

$$\omega_{oc} = \frac{gd_u^2(\rho_u - \rho_0)}{18\mu_0} \quad (2.8)$$

Існує і мінімальний розмір часток, нижче від якого спостерігаються відхилення від закону Стокса та при  $Re_u \leq 10-4$  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  $V_u G_u$  частки:

$$d_e = \sqrt[3]{6V_u / \pi} = \sqrt[3]{6G_u / \pi \rho_u}. \quad (2.9)$$

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  $R = (1-\varphi)\mu_0 / \mu_c$ , який ураховує вплив концентрації зважених частинок і реологічні властивості системи (в'язкість системи Європейського Союзу наприкінці):

$$\omega_{oc} = d_e^2 g (\rho_u - \rho_0) R / (18\mu_0). \quad (2.10)$$

Швидкість осадження полідисперсної системи безперервно змінюється від часу. Внаслідок агломерації частинок вона може змінюватися в кілька разів у порівнянні з теоретичною. Здатність до агломерації 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 нафтоловки, а для жирів – жироловки. Швидкість підйому часток  $w_{вс}$  легкої рідини залежить від розміру частинок  $D_c$ , щільності спливаючих частинок  $\rho_l$  і в'язкості середовища  $\mu_0$ , тобто від числа  $Re_c = w_{вс} \cdot d_c \cdot \rho_l / \mu_0$ . В області  $Re_c < 0,25$  спливання частинок відбувається за залежністю Стокса:

$$\omega_{вс} = d^2 g (\rho_0 - \rho_l) / (18 \mu_0). \quad (2.11)$$

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

$$\omega_{вс}^0 = \omega_{вс} (3\mu_l - 3\mu_0) / (3\mu_l + 2\mu_0), \quad (2.12)$$

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

На процес поділу впливає турбулентність, коагуляція і гідродинамічне комплексоутворення. При введенні стічної води в пастки може відбутися подрібнення легкої рідини при ударі струменя об поверхню, що супроводжується зміною тиску. Початковий розмір часток підтримується капілярним тиском  $P_k = 4\sigma / D$  ( $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу). При ударі струменя виникає результуючий тиск  $P_1$ . Якщо  $P_1 > P_k$ , то відбувається подрібнення крапель. Відношення числа відстояних частинок легкої рідини певного розміру до загальної кількості частинок цієї рідини називають *ефектом відстоювання*.

#### 2.4.2. Осадження частинок у пісковловлювачах

У стічних водах міститься значна кількість нерозчинених мінеральних домішок (піску, шлаку, бою скла та ін.) При спільному виділенні мінеральних і органічних домішок у відстійниках утруднюється 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 по трубопроводах, особливо самопливом. Пісок накопичується в метантенках, виводячи з роботи корисні обсяги, призначені для зброджування органічних опадів. Продуктивність метантенків знижується, а вивантаження піску з них пов'язана з великими труднощами. Можливі труднощі в роботі й інших споруд у разі потрапляння в них піску. Тому в складі очисних споруд за ґратами проектується спеціальні споруди, звані пісколовками.

Пісковловлювачі призначені для виділення механічних домішок з розміром частинок більше ніж 250 мкм. Принцип дії пісковловлювачів оснований на зміні швидкості руху твердих важких частинок у потоці рідини. Пісковловлювачі діляться 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 гвинтовим (поступально-обертальним) рухом води. Останні залежно від способу створення гвинтового руху діляться на тангенціальні та аеровані. Найпростіший горизонтальний пісковловлювач – щілинний (рис. 2.6). Принцип його роботи оснований на тому, що пісок каналізаційної мережі просувається в основному в нижній частині колектора і при невеликому зменшенні швидкості потоку більш важкі частки провалюються вниз. Горизонтальні пісковловлювачі великої продуктивності більш складні. Принцип роботи цих пісковловлювачів ідентичний. Горизонтальний пісковловлювач має прямокутну форму й складається з двох і більше секцій. На вході в пісковловлювач установлені ґрати для затримання великих механічних домішок. Крім ґрат на початку та наприкінці пісковловлювача розташовані дерев'яні шибери для рівномірного надходження води і відключення песколовки. Дно пісковловлювача виконано під кутом до центру споруди для збирання та відкачування випадів осаду. При роботі пісковловлювачів на дні їх збираються механічні домішки, які необхідно періодично видалити. З досвіду роботи нафтобаз відомо, що горизонтальні пісковловлювачі необхідно очищати не рідше від одного разу на 2-3 доби, а щілинні – в міру накопичення осаду в муловій частини. Не можна допускати, щоб мулом була заповнена камера до днища лотка. При очищенні пісковловлювачів зазвичай застосовують переносний або стаціонарний гідроелеватор.

Пісковловлювачі споруджують зі збірних залізобетонних елементів уніфікованих розмірів (рис. 2.8). Тип пісколовки вибирають залежно від продуктивності очисних споруд, схеми очищення стічної води, обробки осаду, характеристики завислих речовин. При продуктивності до 50 тисяч м<sup>3</sup>/добу слід приймати тангенціальні пісколовки, понад 10 тисяч м<sup>3</sup>/добу – горизонтальні, понад 20 тисяч м<sup>3</sup>/добу – аераційні). Горизонтальні

пісколовки з прямолінійним рухом води мають у плані прямокутну форму (рис. 2.7).

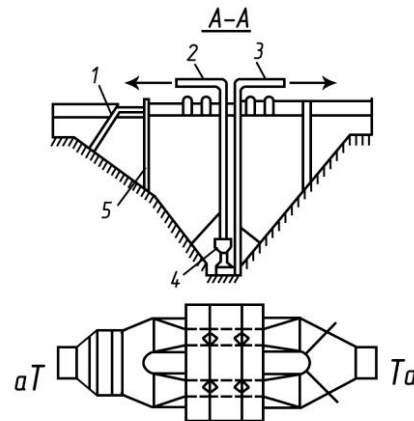
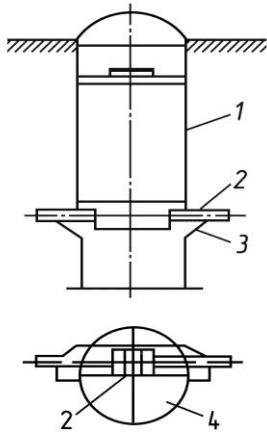


Рис.2.6. Пісковловлювач щілинний: Рис.2.7. Пісколовлювач горизонтальний:

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

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



Рис. 2.8 Горизонтальний аераційний пісковловлювач

Пропускна здатність таких пісколовкок – 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 підтримки постійної швидкості потоку в пісковловлювачі влаштовується не менше від двох відділень, умиканням або вимиканням одного з них домагаються оптимальної швидкості. Розрахункову глибину пісковловлювачів беруть 0,25-1 м, будівельну – 0,5 ... 2 м. При обсязі піску більше ніж 0,1 м<sup>3</sup>/добу обов'язково 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 пісколовки діаметром 4-6 м розраховані на пропускну спроможність від 1,4 до 70 тис. м<sup>3</sup>/добу при двох відділеннях глибиною 2-3 м. У горизонтальних пісколовках затримується до 65 – 75% усіх мінеральних домішок, що містяться у воді. Вертикальні пісколовки розраховані на 100 до 5 000 м<sup>3</sup>/добу і складаються з приймального й відстійного відділень, а також осадової частини.

Швидкість руху в приймальному відділенні 0.1 м/с, у відстійному – 0,05 м / с. Висота робочої частини пісколовки 0,3 – 1м, загальна висота – до 3,2 м.

Тангенціальні пісколовки мають круглу в плані форму. Вода в них подається по дотичній до циліндричної частини споруди, що викликає обертальний рух піску, сприяє відмиванню від піску органічних речовин і запобігає їх випаданню 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 м<sup>3</sup> / (м<sup>2</sup>ч). Поступальна швидкість руху води в таких пісковловлювачах – 0,05...0,12 м/с, обертальна – 0,25...0,3 м/с. Тривалість перебування води в пісколовці 2-3 хв. Загальна глибина пісколовки 0,7-3,5 м. Відношення ширини пісколовки до глибини В / Н = 1 / 1, 5. Осад з аераційних пісковловлювачів містить 90-95% піску і при тривалому зберіганні не загниває. Такі пісколовки мають продуктивність – 70...280 тис. м<sup>3</sup>/добу.

За багаторічними результатами експлуатації вважається, що для нормальної роботи споруд уміст піску в осаді первинних відстійників не повинен перевищувати 3...6%. Для оцінювання роботи пісковловлювачів важливий уміст мінеральної частини в осаді. Узагальнені дані аналізу представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7

Кількість і склад піску, що надходить на очисні споруди, та ефективність роботи різних видів пісковловлювачів

Тип пісколовок	Уміст піску у вихідній стічній воді			Ефективність роботи пісколовок, %			Зольність осаду з пісколовок, %
	Загальний, г/м <sup>3</sup>	У тому числі, %		Загальна	За піском фракцій		
		більше ніж d=0,25 мм	менше ніж d=0,25 мм		Більше ніж d=0,25 мм	Менше ніж d=0,25 мм	
Аераційні	11,5-22,5 16,4	29,0-52,3 42,7	44,9-71,0 57,3	32,1-63,7 47,9	81,1-93,7 86,7	9,5-27,0 18,9	60,0-86,0 77,6
Горизонтальні	14,1-25,9 18,6	37,7-63,6 49,7	36,4-63,3 50,3	59,7-79,1 69,1	92,3-98,3 96,2	33,7-55,9 42,5	69,0-87,0 78,3
Вертикальні	19,5-56,3 33,7	48,2-77,8 68,7	22,2-51,8 31,3	74,9-86,3 80,7	98,0-98,4 99,1	17,0-64,0 43,3	74,0-93,0 88,7

У пісковловлювачах стінки піскових бункерів виконують під кутом 60° до горизонту для забезпечення сповзання осаду при його відкачуванні, що здійснюється гідроелеваторами або пісковими насосами. Розрахункові параметри пісколовок наведені в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8

#### 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 спеціальної обробки. Для відмивання 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.

#### 2.4.3 Осадження домішок у відстійниках

Метод відстоювання використовують для виділення з виробничих стічних вод нерозчинених різноманітних твердих і рідких домішок, які здатні в спокійній воді осідати на дно або спливати на поверхню. Час



очищення залежить від швидкості осідання (спливання) нерозчинених домішок у спокійній воді. Така швидкість (гідравлічна крупність часток) є основною величиною для розрахунку відстійних споруд.

Відстійники для очищення виробничих стічних вод можуть являти собою як самостійні споруди, на яких процес очищення закінчується, 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 ПП використовують як звичайні конструкції відстійних споруд, що застосовуються при очищенні міських стічних вод (пісковловлювачі, відстійники), 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. 2.9).

**Статичні відстійники.** Нафтотранспортні підприємства (нафтобази, нафтоперегонні станції) обладнують різними відстійниками для збирання та очищення води від нафти і нафтопродуктів. Для цієї мети зазвичай використовують стандартні сталеві або залізобетонні резервуари, які можуть працювати 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 служать буферні резервуари, які обладнують 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 вибирають 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.** Відмітна особливість динамічних відстійників полягає у відділенні домішок, що знаходяться у воді, при русі рідини. У динамічних відстійниках або відстійниках безперервної дії рідина рухається в горизонтальному або вертикальному напрямку, звідси і відстійники підрозділяються на 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 ємкості, 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. Найбільш часто вони застосовуються для очищення стічних вод підприємств чорної металургії, зокрема станів гарячої прокатки металу. 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 конструкцій не перевищує 0,4–0,5. Глибина горизонтальних відстійників може досягати 3–4 м.

Найпоширеніші типові розміри горизонтальних відстійників, які застосовують на підприємствах чорної та кольорової металургії й низці інших галузей промисловості, такі: 17 × 6 м, Н = 3 м, площа кожної секції таких відстійників – 100 м<sup>2</sup>. Питоме гідравлічне навантаження на відстійник не високе (1–1,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>×год). При цьому продуктивність 1 секції відстійника – 100...150 м<sup>3</sup>/год.

Концентрація завислих речовин в очищеній (освітленій) воді після горизонтальних відстійників коливається в межах 100–150 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 2–2,5 разу гідравлічне навантаження на них, чи значно знизити залишковий уміст завислих речовин у проясненій воді.

Для розрахунку горизонтальних відстійників необхідні наступні дані:

- ✓ кількість стічних вод,  $\text{м}^3/\text{год}$ , за максимальним припливом;
- ✓ концентрація завислих речовин, важких механічних домішок, легких механічних домішок (масло й нафтопродукти),  $\text{мг/л}$ ;
- ✓ припустимий 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 тверді частки (завислі речовини) затримуються тільки 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  $\text{мм/с}$ . 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, а  $\leq 0,5$ .

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. 2.10), вода в якому 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 забруднень при визначенні розмірів відстійників дуже часто 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 дуже важливо вивчити флокуляційні властивості завису, 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  $\text{м}^3/\text{м}^2 \times \text{год}$ ), 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 упускання, 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.

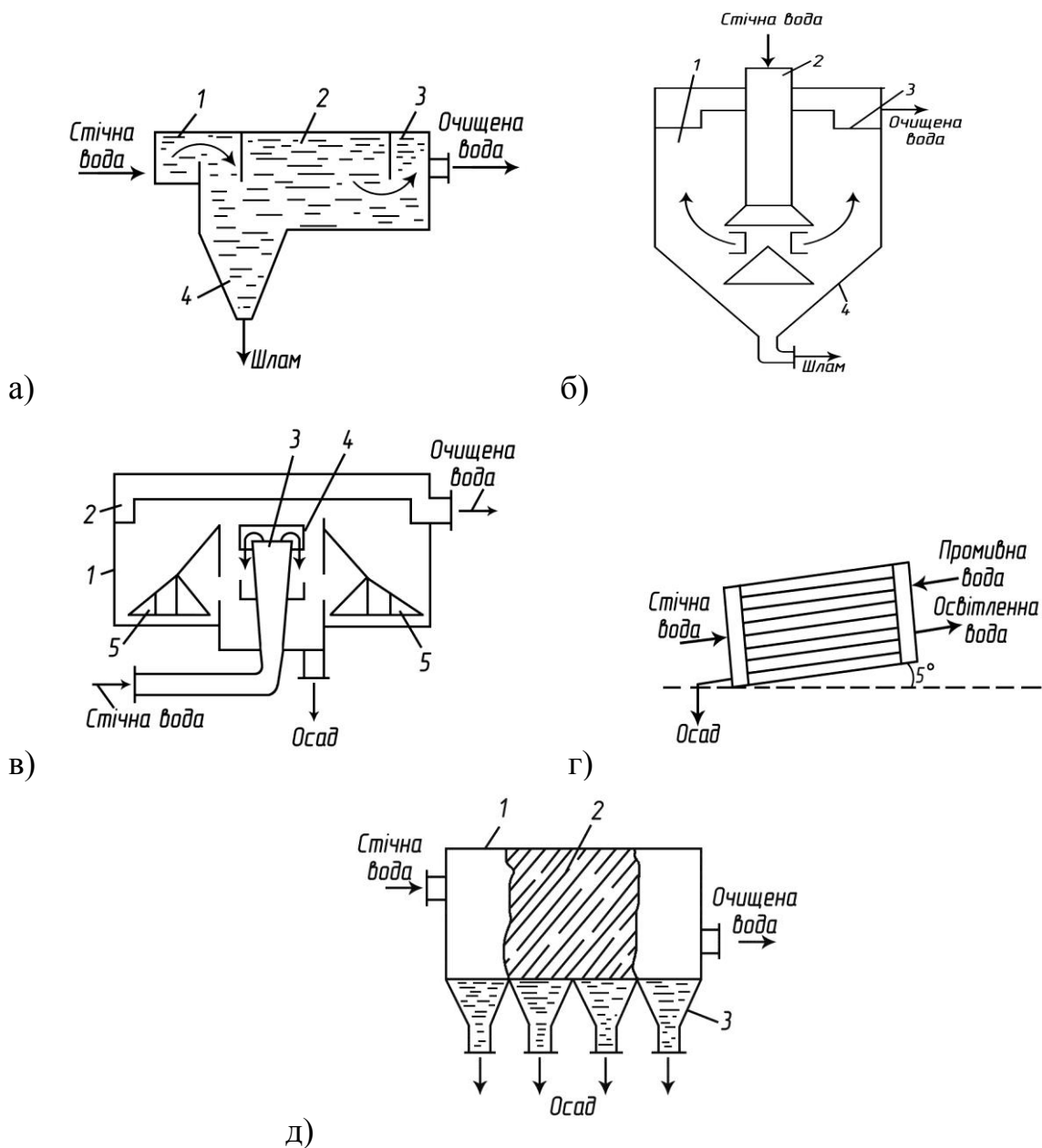


Рис. 2.9 Відстійники: а – горизонтальний: 1 – вхідний лоток; 2 – відстійна камера; 3 – вихідний лоток; 4 – приямок; б – вертикальний: 1 – циліндрична частина; 2 – центральна труба; 3 – жолоб; 4 – конічна частина; в –

радіальний: 1 – корпус; 2 – жолоб; 3 – розподільний пристрій; 4 – заспокійлива камера; 5 – скребковий механізм; г – трубчастий; д – з похилими пластинами; 1 – корпус; 2 – пластили; 3 – шламоприймач

Для очищення значних витрат стічних вод 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. 2.10 Радіальний відстійник

**Освітлювачі з шаром зваженого осаду** працюють за принципом відстоювання. Застосовуються при підвищеному вмісті в стічних водах важкоосідаючих речовин. У результаті поєднання процесів осадження, утворення пластівців фільтрації стічних вод через шар зваженого 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, вона піднімається вгору до тих пір, поки швидкість випадання частинок не стане рівною швидкості висхідного потоку. При цьому утворюється шар зваженого осаду, через

який фільтрується освітлюється вода. Відбувається прилипання частинок суспензії до пластівців коагулянту, за рахунок чого збільшується обсяг зваженого шару. Для підтримки постійної висоти зваженого шару здійснюється безперервний примусовий відсмоктування надлишкового осаду в осадкоушільнювач. Освітлена вода надходить у жолоб, звідки направляється на подальше очищення.

Утворення та ущільнення осаду здійснюється в умовах безперервного надходження суспензій. При цьому відбувається: 1). стиснуте осадження частинок з утворенням з них суцільний просторової структури, зменшення її обсягу через стиснення порожнеч між частинками, 2). ущільнення пластівцеєподібних частинок осаду з видаленням води, наявної в осередках пластівців; 3. стиснення пластівців. Останній процес найбільш повільний і тому лімітує ущільнення осаду в цілому.

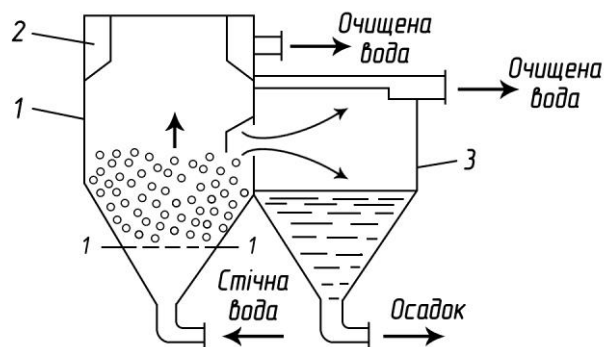


Рис. 2.11. Блок освітлювача: 1 – освітлювач, 2 – жолоб, 3 – ущільнювач осаду

**Тонкошарові відстійники.** Чим більша висота відстійника, тим більше необхідно часу для спливання частки на поверхні води. А це, у свою чергу, пов'язане зі збільшенням довжини відстійника. Отже, інтенсифікувати процес відстоювання в нафтоуловлювачах звичайних конструкцій 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 привело до створення тонкошарових відстійників, які за конструкцією можна розділити 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 видалається, може здійснюватися за такими схемами:

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

При перехресній схемі видалений осад рухається перпендикулярно руху стічних вод (рис. 2.12), а при прямотечійній і протитечійній схемах – відповідно за ходом руху стічних вод чи в зворотному напрямку.

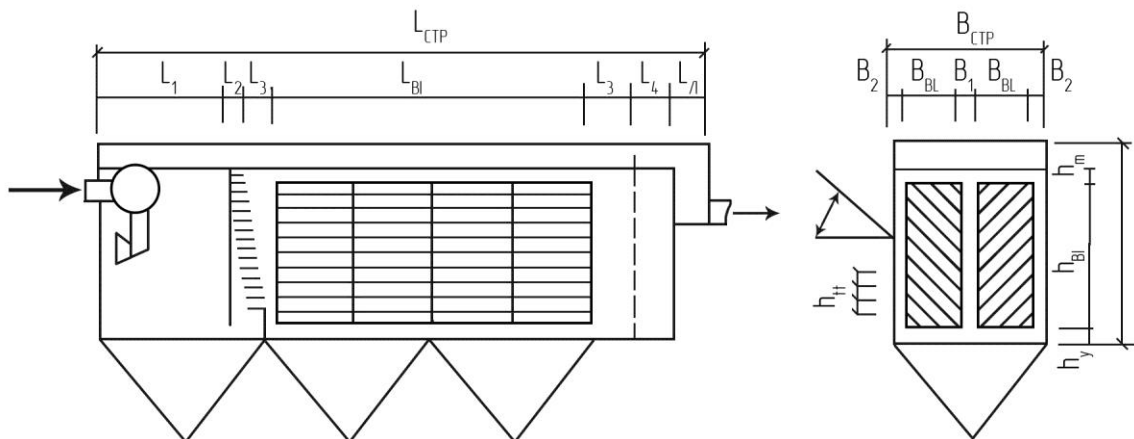


Рис. 2.12 Схема тонкошарового відстійника, що працює за перехресною схемою видалення осаду

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 випалого (спливу) 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 широке розповсюдження дістали пластинчасті протитечіні відстійники. Ефективність освітлення води в пластинчастих відстійниках підвищується зі зменшенням їх висоти. Позитивні трубчастих і пластинчастих відстійників – їх економічність унаслідок невеликого будівельного об'єму, можливість застосування пластмас, які легше металу й не корозію 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. В університеті ім. І.М. Губкіна на кафедрі транспорту й зберігання нафти і газу була розроблена установка з очищення стічних вод, у якій були враховані недоліки старих нафтовловлювачів. До нової установки були поставлені такі вимоги: висока якість очищення стічних вод від нафтопродуктів; індустріалізація будівництва; мінімальна займана площа під очисні споруди; мінімальні експлуатаційні витрати. Цим вимогам відповідає багатоступенева установка з очисними пристроями різних конструкцій. Установка призначена для відділення легко-і важковідділюваних нафтових частинок. Для доведення вмісту нафти у воді менше ніж 1 мг/л стічні води необхідно пропускати через інші установки, призначені для більш глибокого очищення. Для виділення нафти з води використовують буферну ємність, швидкість руху води, в якій у декілька разів менше, ніж швидкість води в підводить трубопроводі. Ця буферна ємність відрізняється від усіх попередніх не тільки габаритами, але й наявністю герметичного даху, всередині якого розташовано короткий трубопровід із різьбою для нагвинчування «склянки». Дах розміщено набагато нижче від рівня рідини в установці. За допомогою нагвинчування склянки рівень

рідини у вертикальному трубопроводі встановлюється дещо нижче від верхньої твірної склянки. Таким чином, рівень води у вертикальному трубопроводі розташований нижче від верхньої точки трубопроводу. Буферна ємність з'єднана з іншою очисною спорудою – товстошаровим відстійником. На відміну від тонкошарового відстійника у цього відстійника висота визначається кількома десятками сантиметрів. Товстошаровий відстійник призначений для відділення крупнодисперсних нафтових частинок, а також великих згустків нафти і механічних домішок. Він являє собою круглий або прямокутний трубопровід, що починається у буферній ємності й кінчається нижче від рівня рідини в установці. Прямотечійний відстійник може працювати в горизонтальній і похилій площинах. У першому випадкові для монтажу потрібно дуже мало місця, але практично вийде нафтовловлювач зі вставними елементами. В другому випадку він перетворюється в напірний відстійник, який найбільш дешевий, простий в експлуатації, легко піддається автоматизації.

Одночасно з вивченням впливу швидкості потоку на ступінь очищення також було розглянуто вплив кута нахилу відстійника на процес розділення. При проведенні експериментів кут нахилу відстійника було змінено від  $0^\circ$  до  $25^\circ$ . Результати експериментів показали, що найбільш ефективно процес розділення відбувається при куті нахилу відстійника  $10^\circ$ .

**Відстійники спеціального призначення.** Споруди, в яких при відстоюванні забруднених промислових вод спливають більш легкі частинки, називаються залежно від спливаючих речовин жироловлівачами, маслороздільниками, нафтороздільниками та ін. Фільтрування застосовують для затримання більш дрібних частинок. У фільтрах для цих цілей використовують фільтрувальні матеріали у вигляді тканин (сіток), шару зернистого матеріалу або хімічних матеріалів, що мають певну пористість. При проходженні стічних вод через фільтруючий матеріал на його поверхні або в поровий простір затримується виділена із стічної води завесь.

Спеціальні відстійники – це відстійники, призначені для виділення з виробничих стічних вод специфічних забруднюючих речовин. 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.

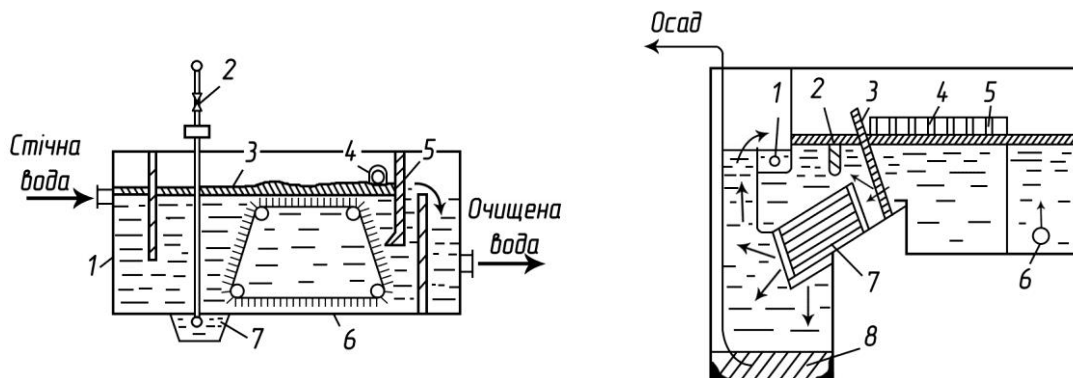
Спливаючі забруднення (мастила) перетікають у радіальний лоток, з якого відводяться у складуючу ємкість.

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 механічної 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. 2.13). 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. 2.13 Нафтовловлювачі: а – горизонтальний: 1 – корпус нафтовловлювача; 2 – гідроелеватор; 3 – шар нафти; 4 – нафтозбірна труба; 5 – нафтовтримуюча перегородка; 6 – скребковий транспортер; 7 – прямок 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 урахуюють 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 2.9.

Таблиця 2.9

## Технологічні характеристики деяких нафтовловлювачів

Назва		Типорозмір							
Марка		АЛН2	АЛН4	АЛН7	АЛН10	АЛН15	АЛН20	АЛН25	АЛН50
Макс. витрата (л/сек)		2	4	7	10	15	20	25	50
Макс. концентрація нафтопродуктів у стічній воді на вході		Максимальна концентрація нафтопродуктів у стічній воді на вході для всіх типорозмірів бензословіддільників "Альта" <b>не обмежена</b>							
Макс. концентрація нафтопродуктів у стічній воді на виході		Максимальна концентрація нафтопродуктів у стічній воді на виході для всіх типорозмірів бензословіддільників "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 (м)	1,2	1,2	1,6	1,6	2,0	2,0	2,0	2,0
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
V1	Об'єм нафтозбірника (м <sup>3</sup> )	0,2	0,3	0,6	0,75	1,0	1,5	1,9	5,0



Рис. 2.14 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.

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

Інтенсифікацію процесів осадження зважених 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 відрізняються більшою продуктивністю і меншим гідралічним опором. При обертанні рідини в гідроциклонах (рис. 6,3) 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 відкритого гідроциклони надають фізичні властивості частинок (розмір, форма, щільність тощо), для затримання яких він призначений, а також геометричні розміри гідроциклони і гідралічний режим його роботи.

У **напірні гідроциклони** вода подається через тангенціально спрямований патрубок у циліндричну частину. В гідроциклони вода, рухаючись по гвинтовій спіралі зовнішньої стінки апарату, прямує в конічну його частину. Тут основний потік змінює напрямок руху і переміщується до центральної частини апарату. Потік освітленої води в центральній частині апарату по трубі виводиться з гідроциклони, а важкі домішки вздовж конічної частини переміщуються вниз та виводяться через патрубок 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 приводить до необхідного ступеня очищення стічних вод. Тому було запропоновано низку нових конструкцій удосконалення напірного гідроциклони. Він відрізняється від звичайного напірного гідроциклону тим, що в ньому встановлені коаксіально три зливних патрубків, різних за діаметром і глибиною занурення. Таке розташування патрубків дозволяє працювати цим гідроциклоном як трьома суміщеними гідроциклонами, що мають різний діаметр, продуктивність і ступінь очищення. Тверда частинка, потрапляючи в циліндричну частину гідроциклону, під дією відцентрових сил переміщається 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 і більше завись іде по ньому в злив. Частинки, не винесені потоком через патрубків, осідають на дні конічної частини гідроциклони та видаляються через піскові штуцер.

**Безнапірний гідроциклон.** У відкритих гідроциклонах використовуються переваги відстійних апаратів і напірних гідроциклонів. Відкриті гідроциклони доцільно застосовувати для освітлення порівняно невеликих кількостей стічних вод (100-200 м<sup>3</sup>/ч), що володіють значною концентрацією суспензії й високими флокуляційними властивостями. Відокремлення зависі від води здійснюється під дією як сил тяжіння, так і відцентрових сил.

У відкритих гідроциклонах можна очищати забруднені води від завислих речовин, нафтопродуктів, допускається також застосування коагуляції для інтенсифікації процесу очищення стічних вод.

Звичайний відкритий гідроциклон за конструкцією подібний до вертикального відстійника, у нього тільки відсутня центральна труба, а підведення води здійснюється тангенціально у нижній частині апарату. Відкритий гідроциклон (рис. 2.15) складається з трубопроводу подачі 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. Найбільшого поширення в чорній металургії дістали гідроциклони діаметром 6 м.

Завдяки тангенціальній подачі води в апараті створюється обертально-поступальний рух, який сприяє укрупненню, флокуляції



завислих часток. Це укрупнення відбувається завдяки градієнтній коагуляції. Укрупненню часток сприяє також та обставина, що вода, яка очищується, і домішки, що осаджуються, перебувають у зустрічному русі. Така гідродинаміка апарата дозволяє домогтися істотної інтенсифікації процесу очищення в порівнянні з вертикальними відстійниками й освітлювачами зі зваженим шаром осаду. Відвід проясненої води здійснюється через кільцевий лоток з водозливом.

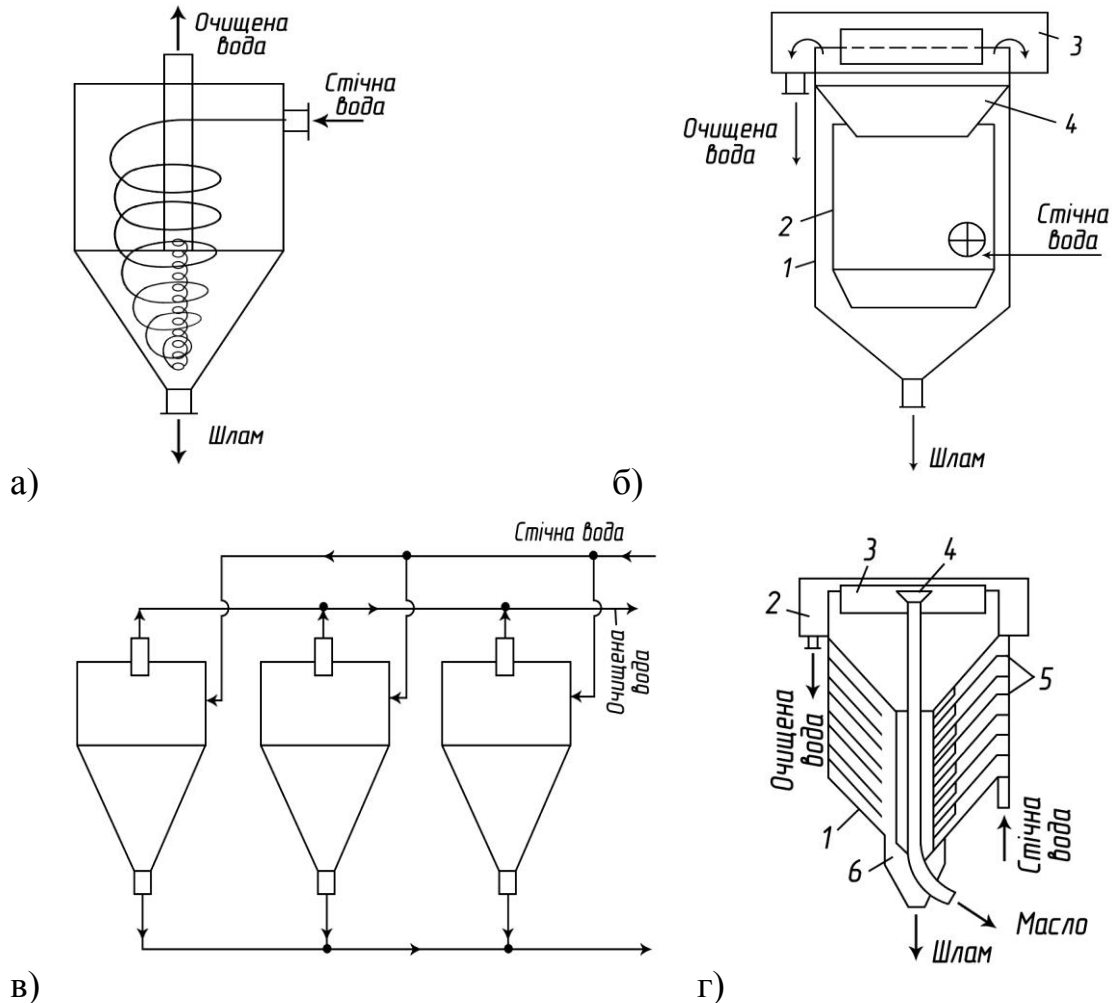


Рис. 2.15 Гідроциклони: а – напірний; б – з внутрішнім циліндром і конічною діафрагмою; 1 – корпус; 2 – внутрішній циліндр; 3 – кільцевий лоток; 4 – діафрагма; в – блок напірних гідроциклонів; г – багатоярусний гідроциклон з нахильними патрубками для відведення очищеної води: 1 – конічні діафрагми; 2 – лоток; 3 – водозлив; 4 – маслосбиральна воронка; 5 – розподільні лотки; 6 – шлаковідвідна щілина

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

Швидкості руху води у відкритих гідроциклонах значно менше, 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.

Наявність діафрагми сприяє розширенню потоку води та відділенню завислих речовин, зменшенню обсягу застійних зон і як наслідок цього збільшенню коефіцієнта використання обсягу апарата. Цей коефіцієнт ( $\alpha$ ) для відкритих гідроциклонів дорівнює 0,8. За відсутності конічної діафрагми  $\alpha = 0,5-0,6$ .

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 встановлюється залежно від характеристики стічних вод, від ступеня очищення й від геометричних розмірів гідроциклона.

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

$$q = 3,6 \times U_0 \times k, \quad (2.13)$$

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 особливо ефективно за допомогою цих речовин. Ефект роботи гідроциклона значно збільшується при використанні коагулянтів. Так, стосовно до стічних вод газоочищення мартенівських печей та конверторів для досягання необхідної ефективності очищення (150 мг/л в освітленій воді) навантаження без коагуляції становить  $5-6 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \times \text{год}$ , а із застосуванням коагулянтів –  $12 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \times \text{год}$ .

Головним недоліком відкритих гідроциклонів є небезпека забивання шламових отворів, що істотно ускладнює експлуатацію. Як можливі шляхи 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 якості 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 знаходиться на рівні 70%. При зміні в'язкості стічної води швидкість осадження частинок

збільшується. Зі зростанням щільності рідини зменшується різниця щільності фаз  $\Delta\rho = (\rho_{ч}-200\rho_0)$ . Це супроводжується зниженням швидкості осадження частинок, важчих від води, а для частинок легших від води – збільшенням швидкості спливання. 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, відбувається під дією відцентрових сил. Поле відцентрових сил забезпечується обертанням корпусу (ротора) центрифуги. Процес розподілу фаз у полі відцентрових сил умовно можна вважати, що проходить за принципом відстоювання, причому дія сили вільного падіння замінюється дією відцентрових сил. Застосування центрифуг найдоцільніше та економічно виправдане в таких випадках:

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

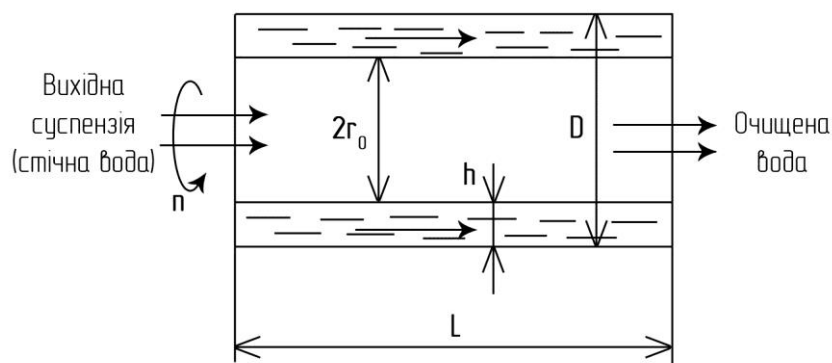


Рис. 2.16 Схема дії відстійної центрифуги

Вітчизняна промисловість не виготовляє центрифуг, спеціально призначених для очищення води. З центрифуг, що серійно випускаються, для цієї мети найбільш підходять осаджувальні горизонтальні шнекові

центрифуги безперервної дії ОГШ і центрифуги періодичної дії маятникового типу ОМ.

Центрифуги типу ОГШ можна 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. Застосовуються для обробки 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 нижче, 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 з цих стадій проходить за законами гідродинаміки, друга *ущільнення* за закономірностям механіки ґрунтів (пористих середовищ). 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 ще не розшарованою суспензією. При підвищеній концентрації утворюється чітка межа розподілу внаслідок сили осадження твердих частинок. Унаслідок неоднорідності по радіусу інтенсивності поля відцентрових сил і площі осадження закономірності процесів осадження у відстійних центрифугах відрізняються від осадження у відстійниках.

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

$$\Sigma = F \cdot K_p, \quad (2.14)$$

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.

## 2.6 Фільтрування стічних вод

Суть методу фільтрування полягає у пропусканні рідини, що містить дрібнодисперговані домішки, через фільтруючий матеріал, проникний для рідини і не проникний для твердих частинок. Крім тонкодиспергованих часток, на фільтрах осідають масла, нафтопродукти і смоли. Процес іде під дією гідростатичного тиску стовпа рідини над фільтруючою перегородкою, підвищеного тиску до перегородки або вакууму після перегородки, тобто рушійною силою фільтрування є різниця тисків до й після фільтрувальної перегородки. Процес супроводжується значними витратами енергії. Фільтрування в більшості випадків є останнім етапом освітлення води та виконується після її попереднього відстоювання у відстійниках, освітлювачах або інших спорудах.

У міру забруднення фільтруючого шару зменшується його порозність і збільшується опір при проходженні через нього стічної води, тобто зростає втрачений натиск, при досягненні певної величини якого фільтр зупиняють на регенерацію фільтруючого матеріалу, що 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 фільтруючого завантаження.

Кількість забруднень, затримуваних у процесі фільтроциклу, являє брудомісткістю 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 випадкові 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 зважених часток розрізняють 2 види фільтрування:

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

У першому випадкові затримуються частинки, розмір яких більший від пор матеріалу, а потім утворюється шар забруднень, що є також фільтруючим. 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 фільтруючого матеріалу адгезійними силами. Такий процес характерний для швидкісних фільтрів, що працюють при швидкостях фільтрування, рівних 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 відчувають вплив рухомого потоку, який зриває їх із поверхні фільтруючого матеріалу. При рівності числа частинок, що надходять за одиницю часу на поверхню фільтруючого шару і покидають її, настає насичення поверхні й вона перестає освітлювати стічні води. Важливими характеристиками пористої середовища є пористість і питома поверхня. Пористість залежить від структури пористого 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 не тільки окремо, але і пористістю окремих зерен, а також залежить від форми зерен. Коефіцієнт форми істотно впливає на ємність пористого фільтруючого шару та коефіцієнт гідравлічного опору. Питома об'ємну поверхню  $a$  (м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>) пористого (зернистого) шару обчислюють за формулою

$$a = 6 (1 - \varepsilon \Phi) / d_e, \quad (2.15)$$

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 між  $\Phi = 1$  (для правильних куль) і  $\Phi = 0,806$  (для правильних кубів). Для циліндричних частинок фактор форми змінюється залежно від відношення

висоти циліндра  $h_{ц}$  до його діаметра  $d_{ц}$ . Наприклад,  $\Phi = 0,69$  при  $h_{ц} / d_{ц} = 5$ ;  $= 0,32$  при  $h_{ц} / d_{ц} = 0,05$ .  $\Phi$

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

$$\tau_3 = 1 / k (1 / v_{ф}^{1,7} d_{ч}^{0,7} - s_0 d_{ч} / v_{ф}), \quad (2.16)$$

де  $L$  – товщина шару, що фільтрує;  $d_{ч}$  – 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 шаром. У більшості випадків фільтри застосовуються для глибокого очищення (доочищення) стічних вод після фізико-хімічної або біологічного очищення для подальшого вилучення тонкодиспергованих речовин, а також для виділення специфічних забруднень.

Залежно від виду фільтруючого середовища розрізняють такі фільтри: зернисті (фільтруючий шар – кварцовий пісок, подрібнений антрацит, керамзит, шлак і т.д.), сітчасті (фільтруючий шар – сітка з розміром отворів 40 мкм), тканинні (фільтруючий шар – бавовняні, лляні, скляні тканини і т.д.), наливні (фільтруючий шар – деревне борошно, азбестова крихта та інші матеріали, наливні у вигляді тонкого шару на каркас з пористої кераміки, металевої сітки або синтетичної тканини), останні фільтри називають ще діатомітовими. У практиці найбільше застосування знаходять фільтри із зернистим завантаженням. Як фільтруюче середовище можуть бути застосовані природні й штучні фільтруючі 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 направленням фільтруючого потоку (однопоточні (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 стоків виробництв хімічної, металургійної, легкої, гірничодобувної, будівельної й кількох інших галузей промисловості.

Повільні фільтри використовують для фільтрування некоагуляційних стічних вод. Швидкість фільтрування залежить у них від концентрації зважених часток: до 25 мг/л швидкість беруть 0,2 ... 0,3 м/год., при 25 ... 30 мг / л – 0,1 ... 0,2 м/год. Застосовуються для безреагентного освітлення води і являють собою залізобетонні або цегляні резервуари прямокутної або круглої в плані форми. Мала швидкість фільтрування, велика вартість та значна площа призвели до того, що в практиці водоочищення ці фільтри поширені мало.

Швидкі безнапірні фільтри призначені для освітлення води після реагентної обробки 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 одношарового фільтра 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 фільтрованих 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 фільтруючого 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 більше ніж 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 фільтруючих матеріалів ставиться низка вимог. Вони повинні мати певний фракційний склад, механічну міцність (на стирання і здрібнювання), хімічну стійкість до води та її домішок, мають бути доступними й мати невисоку вартість.

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

Для запобігання виносу фільтруючого матеріалу з фільтратом застосовують спеціальні дренажні системи (пористі труби й плити, ковпачки та ін.) або укладають фільтруючі матеріали на підтримуючі 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 проводиться промивання фільтруючого матеріалу завантаження. За числом фільтруючих шарів існують одношарові, двошарові та багатошарові, наприклад, каркасно-засипні фільтри. Швидкі фільтри можна завантажувати матеріалом з рівною крупністю часток або різномірними матеріалами, які розташовують у напрямку зменшення крупності завантаження. Фільтри застосовують з вертикальним низхідним або висхідним потоком води. Брудоемкість (кількість забруднень, кг, що видаляються з 1м<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.

У наш час 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 фільтруючого завантаження здійснюється найчастіше 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. 2.17). 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 фільтруючого матеріалу становить звичайно 1000 – 1200 мм. Вода на очищення подається під напором у верхню частину камери фільтра. Потім у спадному потоці вода проходить фільтруючий шар, освітлюється й через трубчастий дренаж видаляється під залишковим напором за межі фільтра. В міру забруднення фільтруючого 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.

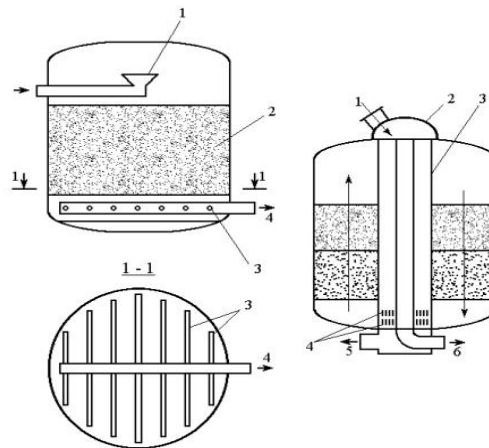


Рис. 2.17 Схема вертикального напірного фільтра: 1 – воронка; 2– фільтруючий шар; 3. – дренажна система; 4 – відвід фільтрату  
 Рис.2.18 Схема надшвидкого ковпак; 3 – центральний стояк; 4 – щілини; 5 – відвід фільтрованої води; 6 – відвід промивної води

Подача повітря потрібна для розпушення зерен фільтруючого матеріалу і кращого відмивання їх від забруднень. Розроблені в останні роки напірні фільтри з двома та трьома камерами, що практично представляють 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. 2.19), завантаженим фільтруючим шаром зернистого матеріалу і підтримуваними шарами, під якими розміщена дренажна система, призначена для відведення фільтрованої води і рівномірного розподілу промивної води. У верхній частині фільтра укріплені жолоби для подачі чистої й відведення брудної 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

спорути. Терміни промивання визначаються якістю фільтрату. Якщо неможливо промити завантаження фільтра, його необхідно замінити новим. Використане завантаження регенерують (прожарюють), промивають і просівають, після чого його знову можна застосовувати. Вода, що пройшла через фільтр, повинна бути прозорою, а концентрація нафтопродуктів у ній не має перевищувати 10-15 мг/л.

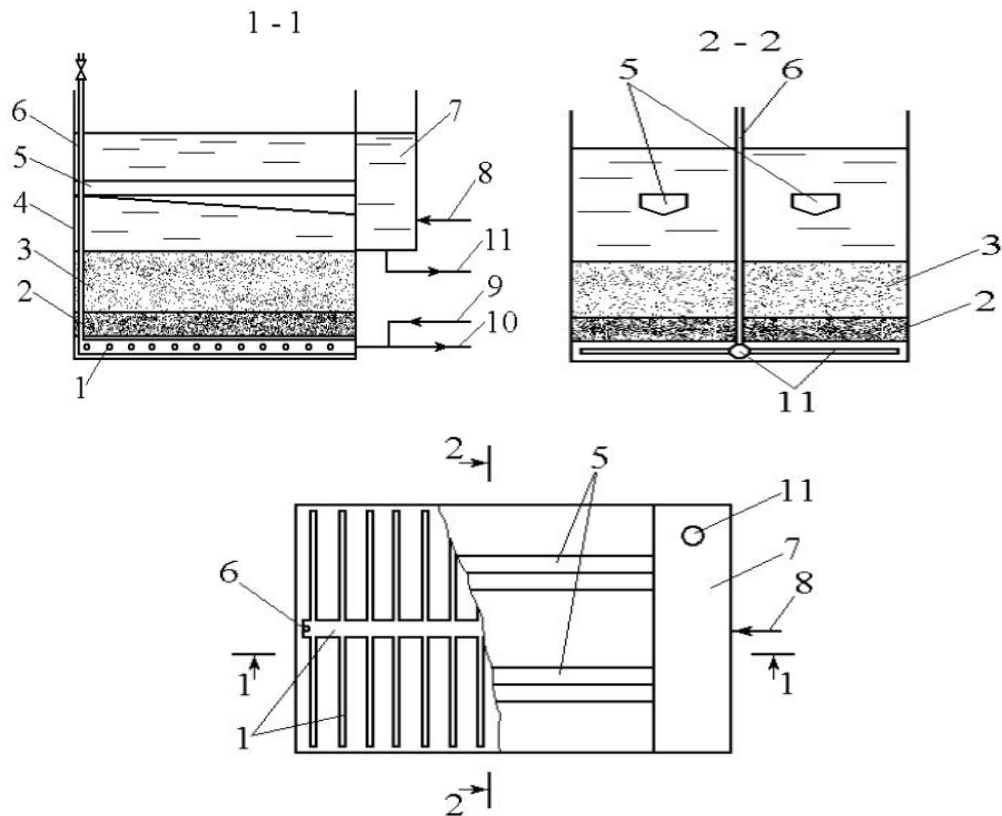


Рис. 2.19 Схема відкритого швидкого фільтра: 1 – трубчаста розподільна система; 2 – підтримуючий шар гравію; 3 – фільтруєче завантаження; 4 – залізобетонний корпус фільтра; 5 – желоби; 6 – повітряник; 7 – боковий карман; 8, 10 – подача вихідної та відвід фільтрованої води; 9, 11 – подача і відвід промивної 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 брудоемкості 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

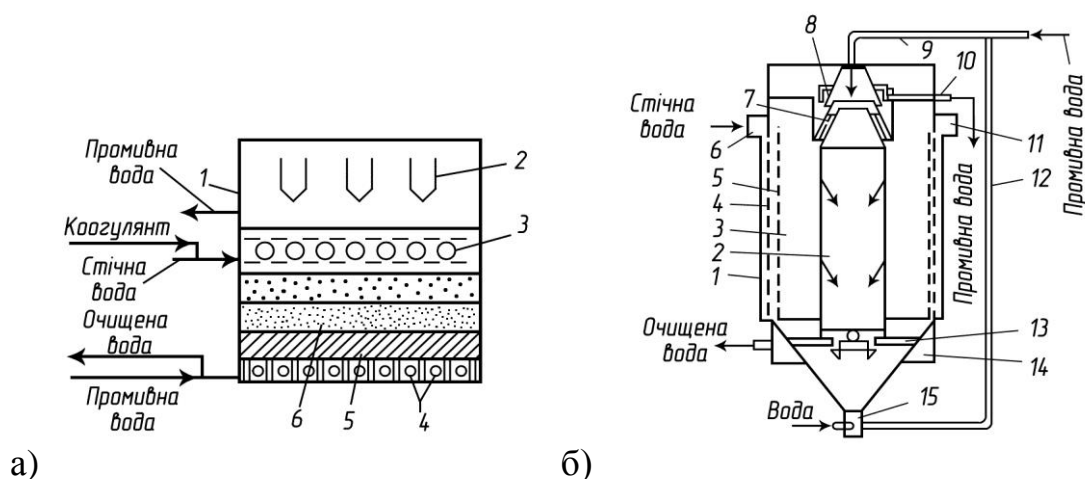
піщаного шару – досить високу ефективність освітлення води. Крім того, різні за природою фільтруючі матеріали збільшують імовірність адгезійної взаємодії часток із зернами завантаження.

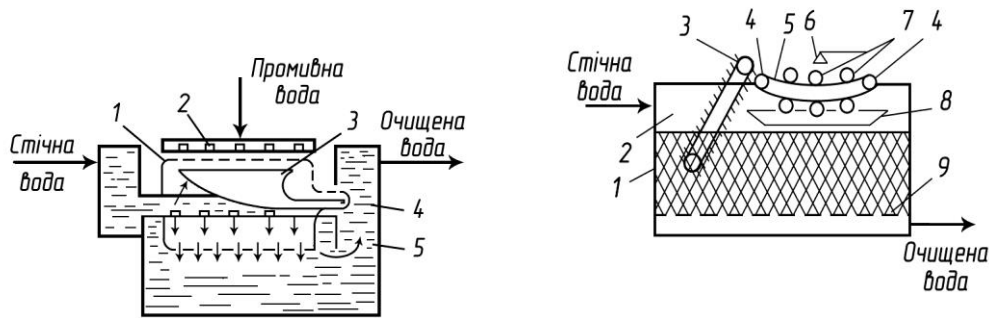
Найбільше поширення дістали двошарові фільтри. Як матеріал верхніх фільтруючих шарів використовується антрацит ( $d_e = 0,8 - 1,1$  мм), керамзит, полістирол, для нижніх шарів – пісок ( $d_e = 0,4 - 0,5$  мм), граніт, магнетит й ін.

Швидкість фільтрування води становить 10 м/год і більше (до 25 м/год). Брудоемкість багат шарових 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 різко збільшити їх продуктивність.

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

Витрата промивних вод при промиванні швидких і багат шарових 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).





в)

г)

Рис. 2.20 Фільтри: а) – швидкісний контактний: 1 – корпус; 2 – система видалення промислових вод; 3 – система подачі стічних вод; 4 – система подачі промислових вод; 5 – пористий дренаж; б) – з рухомою заглушкою: 1 – корпус; 2 – дренажна камера; 3 – середня камера; 4 – канали; 5 – щільні труби; 6 – ввід стічних вод; 7 – класифікатор; 8 – промивний пристрій; 9 – труба для подачі промислової води; 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 (коалесценційні 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 переміщується 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» коалесценційного 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, мармур, 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 підтримуючі шари. Характеристики деяких фільтруючих матеріалів наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10.

Характеристика деяких фільтруючих 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 фільтрації та якість очищення залежать від характеру завантаження. Використання великого фільтруючого матеріалу приводить до збільшення пропускної здатності фільтра та зниження якості фільтрату. Дрібний фільтруючий 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, що працюють для

очищення від одних домішок; для фільтрів, які працюють з водами, що містять інші домішки.

Таблиця 2.11

Основні параметри одношарових фільтрів, що застосовуються для додаткового очищення

Фільтр	Крупність завантажки, 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 ставляться такі основні 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 фільтруючих матеріалів змінюється і технологія фільтраційного очищення води від нафтопродуктів. Перспективним є використання плаваючих завантажень з різних полімерних матеріалів, що володіють достатньою механічною міцністю, хімічною стійкістю, високою пористістю та необхідними поверхневими властивостями. 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. Технологія роботи фільтрів така. 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 ковшові елеватори подається на віджимні барабани для регенерації. Відрегеноване завантаження знов надходить у ємність фільтра, а віджаті 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 утруднюють утилізацію виділених нафтопродуктів.

На рисунку 2.21 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.



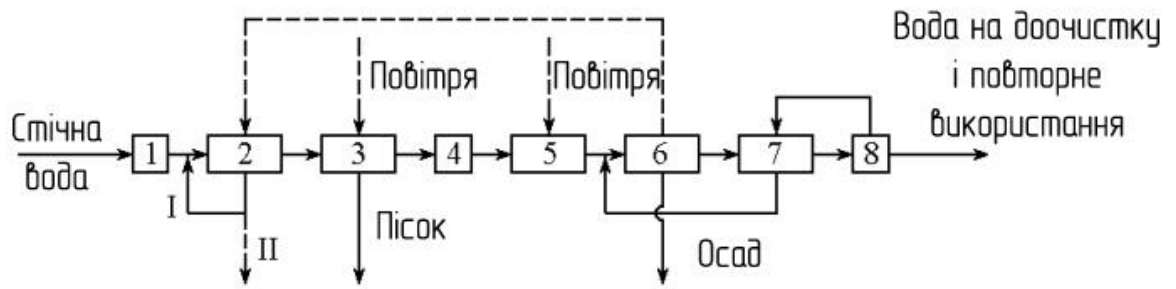


Рис. 2.21 Схема механічного очищення стічних вод: I – варіант з подрібненням відходів і відведенням їх у каналізацію; II – варіант з вивезенням відходів у контейнерах на знешкодження; 1 – приймальна камера, 2 – решітки механічні з окремими дробарками або решітки-дробарки, 3 – пісковловлювачі; 4 – водовимірювальний пристрій, 5 – усереднювачі; 6 – відстійники або відстійники-освітлювачі; 7 – барабанні сітки і піщані фільтри або тільки каркасно-засипні фільтри; 8 – насосна станція.

## 2.7 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.

### 2.7.1 Коагуляція і флокуляція

Швидкість осаджування частинок буде зростати зі збільшенням розміру частинок (рис. 2.22). Для прискорення відстоювання використовують коагуляцію часток, тобто укрупнення їх за допомогою введення в суспензію коагулянтів, у результаті чого під дією молекулярних сил зчеплення відбувається злипання дрібних часток у великі конгломерати (пластівці, флокули).

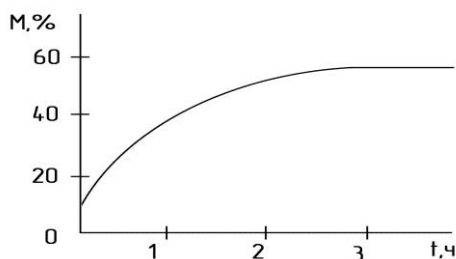


Рис. 2.22 Кінетика осадження полідисперсних частинок

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 токсичних 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. 2.23).

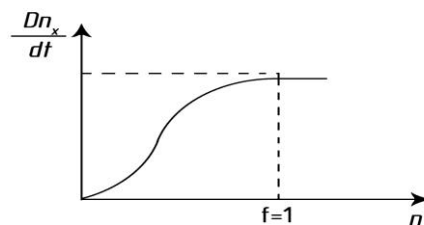


Рис. 2.23 Залежність відносної швидкості коагуляції від концентрації електроліту

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 Смолюховського дорівнює:

$$dn_x/d\tau = k(n_0 - n_x)^2. \quad (2.17)$$

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

$$n_\tau = n_0 / (1 + \tau/T^{1/2}); \quad n_\tau = n_0 / [1 + \psi(\tau/T^{1/2})], \quad (2.18)$$

де  $K$  – константа коагуляції;  $n_x$  – число агрегатів частинок,  $n_0$  – початкова концентрація частинок,  $T^{1/2}$  – 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

$$d_e = 0,136 \sqrt{v_0 \omega_{oc}} [(\rho_x - 1) \kappa_p], \quad (2.19)$$

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:

$$\rho_x = \rho_0 + T (\rho_T - \rho_0). \quad (2.20)$$

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

$$w_{ст} = w_{oc} (1 - 3,5C_0) / (1 - \varphi). \quad (2.21)$$

Відношення швидкості стиснутого осадження до швидкості вільного осадження частинок дорівнює

$$w_{ст} / w_{oc} = (1 - \varphi) \cdot \zeta_0 / \zeta_c, \quad (2.22)$$

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

$$\eta_{\text{ф}} = (\omega_{\text{сф}} - \omega_0) / \omega_0 q, \quad (2.23)$$

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

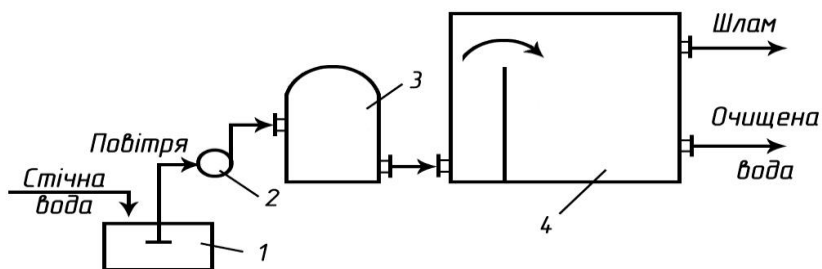


Рис. 2.24 Схема установки флокуляції та флотації: 1 – ємність; 2 – насос; 3 – напірний бак; 4 – флотатор

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 цими процесами, 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 при мінімальній їх витраті отримати максимальний ефект очищення води. Від якості приготовлених розчинів залежить не тільки ефективність впливу

коагулянтів на забруднення, але і робота обладнання цього вузла. 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 опадів 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 можливе одночасна зміна низки 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 фільтруючого матеріалу значно кращі, ніж в об'ємі води.

Ефективність процесів очищення води в апаратурі 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.

Становить інтерес визначення оптимальної дози реагенту при додаванні його у воду електрохімічним способом. У цьому випадкові найбільш легко оптимізувати процес зміною щільності струму і тривалості обробки залежно від кількісного складу стічних вод.

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. 2.25). 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.

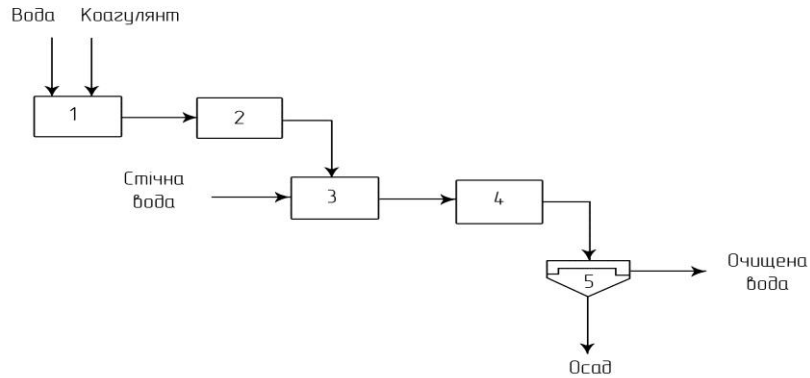


Рис. 2.25 Схема процесів коагуляції та флокуляції: 1 – ємкість для приготування розчину; 2 – дозатор; 3 – змішувач; 4 – камера утворення пластівців; 5 – відстійник

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 привести 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 великою роллю 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  $20-70 \text{ с}^{-1}$ . 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 в апаратурному оформленні змішувачі, що містять камеру електрообробки, 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 зважених частинок від води.** Очищення води від зважених коагульованих частинок є багатадійним процесом, що включає принаймні утворення агрегатів і відділення їх від води. Процес починається з утворення агрегатів часток, потім відбувається їх розпад, перехід агрегатів в осад, випадання агрегатних частинок з осаду знову в рідку фазу, випадання монодисперсних частинок з рідини в осад, минаючи стадію агрегатоутворення. Процес відділення агрегатів частинок від води називається відстоюванням.

Для відділення скоагульованих частинок домішок від води використовують також флотацію або фільтрацію. Відстоювання являє собою екстенсивний процес, проте, будучи універсальним методом, дозволяє очищати стічні води різного складу. Інтенсифікація процесу відстоювання пов'язана як із поліпшенням седиментаційних характеристик скоагульованих частинок домішок, так і з оптимізацією конструкцій відстійників.

Останнім часом для очищення стічних вод усе частіше використовують флотацію. Перевага її – досить висока ефективність вилучення домішок з води, процес флотації залежить від властивостей частинок і від їх розміру, а також від низки фізико-хімічних властивостей освітлених тонкодисперсних суспензій, уключаючи й стічні води. Все це призводить до певних труднощів упровадження флотаційного способу очищення вод.

Використання реагентів при флотації дозволяє в низці випадків добитися високих показників очищення. У практиці флотаційного розділення суспензій відомо досить багато способів насичення рідини бульбашками газів (повітря). Однак для очищення стічних вод найбільший інтерес становить 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 електрофлотаційних апаратів основана на принципі аерації рідини з бульбашками газів, що утворюються при електролізі води. Висока інтенсивність методу електрофлотації зумовлена отриманням тонкодисперсних бульбашок електролітичних газів та незначним перемішуванням у камері електрофлотаційного апарату. За кордоном відомі апарати для одночасного проведення електрокоагуляції й електрофлотації. Відомі апарати, в яких поєднані електрохімічна обробка та електрофлотація, а також апарати, що поєднують електрохімічну обробку і напірну флотацію.



Рис. 2.26 Флокулятор

**Флокулятор** – апарат, у якому суміщено конструктивні елементи відкритого гідроциклона і радіального відстійника. Відмітною особливістю флокулятора є відсутність високої конусної частини, днище виконується з невеликим ухилом до розташованого у центрі зумпфа. Передбачається тангенціальний підвід води, за рахунок чого в апараті створюється обертальний рух води, а також розосереджений збір та відведення очищеної води. Шлам видаляється за допомогою скребкової ферми з центральним приводом.

Установлено, що у флокуляторі з плоскою діафрагмою і розосередженим випуском води вміст завислих речовин у освітленій воді 150 мг/л досягається при навантаженні до  $15 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ . Найкращі результати прояснення (освітлення) води виходять при навантаженні 10-11  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ . Флокулятори такої конструкції встановлені й тривалий час знаходяться в експлуатації в системі оборотного водопостачання газоочищення киснево-конверторного цеху «Азовсталь».

Розглянемо флокулятор з розподільною камерою. Підведення води у нього передбачається тангенційними патрубками в розподільну камеру, що утворюється між корпусом та перфорованою перегородкою. Вона є також і камерою флокуляції. В умовах повільного обертального руху, яке має місце у камері флокуляції, при оптимальних параметрах відбувається укрупнення завислих речовин та зростає швидкість їх осадження. Завислі частинки осідають на дно флокулятора й потім видаляються за допомогою скребкової ферми в приямок апарата, звідки осад видаляється шламовими насосами на подальшу обробку. У верхній частині флокулятора, аналогічно гідроциклонам, установлена конічна діафрагма. Також передбачені циліндричний водозлив, збірний лоток та відвідний трубопровід.

Ярусний флокулятор також обладнано перфорованою перегородкою, котра створює камеру флокуляції. У ньому також передбачені проміжні діафрагми, які створюють додаткові яруси, що збільшує площу відстоювання. Проміжні діафрагми обладнані додатковими фермами для видалення з них осаду.

Модифікацією флокулятора з розподільною камерою є апарат із пристроєм для коректування швидкості, який розташований у корпусі на вході тангенційних патрубків.

На базі вищезгаданих очисних апаратів розроблено також новий тип апарата – тонкошаровий флокулятор. У цьому апараті суміщено безперервне механізоване збирання шламу за допомогою обертальної скребкової ферми з максимальним ступенем заповнення поперечного перерізу апарата пластинчастими тонкошаровими модулями. Гідроциклони та флокулятори, які володіють завищеною продуктивністю у порівнянні зі звичайними відстійними спорудами, полегшують створення локальних систем оборотного водопостачання, оскільки завдяки

невеликим габаритам можуть бути компактно розміщені поблизу цехів навіть в умовах діючих підприємств.

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. 2.27): 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 низьку витрату флокулянта, простоту і надійність експлуатації й високу ефективність освітлення стічних вод на стадіях механічної, біологічної та глибокого очищення, високий ступінь зневоднення утвореного осаду на стрічкових фільтр-пресах і центрифугах.

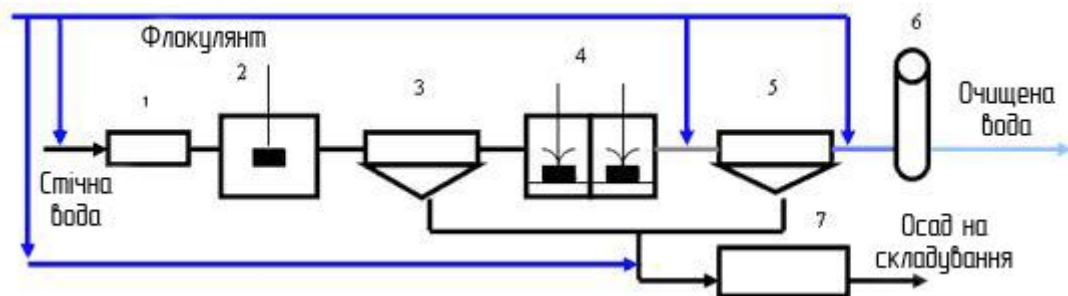


Рис. 2.27 Принципова схема флокуляційного очищення промислових стічних вод. Споруди: 1, 2 – змішування флокуляції, 3 – механічного очищення, 4, 5 – біологічного очищення, 6 – глибокого очищення, 7 – зневоднення осаду

Технологія впроваджена на кількох промислових підприємств. Упровадження технології очищення промислових стічних вод порошковим катіонним флокулянтом праестол на очисних спорудах Московського НПЗ дозволило скоротити витрати реагенту з 600 – 900 т/рік до 14–21 т/рік, зменшити скидання забруднюючих речовин на 485 т/рік, у т. ч. зважених речовин – на 77 т/рік, нафтопродуктів – на 29 т/рік, сульфатів – на 379 т/рік, виключити корозійний знос трубопроводів і устаткування, знизити експлуатаційні витрати на 0,5 млн. грн. на рік.

### 2.7.2 Флотаційна очищення стічних вод

Флотація – процес молекулярного прилипання частинок флотує матеріал до поверхні розділу газу і рідини, зумовлений надлишком вільною енергією поверхневих прикордонних шарів, а також

поверхневими явищами змочування. Флотацію застосовують для видалення із стічних вод нерозчинних дисперсійних домішок, що 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.

Досягненнями 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, що містять ПАР, нафтопродукти, масла, волокнисті матеріали, методом флотації полягає в утворенні комплексів "частинки - бульбашки", спливання цих комплексів і видалення утвореного пінного шару з поверхні оброблюваної рідини. Прилипання 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 такому: 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. 2.28)

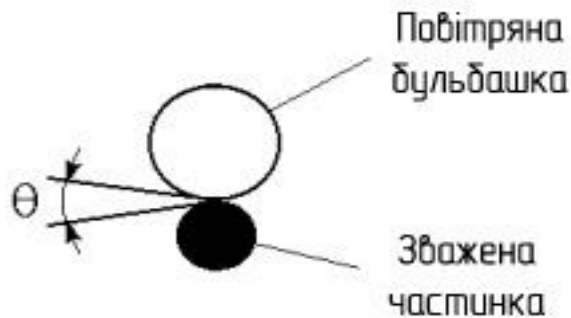


Рис. 2.28. Схема елементарного акту флотації: 1 – бульбашка газу, 2 – тверда частинка змочування

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  $\theta$ . 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 ПАВ, електролітів тощо. ПАВ - (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. Енергія утворення комплексу "бульбашка-частинка" дорівнює

$$A = \sigma (1 - \cos \theta), \quad (2.24)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг води на межі з повітрям.

Для частинок, що добре змочуються водою,  $\theta \rightarrow 0$ , а  $\cos \theta \rightarrow 1$ ; отже, міцність прилипання мінімальна, а для незмочуваних частинок – максимальна.

Ефект поділу 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

$$\omega = [n \cdot 4/3 \pi (R_n + r_c)^3 - n \cdot 4/3 \pi R_n^3] / V = C_g [(1 + r_c/R_n)^3 - 1], \quad (2.25)$$

де  $n$  – кількість бульбашок радіуса  $R_n$  в обсязі  $V$  рідини;  $R_c$  – радіус частинки;  $C_g = n \cdot 4/3 \pi R_n^3 / V$  – об'ємна концентрація газової фази.

Щільність флотаційного середовища, що складається з води, бульбашок повітря і твердих частинок, дорівнює

$$\rho_c = \rho_{ж}(1 - C_c - C_g) + \rho_c C_c + \rho_g C_g, \quad (2.26)$$

де  $\rho_{ж}$ ,  $\rho_c$ ,  $\rho_g$  – щільність рідини, часток і газу;  $C_c$ ,  $C_g$  – об'ємна концентрація часток і газу у воді.

Швидкість руху частинок і бульбашок  $W_c$   $V_b$  щодо середовища визначається за формулами

$$w_c = -2/9(g r_2 / \mu_c \rho_{ж}) [(1 - C_c)(\rho_c / \rho_{ж} - 1) + C_g]; \quad (2.27)$$

$$v_n = 1/9(g R_2 / \mu_c \rho_{ж}) [1 + C_c(\rho_c / \rho_{ж} - 1) - C_g], \quad (2.28)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння (сили тяжіння);  $\mu_c$  – динамічна в'язкість флотаційного середовища. Швидкість процесу виділення часток флотацією описується рівнянням реакції першого порядку

$$dC_c / d\tau = -k_f \cdot C_c, \quad (2.29)$$

де  $k_f$  – коефіцієнт швидкості флотації, що залежить від динамічних і конструктивних параметрів.

Найкращі умови поділу досягаються при співвідношенні між твердою й газоподібною фазами  $G_g / G_c = 0,01 \dots 0,1$ . Це співвідношення визначається за формулою

$$G_g / G_c = 1,3 b(f \cdot P - 1) Q_1 / (C_c \cdot Q), \quad (2.30)$$

де  $G_g$ ,  $G_c$  – 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 флотаційної обробки 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.** Цей спосіб застосовують для очищення стічних вод, які містять дуже дрібні частинки забруднень. Суть способу полягає у створенні перенасиченого розчину повітря в стічній рідині. 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. За **вакуумної 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 цього способу є: 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 розміщувати в них скребкові механізми. **Напірні флотаційні установки** мають більше поширення, ніж вакуумні. Вони прості та надійні в експлуатації. Напірна флотація (рис. 2.29) дозволяє очищати стічні води з концентрацією суспензій до 4 ... 5 г / л. Для збільшення ступеня очищення у воду додаються коагулянти. Апарати напірної флотації забезпечують порівняно з нафтолоками у 5 ... 10 разів менший залишковий уміст забруднень і мають у 5 ... 10 разів менші габарити. Процес здійснюється в дві стадії:

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

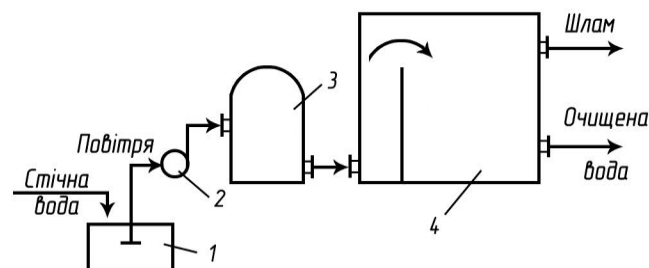


Рис. 2.29 Схема установки флотації: 1 – ємність; 2 – насос; 3 – напірний бак; 4 – флотатор

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 хвилин, а по флотаційній камері (ємності) – 10 ... 20 хвилин. Обсяг засмоктування повітря становить 1,5 ... 5% від обсягу води, що очищається. У разі необхідності 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 більше ніж 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 слід 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 від двох і всі камери робочі.

Флотатори-відстійники являють собою комбіновані споруди, що складаються із круглого в плані радіального відстійника з убудованою у нього підвісною флотокамерою (рис.2.30). Воду, яка очищається, насичують повітрям за допомогою насоса та подають у флотатор через редукційний клапан, розташований в окремій камері. Застосовують для очищення великих обсягів стічних вод. Розроблені 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. 2.30 – Флотатор-відстійник

Ерліфтні установки застосовують для очищення стічних вод у хімічній промисловості (рис. 2.31). Вони прості за пристроєм, витратою 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:

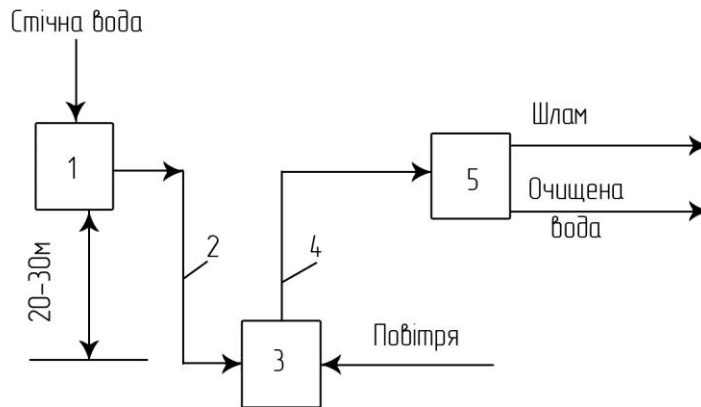


Рис. 2.31 Схема ерліфтної флотації: 1 – ємність; 2 – трубопровід, 3 – аератор, 4 – труба ерліфта, 5 – флотатор повітря

**Флотація з механічним диспергуванням.** Механічне диспергування повітря під флотаційними машинами забезпечується турбіни насосного типу – імпелери, що являють собою диск з радіальними, завернутими вгору, лопатками. Такі установки застосовуються для очищення стічних вод з високим умістом зважених часток (більше 2 г/л). Ступінь подрібнення вихрових газових потоків на бульбашки і ефективність очищення залежать від швидкості обертання імпелера: чим більше швидкість, тим менше пляшечка і тим більше ефективність процесу.

Флотатори імпелерного типу (рис. 2.32) 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 камеру, де бульбашки повітря прилипають до часток і флотують їх на поверхню води. Ступінь подрібнення бульбашок повітря залежить від колової швидкості імпелера. Для економічного витрачання електроенергії й повного використання об'єму камери флотатори діаметр імпелерів великих флотаційних машин рідко перевищує 750 мм, що зумовлює установлення великої кількості

флотаційних камер. Це в свою чергу ускладнює технологічну обв'язку та здорожує експлуатаційні витрати. Імпелерні 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.

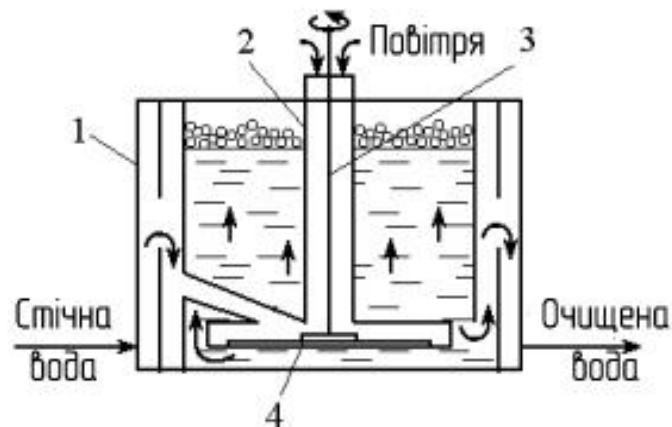


Рис. 2.32 Імпелерний флотатор: 1– флотаційна камера, 2– імпелерний диспергатор, 3–камера відстоювання; 4 – привід імпелерного диспергатора

Пневматичні установки застосовують для очищення стічних вод, що містять розчинені домішки, агресивні до рухомих механізмів. Подрібнення бульбашок повітря досягається при пропущенні його через спеціальні сопла з 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 можна 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 закінчення повітря з отвору. Для отримання мікропухирців необхідна відносно невелика швидкість закінчення. Перевага такої флотації полягає в простоті конструкції установки і зменшенні витрат електроенергії. Недоліки цього методу – засмічення пір, руйнування пористого матеріалу (кераміки), а також труднощі, пов'язані з підбором дрібнопористою матеріалів, які забезпечують сталість у часі певного розміру бульбашок повітря. Залежно від кількості стічної рідини застосовують вертикальні та горизонтальні флотатори. Вертикальні флотатори (рис. 2.33) невеликої продуктивності можуть бути потоковими та протечійними. У протечійні флотатори стічна рідина по трубопроводу подається у верхню частину флотатора, що являє собою циліндр висотою 2-4 м. У нижню частину

флотатора закачується повітря. Останній надходить у піддон, а звідти через отвори керамічних ковпачків, які закріплені на піддоні, у флотаційні камера. Тут бульбашки повітря рухаються знизу вгору, а стічна вода – зверху вниз і з нижньої частини флотатора відводиться по трубопроводу і регулятор рівня з флотатора. Утворена піна відводиться за допомогою жолоба і шламовідвідної труби за межі флотатора. Для очищення великих кількостей стічних вод застосовують горизонтальні флотатори. Повітря у флотаційні камеру надходить через дрібнопористі фільтроси, покладені 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 їх продуктивності, розміру повітряних отворів, тиску повітря під фільтросами, рівня води й ін.

Стічні води багатьох хімічних виробництв являють собою низькоконцентровані емульсії або суспензії, що містять дрібнодисперсні частки розміром 0,1 – 10 мкм і більше, а також колоїдні частки розміром 0,001 - 0,1 мкм. Застосовані методи механічного очищення стічних вод дозволяють видаляти частки, крупніші ніж 10 – 50 мкм. Для очищення стічних вод від дрібнодисперсних та колоїдних часток використовують методи коагуляції й флокуляції, які зумовлюють злипання часток з утворенням великих агрегатів, що легко видаляються з води механічними методами.

Для інтенсифікації процесу осадження високодисперсних завислих і колоїдних часток застосовують різні коагулянти й флокулянти (солі алюмінію, заліза), а також флокулянти – поліакриламід та ін.).

У процесі простого відстоювання відділення механічних домішок відбувається під дією сил ваги. При цьому частки осаджуються або спливають.

У процесі осадження чи спливання частки взаємодіють одна з одною, у результаті чого в одних випадках частки злипаються, а в інших осаджуються самостійно. Можливість й інтенсивність укрупнення залежить від багатьох факторів: від природи і хімічного складу забруднень стічних вод, від температури та под. Таким чином, можливе укрупнення часток без впливу реагентів.

Укрупнення часток називається процесом коагуляції. Найчастіше цей метод застосовується до процесу укрупнення часток під дією хімічних речовин – електролітів (коагулятив). До таких речовин належать:  $Al_2(SO_4)_3$ ;  $FeSO_4$ ,  $Ca(OH)_2$  тощо.

Для інтенсифікації процесів укрупнення механічних домішок застосовуються речовини - поліелектроліти. Це високомолекулярні органічні речовини: поліакриламід і його похідні. Укрупнення часток під

дією флокулянтів називається флокуляцією. Таким чином, поняття «коагуляція» та «флокуляція» багато в чому й відрізняються застосуванням тих або інших хімічних речовин.

При пропусканні повітря через керамічні пористі пластини або ковпачки виходять дрібні бульбашки, розмір яких дорівнює

$$R_{п} = 6(r_0 \cdot 2 \cdot \sigma) / 4, \quad (2.30)$$

де  $R_{п}$ ,  $r_0$  – радіуси бульбашок і отворів;  $\sigma$  – поверхневий натяг води.

Тиск, необхідний для подолання сил поверхневого натягу, визначається за формулою Лапласа

$$\Delta p = 4\sigma / r_0. \quad (2.31)$$

Цей метод має такі переваги: проста конструкція флотаційної камери, менші витрати енергії через відсутність насосів, імпелера. Недоліки способу – часте засмічення та заростання отворів пористого матеріалу; неоднорідність розмірів отворів пористого матеріалу.

Ефект флотації цим способом залежить від величини отворів матеріалу, тиску повітря, витрати повітря, тривалості флотації, рівня води у флотаторі. Розмір отворів повинен бути 4 ... 20 мкм, тиск повітря – 0,1 ... 0,2 МПа, витрата повітря – 40 ... 70 м<sup>3</sup> / (м<sup>2</sup>.год), тривалість флотації – 20 ... 30 хв, рівень води в камері до флотації – 1,5 ... 2.

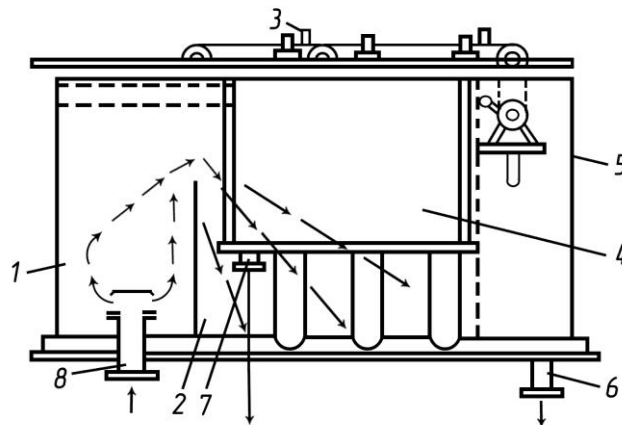


Рис. 2.33 Горизонтальний флотатор: 1 – флотаційна камера, 2 – видільна камера, 3 – скребковий пристрій, 4 – збірник очищеної води, 5 – пінозбірна камера, 6 – випуск пінної маси; 7 – випуск води; 8 – дроселюючий пристрій



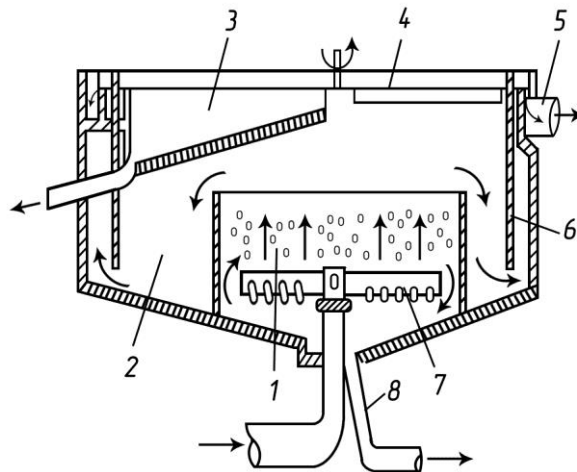


Рис. 2.34 Радіальний флотатор: 1 – зона флотації, 2 – зона поділу, 3 – збірка пінної шами, 4 – скребки, 5 – відведення очищеної води; 6 – кільцева перегородка, 7 – обертовий розподільник, 8 – відвід осаду

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 (табл. 1.1). Концентрація нафтопродуктів у стоках після очищення флотацією нижче в порівнянні з очищенням у нафтоуловлювачі.

### 2.7.3 Адсорбційне очищення

Адсорбційні методи широко застосовуються для глибокого очищення 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 аналітична в разі розбавлення розчинів, що має місце при очищенні стічних вод, описується рівнянням Ленгмюра.

Речовини добре адсорбуються з водних розчинів активованим вугіллям, мають опуклу ізотерму адсорбції, а погано адсорбуючі – ввігнуто. Ізотерму адсорбції речовини, що знаходиться в стічній воді, визначають дослідним шляхом.

Якщо в стічній воді наявні кілька видобутих компонентів, 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 дотримується, 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 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 ведуть 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 активне 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 переміщається щодо частки сорбенту, а рухається разом з останньою. Статична одноступінчаста адсорбція дістає застосування у випадках, коли адсорбент дуже дешевий або є відходом виробництва. При використанні багатоступінчастої установки процес проходить при меншій витраті адсорбенту. При цьому на перший щабель вводять 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 щабель, куди вводять свіжий адсорбент (рис. 2.35, 2.36). Після закінчення процесу адсорбції на другому ступені концентрація забруднень у воді зменшується від  $C_1$  до  $C_2$  і т.д.

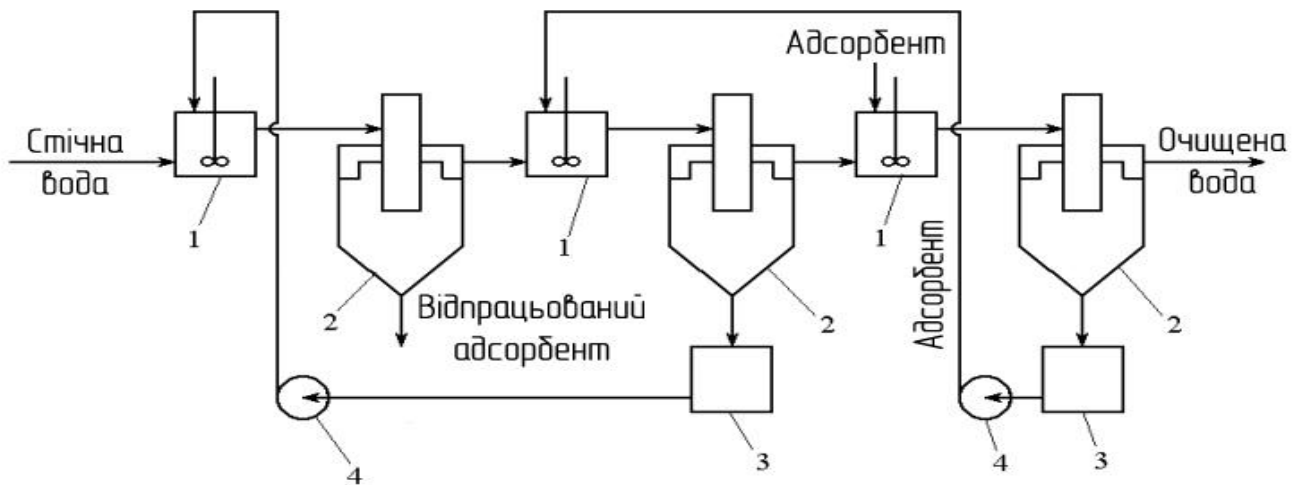


Рис. 2.35 Схема адсорбційних установок з протитечійним додаванням сорбенту: 1 – змішувач; 2 – відстійники; 3 – приймачи адсорбенту; 4 – насоси

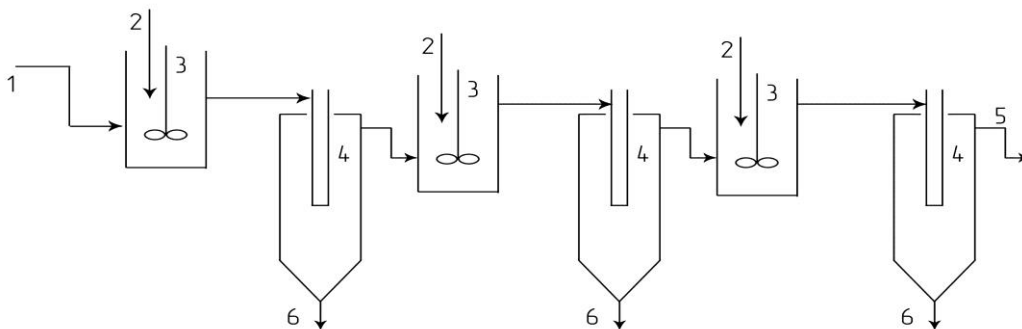


Рис. 2.36 Схема адсорбційного очищення стічної вод з послідовним додаванням адсорбенту: 1, 2 – подача відповідного сорбенту і стічної води; 3 – резервуари з перемішуючим пристроєм; 4 – відстійники для відділення відпрацьованого сорбенту від стічної води; 5 – випуск відпрацьованої стічної води ; 6 – випуск відпрацьованого сорбенту

При послідовному введенні сорбенту його подають у кожний ступінь і з нього ж відводять відпрацьований сорбент. За протитечійною схемою адсорбент уводять одноразово на останньому щаблі, й він рухається протитечійно воді, яка надходить.

Витрати адсорбенту для одноступінчастого процесу визначають з рівняння матеріального балансу

$$m = Q(C_n - C_k) / a, \quad (2.32)$$

де  $m$  – витрата адсорбенту,  $Q$  – об'ємна витрата стічних вод;  $C_n$  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

$$C_n = [Q(Q + Km)]^n C_n \quad (2.33)$$

де  $k$  – коефіцієнт розподілу, що дорівнює

$$k = a_\tau / a = (C_n - C_k) / (C_n - C_p) \approx 0.7 \div 0.8 \quad (2.34)$$

де  $a_\tau$  – значення питомої адсорбції за час  $\tau$ ;  $C_p$  – рівноважна концентрація речовини формулюю.

Витрати адсорбенту на кожний ступінь знаходять за формулою

$$m = Q / k (C_n / C_n - 1), \quad (2.35)$$

а необхідне число ступенів

$$n = \lg C_n - \lg C_n / [\lg(Q + km) - \lg Q]. \quad (2.36)$$

Найбільше практичне застосування до теперішнього часу дістали установки напівперіодичної дії (безперервної за водою і періодичної за вугіллям), 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 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. 2.37). При проскоках у другій (середній) колоні на регенерацію відключають першу колону.

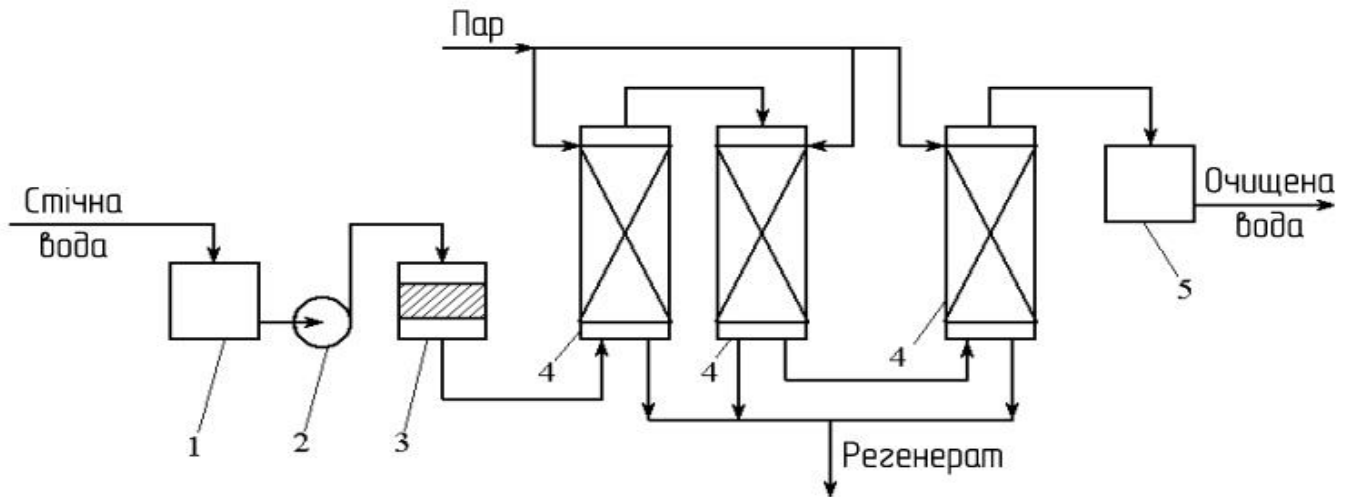


Рис. 2.37 Схема безперервної адсорбційної установки: 1 – усереднювач; 2 – насос; 3 – фільтр; 4 – адсорбційні колони; 5 – ємність

У момент проскакування 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

$$U = C_n w_{cp} / a_{0d}, \quad (2.37)$$

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 обчислена як середньологарифмічна з рушійних сил на кінцях адсорбера. Установки з псевдозрідженим шаром доцільно застосовувати при високому вмісті зважених 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 очищеній 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, зверху вниз під дією сили тяжкості – адсорбент. При цьому колона ділиться на кілька зон: адсорбційну, ректифікаційну, псевдоожижену. В адсорбційній зоні стічна вода взаємодіє з шаром активного вугілля, при цьому компоненти, що поглинаються, витягуються, а очищена вода відводиться з установки. У ректифікаційній і псевдозрідженій зонах відбувається виділення поглинених компонентів та регенерація адсорбенту.

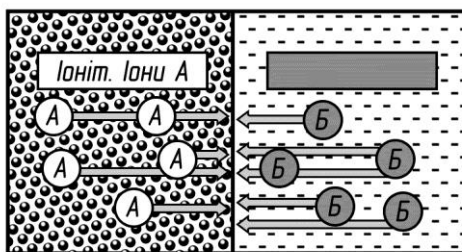
*Регенерація адсорбенту.* Адсорбовані речовини з вугілля витягають десорбцією насиченим чи перегрітою водяною паром або нагрітим інертним газом. Температура перегрітої пари при надлишковому тиску 0,3 ... 0,6 Мпа дорівнює 200 ... 300<sup>0</sup>С, а температура інертних газів 120 ... 140<sup>0</sup>С. 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.

#### 2.7.4 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.

Іонний обмін значно поширений при знесолюванні в процесі псевдозрідження. 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 представляє процес взаємодії розчину з твердою фазою, що володіє властивостями 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.



Поглиналина здатність іонів 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 та пермутити, одержувані сплавом сполук, що містять алюміній і кремній. *Органічні природні іоніти* – це гумінові кислоти ґрунтів та вугілля. Вони виявляють слабкокислотні властивості. Для посилення кислотних властивостей і обмінної ємності 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.

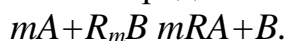
До органічних штучних іонітів відносять іонообмінні смоли з розвиненою поверхнею. Вони мають найбільше практичне значення для очищення стічних вод. Синтетичні іонообмінні смоли являють собою високомолекулярні сполуки, вуглеводневі радикали яких утворюють просторову сітку з фіксованими на ній іонообмінними функціональними групами. Просторова вуглеводнева сітка (каркас) називається матрицею, а обмінні іони – протиіонами. Кожен протиіон з'єднаний з протилежно зарядженими іонами, званими фіксованими, або анкерними. Полімерні вуглеводневі ланцюги, які є основою матриці, пов'язані (зшиті) між собою поперечними зв'язками, що надає 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 монофункціональним, а іоніти, які містять функціональні групи різної хімічної природи, – поліфункціональними. Вони можуть мати змішані сильно- і слабкоосновні властивості. Катіоніти як протиіони 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 протиіони 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 контакт 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 протиіону, 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 набухаючи 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 служби 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 установаження рівноваги залежить від зовнішніх і внутрішніх факторів: гідродинамічного режиму рідини; концентрації обмінюються іонів; структури зерен іоніту; його проникності 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. 2.38).

Фільтр періодичної дії являє собою закритий циліндричний резервуар з розташованим біля днища щілинним дренажним пристроєм, що служить для рівномірного відводу води по всьому перетину 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 надає наявність зважених 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.

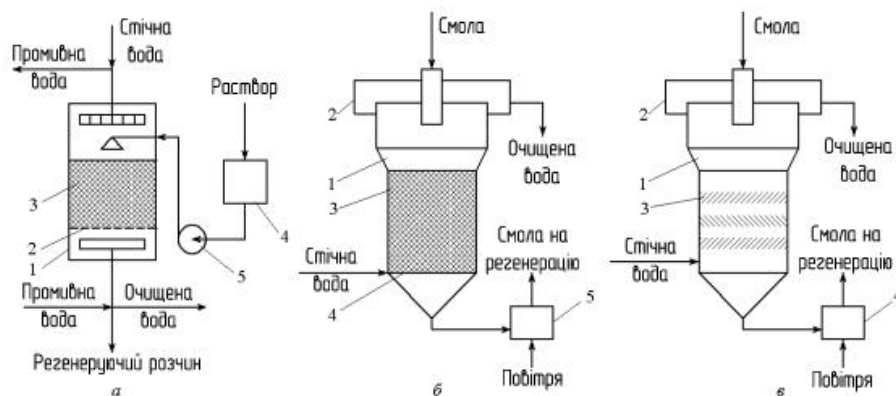


Рис. 2.38 Схема іонообмінних установок: а – періодичної дії: 1 – корпус; 2 – решітка; 3 – шар іоніту; 4 – бак з регенеруючим розчином; 5 – насос; б – з рухомим шаром іоніту: 1 – корпус; 2 – розподільна зона; 3 – шар смоли; 4 – тарілка; 5 – ерліфт; в – із псевдозрідженим шаром іоніту: 1 – корпус; 2 – розподільна зона; 3 – тарілка; 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 сконцентрованому вигляді всі витягнуті 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

$$\xi = 100 \frac{\theta_v}{\theta_n} \quad (2.38)$$

де  $\theta_v$  – відновлена обмінна ємність;  $\theta_n$  – повна обмінна шару ємність. На ступінь регенерації впливає тип іоніту, склад, природа, концентрація й витрата регенеруючого речовини, температура, час контакту і витрати реагентів.

### 2.7.5 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 значної концентрації органічних домішок або високої вартості речовини, що вилучається. Наприклад, добування 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 проходження 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 екстракційної очищення стічних вод від фенолів у коксохімічній, сланцепереробній і вуглепереробній промисловості. Як екстрагенти при добуванні 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-протиточне (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. 2.39).

Часто екстракція сумішшю двох розчинників виявляється більш ефективною, ніж роздільне застосування компонентів суміші. Для екстракційного очищення стічних вод застосовують схеми багатоступінчастої протivotочної екстракції і безперервної протivotочної 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, кожна з яких уключає змішувач води та екстрагенти тавідстійник (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 вилучуваних домішок змішується зі 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.

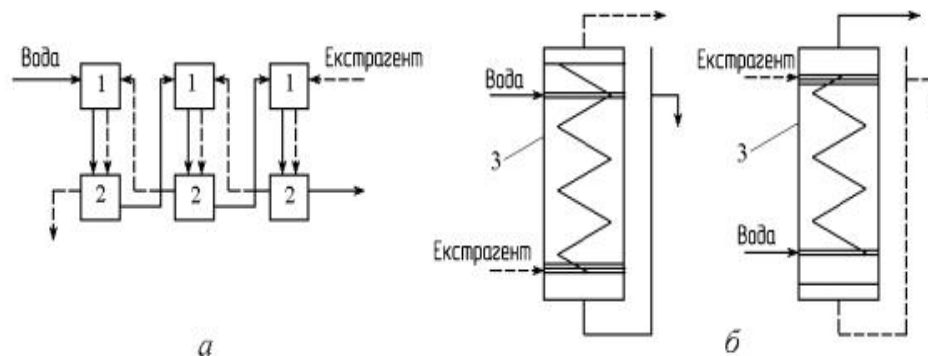


Рис. 2.39 Схеми екстракції: а – ступінчасто-протитечійна; б – безперервно протитечійна: 1 – змішувач; 2 – відстійник; 3 – колона

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 установки: 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°C.

Очищена від емульгованих і суспендованих часток (наприклад, смол, масел, нафталіну, золи) стічна вода надходить на екстракційну установку. Розчинений у воді екстрагент звичайно регенерує 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. Вода, що подається в колону, піддається за рахунок тепла води, яка виходить із колони.

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.

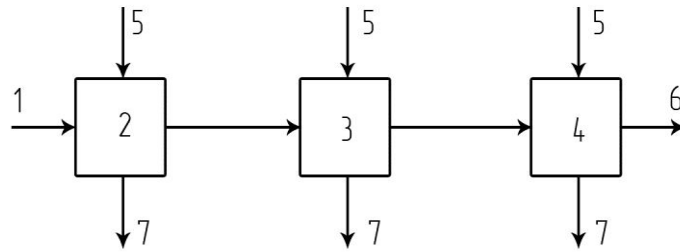
Для розчинників, що легко гідролізуються, мають високу вартість і володіють високою температурою кипіння, теплоємністю й тепловою паротворення, може бути доцільним застосування методу реекстракції.

Сутність методу полягає в тому, що розчинник з води екстрагується іншим більш дешевим розчинником, що потім може бути легко вилучений з води методом перегонки.

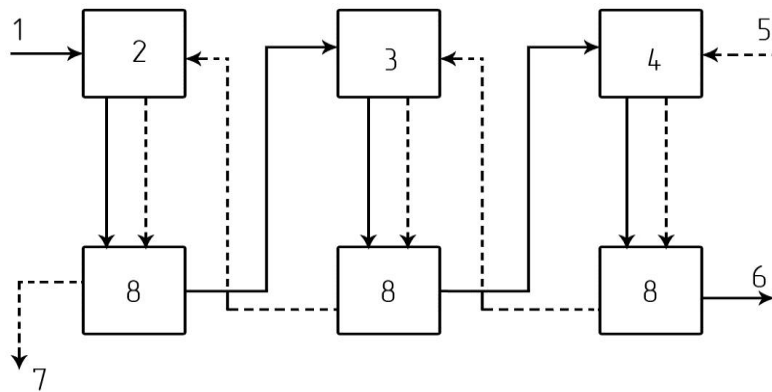
Для регенерації розчинника з фенольних екстрактів застосовують двоступінчасту ректифікацію. На першому ступені в ректифікаційній колоні, що працює при атмосферному тиску, відганяється частина розчинника. Згущений екстракт надходить для повного видалення розчинника в ректифікаційну колону другого щабля, 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°C (для азеотропної суміші бутилацетат – вода – 90,2°C), виробляють 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 витягу розчинника з рафінату є адсорбція або відгонка парою (газом). Для очищення стічних вод найбільш часто застосовують процеси *протічній багатоступінчастій екстракції*

(2.40, 2.41) і безперервної протитечійної екстракції (2.42). Схема багатоступінчастої екстракційної установки являє собою батарею змішувачів та відстійників. Кожна фаза складається із змішувача води з екстрагентом і відстійника.



а)



б)

Рис. 2.40 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

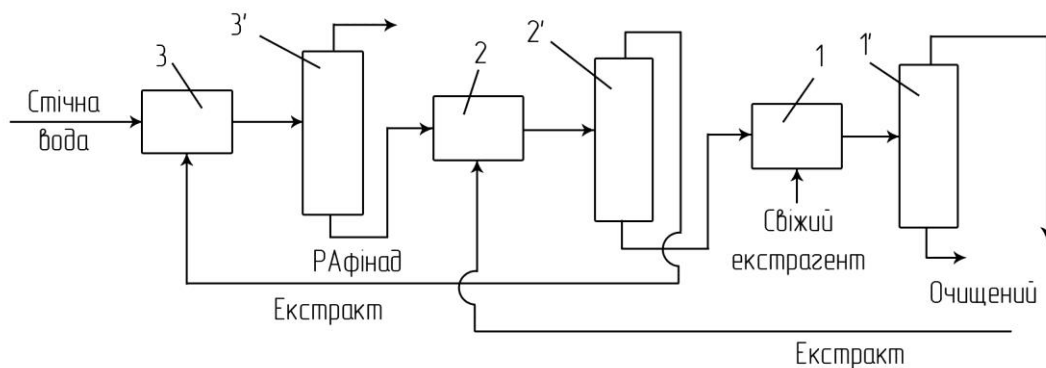


Рис. 2.41 Схема багатоступінчастої протитечійної екстракції: 1-3 – змішувачі; 1' - 3' – відстійники

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 витягнутих речовини. Такий рух потоків сприяє створенню великої рушійної сили процесу екстракції та ефективному очищенню стічних вод.

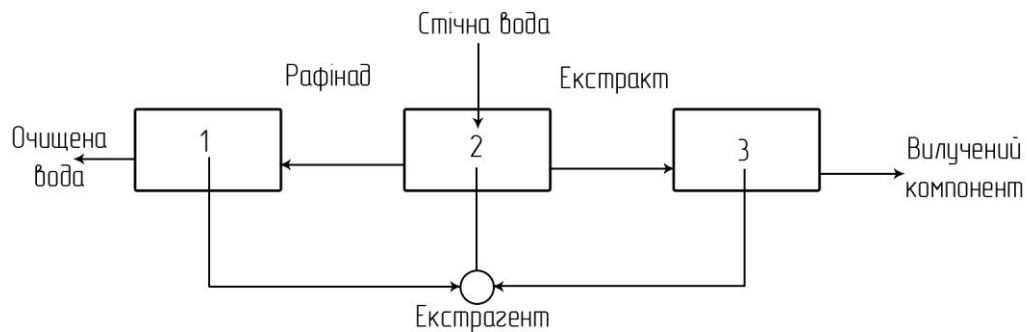


Рис. 2.42 Схема безперервної протитечійної екстракції з регенерацією екстрагенту з екстракту і рафінаду: 1 – система для видалення екстрагенту з рафінаду, 2 – колона, 3 – система для видалення екстрагенту з екстракту також

Екстракція проводиться в апаратах різної конструкції: розпилювальних, насадкових, тарілчастих колонах та у відцентрових екстракторах.

### 2.7.6 Очищення перегонкою і ректифікацією

Перегонка і ректифікація є одним з найпоширеніших методів 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 випарення стічної води, що перебуває в перегінному кубі. Пари, що утворюються, конденсуються в конденсаторі-холодильнику, й дистиллят 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, азот, диоксид вуглецю 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 дистилляту, що важко спалюється від інертного носія.

Схема ректифікаційної відгінної колони представлена на рисунку 6.4. Стічна вода в рідкій фазі подається на верхню тарілку відгінної колони 1 (або на насадку), з якої відводяться пари зі складом VD, що є одним з кінцевих продуктів. Стічна вода з нижньої тарілки відводиться в парціальний кип'ятильник 2, у якому за рахунок подачі тепла піддається частковому википанню й утворює при цьому потік пари, що повертається в колону як парове зрошення. Стічна вода, котра має склад XR, відводиться як основний продукт.

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 луги або інших реагентів.

### **2.7.7 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 (азот, діоксид вуглецю, 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

$$M = K_y \cdot F \cdot \Delta C_{cp}, \quad (2.39)$$

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.

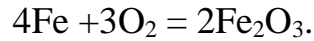
При *термічній дегазації* води від розчиненого діоксиду вуглецю або кисню пропускають пар через воду і нагрівають її до температури кипіння при зовнішньому тиску. В цьому випадку парціальний тиск газу над водою знижується до нуля та розчинність його також падає до нуля. Внаслідок порушення рівноваги 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.

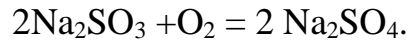
*Хімічні методи дегазації* застосовують при низькій концентрації газів у воді або у випадку недоцільності їх використання, а також за умови,

що продукти обробки не ускладнюють подальше очищення або використання води. Методи основані на проведенні реакцій, у результаті яких відбувається хімічне зв'язування розчинених газів.

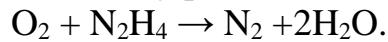
Для видалення кисню з води, її фільтрують через легкоокиснюючі сталеві стружки. При фільтруванні води залізо окислюється



При обробленні води сульфідом натрію утворюється сульфат натрію



Кращим обезкиснюючим воду реагентом є гідразин



Реакція проходить значно швидше, ніж при окисненні сульфїту. Каталізатором виступає мідь, скло, активоване вугілля.

### **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 вводяться з робочої камери печі або вносяться димовими газами.

Недоліком цього методу є висока втрата 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), газів, які можуть бути використані замість палива.

### **Метод рідкофазного окислювання**

Сутність термоокислювального рідкофазного знешкодження стічних вод («мокрого» спалювання) полягає в окислюванні киснем повітря органічних домішок стічної води при підвищеній температурі (звичайно до 350<sup>0</sup>С) і тиску, що забезпечує знаходження води в рідкій фазі. Температура процесу повинна бути нижче ніж 374<sup>0</sup>С – критичної температури води. Перевага цього методу знешкодження стічних вод полягає в значно менших витратах тепла внаслідок відсутності необхідності випару води й нагрівання пар 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, використовуваного 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.

### **2.8 Біологічне очищення. Фізіологія біологічного очищення**

Біохімічні методи застосовують до 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 універсальний для очищення стічних вод від органічних забруднень 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 – H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, NO<sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> й ін. Процес біохімічного руйнування органічних забруднень в

очисних спорудах відбувається під впливом комплексу бактерій і найпростіших мікроорганізмів, що розвиваються 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 більше ніж 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. Хемоавтотрофи харчуються так само, як фотоавтотрофи, тільки для синтезу вони використовують хімічну енергію, котра звільняється при реакції окислення різних неорганічних речовин. 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 2.12

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
Сульфіди	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 її забрудненості органічними речовинами. Глибинні води (артезіанські, ключові) містять мало мікроорганізмів, а поверхневі багато. В основу очищення поверхневих вод закладений процес самоочищення. Він оснований 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 трапляється багатокомпонентний субстрат, тобто води, забруднені багатьма органічними неорганічними речовинами. Мікроорганізми харчуються різними забрудненнями. Тому залежно від живильного середовища одні мікроорганізми розвиваються, а інші гинуть. Змінюючи

приплив і концентрацію стічних речовин, можна регулювати процес фізіологічної активності мікроорганізмів і тим самим змінювати ступінь очищення стічних вод. З одного боку, в споруди 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 багаточисло 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 ставлення до температури мікроорганізми можна підрозділити на термофільні, мезофільні й психрофільні.

Температура стічних вод на нафтобазах протягом року коливається від 0 до 35 ° С. Такий великий діапазон температур 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.

**Споруди 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 споруди 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 воду (очищену) й активний мул. Очищена вода випускається у водойму. Частина активного мулу з відстійника 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 споруди біологічного очищення застосовують поля фільтрації, зрошення та біологічні ставки. Для очищення деяких видів стічних вод, наприклад побутових, ці споруди використовують і в наш час. 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. 2.43).





Рис. 2.43 Коридор аеротенка

Зона активації в аеротенку

Очищення стічних вод в аеротенках відбувається під впливом скупчень мікроорганізмів (активного мулу). Для нормальної їх життєдіяльності в аеротенках подають повітря й поживні речовини. Ефективність процесу очищення в аеротенках, 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 аераторів. Пневматичні аератори підрозділяються залежно від розміру аерованої бульбашок: дрібнопузирчасті, середньопузирчасті та крупнопузирчасті. При механічній і пневматичній системах аерації відбувається перемішування мулу суміші й повітря за допомогою механічних пристроїв. Механічні аератори 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, конструктивно забезпечують об'єднання двох технологічних процесів очищення. Поряд з розглянутими і поширеними методами очищення виробничих стічних вод, рідше дістають застосування також й інші фізико-хімічні методи.

## Основні показники біохімічного очищення стічних вод

Контактуючи з органічними речовинами, мікроорганізми частково розчеплюють 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 очищенню.

**Аеробний метод біологічного очищення.** Відомі аеробні та анаеробні методи біохімічного очищення стічних вод. Аеробний метод оснований 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 населять мул, називають біоценозом. Активний мул становить собою амфотерну

колоїдну систему, яка при  $pH = 4 \dots 9$  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. 2.44 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

$$v = v_{\text{макс}}[S]/(k_m + [S]), \quad (2.40)$$

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

$$M = \beta_v \cdot V(C_p - C), \quad (2.41)$$

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 ( $CO_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ).

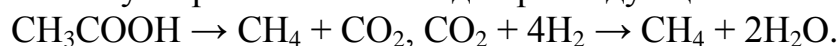
Для очищення стічних вод використовують метанове бродіння, процес складний та багатостадійний. Процес метанового бродіння складається із двох фаз: кислої та лужної (або метанової). В кислої фазі із складних органічних речовин утворюються нижчі жирні кислоти, спирти, амінокислоти, аміак, гліцерин, ацетон, сірководень, діоксин вуглецю й водень. Ці проміжні продукти в лужній фазі утворюють метан і діоксин вуглецю.

Основна реакція утворення метану

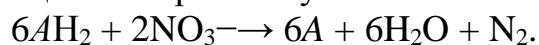


де  $H_2A$  – органічна речовина, що містить  $H_2$ .

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%.

### **2.9 Хімічні методи очищення стічних вод**

Хімічні й фізико-хімічні способи застосовують 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 трапляються 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 біологічних окислювачах 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. 2.45) включають реагентне господарство, усереднювачі, змішувачі, контактні резервуари, відстійники для виділення шламу.



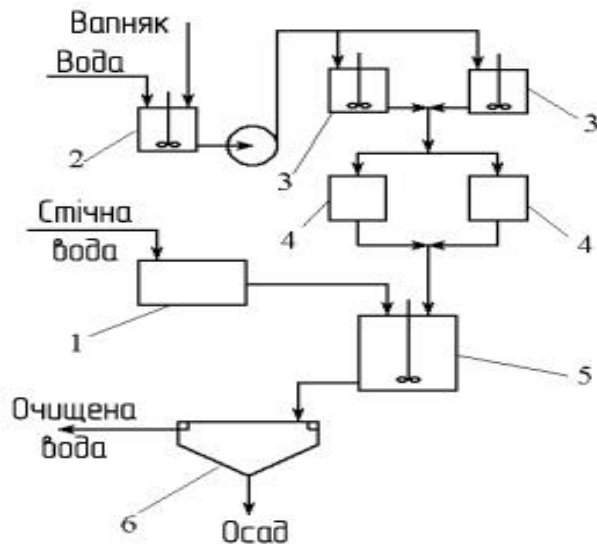


Рис. 2.45 Схема установки нейтралізації стічних вод:

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.

Виробничі стічні води в більшості випадків являють собою слабоконцентровані емульсії або суспензії, 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 зі 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 застосовують 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.

### 2.9.1 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 опади. 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:

$$M = k \cdot \beta_{жс} \cdot F \cdot \Delta C, \quad (2.42)$$

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



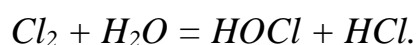
підігрів свіжої води, а також очищаються димові гази від кислих компонентів (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> та ін.) і від пилу.

### 2.9.2 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, пероксосірчані 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.

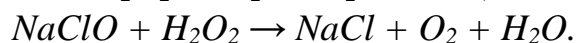
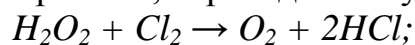
*Хлор* та речовини, що містять "активний" хлор, є найбільш поширеними окислювачами. Їх використовують для очищення стічних вод від сірководню, гідросульфідів, метилсірчистих сполук, фенолів, ціанідів тощо. При введенні хлору у воду утворюється хлорнуватиста і соляна кислоти:



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

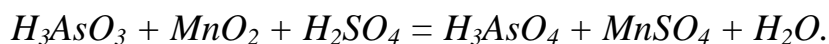
У розведених розчинах процес окислення органічних речовин відбувається повільно, тому використовують каталізатори – іони металів змінної валентності (Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, CO<sup>2+</sup>, Cr<sup>2+</sup>, Ag<sup>2+</sup>).

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

$$M = \varepsilon F \Delta C \beta^*, \quad (2.43)$$

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 процесі можливе одночасне окислення домішок, знебарвлення, дезодорація, 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 мимовільно дисоціює на повітрі й у водному розчині, перетворюючись на кисень. У водному розчині дисоціює озон 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 з 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 металевією трубкою 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 щаблі. 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.

### 2.9.3 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 металеві 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 гідросульфата натрію.

Для осадження тривалентного хрому застосовують лужні реагенти  $Ca(OH)_2$ ,  $NaOH$  та ін:  $Cr^{3+} + OH^- = CrOH$

За наявності соди у стічних водах хром повністю видаляється з них.

### 2.10 Використання мембранних технологій для очищення стічних вод

Дослідження процесів розділення з використанням молекулярних сит дозволило виділити мембранний метод, як найбільш 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 обробки води та водних розчинів, очищення стічних вод, очищення і концентрації розчинів.

#### 2.10.1 Мембрани

Процеси мембранного розділення залежать від властивостей мембран, потоків у них і рушійних сил. Для цих процесів також 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, поступово закупорює робочу пористу поверхню фільтра. Основні вимоги, пропоновані до напівпроникну мембрану, що використовуються в процесах мембранного поділу, такі: висока роздільна здатність (селективність); висока питома продуктивність (проникність); хімічна стійкість до дії середовища поділюваної 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 служби мембран. Для боротьби з цим явищем проводять турбулізацію шару рідини, котра прилягає до поверхні мембрани, щоб прискорити перенесення розчиненої речовини. Для мембран використовують різні матеріали, а відмінність у технології виготовлення мембран дозволяє отримати відмінні за структурою і конструкції мембрани, що застосовуються у процесах поділу різних видів. 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 відрізняються 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. Для цієї мети в наш час застосовують мембранні модулі, які компактні, надійні й

економічні. Вибір конструкції модуля залежить від виду процесу розділення та умов експлуатації в промислових установках.

Таблиця 2.13

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 чи металічних порошків	Фільтрування при підвищених температурах, розділення газів
Скляні	Скло	Мікропори з діаметром від 10 до 100 мкм	Виведення розчинної в кислоті фази із двокомпонентної	Фільтрування суспензій і повітря
Спечені полімерні	Політетрафторетилен, поліетилен, поліпропилен	Мікропори з діаметром від 0,1 до 20 мкм	Плавлення і спікання полімерного порошку	Фільтрування суспензій і повітря
Протравлені	Полікарбонат, поліефір	Мікропори з діаметром від 0,02 до 20 мкм	Опромінення полімерної плівки і травлення кислотою	Фільтрування суспензій і біологічних розчинів
Симетричні мікропористі зі зворотною фазою	Целюлозні ефіри	Мікропори з діаметром від 0,1 до 10 мкм	Виливка полімерного розчину й осадження полімера осаджувачем	Стерильне фільтрування, очищення води, діаліз
Асиметричний	Целюлозний ефір, поліамід, полісульфон	Гомогенна чи мікропориста, «покриття» мікропористої підкладки	Лиття полімерного розчину і осадження полімера осаджувачем	Ультрафільтрація і розділення зворотним 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 з	Занурення іонообмінного порошку в полімер чи	Електродіаліз, знесолювання

Тип	Матеріал	Структура	Метод	Застосування
		позитивно чи негативно зарядженими фіксованими іонами	сульфонування й амінування гомогенної полімерної плівки	

Таблиця 2.14

### 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 від 1 до 10 мкм	Гідростатичний тиск від 0,05 до 0,5 Мпа	Сітчастий механізм	Розділення макромолекулярних розчинів
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 тиск, градієнт концентрації	Дифузія в конвективному вільному шарі	Відділення солей і мікророзчинених речовин від макромолекулярних розчинів
Електродіаліз	Катіоно-аніонообмінні мембрани	Гідростатичний тиск, 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

#### 2.10.2 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 мікрровключення, 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 трубі, 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 2.15

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 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 з прямими трубами	Простота очищення, невеликий гідравлічний опір, можливість ефективного зниження концентраційної поляризації, можливість заміни окремих трубчастих елементів	Великий об'єм води в апараті, порівняно висока вартість, великі габарити і зайнята площа підлоги, щільність укладки мембран 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



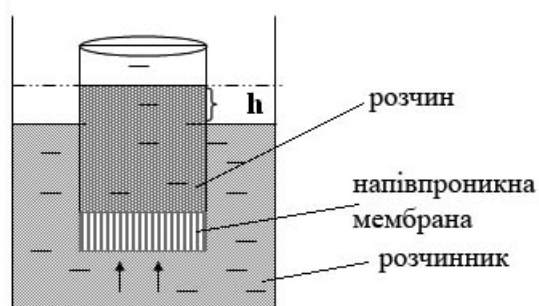
Тип	Переваги	Недоліки
Рулонні	Низькі капітальні витрати, щільність укладання мембран до $650 \text{ м}^2/\text{м}^3$ , незначна зайнята площа підлоги, незначний об'єм води в апараті	Можливість утворення корків, важкість очищення, підвищений гідравлічний опір
З порожнистими волокнами	Мінімальна вартість, максимальна щільність укладки мембран (до $16500 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ), 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

### 2.10.3 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

$$\pi = \beta R T C / M, \quad (2.44)$$

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 розчиною 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 2.16

Умови та характеристики матеріалів, використовуваних для виготовлення мембран

Матеріал	рН	Макс. температура при рН=7,(° C)	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 2.17

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
Порожністі 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 2.18.

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 високоєфективні 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 2.19

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
Металоемність, 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. Установка 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.

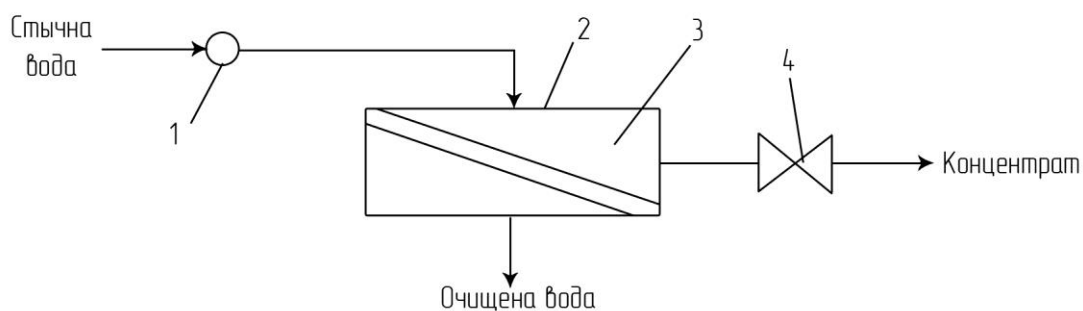


Рис. 2.46 Схема установки зворотного осмосу: 1 – насос; 2 – модуль зворотного осмосу, 3 – мембрана, 4 – випускний клапан

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 апарату, 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 організують 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 2.20

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.

### 2.11 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.

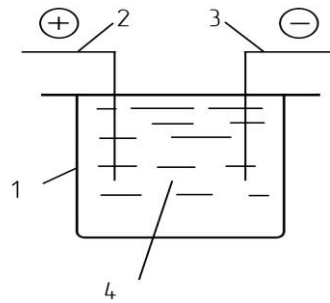


Рис. 2.47 Схема електролізу: 1 – корпус; 2 – анод; 3 – катод; 4 – діафрагма

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:

$$U = e_a - e_k + \Delta e_a + \Delta e_k + \Delta U_{ел} + \Delta U_{діаф}, \quad (2.45)$$

де  $e_a$  і  $e_k$  – рівноважні потенціали анода і катода;  $\Delta e_a$  і  $\Delta e_k$  – величина анодної та катодної поляризації;  $\Delta U_{ел}$  і  $\Delta U_{діаф}$  – падіння напруження в електроліті й діафрагмі.

Падіння напруги в електроліті (стічній воді) за відсутності пухирців газу визначають за законом Ома:

$$\Delta U_{ел} = i \cdot \rho \cdot \delta, \quad (2.46)$$

де  $i$  – щільність струму в стічній воді,  $A/cm^2$ ;  $\rho$  – питомий опір,  $\Omega \cdot cm$ ;  $\delta$  – відстань між електродами,  $cm$ .

При виділенні газових бульбашок, унаслідок подовження потоку між електродами,  $\Delta U_{ел}$  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.2.47) 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 2.48.

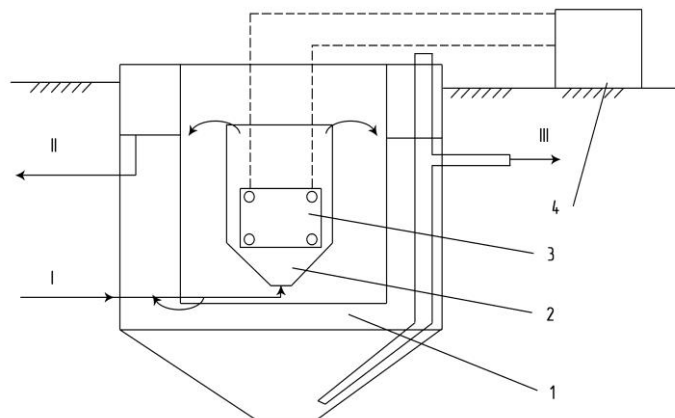


Рис. 2.48 Електрокоагуляційна установка: I – подача стічної води; II – відведення освітленої води; III – випускання осаду; 1 – відстійник; 2 – резервуар-електрокоагулятор; 3 – пакет плоских листових сталевих електродів; 4 – випрямляч електричного струму

Для очищення промислових стічних вод, що містять високостійкі забруднення, проводять електроліз з використанням *розчинних сталевих*

або алюмінієвих анодів (рис. 2.49). Під дією струму відбувається розчинення металу, в результаті чого у воду переходять катіони заліза або алюмінію, які, зустрічаючись з гідроксильними групами, утворюють гідрокси́ди 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 А/м<sup>2</sup>, відстані між електродами не більше ніж 20 мм і швидкості руху не менше ніж 0,5 м/с.

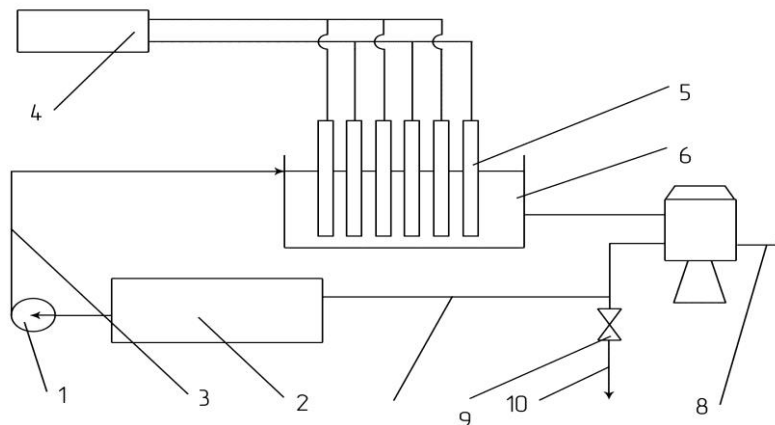


Рис. 2.49 Схема електрокоагуляційного очищення стічних вод: 1 – насос; 2 – промивна ванна; 3 – трубопровід; 4 – випрямляч електричного струму; 5 – електроди; 6 – електролізер; 7 – центрифуга; 8 – відвід осаду; 9 – вентиль; 10 – зливання очищеної води; 11 – трубопровід для подачі води при повторному користуванні.

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 електричної 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 електричної 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 знесолюючі (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, солеміст і склад оброблюваних стічних вод. Наприклад, при добовій витраті стічних вод понад 300 – 500 м<sup>3</sup> вважається раціональним застосування технологічних схем прямотечійного 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 електродіалізатори 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 вмістом 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 3. Схеми очищення стічних вод деяких виробництв

#### 3.1 Очищення стічних вод, що містять емульговані нафтопродукти

До цього типу стічних вод відносять зливові стоки, відпрацьовані мастильно-охолодні рідини (МОР); стоки автомийок, відпрацьовані миючі розчини ремонтних, гальванічних, фарбувальних і т. п. підприємств і цехів. Основна технологічна ідея очисних установок для цих стічних вод представлена на рисунку 3.1. Часто у вихідних стоках міститься грубозерниста тверда фаза – пісок, металеві й полімерні частинки. Вони віддаляються у відстійнику 1 у вигляді осаду, а рідка фаза надходить на механічний фільтр 2, де звільняється від зважених і колоїдних частинок твердих забруднень. Фільтрат надходить у збірник-роздільник 3, звідки подається в мембранний апарат 4. Вимоги до мембрани – ультрафільтраційна мембрана з сильногідрофільного матеріалу. При гарантованій високій лінійній швидкості рідини відбувається виділення пермеату, який може бути відправлений назад у виробництво, і повернення концентрату до збірника 3. У ньому поступово підвищується концентрація олії до стану, коли вона з емульсії переходить у суцільну фазу – шар нафтопродуктів на поверхні води. Цей шар видаляється і зазвичай надходить на спалювання.

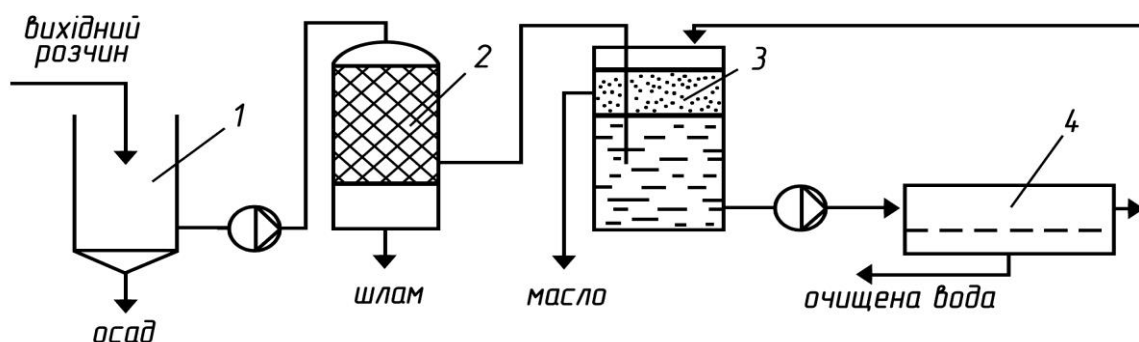


Рис. 3.1 Принципова технологічна схема очищення стічних вод, що містять масляні емульсії: 1 – відстійник; 2 – механічний фільтр, 3 – збірник-роздільник; 4 – мембранний апарат

Типові технологічні схеми очищення стічних вод від нафтопродуктів показані на рисунку 3.2.

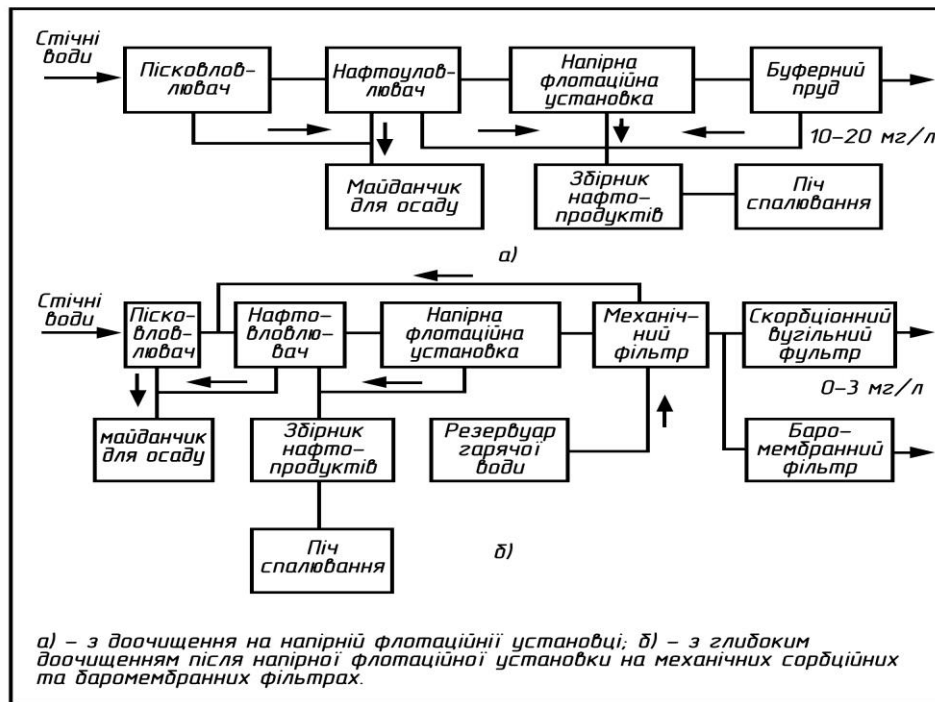


Рис. 3.2 Структурні схеми очищення стічних вод від нафтопродуктів  
Дана технологія забезпечує:

- очищення виробничих, поверхневих і виробничо-дощових стічних вод при витратах до 50 м<sup>3</sup>/год;
- досягнення рівня очищення до ГДК рибогосподарських водойм;
- зниження витрат на будівельно-монтажні роботи і скорочення строків їх проведення за рахунок застосування вузлів заводського виготовлення;
- максимальну оптимізацію технологічних параметрів за рахунок поєднання процесів фізико-хімічної очищення в одній комбінованій установці та стабілізацію процесів очищення при скороченні витрати реагентів;
- можливість локального очищення стічних вод перед їх повторним використанням у технологічних процесах. Розроблено інститутом НДІ ВОДГЕО технологічна схема очищення стічних вод нафтопереробного заводу за допомогою порошкових катіонних флокулянтів.

Ця технологія дозволяє:

- підвищити ефективність очищення води на 30–50%;
- повністю відмовитися від використання мінерального коагулянту;
- знизити витрату реагенту в 30–50 разів;
- виключити корозію трубопроводів і устаткування;
- скоротити кількість утворюваного осаду в 1,5–2,0 рази і поліпшити його обезводнювальні властивості;
- виключити вторинне забруднення стічної води сульфатами або хлоридами;



- скоротити скидання забруднюючих речовин, у т.ч. нафтопродуктів, завислих речовин.

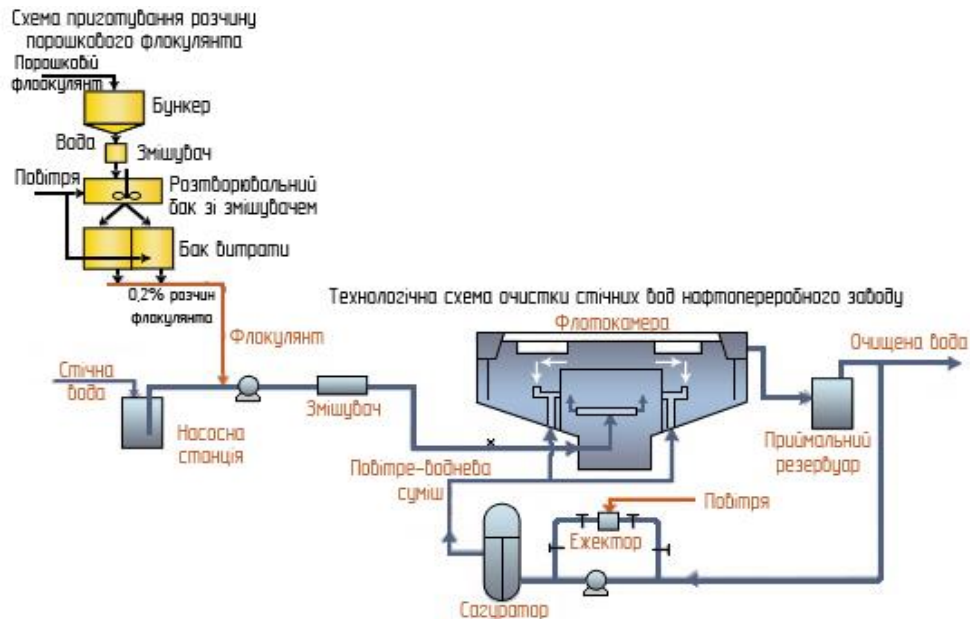


Рис. 3.3 Технологічна схема очищення стічних вод нафтопереробного заводу

### 3.2 Очищення стічних вод, що містять іони важких металів

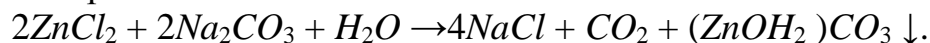
До цього типу відносять промивні стічні води гальванічних виробництв, шахтні стоки, рідкі радіоактивні відходи. Особливістю цих стоків є відносно низька концентрація токсичних компонентів на тлі високого вмісту нейтральних солей. Наприклад, у гальванічних відходах при 500 мг / л хлоридів  $\text{Na} + \text{Ca}^{2+}$  міститься 10-50 мг / л одного з іонів  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  та ін. У рідких радіоактивних стоках уміст  $\text{Cs}^{137}$ ,  $\text{Co}^{60}$ ,  $\text{Sr}$  або  $\text{U}^{237}$  узагалі не може бути виміряно в масових одиницях. Для таких багатокомпонентних стічних вод ідеальним є технологічний прийом – міцелярно посилена ультрафільтрація. Процес можна проводити за тією ж технологічною схемою (див рис. вище), треба тільки до збірника 3 дозувати ретельно підібраний асоціюючий реагент. Зазвичай процес проходить у періодичному режимі, коли після тривалого етапу накопичення концентрату в збірнику до гранично можливого рівня його відразу весь передають на подальшу переробку – виділення металів або підготування до тривалого зберігання.

Для видалення із стічних вод сполук ртуті, хрому, кадмію, цинку, свинцю, міді, нікелю, миш'яку та інших речовин найбільш поширені реагентні методи очищення, сутність яких полягає в переведенні розчинних у воді речовин у нерозчинні при додаванні різних реагентів з наступним відділенням їх від води у вигляді опадів. Як реагенти для видалення із стічних вод іонів важких металів застосовують гідроксиди кальцію і натрію, карбонат натрію, сульфід натрію, різні відходи.

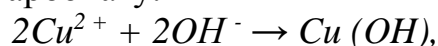
Найбільш широко використовується гідроксид кальцію. Осадження металів відбувається у вигляді гідроксидів. При обробленні кислих вод оксидом кальцію і гідроксидом натрію іони цинку, міді, нікелю, свинцю, кадмію, кобальту, що містяться в стоках, зв'язуються в важкорозчинні сполуки.

Виділення катіонів  $Zn^{2+}$  лугами основане на переведенні їх у важкорозчинний гідроксид цинку.

При дії соди на стічні води, що містять солі цинку, утворюються гідроксокарбонати:



Очищення стічних вод від міді пов'язано з осадженням її у вигляді гідроксиду або гідроксид-карбонату:



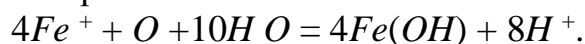
Можливий процес вилучення міді із стічних вод осадженням фероціаніду калію. Цей реагент може бути використаний і для осадження інших іонів важких металів. Очищення стічних вод від нікелю ґрунтується на виділенні його з розчину у вигляді важкорозчинних сполук.

Катіони свинцю, що знаходяться в розчині, переводять в осад у вигляді однієї з важкорозчинних сполук.

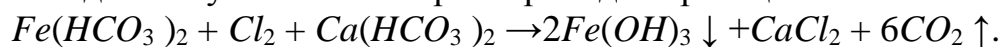
Обробка стічних вод лужними реагентами дозволяє знизити вміст важких металів у розчині до величин, порівнянних з ГДК для водойм санітарно-побутового користування. Більш глибоке очищення від важких металів досягається при обробленні стічних вод сульфідом натрію.

Для очищення води з високим умістом миш'яку застосовують метод хімічного його осадження у вигляді важкорозчинних сполук. Для очищення кисневмісних сполук миш'яку використовують вапняне молоко. Із сильнокислих розчинів миш'як осаджують сульфідом натрію, сірководнем. Очищення сульфідно-лужних стоків від миш'яку проводять сульфатом заліза (залізним купоросом).

Сполуки тривалентного миш'яку перед осадженням окислюють до п'ятивалентного. Як окислювачі використовують хлорне вапно, хлор, пероксид водню, азотну кислоту, озон, піролюзит. Для очищення від солей заліза застосовують аерацію, в процесі якої відбувається окислення двовалентного заліза в тривалентне:



При високому вмісті заліза у воді застосовують реагентні методи. Для цієї мети використовують хлор, хлорит кальцію (хлорне вапно), перманганат калію, озон, оксид кальцію (вапно), карбонат натрію (соду). При взаємодії сполук заліза з хлором проходить реакція:



Видалення з води марганцю може бути досягнуто: обробкою води перманганатом калію; аерацією, поєднаною з вапнуванням; фільтруванням

води через марганцевий пісок або марганцевий катіоніт; окисленням озоном, хлором або діоксидом хлору.

Пропонується комплексна система очищення, доочищення та знесолення промивних стічних вод і відпрацьованих технологічних розчинів від усіх процесів хімічної та електрохімічної обробки поверхонь виробів, уключаючи регенерацію відпрацьованих лужних розчинів від процесів травлення алюмінію, хімічного фрезерування й анодування алюмінію.

Система включає:

1. Обробку промивних стічних вод і відпрацьованих нерегенеруючих хромових електролітів гальванохімічним методом.

2. Очищення промивних ціановмісних стічних вод, уключаючи регенеруючі ціаністі електроліти, окисленням ціанідів киснем на катализаторі або озонуванням.

3. Подальше змішання очищених за п.п. 1 і 2 стічних вод з промивними кислотно-лужними, регулювання рН, освітлення, доочищення і знесолювання суміші стічних вод на іонообмінній або мембранній установці, з подальшим використанням 85 – 90% очищених вод у гальванохімічному виробництві.

На стадії гальванохімічного очищення, при сумарному змісті катіонів хрому і важких металів у вихідній воді до 165 мг / л, їх залишкова концентрація становитиме 0.1–0.3 мг / л при повній відсутності хрому (VI). На стадії очищення стічних вод від простих і пов'язаних у комплекси з міддю, цинком і кадмієм ціанідів, концентрація яких в оброблюваній воді не повинна перевищувати 30-40 мг / л, є їх окислення киснем за наявності катализатора або озонуванням. При сумарному змісті ціанідів у вихідній воді до 40 мг/л, їх залишкова концентрація становитиме менше 0.1 мг/л.

Для опріснення та знесолення стічних вод гальванічних виробництв пропонується іонообмінний спосіб або низьконапірний зворотний осмос, що забезпечує необхідний в оборотних системах водопостачання постійний вихід солей. При загальному солевмісті вихідної води до 3000 мг / л, їх залишковий солевміст становитиме менше 50 – 70 мг / л.

Вода, отримана в результаті очищення стічних вод за запропонованою схемою, з урахуванням додаткової води з водопроводу на поповнення втрат відповідає вимогам ГОСТ 9.314-90 «Вода для гальванічного виробництва та схеми промивань» для категорії 2: рН – 6,5 ... 8,5; жорсткість загальна <2,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>; солевміст (сухий залишок) <400 мг/дм<sup>3</sup>, у т. ч (мг/дм<sup>3</sup>): сульфати <50, хлориди <35, нітрати <15, фосфати <3,5, сума іонів важких металів <0,3; ГПК <15 мгО/дм<sup>3</sup>, питома електропровідність  $1 \times 10^{-3}$  см / м.

Регенерація відпрацьованих лужних розчинів від процесів травлення алюмінію та хімічного фрезерування полягає у кристалізації гідроксиду алюмінію з лужного розчину за наявності «приманки» з наступним

поверненням регенованого луґу в технологічний процес і утилізацією гідроксиду алюмінію або подальшою переробкою його в сульфат чи оксихлорид алюмінію. Запропонована технологія дозволяє знижувати зміст алюмінату натрію в регенованому розчині з 70 г / л до 20 мг / л.

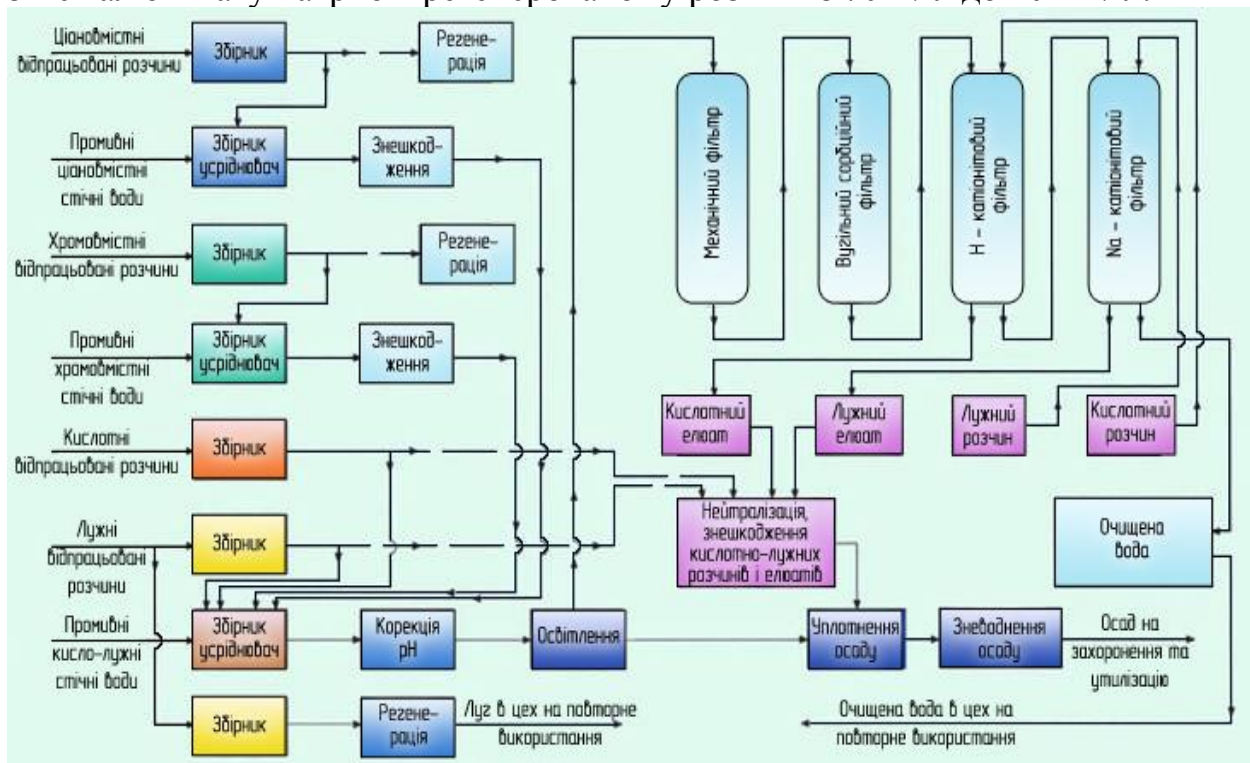


Рис. 3.4 Принципова схема комплексного очищення стічних вод гальванічних виробництв

### 3.3 Очищення стоків, що містять ПАР

(ПАР – це низькомолекулярні сполуки, м.м.  $\sim 300$ ). Такі стоки утворюються при пранні одягу, після будь-яких процесів мийки обладнання і виробів. Ці стічні води містять розчинені поверхнево активні речовини й різні забруднення, які відмились із твердих поверхонь.

Специфікою цих стоків є такі обставини:

- відмиті забруднення – це, як правило, високомолекулярні та колоїдні частинки: білки, полісахариди, мікроорганізми, жири, нафтопродукти, оксиди металів і т. д.;
- роль ПАР у процесі миття та прання – знизити поверхневий натяг води, щоб полегшити або розчинення молекул забруднень у воді, або перехід їх у воду у вигляді емульсій і суспензій.

Завдяки розділовим властивостями мембран виникає унікальна можливість майже повністю повернути ПАР на повторне використання (рис. 3.5).

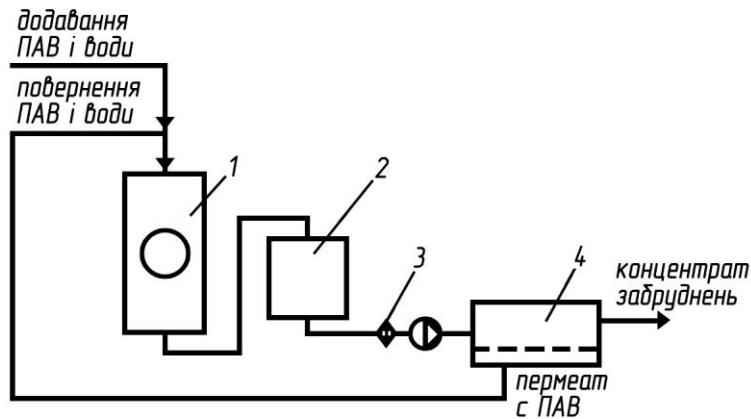


Рис. 3.5 Принципова схема переробки миючих розчинів: 1 – пральна машина, 2 – ємність, 3 – механічний фільтр; 4 – мембранний апарат

Розчин після прання у машині 1 збирається в ємності 2, де проводиться його підготовка до розділення. На механічному фільтрі 3 з розчину виділяються великі тверді частинки, в мембранному апараті утворюється пермеат з тією ж концентрацією ПАВ, що і в скидному розчині, але звільнений від усіх видів забруднень. Витрата концентрату може бути доведена до 0,5-1,0% від початкового.

#### 3.4 Очищення стічних вод, що містять білкові сполуки

Ці стічні води утворюються у переробній і біотехнологічній промисловості: молочна сироватка після виділення сиру; бульйони після варіння риби при виробництві рибного борошна; культуральні рідини після виокремлення з них продуктів мікробного синтезу, барда після відгону спирту з браги. Особливістю таких стоків є такі обставини :

- білкові сполуки мають дуже велику молекулярну масу ( $M. M. > 20000$ ), але концентрація їх у стічних водах низька для того, щоб виділяти їх денатурацією – нагріванням, висолювання або коагуляцію нерозчинником;

- усі білки є цінною харчовою чи кормовою добавкою;
- як правило, інші компоненти стоків – органічні та мінеральні з'єднання – мають малі молекулярні маси.

Яскравим прикладом є переробка стічних вод сироварних заводів. Сир є денатурованим молочним білком - казеїном, який практично повністю утилізується. Але паралельно з казеїном в молоці знаходяться так звані сироваткові білки, харчова цінність яких набагато вище, ніж у казеїну. Вони залишаються в розчині, тобто в сироватці, й до появи мембранних процесів весь потік цілком скидався в каналізацію. Сьогодні сироваткові білки уловлюються в ультрафільтраційному концентраті та служать для виготовлення спеціальних продуктів харчування.

У пермеаті ультрафільтрації міститься лактоза – молочний цукор, яку концентрують зворотним осмосом, сушать і використовують у кондитерській промисловості.

#### **Розділ 4. Обробка осадів стічних вод**

У процесах біохімічного очищення в первинних і вторинних відстійниках утворюються великі маси 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%); умістом 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;
- 6) 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, луги 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

$$i = (2 P \cdot F_2 / \eta \cdot m_{\text{уд}}) b, \quad (4.1)$$

де  $P$  – тиск (вакуум), при якому відбувається фільтрування;  $F$  – площа фільтруючої поверхні;  $\eta$  – в'язкість фільтрату;  $m_{\text{уд}}$  – 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:

$$K_p = w_0^2 / (g \cdot r), \quad (4.2)$$

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 поршневим 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  $x_o$ :

$$h_{oc} \cdot S = x_o \cdot V, \quad (4.6)$$

звідки товщина осаду становитиме

$$h_{oc} = x_o S V. \quad (4.7)$$

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, м<sup>-2</sup>.

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

$$dG_{ц} = dm \cdot \omega^2 / r = dm \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (4.9)$$

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
<i>Дроблення:</i>		
- велике	1000	250
- середнє	250	20
- дрібне	20	1 ... 5
<i>Помел:</i>		
- 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 (криогенне подрібнення). Робота А, 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 і 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:

$$A = \sigma \cdot V / (2 E), \quad (4.18)$$

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 нідзрюватих 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 ( $\alpha$  %):

$$E = 104 (\alpha - \nu) / \alpha (100 - \nu), \quad (4.22)$$

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:

$$KE = \beta - v, \quad (4.23)$$

де  $\beta$  і  $v$  – 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:

$$K_1 = (\gamma/\gamma_0)P_{пл}; K_2 = \sigma/P_{пл}, \quad (4.24)$$

де  $\gamma$  і  $\gamma_0$  – поточна і вихідна щільність гранулюючого матеріалу, т / м<sup>3</sup>;  $\sigma$  – межа міцності гранул при стисненні, Па;  $P_{пл}$  – тиск ущільнення, Па. Величини  $K_1$  та  $K_2$  дозволяють обґрунтовано 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  $P_{пл} > 80$  МПа і з добавками сполучного при тиску  $P_{пл} \leq 15 \dots 25$  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.

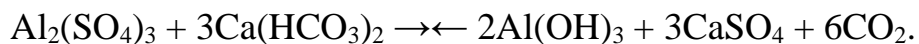
*Пресування при високих тисках* – один із способів поліпшення умов експлуатації полігонів (звалищ). Ущільнені відходи дають меншу кількість фільтрату і газових викидів, при цьому знижується ймовірність виникнення пожеж.

### **4.3 Фізико-хімічні основи обробки та утилізації відходів**

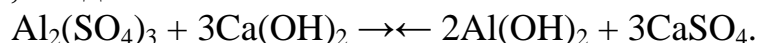
#### **4.3.1 Реагентна обробка осадів стічних вод**

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

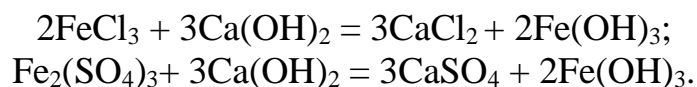


Утворені пластівці гідрату захоплюють суспензовані й знаходяться у водному середовищі в колоїдному стані речовини і за сприятливих гідродинамічних умов швидко осідають в ущільнювачі та добре віддають



воду на апаратах для механічного зневоднення шляхом фільтрації або центрифугування.

При застосуванні солей заліза утворюються нерозчинні гідроксиди заліза



Найбільший ефект коагулювання досягається при  $\text{pH} = 4 \dots 8,5$ . Із точки зору повноти реакції та економії реагенту велике значення має добре й швидке його змішання з оброблюваним осадом. Сірчаноокисле оксидне залізо менш ефективне, 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 (автоклавної) кристалізацію, що забезпечує отримання кристалогідратів з мінімальним вмістом 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, віднесenu 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, створюваного 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 оснований 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 знешкоджувати мінералізовані стоки, є термічні. Тут можливі такі напрями:

- значне зменшення обсягів стоків при їх граничному концентруванні й зберіганні 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 розпилувальну 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 ґрунтоване на тому, що кількість солей у кристалах льоду значно менше, ніж у розчині, й 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 базується 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 гідратуутворення 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

випаровуванню. 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.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Яковлев С.В., Карелин С.В., Ласков Ю.М., Калицун В.И. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов. – М.: Стройиздат, 1996. –591 с.
3. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов. – М.: АСВ, 2004. –704 с.
4. 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.
5. Рациональное использование и защита водных ресурсов в черной металлургии / Красавцев Г.Н., Ильичев Ю.И., Кашуба А.И. – М.: Металлургия, 1989. – 288 с.
6. Водоснабжение, канализация и очистка сточных вод коксохимических предприятий / Григорук Н.О. – М.: Металлургия, 1987. – 120 с.
7. Ансеров Ю.М., Дурнев В.Л. Машиностроение и охрана окружающей среды. –Л.: Машиностроение. Ленингр. отд., 1979. –224 с.
8. Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях / В.М. Макаров, Ю.П. Беличенко, В.С. Галустов. – М.: Машиностроение, 1988. –272 с.
9. 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.
10. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. / Под ред. В.Н. Самохина. – Изд. 2-е. М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
11. Долина Л.Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для механической очистки производственных сточных вод: учеб. пос. – Днепропетровск: Континент. – 2004. –93 с.
12. Долина Л.Ф. Проектирование и расчет сооружений и установок для физико-химической очистки производственных сточных вод: учеб. пос. – Днепропетровск: Континент, 2004. –127 с.
13. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химической промышленности. – Л.: Химия, 1977. – 464 с.
14. СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1986.
15. Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. – Л.: Стройиздат, 1990. –224 с.
16. Молоков М.В. Очистка поверхностного стока с территории городов промышленных площадок. – М.: Стройиздат, 1977. – 104 с.

17. Соколов Л.И. Ресурсосберегающие технологии в системах водного хозяйства промышленных предприятий. – М.: АСВ, 1997. –256 с.
18. Алферова А. А., Нечаев А. П. Замкнутые системы водного хозяйства промышленных предприятий, комплексов и районов. – М.: Стройиздат, 1987.
19. Проблемы развития безотходных производств /Б. Н. Ласкорин, Б. В. Громов, А. П. Цыганков, В. Н. Сенин. – М.: Стройиздат, 1985.
20. Кафаров В. В. Принципы создания безотходных химических производств. – М.: Химия 1984.
21. Беспмятнов Г. П. Предельно допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде. – Л.: Химия, 1987.
22. Абрамович С. Ф. Раппорт Я. Д. Тенденции развития водоснабжения городов за рубежом. Обзор. – М.: ВНИИИС, 1987.
23. Туровский И. С. Обработка осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1984.
24. Евилевич А. З. Утилизация осадков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1989.
25. А. Г. Банников, А. К. Рустамов, А. А Вакулин. Охрана природы. – М.: Агропромиздат, 1987.
26. 25 Капинос П.И., Панесенко Н.А. Охрана природы. – К.: Выща школа 1991.
27. Охрана окружающей природной среды /Под ред. Г. В. Дуганова. К.: Выща школа 1990.
28. Комплексное использование и охрана водных ресурсов/ Под ред. О. А. Юшманова. – М.: Агропромиздат, 1985.
29. Методы охраны внутренних вод от загрязнения и истощения / Под ред. И. К. Гавич. – М.: Агропромиздат, 1985.
30. 29. Охрана производственных сточных вод и утилизация осадков / Под ред. В. Н. Соколова. – М.: Стройиздат, 1992.
31. 30. Комарова Л.Ф. Инженерные методы защиты окружающей среды. Техника защиты атмосферы и гидросферы от промышленных загрязнений: учебное пособие. – Барнаул, 2000. – 391 с.
32. Стахов Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов. – Л.: Недра, 1983. – 263 с.
33. Когановский А.М. Очистка и использование сточных вод в промышленном водоснабжении. – М.: Химия, 1983. – 288 с.
34. КНД 211.0.009-94 "Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних та технологічних вод."
35. КНД 211.1.2.008-94 "Гідросфера. Правила контролю складу і властивостей стічних та технологічних вод."
36. "Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами" Постанова Кабінету Міністрів України №465 від 25.03.1999 р,
37. Водний Кодекс України//ВВР. – 1995 – № 24.

**Навчальне видання**

**Степова Олена Валеріївна**

**Навчальний посібник з дисципліни «Технології захисту довкілля»,  
модуль 2: Очищення стічних вод**

---

Відповідальний за випуск О.Е. Ілляш  
Комп'ютерна верстка О.В. Степова  
Редактор в авторській редакції  
Коректор

---

Підписано до друку «\_\_» 2023 р. Папір ксерокс.  
Формат 60x88 1/16. Друк RISO  
Обл. – вид. арк. 6,7. Тираж 20 примірників

0447

---

Поліграфічний центр  
Національного університету «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 НУПП імені Юрія Кондратюка