

**В.В. Дорощенко, І.Г. Коцюба, Т.О. Єльнікова,  
О.І. Уваєва**

# **ВОДОПІДГОТОВКА**

**Навчальний посібник**

ЖИТОМИР  
2020

УДК 502.53

Рекомендовано Вченою радою  
Державного університету «Житомирська політехніка»  
(протокол №\_\_ від \_\_. \_\_.2020 р.)

*Рецензенти:*

**Р.В. Соболевський** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедрою маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка»

**Л. А. Котюк** – доктор біологічних наук, доцент, завідувач кафедрою загальної екології Поліського національного університету

**О. В. Гарбар** – доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедрою екології та географії Житомирського державного університету імені Івана Франка

**В.В. Дорошенко, І.Г. Коцюба, Т.О. Єльнікова, О.І. Уваєва**

Водопідготовка: навчальний посібник. / В.В. Дорошенко, І.Г. Коцюба, Т.О. Єльнікова, О.І. Уваєва. – Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – 153 с.  
ISBN

У навчальному посібнику розглянуто технології, а також окремі методи і засоби, які дозволяють забезпечувати високий екологічний і економічний ефект очищення природних і стічних вод промисловими і комунальними комплексами. Наведено схеми будови і методики розрахунків параметрів найбільш поширених на сучасному етапі і перспективних очисних споруд і пристроїв. Для деяких галузей народного господарства запропоновано приклади технологічних ліній очищення забруднених потоків води, які випробувані на провідних підприємствах України та інших країн.

Посібник призначений для студентів і викладачів природничо-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів.

© Дорошенко В.В.,

© Коцюба І.Г.

© Єльнікова Т.О.

© Уваєва О.І.

ISBN 978-966-683-552-2

## ВСТУП

Інтенсивний розвиток промисловості, комунального і сільського господарства спричиняє забруднення водного і повітряного середовища шкідливими речовинами різного походження. Погіршення стану водного середовища йде у трьох напрямках: забруднення, засмічення й виснаження. Домінуючим негативним фактором впливу на водні об'єкти є забруднення, якому слід приділяти найбільшу увагу з боку водогосподарських організацій і контролюючих установ.

Під забруднення водних ресурсів розуміють будь-які зміни фізичних, хімічних і біологічних властивостей води у водоймах та річках у зв'язку зі скиданням в них рідких, твердих і газоподібних речовин, які запобігають або можуть створити незручності, коли вода даних водойм стає небезпечною для здоров'я населення й виробництва та завдає збитку народному господарству.

Це вимагає від відповідних державних органів України прийняття рішень і здійснення заходів щодо збереження водних ресурсів. Для втілення цих рішень в життя в першу чергу слід на підприємствах і системі комунального господарства впроваджувати екологічно-безпечні технології виробництва продукції, системи замкнених технологічних циклів, утримуватись від скиду забруднених або недостатньо очищених стічних вод і повітряних потоків в навколишнє природне середовище.

За останні десятиліття на підприємствах країни побудовано велику кількість очисних споруд і пристроїв. Проте використані технології морально застаріли і малоефективні. Здебільшого проводиться грубе очищення, часто методами нейтралізації шкідливих речовин. Згідно з цими технологіями, один вид забруднень перетворюється на інший, проте не усувається повністю. Забруднення водного і повітряного середовища не тільки не припиняється, а навпаки, збільшується. Природні біологічні процеси, що відбуваються у водоймах і повітрі не забезпечують їх повного самоочищення.

В даний час розроблено велику кількість нових технологій очищення стічних вод і забруднених повітряних потоків, конструкцій очисних споруд і пристроїв, які дозволяють здійснювати зворотне і повторне використання очищеної води; доочищення виробничих вод на загальних міських очисних спорудах; регенерувати з послідуною утилізацією і рекуперацією найбільш цінних забруднюючих домішок. На превеликий жаль більшість цих технологій і конструкцій повільно впроваджуються у виробництво або зовсім не освоюються. Тому

треба, щоб фахівці екологічного напрямку мали уяву про особливості боротьби з надходженням різних забруднюючих речовин до навколишнього середовища і, при необхідності, приймали участь разом з відповідними державними органами і керівниками підприємств в розв'язанні проблем по покращенню екологічного стану в містах та інших місцевостях шляхом розробки науково-обґрунтованих заходів.

Особлива увага в навчальному посібнику приділяється технологіям, а також окремим методам і засобам, які дозволяють забезпечувати високий екологічний і економічний ефект очищення рідинних і газових викидів промисловими і комунальними комплексами в навколишнє середовище. Наведені схеми будови і методики розрахунків параметрів найбільш поширених на сучасному етапі і перспективних очисних споруд і пристроїв. Для деяких галузей народного господарства запропоновані приклади технологічних ліній очищення забруднених потоків води, які випробувані на провідних підприємствах України та інших країн.

# РОЗДІЛ 1

## СТАН ЗАБРУДНЕННЯ ТА ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРИРОДНИХ ТА СТИЧНИХ ВОД

### 1.1. Шляхи забруднення водних джерел

На сучасному етапі розвитку суспільства майже неможливо знайти річку, водосховище або озеро з якісною водою, яка була б безпечна для здоров'я людини і мала приємний смак. Лише високо в горах, в тайзі або тундрі невеличкі річки і озера можуть мати непогану воду. В значно більш вигіднішій ситуації опиняються підземні води, особливо ті, які розташовані на значних глибинах. Під час свого руху у водоносних пластах вони поступово очищуються.

Водні джерела можуть забруднюватись природними або, найчастіше, неочищеними та недостатньо очищеними стічними водами міст, селищ, підприємств, теплових і атомних станцій, дренажними водами сільськогосподарських угідь, тощо. Так, в 2015 році у воду басейну річки Дніпро потрапило 7,4 км<sup>3</sup> стічних вод, з яких лише 5,4 км<sup>3</sup> нормально очищених. Що розуміють під забрудненням води? Це несприятливі зміни складу та властивостей води в результаті надходження речовин, які спричиняють погіршення її якості.

Окрім забруднення, водні джерела можуть ще й засмічуватись та вичерпуватись. Засмічування - це скидання в річки і водойми таких речовин, які не впливають на якість води (металобрухт, пластмаси, цегла, уламки бетону і залізобетону, тощо), але погіршують режим руху води і естетичний вигляд джерела.

Вичерпання - це забір з водного джерела такої кількості води, яка загрожує існуванню його самого, а також організмів, що мешкають в ньому.

Природний шлях забруднення водних об'єктів починається ще до формування поверхневого стоку, коли вода перебуває в стані атмосферних опадів і в ній розчиняються хімічні елементи, які переносяться вітром.

Другий шлях надходження забруднюючих речовин - це змив потоками води з поверхні ґрунту часток органічного та мінерального походження, а також розмивання річками різних гірських та рихлих порід, розчинення утримуваних там хімічних елементів. Все це зумовлює каламутність поверхневих потоків, а іноді запахи, присмаки, твердість і надлишковий зміст солей у воді. Усі ці домішки мають бути вилученими на очисних спорудах системи водопостачання.

Найжорсткішим навантаженням на водні екосистеми є -

антропогенне. В першу чергу, це виробничі стічні води, як результат недосконалих технологій, коли чиста вода використовується для транспортування побічних відходів виробництва, або для охолодження агрегатів. Є виробництва з безвідходними технологіями і без скидань забруднюючих стоків у водойми, але їх вкрай недостатньо. Промислові води повинні очищуватись на власних очисних спорудах, а потім або повторно використовуватись в системах зворотного водопостачання або скидатись в міську каналізацію для доочищення або безпосередньо у водойми.

Однак, в більшості випадків, промислові стічні води в силу недосконалих методів очищення є джерелом забруднення річок, водойм і підземних вод. Так, за даними наукових спостережень на Україні близько 70% забруднюючих речовин потрапляє у водойми з промисловими стоками і особливо, в нафтохімічній, металургійній і харчовій промисловості.

На другому місці за кількістю відведення стічних вод перебувають побутові або фекальні води з житлових масивів міст і селищ міського типу. Значна кількість забруднюючих речовин змивається дощовими та талими водами з поверхні територій міст, селищ та промислових підприємств. Централізованими системами каналізації в 2015 році було забезпечено 94% міст, 50% селищ міського типу і 3% сільських населених пунктів з тих, які мають централізовану систему водопостачання. Очисні споруди часто працюють із значним перевантаженням, а в багатьох селищах представлені найпростішими з них - полями фільтрації.

Значна кількість забруднюючих речовин змивається у водойми з сільськогосподарських угідь. Причинами забруднення тут є велика розораність площі басейнів річок, ерозія і меліорація земель. Так, розораність водозбірної площі басейну Дніпра становить 65%, а в Херсонській області і на деяких річках інших регіонів 80...85%. Тоді як, оптимальним рівнем розораності вважають 40%. Територія басейну, яка вкрита лісом в середньому становить 14%, тоді як оптимальний її рівень - 30%.

Площа еродованих земель лише за останні 25 років збільшилась на 28%, а загальний вміст гумусу в них зменшився на 10%.

Надлишкове дренавання ґрунту при проведенні меліорації є причинами виносу дренажними водами в природні водойми значної кількості хімікатів.

В ряді випадків стоки з тваринницьких комплексів є постачальниками в природні водойми великої кількості азоту, фосфору і калію, а також хвороботворних мікроорганізмів.

Скидання води тепловими і атомними станціями зумовлює теплове забруднення водойм, що стимулює ріст синьо-зелених водоростей, які після відмирання отруюють воду і спричиняють загибель риби.

При сплаві лісу, окрім безпосереднього механічного пошкодження риби і їх нерестилищ вода забруднюється сполуками із смоли, які, розкладаючись, поглинають кисень, що зумовлює загибель риби.

Під час аварії на Чорнобильській АЕС і після неї в річки басейну Дніпра надійшла значна кількість радіонуклідів. Водосховища Дніпровського каскаду є своєрідними накопичувачами радіоактивних забруднень, які в основному перебувають в донних відкладах і поступово під час великих повеней мігрують від верхнього (Київського) до нижнього (Каховського) водосховища і далі в Чорне море. Небезпека тут виявляється при вживанні рибами і водоплаваючою птицею найпростіших мікроорганізмів, жуків, черв'яків, тощо які накопичують радіонукліди в своїх організмах.

Для того, щоб річки і водойми не перетворились в стічні канали і їх воду можна було використовувати для господарсько-питних, культурно-побутових і інших цілей, необхідно всі стічні води до скидання у водойми позбавити, якщо не від усіх, то хоча б, від більшої частини забруднень.

## **1.2. Характеристика домішок в природних водах**

Вода в природних джерелах ніколи не буває абсолютно чистою. В ній присутні різноманітні домішки, які погіршують якість води, а також стан водних джерел і тому вважають забруднюючими елементами.

За своїм походженням всі забруднюючі речовини в природних водах ділять на мінеральні, органічні, бактеріальні і біологічні.

До *мінеральних забруднень* відносяться пісок, глинисті частинки, частки руди, шлаку, розчини мінеральних солей, кислот, лугів, мінеральні масла, залізо, кальцій і інші неорганічні речовини.

До *органічних забруднень* відносяться речовини рослинного і тваринного походження. До рослинних відносять: рештки рослин, плодів, злаків, папір, олія і інші. До забруднень тваринного походження відносяться фізіологічні виділення людини і тварин, залишки м'язових і жирових тканин, клеєві речовини та інші.

*Бактеріальні і біологічні* забруднення це різні мікроорганізми: дріжджові і цвільові грибки, дрібні водорості, бактерії, в тому числі, хвороботворні - збудники шлункового тифу, паратифу, дизентерії і

інших. Останній вид забруднень, в основному, спостерігається в побутових стічних водах, а також в деяких виробничих стоках, що надходять з шкіряних заводів, вовномийок, м'ясокомбінатів, біофабрик тощо. За своїм хімічним складом вони відносяться до органічних забруднень, але складають окрему групу в зв'язку з особливою взаємодією із забруднюючими речовинами інших видів.

Якщо співвідношення мінеральних і органічних речовин в побутових водах відповідно дорівнює 42 % і 58 %, то у виробничих стічних водах надати і спрогнозувати співвідношення цих забруднюючих речовин неможливо в зв'язку з різноманітністю технологічних процесів, які можуть змінюватись в часі. Найбільш типовими і шкідливими речовинами промислових стоків є феноли, синтетичні поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, важкі метали (ртуть, цинк, залізо), органічні речовини. Виробництва сільськогосподарського напрямку забруднюють водні джерела отруйними хімікатами та добривами, мінеральними частками, які змиваються з полів під час водної ерозії і меліорації.

*Нерозчинені речовини.* Велика кількість домішок, які забруднюють природні та стічні води, вимагає класифікованого підходу для їх визначення і вилучення. Така науково обґрунтована класифікація була зроблена академіком Л.А. Кульським і покладена в основу розробки різноманітних способів очищення природних і стічних вод. Відповідно цій класифікації вибір методів очищення води визначається насамперед фізичним станом домішок, а, точніше, їх дисперсністю.

Нерозчинені речовини в стічних водах знаходяться в грубому або тонкодисперсному стані.

До грубих відносять частки розміром понад 0,1 см. Це великі частки дерев, рослин, тварин, одяжі і інші, які вилучаються за допомогою решіток або сіток з великими комітками.

До грубодисперсних домішок відносять такі, які мають розмір  $10^{-1} \dots 10^{-5}$  см (1000...0,1 мкм). Сюди входять глинисті частинки, карбонатні породи, мул, дрібний пісок, малорозчинні гідроксиди металів, завислі частки органічних речовин, детрит, планктон, волокна, нафтопродукти, жири тощо. Ці речовини в потоках знаходяться в завислому стані, й в спокійній воді випадають в осад або спливають. Їх маса в лабораторних умовах може бути визначена шляхом фільтрування на паперових фільтрах і висушування при температурі 105°C.

Тонкодисперсні нерозчинені домішки колоїдні мають розміри  $10^{-5} \dots 10^{-6}$  см (0,1...0,01 мкм). Це переважно мінеральні та органі-



мінеральні частинки ґрунтів, гумусу, віруси, що наближаються за розмірами до колоїдних часток, високомолекулярні сполуки. Всі ці речовини утворюють з водою відносно стійкі колоїдні системи. Вміст колоїдів в побутових стічних водах дорівнює 30...40 % від загального об'єму забруднюючих речовин. Тонкодисперсні частки з малими розмірами і вагою не в змозі подолати опір рідинного середовища, що виникає при їх русі вниз під дією сили тяжіння, практично не осаджуються і завжди знаходяться в завислому стані.

Осаджуючими речовинами є такі, які випадають на дно посудини при відстоюванні в лабораторних умовах протягом 2-х годин. В побутових стічних водах кількість завислих речовин з розрахунку на одну людину дорівнює 65 г на добу. З них в осад випадає 35-50 г, що дорівнює 60...75% загальної маси.

У виробничих стічних водах характер завислих речовин, і як наслідок, осад може бути дуже різноманітним.

Ті речовини, що мають густину менше густини води, спливають в посудині при відстоюванні. Це жири, нафтопродукти, масла та інші органічні речовини.

*Розчинені речовини ( $d < 0,001$  мкм.).* Хімічний склад розчинених речовин в стічних водах можна поділити на дві групи:

- 1) ті, що утворюють молекулярні розчини;
- 2) ті, що утворюють іонні розчини.

До першої групи відносяться розчинені у воді гази та органічні сполуки як біологічного, так антропогенного походження. До них належать різноманітні продукти життєдіяльності та відмирання цвільових грибів, актиноміцетів, бактерій, водоростей, а також феноли, спирти, альдегіди та інші високомолекулярні сполуки, що надають воді забарвлення, запах або присмак.

Друга група охоплює велику різноманітну кількість хімічних речовин (солі, луги, кислоти), які зумовлюють мінералізацію, твердість, лужність або кислотність води. Молекули цих речовин здібні розпадатись на іони, а суміш цих речовин з водою утворює електроліти.

Характерною особливістю побутових вод є наявність значної кількості азоту, який знаходиться у формі газоподібного аміаку або в іонній формі солей аміаку. Наявність і кількість кожного з цих видів залежить від рН і температури води. При  $\text{pH} < 7$  присутні лише іони амонію, при  $\text{pH} < 12$  обидві форми. З підвищенням температури води кількість газоподібного азоту зменшується, а іонного - зростає.

### 1.3. Загальні і гранично допустимі показники забрудненості води

Характеристика забрудненості стічних і природних вод може здійснюватися за багатьма показниками. Найбільш поширений показник це загальний вміст забрудненої речовини в одиниці об'єму води. Він виражається у вагових (мг/л, г/м<sup>3</sup>) або в об'ємних (см<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>, л/м<sup>3</sup>) одиницях. Загальна оцінка забрудненості води може також здійснюватися в градусах, балах, водневому показнику та ін. Бактеріальне забруднення оцінюється за колі-індексом або колі-титром. Кількість забруднюючих речовин в одиниці об'єму води (мг/л, г/м<sup>3</sup>) називають концентрацією забруднюючої речовини або загальною концентрацією забруднення води. Так загальна концентрація забруднюючих речовин, що надходять від житлового масиву міста від одного мешканця на добу, може бути визначена за формулою:

$$C = \frac{a}{q} \cdot 1000, \quad (1.1)$$

де  $C$  - концентрація забруднень, мг/л;

$a$  - кількість забруднюючих речовин в г, що надходять від однієї людини за добу;

$q$  - норма водовідведення, л/доб.

Величина  $C$  залежить від благоустрою житлових приміщень і змінюється в широкому діапазоні від 180 до 1300 мг/л.

Якщо один вид забруднень надходить від двох джерел з різною концентрацією (наприклад з побутовими і виробничими стоками), то визначається середня вагова концентрація  $C_{см}$  за формулою:

$$C_{см} = \frac{C_{поб} Q_{поб} + C_{вир} Q_{вир}}{Q_{поб} + Q_{вир}}. \quad (1.2)$$

де  $C_{поб}$  і  $C_{вир}$  - концентрації забруднень відповідно в побутових і виробничих стічних водах, мг/л;

$Q_{поб}$  і  $Q_{вир}$  - витрати побутових і виробничих стічних вод, л/с.

Ступінь забрудненості, як стічних, так і виробничих вод органічними речовинами може бути визначена за вмістом кисню, який витрачається на біохімічне окислення цих речовин аеробними мікроорганізмами. Ця величина носить назву біохімічної потреби в кисні (скорочено *БПК*) і виражається в мг/л або г/м<sup>3</sup>. БПК показує потребу кисню для нерозчинених, колоїдних і розчинених органічних речовин для їх повного біохімічного окислення при температурі 20 С і позначається як *БПК<sub>пов</sub>*. Щоб цей процес здійснився, треба не менше 100 діб, що недопустимо для виробничих умов. Тому найчастіше біохімічна потреба в кисні визначається протягом 20 діб і позначається як *БПК<sub>20</sub>*. В експрес-аналізах потреба в кисні може бути визначена протягом 5 діб (*БПК<sub>5</sub>*). Між цими показниками оцінки забрудненості води органічними речовинами є такі залежності:

$$БПК_{пов} = 1,5 БПК_5 \quad (1.3)$$

$$БПК_{20} = 1,2 БПК_5 \quad (1.4)$$

Так як деякі органічні речовини (хлорорганічні, пестициди, органічні барвники) не окислюються біохімічним шляхом, а знешкоджуються іншими хімічними способами, для яких також потрібен кисень в додатковій кількості, то тоді сумарна потреба в кисневій називається хімічною потребою в кисні і позначається *ХПК*. Для побутових стічних вод співвідношення між *БПК<sub>20</sub>* і *ХПК* приблизно дорівнює 0,86, а для виробничих воно наближено до 0,5.

Важливим показником забрудненості є також активна реакція рН, за допомогою якої встановлюється перевищення оптимального вмісту в розчині стічних вод кислот (рН < 7) або лугів (рН > 7).

Для бактеріального забруднення існують два показники колі-титр і колі-індекс, в основі яких покладений вміст кишкових паличок в одиниці об'єму води.

*Граничні показники забрудненості природних водних джерел* в багатьох випадках залежать від напрямку їх господарського використання. Органи Державного нагляду встановили три напрями (категорії) використання поверхневих водних джерел. Це водойми господарсько-питного, культурно-побутового і рибогосподарського призначення. Для кожної категорії Законом України "Про охорону навколишнього середовища" і "Правилами охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами" встановлено нормативи забруднення.

Основним показником ліміту забруднення для водних об'єктів є ГДК (гранично допустимі концентрації) по кожному виду шкідливих речовин. Для токсичних (хімічних) речовин ГДК встановлено такої величини, які відповідають призначенню водойми. Органолептичні показники лімітуються правилами для водойм першої та другої категорій в таких розмірах:

- після змішування стічних вод з природною, вміст розчиненого кисню повинен становити не менше 4 мг/л, а БПК менше 3 мг/л;
- вміст завислих речовин після скидання стічних вод не повинен зростати більш ніж на 0,25 мг/л і 0,75 мг/л для водойм відповідно першої і другої категорій;
- вода не повинна мати запахи та присмаки інтенсивністю понад 2 бали; водневий показник (рН) повинен бути в межах 6,5...8,5;
- загальна мінералізація (за сухим залишком) не повинна перевищувати 1000 мг/л для водойм першої категорії;
- температура води в водоймі після скиду в неї стічних вод не повинна підвищуватись більш ніж на 3 градуси по шкалі Цельсія порівняно із середньомісячною температурою найтеплішого місяця року;
- коли-індекс повинен бути не більше 1000;
- отруйні речовини шкідливі для здоров'я людини, не повинні міститися в стічних водах;
- для водойм рибогосподарського призначення деякі органолептичні показники ліміту відрізняються від перших двох груп. Так кількість розчиненого кисню не повинна бути менше бмг/л, а температура - підвищуватись не більше ніж на 5° С.

#### **1.4. Умови скидання стічних вод в поверхневі водні джерела**

Скидання стічних вод в поверхневі водні об'єкти здійснюють тільки за умовами виконання вимог, встановлених для кожної категорії водойм.

Основним показником ліміту скидання забруднюючих речовин у водойми є ГДК. Однак цей показник повинен визначатись не в місцях скиду стічних вод, а на певній відстані від нього (контрольні створи), які залежать від категорії водного об'єкту, швидкості руху води в ньому і місця знаходження водозаборів технічного і питного призначення або водозаборів харчової промисловості (рис.1).

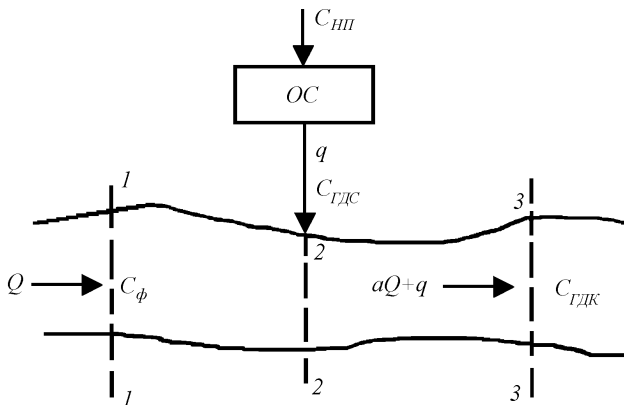


Рис. 1.1. Схема руху потоків води і забруднюючих речовин:  
1-1 – фоновий створ; 2-2 – скидний створ; 3-3 – контрольний створ

Контрольні створи для проточних водойм першої і другої <sup>1</sup> категорій встановлюють нижче за течією, але на 1 км вище пункту використання: на непроточних - на 1 км по обидва боки від місця використання.

На водоймах рибогосподарського призначення відстань від випуску стічних вод до контрольних створів дорівнює 500 м за течією на проточних і в два боки на непроточних. Чим далі від місця скиду розташований контрольний створ, тим більше ліквідується забруднюючих органічних речовин, що потрапили у водойми із стічними водами. Цей процес називається самоочищенням. Чим більша турбулентність потоку, насиченість води киснем, підвищена температура води, тим інтенсивніше проходить самоочищення. Другий позитивний фактор віддаленості контрольного створу - це збільшення розбавлення забрудненої плями, що утворюється в місці скиду стічних вод у водойми, і рухається вниз за течією, внаслідок чого зменшується концентрація шкідливих речовин.

Зв'язок між санітарними вимогами що до скидання стічних вод. їх об'ємом, рівнем очищення зі станом якості і кількості води в проточному водотоці встановлюється за допомогою балансового рівняння руху води і забруднюючих речовин:

$$C_{ГДС} q + aQC_{\phi} \leq Ca (Q+q) C_{ГДК} \quad (1.5)$$

де  $Q$  - витрати води у водотоці, м<sup>3</sup> /с;

$q$  - витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с;  
 $C_{\phi}$  - фонові концентрації будь-якої забруднюючої речовини, мг/л;  
 $C_{ГДС}$  - гранично допустима концентрація того ж виду забруднення в стічних водах, після їх очищення мг/л;

$C_{ГДК}$  - ГДК мг/л;

$a$  - коефіцієнт змішування.

Значення  $Q$  визначають за даними гідрометеорологічної служби;  
 $q$  - за технологічними розрахунками величини водовідведення.

Фонова концентрація  $C_{\phi}$  визначається за даними натурних замірів в так званому фоновому створі, який знаходиться вище за течією води у водотоці. Цей створ розташовують на такій відстані від місця скиду стічних вод, щоб виключався їх вплив на якість води у водоймищі.

Коефіцієнт змішування  $a$  - залежить від багатьох чинників: конструкції водозливних споруд, гідравлічних характеристик потоків у водоймищі і зливному колекторі, гідрологічних параметрів русла річки, водосховища або озера, відстані до контрольного створу.

Виходячи з рівняння (1.5) одержуємо формулу для визначення  $C_{ГДС}$  в межах допустимих концентрацій шкідливих речовин в стічних водах:

$$C_{ГДС} \leq \frac{aQ}{q} (C_{ГДК} - C_{\phi}) + C_{ГДК}. \quad (1.6.)$$

#### 1.4.1. Коефіцієнт змішування

Співвідношення забрудненої частини потоку до всієї кількості води в річці називається коефіцієнтом змішування і позначається на розрахунковій схемі літерою "а".

Коефіцієнт змішування залежить від багатьох чинників: умов скиду стічних вод у річку, швидкості води в річці та скидному колекторі, глибини і турбулентності потоку, звивистості русла, відстані до контрольного створу від місця скидання стічних вод.

Величина коефіцієнта змішування знаходиться за формулою:

$$a = \frac{Q_n}{Q}, \quad (1.7)$$

де  $Q_n$  – витрата води в плямі в місці розташування контрольного створу, м<sup>3</sup>/с.

В свою чергу витрата води в плямі визначається таким чином:

$$Q_n = nq, \quad (1.8)$$

де  $n$  – кратність перемішування, яка дорівнює добутку двох величин:

$$n = n_n \cdot n_o, \quad (1.9)$$

де  $n_n$  – кратність початкового перемішування, яке утворюється при виході стічних вод у річку;

$n_o$  – кратність основного перемішування, що пов'язано із збільшенням розмірів плями в міру пересування її вниз за течією води в річці.

Скид води з очисних споруд в річку звичайно здійснюється за допомогою трубчастого колектору, діаметр ( $d_k$ ) якого визначають, виходячи з того, що швидкість води в ньому ( $V_k$ ) повинна 2...2,5 рази більше, ніж швидкість води в річці ( $V_p$ ). Швидкість води в річці визначається гідрометричним шляхом. Скидний колектор може прокладатись до берега річки або по дну до середини.

При випуску стічної води з колектору утворюється пляма, форма якої наближена до кола. Діаметр цієї плями ( $D$ ) визначається за формулою:

$$D = \frac{1,972d_k}{\sqrt{\frac{\left(1 - \frac{v_p}{v_k}\right)(v_k - v_p)^2}{1,92 + \frac{v_p}{v_k}(v_k - v_p)}}} \quad (1.10)$$

де  $d_k$  – діаметр водовипуску колектору, який знаходиться за умовами пропуску стічних вод по ньому з швидкістю, що перевищує швидкість води у річці в 2...2,5 рази, м;

$v_p$  – швидкість води у річці, м/с;

$v_k$  – швидкість води в скидному колекторі, м/с.

В залежності від співвідношення витрат води в плямі  $Q_n$  в річці ( $Q_p$ ) визначається кратність початкового перемішування. Так при  $Q'_n \leq Q_p$  величина  $n_n$  знаходиться за формулою:

$$n_n = \frac{Q'_n}{q}, \quad (1.11)$$

де  $q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с.

У випадку, коли  $Q_n > Q_p$ , тоді величина  $n_n$  дорівнює:

$$n_n = \frac{Q_p}{q}. \quad (1.12)$$

Кратність основного перемішування знаходиться за формулою:

$$n_o = 1 + \delta\gamma, \quad (1.13)$$

де  $\delta$  - величина, обернена  $Q_n$ , тобто:

$$\delta = \frac{1}{Q'_n}; \quad (1.14)$$

$\gamma$  – частина витрати води в річці, яка бере участь в перемішуванні при русі води від місця скидання до контрольного створу, визначається за методикою І. Д. Родзіллера.

При скиданні різних забруднювачів з однаковими ознаками шкідливості сумарна гранично допустима концентрація має не перевищувати 1, тобто:

$$\frac{C'}{C'_{ГДК}} + \frac{C''}{C''_{ГДК}} + \frac{C'''}{C'''_{ГДК}} + \frac{C^n}{C^n_{ГДК}} \leq 1, \quad (1.15)$$

де  $C'$ ,  $C''$ ,  $C'''$  і  $C^n$  – фактична концентрація кожної забруднюючої речовини в контрольному створі, мг/л.

### Контрольні запитання

1. В чому сутність таких негативних явищ у водних джерелах як: забруднення, засмічення та виснаження?

2. Які шляхи природного забруднення водних джерел (ВД)?

3. В чому сутність антропогенного забруднення ВД?

4. Промислове і сільськогосподарське забруднення.

5. Характеристика забруднюючих домішок за видом, крупністю та розчинністю.

6. Кількісне визначення стану забрудненої води. Концентрація забруднюючих речовин.

7. Гранично допустимі показники забруднення води.

8. За якими умовами забороняється скид стічних вод в природні джерела?



9. Яка методика визначення рівня очищення стічних вод очисними спорудами?

10. Які фактори визначають  $C_{ГДС}$ ?

11. На якій відстані від скиду стічних вод в річці і водоймах розташовані фоновий і контрольний створи?

12. За яких умов одержана формула для визначення  $C_{ГДС}$ ? Як вона виглядає?

13. Яка фізична сутність і методика визначення коефіцієнта змішування?

## РОЗДІЛ 2

### ФІЗИЧНІ, БІОХІМІЧНІ ТА ГІДРАВЛІЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ВИДАЛЕННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В НАСЛІДОК САМО- ТА ШТУЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

#### 2.1. Використання фізико-хімічних властивостей води

Вода має багато специфічних властивостей, які зумовлюють життєдіяльність значної кількості істот на землі, а також можливість застосування деяких прийомів очищення води від забруднюючих речовин.

Вода може перебувати в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому і пароподібному (газоподібному). Перша оригінальна властивість води полягає в тому, що її найбільша густина спостерігається при температурі  $+4^{\circ}\text{C}$ , а не при температурі  $0^{\circ}\text{C}$  (замерзання), що характерно для других рідин. Коли температура верхніх шарів води у водоймі знижується до  $+4^{\circ}\text{C}$  вони набувають максимальну важкість і опускаються вниз, а до поверхні водойми піднімаються більш охоложені легкі шари, які поступово перетворюються в лід. А лід за своїми фізико-хімічними властивостями набагато відрізняється від рідинного стану води. В ньому практично відсутні солі і інші хімічні елементи. На цій властивості води побудований один з прийомів очищення води – знесолювання.

Друга властивість води це здібність розчинювати майже всі речовини і в особливості гази. Об'єм розчинних газів у воді зростає з підвищенням її тиску і зниженням температури. Але при зниженні тиску або підвищенні температури рідини гази, що розчинені в ній поступово у вигляді бульбашок починають виділяться. На цьому явищі був одержаний закон, який називається законом Генрі.

#### 2.2. Застосування законів гідравліки до прийому очищення води

Відповідно закону Генрі об'єм газу, що виділився із рідини  $V_r$  визначається за формулою:

$$V_r = \frac{K_g P_p V_p}{P_r}, \quad (2.1)$$

де  $K_g$  – коефіцієнт розчинності газів при певній температурі;

$P_r$  і  $P_p$  – відповідно тиск в газі і в рідині; Па;  
 $V_p$  – об'єм рідини, м<sup>3</sup>

На цьому явищі працюють такі очисні і гідравлічні прилади, як флотатори і ерліфти.

Якщо, домішки мають питому вагу, яка дорівнює питомій вазі води – вони не осаджують і не спливають. Але, якщо крізь потоки води, що забруднена такими речовинами, перепускати бульбашки повітря, то до них прилипають ці речовини спливають на поверхню і, у вигляді піни, відводяться за межі очисної споруди.

В залежності від об'єму води, що подається або скидається, кількості і властивості домішок визначаються тип очисних споруд і їх розміри. Так, як очищення рідини здійснюється найчастіше в процесі її руху у відповідності з такими законами гідродинаміки, як рівняння нерозривності потоку:

$$\frac{v_1}{w_1} = \frac{v_2}{w_2}, \quad (2.2)$$

і рівняння Бернуллі для потоку реальної рідини:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g}, \quad (2.3)$$

де  $v_1$  і  $v_2$  – швидкість в двох поперечних перерізах потоку, м/с;

$w_1$  і  $w_2$  – площа поперечних перерізів потоку, м<sup>2</sup>;

$\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$P_1$  і  $P_2$  – відповідно тиск в першому і другому перерізах, н/м<sup>2</sup>.

В останнім рівнянні добуток  $g \rho$  відповідає питомій вазі рідини  $\gamma$ . На цих рівняннях побудована дія вставки Вентурі, а також розрахунки окремих частин очисних споруд, через які перепускають потоки води, що очищаються.

Частиною очисних споруд (відстійників, пісковловлювачів, нафто- і жироловлівачів) працюють на законах гравітації. Частки твердих речовин під впливом сили тяжіння починають випадати в осад, якщо швидкість зменшується до певних меж, а особливо до нуля. Чим більше маса частки тим більше  $v$  падіння. Швидкість падіння частки зверху униз у воді при температурі 10<sup>0</sup>С називається гідрологічною крупністю і має розмірність мм/с. Цей процес трапляється, якщо густина частки  $p_r$  більше густини рідини  $p_e$ . Якщо  $p_e > p_r$ , то йде спливання часток на поверхню води.

При виділенні тонкодисперсних домішок із води застосовують фільтри різних модифікацій, праця яких ґрунтується на законі Дарсі (фільтрації), сутність якого покладено в слідкуючому рівнянні:

$$Q = k_{\phi} S \frac{\Delta h}{l}, \quad (2.4)$$

де  $Q$  – витрати води, м<sup>3</sup>/доб;  
 $k_{\phi}$  – коефіцієнт фільтрації, м/доб;  
 $S$  – площа поперечного перерізу потоку, м<sup>2</sup>;  
 $\Delta h$  – тиск, м;  
 $l$  – відстань між перерізами, м.

Якщо вода рухається зверху – униз, то  $\epsilon = 0$ ,  $a = \frac{Q}{S} = v = k_{\phi}$ . Тому в розрахунках параметрів фільтра замість значень коефіцієнта фільтрації підставляють швидкість фільтрації.

При вилученні грубих і грубодисперсних речовин застосовують решітки та металеві сітки, а в розрахунках – основне рівняння гідродинаміки:

$$Q = vS, \quad (2.5)$$

де  $v$  – швидкість руху потоку, м/с.

Для видалення з води важких мінеральних переважно піщаних часток застосовують гідроциклони, які працюють на дії відцентрових сил.

Відцентрову силу, яка утворюється в наслідок вводу потоку води в циліндричний корпус циклона по дотичній до стінок, знаходять за формулою:

$$F = \frac{mv}{R}, \quad (2.6)$$

де  $m$  – маса частки, кг;

$v$  – швидкість потоку на вході в циклон, м/с;

$R$  – радіус циліндричного корпусу циклону, м.

Але формула (5) придатна не для всіх споруд працюючих на дії відцентрових сил. Так центрифуги, де відцентрові сили утворюються в наслідок обертання корпусу приладу, величина визначається за іншої формулою:

$$F = m W^2 R, \quad (2.7)$$

де  $W$  – кутова швидкість, яка в свою чергу знаходиться так:

$$W = \frac{\pi n}{30}, \quad (2.8)$$

де  $n$  – число обертів корпусу приладу, об/хв.

В процесі очищення води від розчинних речовин і окремих хімічних елементів використовують властивості деяких твердих речовин, які здатні сорбувати їх на своїй поверхні. Це явище називається адгезією. Деякі розчинники (екстрагенти) здібні вилучати із забруднених рідин органічні і хімічні домішки. Цей процес називається екстракцією.

Різновидністю адгезійних процесів є обмін іонами, що знаходяться в забрудненій рідині на іони твердих речовин (іонітів).

### 2.3. Самоочищення води в річках і водоймах

Під самоочищенням природних вод розуміють сукупність процесів, направлених на відновлення початкових властивостей, які були порушені при скиданні забруднених стічних вод.

Залежно від інтенсивності зовнішнього впливу на водну екосистему і характеру протікання в ній різних за своєю сутністю процесів відбувається або її повне відновлення, або водна система переходить в інший стан – стан стічної канами. Тобто, при скиданні стічних вод в природні водойми може відбуватись або не відбуватись їх самоочищення. При самоочищенні під впливом фізичних, хімічних та біохімічних процесів забруднювачі трансформуються в інші речовини, які або споживаються гідробіонтами, або випадають в осад, залишаючи свої токсичні і хвороботворні властивості.

**Фізичний механізм очищення.** До фізичного механізму очищення можна відносити газообмін на межі розділу атмосфера-вода, сорбцію, осідання і піднімання завислих речовин.

Завдяки газообміну здійснюється надходження у воду з атмосфери кисню. Кисень є необхідною умовою окиснення органічних речовин і переробки – мінералізації їх аеробними мікроорганізмами. Процес розчинення кисню залежить від тиску, температури і турбулентності потоку. Він проходить інтенсивніше при більш високих тисках і турбулентності, але при знижених температурах.

Процес сорбції пов'язаний з приєднанням до завислих речовин, донних відкладень і поверхні тіл гідробіонтів таких речовин як СПАР, важких металів і ряду колоїдних речовин органічного походження.

Процеси осідання і піднімання завислих речовин у водних об'єктах проходять безперервно, змінюючи один одного відповідно до швидкості та турбулентності потоку і крупності завислих речовин.

**Хімічний механізм очищення.** При хімічному очищенні може проходити процес фотосинтезу або гідролізу. В першому випадку здійснюється перетворення молекул речовин під дією поглинаючого ними світла. Більша частина сонячної енергії, яка поглинається водою, перетворюється в тепло і бере участь в фотохімічних реакціях. Діяльною частиною сонячного світла є ультрафіолетове випромінювання. Хоча воно поглинається лише десяти сантиметровим шаром води, однак, завдяки турбулентному перемішуванню, воно може поширюватись на більш глибокі шари потоку. Кількість речовин, що піддаються дії фотолізу, залежить від їх виду та концентрації у воді. Із забруднюючих речовин, що потрапляють у водні об'єкти, фотохімічному розкладу більше підлягають гумусні речовини.

**Гідроліз** – це реакція іонного обміну між різними речовинами і водою. Рівень гідролізу підвищується збільшенням розбавлення і підвищенням температури води. За допомогою гідролізу вилучаються як солі, що знаходяться в розчиненому стані, так і органічні речовини.

**Біохімічне очищення.** Біохімічне очищення здійснюється *гідробіонтами* – аеробними мікроорганізмами: це основний шлях самоочищення водних джерел, де як споживач мінералізованих речовин є фітопланктон. Інтенсивність біохімічного процесу і нарощування біомаси збільшується при більш високих температурах води і насиченості її киснем. Фітопланктон є кормом для водної фауни, в тому числі для риби.

За даними вчених на 1 км<sup>2</sup> площі водойм бактерії за одну добу поїдають 30 т органічних речовин, з яких 2/3 перетворюються в мінеральні солі.

Самоочищення йде більш інтенсивно в теплий період року. В спекотні, жаркі дні літа цей процес призупиняється, оскільки кисень в теплих водах погано розчиняється. Аналогічно взимку процес самоочищення призупиняється, бо лід зовсім не пропускає кисень. В річках з більшою турбулентністю потоків самоочищення збільшується, а у водоймах зменшується.

При скиданні стічних вод у річку спочатку проходить зниження кисню у воді, а потім, в міру руху води вниз, за течією, кількість кисню зростає і поступово відновлюється, але для цього вода має пройти значний відрізок шляху.

Ефект самоочищення можна збільшити і штучним шляхом. Основними технічними вирішеннями цієї проблеми є зміна, тобто

збільшення швидкості течії, форми поперечного перерізу русла, матеріалу кріплення берегових схилів, а також розробкою спеціальних біоінженерних споруд, так званих біоплато.

Збільшення швидкості течії води в руслі стимулює насиченості киснем всього потоку, а також припиняє ріст водоростей, які не виробляють кисень, але, навпаки, кисень потрібний для їх мінералізації. Збільшити швидкість можна шляхом спрямування і виправлення русла.

Деякі облицьовані і берегозахисні матеріали, наприклад, щебінь і бетон, що застосовують в містах, можуть бути непоганим місцем розташування деяких видів водоростей, після відмирання яких на мінералізацію необхідний кисень. Тому краще робити гладке вистелення берегів, наприклад, гранітне.

*Біоплато* – це заселення деяких ділянок русла річок водною рослинністю – бактеріоперифітоном, яке окислює не тільки звичайні органічні речовини, але й пестициди, хлорорганічні, поглинає нафтопродукти, феноли, радіонукліди, іони важких металів.

Ефект самоочищення може призупинитись, якщо кількість забруднюючих речовин буде перевищувати ГДК. Тому перед скиданням стічних вод у водойми треба розрахувати гранично допустимі концентрації забруднювачів. А це вимагає очищення стічних вод на спорудах до такої концентрації, яка не перевищує гранично допустимих норм. Якщо неможливо досягти такого рівня очищення, стічні води треба розбавляти природною водою, або змінювати технологію виробництва, зменшуючи кількість стічних вод і концентрацію забруднюючих речовин в них.

Здатність річки, водосховища або озера самоочищатись визначається їх асимілюючою спроможністю. *Асимілююча спроможність* – це здатність водного об'єкту приймати певну масу забруднюючих речовин без значного порушення якості води. Вона визначається з урахуванням процесів змішування, розбавлення і самоочищення. Асимілююча спроможність встановлюється для будь-якого створу річки або водосховища.

## Контрольні запитання

1. Назвіть відомі вам властивості води.
2. На якому фізичному законі працюють відстійники, нафто- та жироловлівлювання.

3. Яка властивість води покладена в закон Генрі. Математичний вигляд закону та споруди, де він застосовується.

4. Які закони гідродинаміки покладені в основу розрахунків параметрів очисних споруд? Запишіть рівняння.

5. Хто автор закону фільтрації? Який його математичний вигляд? В яких спорудах очищення води його застосовують?

6. Які формули покладені в основу розрахунків циклонів і сітчастих фільтрів?

7. Які фактори впливають на фізичний механізм самоочищення? Техніка хімічного механізму?

8. Хто здійснює процес біохімічного очищення? Які фактори його стимулюють, а які гальмують?

9 Як штучно підсилюють процес самоочищення?



## **РОЗДІЛ 3**

### **НАПРЯМКИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ЗА ПРЯМОТОЧНОЮ, ПОВТОРНОЮ ТА ЗВОРотноЮ СХЕМАМИ ОЧИЩЕННЯ**

#### **3.1. Вимоги до напрямків підготовки води. Розташування очисних споруд насосних станцій та водоводів на території міських селищ**

Як відомо усі природні водні джерела містять в своєму складі домішки, які непридатні і найчастіше шкідливі для певної категорії водокористувачів. Поверхневі водні джерела з яких найчастіше здійснюється водопостачання міст і крупних селищ більш забруднені ніж підземні. Але останні використовують лише в приватному водокористуванні.

Водокористувачі різні і вимоги їх до постачання води дуже різноманітні. Так, основний водокористувач – побутовий сектор, вимагає подачі води з якістю, яка відповідає ГОСТу «Вода питна». Другий користувач води – промисловість. Але різні галузі її в залежності від особливостей технологічного процесу продукції, що виробляється вимагають воду різної якості. Так підприємствам харчової промисловості треба подавати воду питної якості, для теплоенергетики – пом'якшену, приладобудівної галузі – дистильовану. Заводи металургійної, нафтохімічної, машинобудівної промисловостей використовують природню воду.

Для доведення якості природніх вод до вимог водокористувачів застосовують очисні споруди. Комплекс таких споруд розташованих на обмежених за розміром площадках або в закритих приміщеннях із з'єднувальними комунікаціями називають очисними станціями. На річках, які найчастіше є джерелами водопостачання для крупних населених пунктів, очисні станції будують вище цих пунктів за течію річки (рис. 3.1).

Після використання води в житловому секторі, адміністративних будинках, навчально-лікувальних закладах, участі в технічних процесах на виробництві, вода знову забруднюється ще з більш високою концентрацією забруднюючих речовин. Тому перед скидом цих вод (стічних) в природні водні джерела їх повторно очищують, але вже на іншій очисній станції – водовідведення. Станцію водовідведення розташовують нижче населеного пункту за течією

річки (рис. 3.1). Завдання очисних споруд цієї станції – підготовка води для водокористувачів, що розташовані на річці нижче за течією

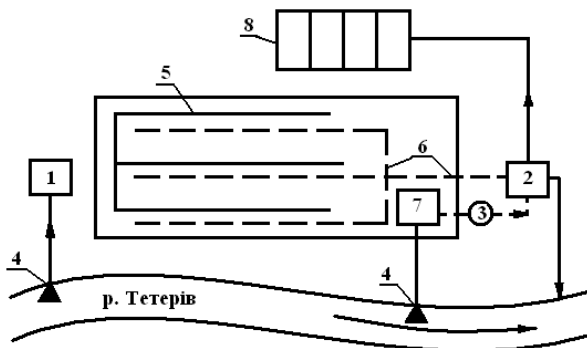


Рис. 3.1. Схема розташування станцій очищення води в населеному пункті:  
 1 – водопостачання; 2 – водовідведення; 3 – заводська; 4 – водозабірні споруди; 5 – водопровідна мережа; 6 – каналізаційна мережа; 7 – завод; 8 – поля фільтрації.

від даного населеного пункту. Це може бути водозабір питного водопостачання населеного пункту, зона відпочинку або ділянка річки для розведення і ловлі риби.

Якщо в місті або селищі є підприємства з великим забором води з водного джерела і подачу її на об'єкт без очищення, то тут не треба будувати очисну станцію водопостачання. Але ці заводи скидають в стічні води специфічні хімічні або розчинені штучно створені органічні речовини. Для їх вилучення на загально міських водопостачальних та очисних станціях немає необхідного обладнання. Тому такі підприємства повинні мати власні очисні споруди або станції, після яких виробничі стічні води можуть скидатись або у водоприймач або на загальну міську станцію водовідведення для доочищення.

### 3.2. Прямоточна та зворотна схеми використання та очищення води

У практиці використання водних ресурсів, в основному, застосовують дві схеми подачі та очищення води: прямоточну та зворотну. У прямоточній схемі (рис.3.2) майже вся вода після використання, доповнюючись зливовими (дошовими) стоками, повертається у водний об'єкт, з якого вона була зібрана.

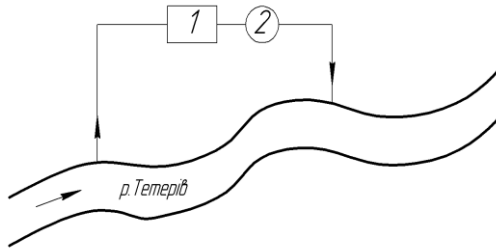


Рис. 3.2. Прямочтна схема використання води:

1 – населений пункт; 2 – очисні споруди

При використанні води в технологічних процесах на великих підприємствах використовують зворотну схему (рис. 3.3). В якості основного водного джерела є саме підприємство, а річка виконує роль резервного об'єму (для компенсації технологічних і непродуктивних втрат води).

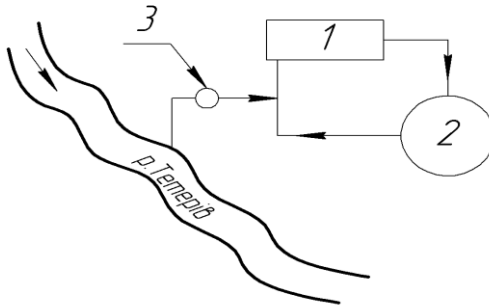


Рис. 3.3 Зворотна схема використання води:

1 – промислове підприємство; 2 – очисні споруди; 3 – насосна станція підкачки

Будова зворотних систем водопостачання є одним із заходів з збереження природних джерел, як в кількісному, так і в якісному виразі. В цих системах природні води йдуть, в основному, на компенсацію втрат на випаровування і аварійні ситуації.

Найчастіше зворотні системи застосовують на промислових підприємствах, теплових і атомних електростанціях і, значно рідше, в системах комунального господарства міст. На очисних спорудах промислових підприємств вилучаються, головним чином, хімічні забруднюючі речовини, на теплових й атомних станціях – теплове

забруднення. На деяких об'єктах потрібно ліквідувати всі ці недоліки зворотних вод. Очисні споруди зворотних систем якості очищеної води, звичайно, не доводять до того стану, щоб при скиді їх в природні джерела рівень забруднення не перевищував ГДК. Тому ці води можуть використовуватись лише у відповідних технологічних процесах.

Другої перевагою зворотних систем є розміщення комплексу очисних споруд в місцях утворення забруднених стоків, об'єми яких незначні. Це обумовлює значно меншу витрату коштів на очищення забруднених вод підприємств, в порівнянні з тим, якщо вони були б розбавлені іншими стічними водами, що надходять на центральні очисні споруди (ЦОС) міста.

До того процес видалення хімічних й інших специфічних забруднюючих речовин з промислових стоків треба застосовувати спеціальні очисні споруди і пристрої, які не використовуються на ЦОС міста. Одним з основних методів очищення виробничих вод є фізико-хімічний, де видалення забруднень здійснюють за допомогою різних речовин (сорбентів, іонітів, екстрагентів тощо), які після участі в процесі очищення стічних вод вимагають своєї регенерації, що також не виконується на ЦОС.

Для прикладу на рис. 3.4, наведена схема очищення виробничо-дошових стічних вод нафтопереробного заводу.

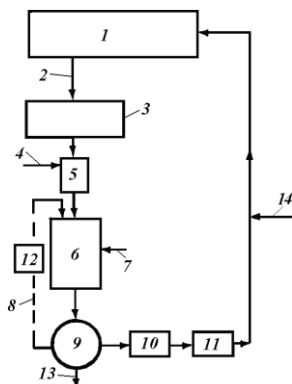


Рис. 3.4. Схема очищення виробничо-дошових стічних вод НПЗ:  
 1 – НПЗ; 2 – відвід виробничо-дошових вод; 3 – споруди механічного очищення;  
 4 – подача біогенних добавок; 5 – змішувач; 6 – аеротенк; 7 – подача повітря;  
 8 – повернення активного мулу; 9 – вторинний відстійник; 10 – споруди доочищення;  
 11 – насосна станція; 12 – регенератор мулу; 13 – скид надлишкового мулу;  
 14 – підпитка свіжою водою

У запропонованій схемі після очищення забруднених потоків води на спорудах механічного і біологічного методів очищення, а також доочистки на спорудах фізико-хімічного методу вода подається знову на завод. Безповерхневі втрати води на випаровування й витік компенсуються свіжою водою з річки або водойми.

Схема зворотного водопостачання теплових станцій і котелень передбачає очищення й охолодження гарячої води, що надходить з котлоагрегатів. Приклад таких систем наведений на рис. 3.5

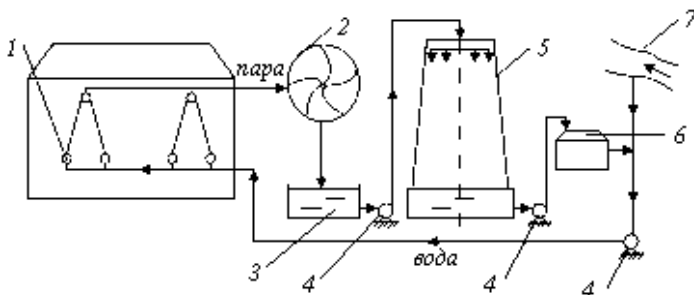


Рис. 3.5. Схема зворотного водопостачання ТЕС:

- 1 – котлоагрегат; 2 – турбіна; 3 – конденсаторний бак; 4 – насос; 5 – градирня;  
6 – очисні пристрої; 7 – джерело поповнення води

Спочатку у схемі за допомогою градирні виконується охолодження гарячої води. Після чого йде очищення води на відстійниках, флотаторах і нафтовловлювачах. У випадку необхідності застосовують коагулювання і флокулювання води. При наявності хімічних речовин застосовують адсорбери, екстракційні та іонообмінні апарати.

### 3.3. Використання міських очищених стоків на виробничих підприємствах та полях зрошення

Міські стічні води в якості джерела забезпечення водою промислових підприємств знаходять застосування, в першу чергу, в посушливих промислово розвинутих районах. У даному випадку маємо комбіновану прямоточно-зворотну систему. Вода йде на технологічні цілі за виключенням тих підприємств, які виготовляють харчову, м'ясо-молочну, фармацевтичну й іншу продукцію пов'язану із здоров'ям людини. Такий досвід існує в багатьох розвинутих країнах (ЮАР, Японія, США, Росія). У Москві побудовано систему промислового водопостачання міськими водами з витратою

200 тис. м<sup>3</sup>/доб; в Челябінські – 330 тис. м<sup>3</sup>/доб; Липецьку – 86 тис. м<sup>3</sup>/доб. Під Києвом побудована зрошувальна (Бортничиська) система на площі 20 тис. га, де полив сільськогосподарських культур здійснюють міськими побутовими водами. У Донбасі – районі України з напруженим водним балансом також побудовано ряд систем із забезпеченням міською водою промислових підприємств.

Міські побутові води після ретельного очищення на ЦОС використовуються головним чином для підпитки в системах зворотного технологічного водопостачання на промислових підприємствах.

Іноді після вилучення із стічних вод грубих, грубо-дисперсних, важких механічних часток і деяких хімічних речовин вони спрямовуються на поля зрошення для поливу сільськогосподарських культур.

### **3.4. Методи і схеми очищення стічних вод**

Методи, що застосовуються для очищення стічних вод, можна поділити на три групи: механічні, біологічні і фізико-хімічні. Для ліквідування бактеріального забруднення застосовують знезаражування стічних вод. Для переробки та утилізації осаду, що утворюється внаслідок очищення води від шкідливих речовин, застосовують спеціальні споруди.

*Механічний метод.* Механічне очищення застосовують для стічних вод, що містять переважно завислі, плаваючі, дисперсні та грубоемальговані тверді і рідкі нерозчинні забруднюючі речовини. Прийоми видалення цих речовин базуються на процесах проціджування, відстоювання та фільтрації.

Проціджування здійснюється для затримання крупних плаваючих і частково завислих речовин крізь різного типу решіток і сит.

Для виділення з води завислих речовин з густиною більшою ніж густина води застосовують відстоювання, коли важкі частинки під дією своєї ваги опускаються на дно очисних споруд. Таким шляхом виділяються в пісковловлювачах важкі піщані частки. Більш легкі органічні чи мінеральні речовини затримуються відстійниками і провітлювачами.

Дрібні мінеральні частинки можуть виділятися в гідроциклонах.

Речовини з густиною меншою ніж густина води (жири, мастила, нафтопродукти, смоли та інші спливаючі на поверхню води частинки і плями забруднюючих домішок) видаляються за допомогою споруд, які називаються жиरो-, мастило-, нафто- і смоловловлювачами.

Для видалення дрібнодисперсних і емульгованих речовин застосовують фільтрування стічних вод шляхом перепуску їх через шар зернистого матеріалу, тканину або дрібнокоміркову сітку в полі дії відцентрових сил.

Процес освітлювання і фільтрації рухається більш інтенсивніше при застосуванні ряду прискорювачів: коагулянтів і флокулянтів.

Механічне очищення, як окремий самостійний метод, застосовують дуже рідко, коли ці води можуть бути використані у виробничих цілях або скинуті у водойми при умові збереження їх санітарного і екологічного стану. Найчастіше цей метод застосовують як попередній перед іншими. На рис. 3.6 зображений один з варіантів набору споруд в схемі самостійного механічного очищення стічних вод.

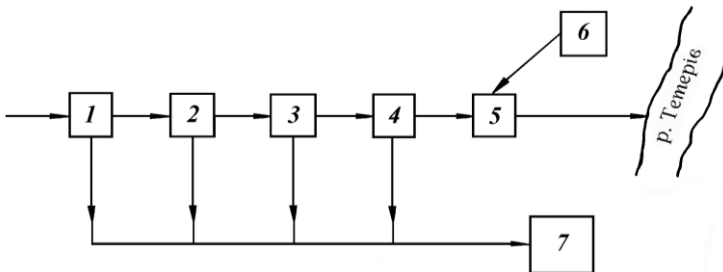


Рис. 3.6. Схема очищення стічних вод механічним методом:

- 1 – решітка; 2 – пісковловлювач; 3 – нафтовловлювач;
- 4 – відстійник; 5 – контактний резервуар; 6 – хлораторна;
- 7 – споруди для обробки осаду

*Біологічний метод.* Зміст біологічного очищення полягає в окисненні органічних речовин угрупованнями мікроорганізмів (біоценозом), які включають безліч різноманітних бактерій, найпростіших і ряд більш високоорганізованих організмів: водоростей, грибків, хробаків тощо, які пов'язані між собою складними відношеннями (метабіозом, симбіозом і антагонізмом).

Для синтезу своїх клітин біоценози використовують крім звичайних елементів живлення (органічного вуглецю, нітрогену, фосфору) ще ряд інших хімічних елементів (мідь, цинк, молібден, кальцій, калій, залізо тощо), які одержують їх іноді шляхом хімічного синтезу з неорганічних сполук.

Ці біологічні угруповання працюють або в аеробних умовах, утворюючи біоплівку або активний мул, або – в анаеробних в складі гранульованого мулу.

За допомогою сучасних біотехнологій з'явилась можливість очищати стічні води від всіх колоїдних, емульгованих і розчинених сполук органічного походження, а також від іонів важких металів, нітратів, сульфатів, хромітів, аміакатів, хвороботворних бактерій, вірусів тощо.

Спеціально підібрані селекційні мікроорганізми здібні очищати воду від хлорорганічних речовин, СПАР, іонів важких металів, радіонуклідів, нітратів, амонійного азоту. Наприклад, очищення води від іонів амонію здійснюється в два етапи. Одна група бактерій окислює амоній до нітритної форми, а друга – нітритну кислоту окислює в нітратну речовину, яка споживається іншими біоценозами. Цей процес можна спостерігати в двосекційних аеротенках з аеробною і анаеробною діяльністю мікроорганізмів.

Біологічне очищення може здійснюватися природним або штучним шляхами.

Прийоми природного біоочищення ґрунтуються на процесах фільтрування стічних вод крізь шар ґрунту заселеному біоценозами – найкращими деструкторами органічних забруднень або проходження стічними водами ланцюжка біоставків, де здійснюється вилучення шкідливих домішок аеробними гідробіонтами.

Штучне біоочищення, використовуючи різні види мулів, біоплівок, і інші угруповання біоценозів, здійснюється на багатьох різноманітних за принципом дії очисних спорудах. Так біоплівка застосовується в біофільтрах (вертикальних, горизонтальних з гравійним, піщаним або синтетичним завантаженням), мочарах і біоконтакторах. Активний мул використовують в аеротенках і окситенках різних типів. Анаеробний гранульований мул, в основному, використовують при обробці осаду, який утворюється на спорудах механічного і біологічного очищення.

Основні споруди штучного біоочищення завжди доповнюються спорудами доочищення, де діляться і вилучають продукти переробки забруднень відповідними угрупованнями біоценозів для подальшого напрямку на знезаражування і скид у водойми (рідинна фаза) або на обробку і утилізацію (мул).

В технологічних схемах обробки осаду використовують різні типи біореакторів, септики, двох'ярусні відстійники, метантенки, вакуум-фільтри, сушилки, преса, мулоуцілювачі.

Процес біологічного очищення стічних вод починається ще задовго до потрапляння їх на споруди безпосереднього біоочищення і закінчується набагато пізніше. Перший етап біоочищення здійснюється на спорудах механічного методу разом з виділенням



крупнодисперсних речовин. Останній – при знезаражуванні води перед скидом її у водойми, а також при анаеробній переробці і утилізації мулу. Тому до схеми споруд біологічного очищення дуже часто приєднують деякі споруди інших методів. На рис. 3.7 зображено варіант послідовної компоновки споруд біологічного очищення.

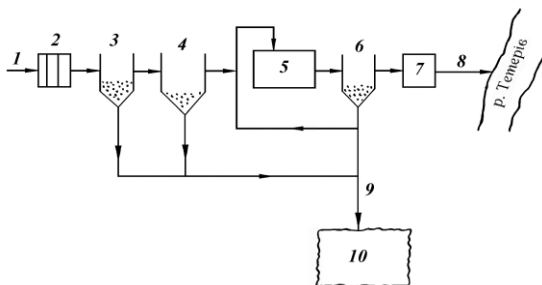


Рис. 3.7. Загальна схема біологічного очищення стічних вод:

- 1 – подача стічних вод; 2 – решітка; 3 – пісковловлювач;
- 4 – первинний відстійник; 5 – аеротенк; 6 – вторинний відстійник;
- 7 – споруди доочистки рідини; 8 – скид рідини; 9 – відвід мулу;
- 10 – споруди з переробки мулу

Суміш побутових і виробничих стічних вод, яка потрапляє на біохімічне очищення, повинна відповідати наступним вимогам:

- а) рН не нижче 6,5 і не вище 8,5;
- б) температура в межах 6...30°C;
- в) загальна концентрація розчинених солей не більше 1,0 кг/м<sup>3</sup>;
- г) повне біохімічне споживання кисню ( $BPK_{повн}$ ) не вище 0,5 кг/м<sup>3</sup> при подачі на біофільтри і не вище 1 кг/м<sup>3</sup> при подачі в аеротенки;
- д) не містити нерозчинних мастил, смол, мазуту, поверхнево активних речовин ( $ПАР$ );
- е) вміст токсичних речовин не повинен перевищувати  $ГДК$  природних водойм;
- є) вміст біогенних елементів повинен дорівнювати: азоту  $5 \cdot 10^{-3}$  і фосфору  $1 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>, кисню ( $BPK_{повн}$ )  $1 \cdot 10^{-1}$  кг/м<sup>3</sup>.

Таку якість стічним водам повинні надавати споруди попередніх методів очищення: механічного і фізико-хімічного.

**Фізико-хімічний метод.** Цей метод, в основному, застосовують для очищення виробничих стічних вод, хоча окремі способи використовуються при виділенні шкідливих речовин з побутових, зливових і природних вод.

За допомогою цього методу вилучають забруднення, які знаходяться в розчиненому або колоїдному стані.

Ефект очищення фізичними способами базується на використанні специфічних властивостей води: замерзанні і кипінні при різних температурах, що пов'язано з насиченістю її солями і неоднаковим атмосферним тиском, об'ємом розчиненого газу у воді, а також має прямий зв'язок з величиною тиску в рідині. Крім того вода може утворювати з нерозчиненими газами суспензії, а з розчиненими солями – електроліти. На цих властивостях застосовані такі прийоми очищення води як демінералізація, дегазація, флотажія, евапорація, знезаражування, охолодження.

Хімічні заходи мають в своїй основі здатність окремих хімічних речовин, таких як вапно, сода, сірчаноокислий алюміній, хлорне залізо, кислоти і луги нейтралізувати агресивну дію інших речовин, перетворюючи їх в неагресивні сполуки або в осад. На цьому побудована дія таких прийомів як нейтралізація, окиснення, озонування, хлорування тощо.

Найчастіше очищення стічних вод здійснюється під впливом двох одночасних процесів: фізичного і хімічного, тобто фізико-хімічного. На цьому побудовані такі способи очищення води, як коагуляція, сорбція, іонний обмін, електроліз, пом'якшення, екстракція, дезодорація.

При застосуванні фізико-хімічного методу для очищення виробничих вод кращим варіантом є будова очисних споруд безпосередньо на території самого підприємства: заводу, фабрики, цеху. Це значно зменшує вартість очисних споруд, так як треба очищати невелику частину загальноміського об'єму стічних вод, хоча ці води можуть бути і висококонцентрованими. До того ж окремі прийоми легше застосувати в заводських умовах ніж на центральних міських очисних спорудах.

Очищення стічних вод від колоїдних і високомолекулярних забруднювачів способом коагуляції здійснюють на очисних спорудах із застосуванням як спеціального обладнання (проміжні реактори для попереднього змішування частини стоків з коагулянтами і флокулянтами), так і типового обладнання для механічного очищення стоків (відстійники, освітлювачі, фільтри).

Віддувку пари летких сполук (сірковуглецю, сірководню, метил- і етилмеркаптантів та інші) із стічних вод повітрям чи інертними газами здійснюють у барботажних дегазаторних колонах або вакуумних барботажних дегазаторах.

Для азеотропної або пароциркулярної відгонки органічних сполук (фенолів, хлорбензолу, низькомолекулярних карбонових кислот) з

стічних вод очисні споруди обладнують відгінними колонками і насадковими скруберами.

Екстракційні способи очищення стічних вод, що ґрунтуються на розподілі розчиненої у воді речовини між двома взаємно нерозчиненими рідинами, здійснюються, як правило, в екстракційних колонах (проточних екстракторах) різного типу – розпилювальних, насадкових, з перфорованими або рухомими сітчастими тарілками.

Для вилучення з виробничих вод органічних речовин з концентрацією до 3000 мг/л, цінних продуктів виробництва, токсичних і інших речовин застосовують сорбційні способи очищення (адсорбція і хемосорбція), які побудовані на використанні властивостей ряду речовин-сорбентів приєднувати, поглинати або вступати в реакцію із забруднюючими домішками.

Для глибокого очищення стічних вод від іонів важких і кольорових металів, для корегування мінерального складу (пом'якшення, пониження загального вмісту солей, видалення фосфатів тощо) стічних вод, видалення окремих органічних речовин (ароматичних і аліфатичних фенолів, органічних кислот) застосовують іонний обмін.

Для вилучення дрібнозернистих часток таких речовин як нафта, мастила і волокнисті матеріали застосовують флотацію, в основу якої покладено процес прилипання твердих часток до бульбашок повітря, які утворюються внаслідок подачі повітря у воду за допомогою різних пристроїв або видалення їх з самого потоку при зниженні тиску в ньому.

На деяких підприємствах хімічної, целюлозно-паперової, нафтопереробної, анілінофарбової та інших галузей промисловості застосовують термічні методи знешкодження ряду речовин (феноли, метаноли, формальдегіди, сульфідні луги).

### **3.5. Особливості водопідготовки в системі водопостачання**

Вода в природі ніколи не буває абсолютно чистою. Вона завжди вміщує різні речовини у вигляді розчинів, емульсій, суспензій або крупнодисперсних механічних домішок.

В складі розчинів дуже часто зустрічаються іони кальцію і магнію, які обумовлюють твердість води. При значній кількості цих іонів у воді (вище 7 мг екв/л) в процесі її використання на стінках котлів і посуду утворюється осад, що веде до прискорення їх зносу.

Деякі джерела, особливо підземні, містять значну кількість заліза. У воді призначеної для держпитного водокористування граничний

вміст заліза дорівнює 0,3 мг/л. Для ряду промислових підприємств (харчова, текстильна, паперова, віскозна тощо) виключається використання води, що містить залізо у всіх технологічних процесах, де воно торкається до виготовленої продукції.

В поверхневих водах, які мають невелику швидкість і турбулентність (водосховища, озера) в теплий період року утворюється велика маса мікроскопічних водоростей, які надають кольоровість води. Для господарсько-питного водопостачання кольоровість води відповідно ГОСТу 2761–44 повинна бути менше 20°С.

Поява у воді синьо-зелених водоростей і подальше їх відмирання супроводжується насиченням води такими неприємними газами як сірководень і вуглекислий газ. Перший з них токсичний, небезпечний для живих істот, надає неприємний запах. Другий – хоча і не токсичний, але перебування його в надлишкової кількості у воді природних водоймі системи водопостачання небажано.

Каламутність – основний від'ємний показник якості води природних водотоків (річок, струмків). Вона є наслідком вмісту у воді зважених часток мінерального і органічного походження. Каламутність може вимірюватись ваговим шляхом і мати розмірність (мг/л) або, як прозорість, з величини шару води, через який проглядається чорний хрест. Відповідно ГОСТу на питну воду каламутність у водопровідній воді не повинна перевищувати 2–3 мг/л або прозорість за хрестом не менше 30 см.

Для підземних водних джерел характерна наявність надлишкової кількості солей у воді, для поверхневих – наявність мікроорганізмів і в тому числі хвороботворних. Вода вважається придатною для пиття, якщо загальний вміст солей не перевищує 1000 мг/л, а загальна кількість бактерій в 1 мл води не перевищує 100, в тому числі кількість кишкових паличок – супутників хвороботворних мікроорганізмів не перевищує 3.

Основні виробничі процеси покращення якості води спрямовані на видалення з неї тих або інших домішок. Це просвітлення та знебарвлення води. Зменшення каламутності води називається просвітленням, а ліквідація кольоровості – знебарвленням.

Найчастіше ці два процеси здійснюють одночасно на одних і тих же спорудах. Але вибір споруд та їх комбінацію залежить від специфіки та кількості забруднень.

Можливі два методи просвітлення води: природний та штучний. В першому методі вода очищається без застосування будь-яких хімічних

речовин, в другому – із застосуванням коагулянтів. Знебарвлення здійснюється обов'язково при хімічній обробці води.

Використання штучної схеми очищення в складі таких споруд, як вертикальний відстійник, швидкісної зернистий фільтр і реагентне господарство дає можливість одержати відносно незначні за своїми розмірами споруди і розмістити їх в закритому приміщенні. Вертикальний відстійник складається з циліндричного залізобетонного корпусу, камери утворення пластівців і конічного днища для збору осаду. Іноді використовують коридорний просвітлювач який працює під шаром завислого осаду. Після відстійника залишається до 50–150 мг/л завислих речовин.

Доочищення води здійснюється на швидкісних зернистих фільтрах, де в якості фільтруючого матеріалу застосовують кварцовий пісок. Для збільшення гряземності фільтру піщаний шар доповнюється шаром дробленого антрациту, шлаку, дробленого керамзиту (двошаровий фільтр). Швидкість фільтрації найчастіше приймається рівною 5...15 м/год. В останні роки в якості заповнювача стали застосовувати пінополістирол – штучний гранульований матеріал з питомою вагою менше 1 г/см<sup>3</sup>.

Іноді відстійник і фільтр замінюють однією спорудою – контактним просвітлювачем, робота якого побудована на проходженні забрудненого потоку спочатку крізь підтримуючі шари гравію, а потім – шар піску. Пластівці, що утворюються у воді при попередньому введенні коагулянтів, затримуються шарами гравію, утворюючи тим самим додаткову фільтруючу ємність, де затримуються найбільш крупні завислі частки, а шаром піску, що розміщений вище по ходу руху потоку води, вилучаються дрібнодисперсні частки.

Прикладом таких двох схем очисних споруд може бути Житомирська станція очищення води р. Тетерів, де на одній лінії водопідготовки встановлені вертикальні відстійники і швидкісні фільтри, а на другому – контактні просвітлювачі.

На очисних станціях малої потужності замість швидкісних фільтрів встановлюють повільні зі швидкістю фільтрації 0,1...0,3 м/год. Ці фільтри не тільки очищають, але і на 95...97 % знезаражують воду. Недоліком цих споруд є великі розміри, що обумовлено невеликою швидкістю руху потоку крізь фільтруючий шар піску.

На очисних станціях промислових підприємств застосовують напірні надшвидкісні фільтри ( $V=20...25$  м/год). Фільтруючий шар розміщений в сталевому герметично закритому кришками циліндрі. Фільтри працюють в штучному режимі без відстійників і камер

реакції. Вода після перемішування її з коагулянтами спрямовується в напірний фільтр.

### **Контрольні запитання**

1. Яка особливість напрямків водопідготовки на очисних станціях водопостачання та водовідведення?
2. Яка різниця в розміщенні станцій очищення води в прямоточній і зворотній схемах водопостачання?
3. Методи і схеми очищення стічних вод.
4. Які особливості має водопідготовка в системі водопостачання?
5. У чому сутність прямоточної та зворотної схем очищення стічних вод?
6. Який процес підготовки повинні пройти стічні води перед скидом їх у річки і водойми?
7. У чому особливість схем очищення стічних вод при виробництві капролактаму, нафто-переробного заводу та ТЕС?
8. В якому випадку можна застосовувати міські стічні води на промислових підприємствах?

## РОЗДІЛ 4

# ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІДСТОЮВАННЯМ І У ПОЛІ ДІЇ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ

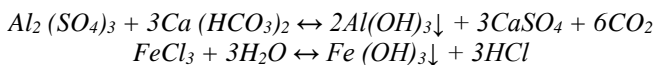
### 4.1. Принцип дії очисних споруд

Завислі крупнодисперсні речовини починають випадати з потоку при зменшенні його швидкості. Напрямок їх руху здійснюється одночасно у горизонтальній і вертикальній площинах. Швидкість руху завислої частинки зверху вниз залежить від її крупності, форми і густини. Із збільшенням ваги зростає швидкість руху частинки. Швидкість випадіння завислих часток в осад при температурі води 10°C називають гідравлічною крупністю. Від гідравлічної крупності часток в багатьох випадках залежать деякі параметри очисних споруд.

З метою штучного збільшення розмірів і маси суспензій у воді й прискорення їх осаджування в очисних спорудах застосовують коагуляцію та флокуляцію води.

*Коагуляція* – це процес очищення стічних вод від колоїднодисперсних систем за допомогою агрегування часток дисперсної фази під дією коагулянтів з подальшим відокремлюванням агрегованих часток відстоюванням, фільтруванням та іншими методами. В якості коагулянтів застосовують солі алюмінію та заліза. Найбільш поширеними з них є *сульфат* алюмінію  $[Al_2(SO_4)_3]$  та хлорне залізо ( $FeCl_3$ ). В останні роки розроблено технологію виготовлення нового ефективного коагулянту – *дигідроксосульфату* алюмінію (ДГСА) –  $Al_2(SO_4)_2(OH)_2 \cdot 11H_2O$ .

Внаслідок обробки коагулянтами у воді замість дрібних часток утворюються великі пластівці гідроколоїдів металів, які мають більш високу гідравлічну крупність, що прискорює процес їх осаджування в очисних спорудах. Але утворювані пластівці володіють здатністю уловлення дисперсних і емульгованих часток, що знаходяться в стічних водах. Процес прискорюється внаслідок того, що пластівці мають позитивний заряд, а колоїдні частинки – негативний, що обумовлює їх взаємне притягнення. Хімічний процес утворення пластівців у вигляді гідроксидів алюмінію і заліза можна описати за допомогою таких формул:



*Флокуляція.* До флокулянтів належать неорганічні та органічні високомолекулярні сполуки (ВМС), які сприяють утворенню агрегатів

у результаті утворення кількох часток за допомогою макромолекули адсорбованого або хімічно зв'язаного полімеру. Невеликі добавки (тисячні або мільйонні частки від маси твердої фази) цих речовин істотно змінюють стабільність дисперсії. Вони прискорюють утворення пластівців гідроксидів алюмінію та залізу, осадження пластівців, збільшують щільність коагулянту й рівень прояснення води.

У освітлювачах із завислим шаром флокулянти сприяють збільшенню вмісту часток у завислому шарі і зменшенню виносу з нього зависей; поліпшення адгезійних властивостей коагульованої зависі; збільшується швидкість осідання завислих речовин і фільтрації, а також продуктивність всіх споруд, що використовуються для розділення твердої і рідкої фаз в штучному режимі. Застосування флокулянтів особливо ефективно за низьких температур очищення води і знижених значень рН (кислі стічні води). У разі обробки флокулянтами мало забарвлених вод на 10...40 % знижуються витрати коагулянтів, зростає рівень прояснення і знебарвлення води, а також приблизно в 1,5 рази збільшується продуктивність очисних споруд.

Серед неорганічних флокулянтів найбільшого поширення набула активна силікатна кислота. До високомолекулярних флокулянтів природного походження належить крохмаль, похідні целюлози, гуарові смоли, лігносульфові кислоти та їх солі. З синтетичних флокулянтів більше застосовують поліакриламід та політелемоксид.

Процес відстоювання може відбуватися як в природних, так і в штучних умовах. Штучні умови утворюються внаслідок коагуляції і флокуляції води або із застосуванням деяких гідродинамічних чинників, наприклад, відцентрових сил.

Відстоюванням також видаляють речовини з густиною менше густини води, які при ламінарному русі водного потоку рухаються знизу вгору, утворюючи на поверхні жилову, мастильну або нафтову плівки.

Використання дії відцентрових сил для очищення води від дисперсних речовин дозволяє, в ряді випадків, позбутись від дорогих вартісних споруд, які працюють за гравітаційним принципом.

До споруд першої групи відносять пісковловлювачі, відстійники, просвітлювачі, нафто- і жиловловлювачі різних типів, до другої – циклони і центрифуги.

## 4.2. Пісковловлювачі



Пісковловлювачі застосовують для видалення зі стічних вод важких мінеральних забруднень (переважно піску  $d \geq 0,2 \dots 0,25$  мм). Вони діляться на горизонтальні з коловим або прямолінійним рухом води, вертикальні з рухом води знизу вгору і гвинтові з поступально-обертальним рухом.

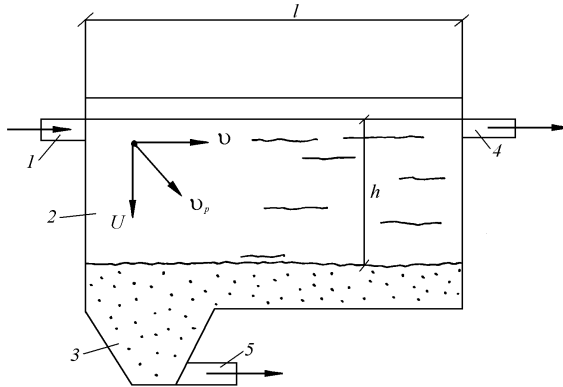


Рис. 4.1. Схема горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом води:

- 1 – вхідний патрубок; 2 – проточна частина пісковловлювача; 3 – осадозбірник;  
4 – вихідний патрубок; 5 – патрубок для видалення осаду; 6 – осадозбірник

Для всіх пісковловлювачів побудованих на русі нерозчинених часток вниз під впливом сили тяжіння. Досвід експлуатації пісковловлювачів свідчить, що найбільший ефект очищення стічних вод від піску досягається в горизонтальних пісковловлювачах з прямолінійним рухом води (рис. 4.1).

Піщана частинка, що потрапила в пісковловлювач, рухається разом з потоком із швидкістю  $v$ , а також вниз з швидкістю  $U$ . В результаті її напрямок руху визначається діагоналлю прямокутника, а швидкість – величиною  $v_p$ . Швидкість руху води в пісковловлювачі приймається в межах  $0,15 \dots 0,30$  м/с. При  $v < 0,15$  м/с починають випадати в осад органічні частинки, а при  $v > 0,30$  м/с за межі споруди виносяться піщані частинки. Час перебування води в пісковловлювачі 30–60 с.

Довжина проточної частини пісковловлювача визначається за формулою:

$$l = \frac{1000 K v n}{U}, \quad (4.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який залежить від  $U$  ( $K=1,7$  при  $U \leq 18 \text{ мм/с}$  і  $K=1,3$  при  $U \geq 24 \text{ мм/с}$ );

$v$  – швидкість руху води в пісковловлювачі, м/с;

$U$  – гідравлічна крупність піску (мм/с), яка залежить від діаметра його часток (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Залежність між гідравлічною крупністю і діаметром часток піску**

$d$ , мм	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
$U$ , мм/с	5,12	7,37	11,5	18,7	24,2	28,3	34,5	0,7	51,6

Частки піску, що осіли на дно, зсуваються до осадозбірника скребачками, відкіля видаляються за допомогою гідроелеваторів або піскових насосів.

Принцип дії горизонтального колового пісковловлювача зображений на рис. 4.2.

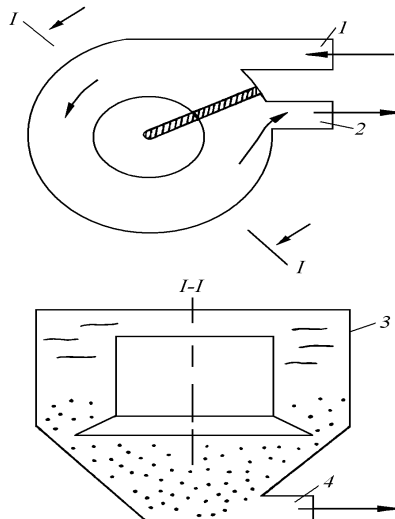


Рис. 4.2. Схема горизонтального пісковловлювача колової дії:  
1 – вхідний патрубок; 2 – вихідний патрубок; 3 – корпус пісковловлювача;  
4 – патрубок відводу осаду

Для розподілу піщаних часток за фракціями застосовують аеровані пісковловлювачі (рис. 4.3).

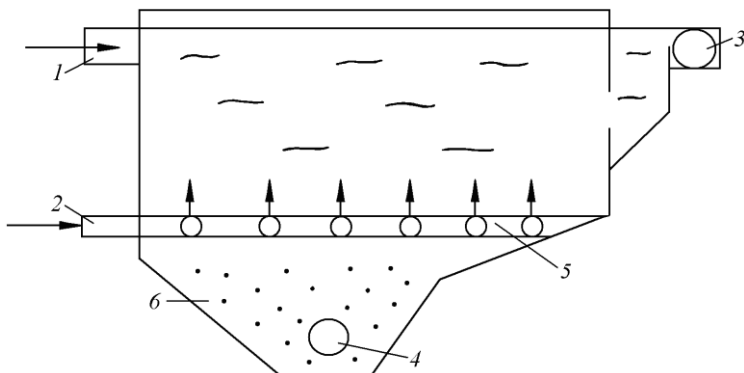


Рис. 4.3. Схема аерованого пісковловлювача:

- 1 – подача води; 2 – подача повітря; 3 – відвід води; 4 – відвід осаду;  
5 – перфорована труба для розподілу повітря; 6 – осадозбірник

В аерованих пісковловлювачах крупні частки піску осідають на його дно, де поступово зсовуються до шлакоприймального бункеру б для відводу за допомогою труби 4. Повітря, що подається в корпус пісковловлювача по трубі 2 розподіляється перфорованою трубою 5, перетворюючись в бульбашки. До бульбашок повітря прилипають дрібні частинки піску і разом з ними спливають на поверхню води, де стягуються скребачковими механізмами до відповідних лотків.

### 4.3. Відстійники

Відстійники застосовуються для видалення завислих речовин як мінерального, так і органічного походження крупністю  $\leq 0,2$  мм. За принципом дії вони працюють з коагулюванням або без нього. За конструкцією вони поділяються на горизонтальні і вертикальні. Різновидністю горизонтальних відстійників є радіальні відстійники. В горизонтальних відстійниках вода рухається горизонтально, у вертикальних – знизу вгору, в радіальних – від центру до периферії.

У відстійниках вода очищується до 150 мг/л. Вертикальні відстійники застосовуються при кількості стічних вод до 10 тис. м<sup>3</sup>/добу, горизонтальні та радіальні від 15 до 30 тис. м<sup>3</sup>/добу.

*Горизонтальний відстійник* – це прямокутний, витягнутий в напрямку руху води, залізобетонний резервуар (рис. 4.4).

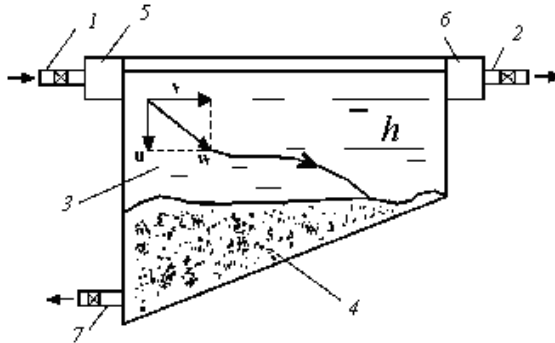


Рис. 4.4. Горизонтальний відстійник:

- 1 – подача води; 2 – відведення води; 3 – зона освітлення; 4 – зона накопичення осаду;  
5 – розподільний лоток; 6 – водозбірний лоток; 7 – труба для відводу осаду

У відстійник вода потрапляє через розподільний лоток і після провітлення збирається на протилежному боці лотком або перфорованою трубою для відводу на наступну споруду. Відстійник може бути поділений у повздовжньому напрямку перегородками на самостійні секції (коридори) шириною 3...6 м. Відстійник має дві зони: осаджування (провітлення) і накопичення осаду.

Глибина проточної частини відстійника визначається за формулою:

$$h = 3,6 \nu t, \text{ м}, \quad (4.2)$$

де  $\nu$  – швидкість води у відстійнику, яка приймається рівною 5...12 мм/с;

$t$  – тривалість відстоювання, яка визначається в залежності від ефекту освітлювання, с.

Довжина відстійника  $L$  визначається за формулою:

$$L = \square \frac{hv}{U}, \quad (4.3)$$

де  $\square$  – коефіцієнт, який враховує турбулентність руху води;

$U$  – вертикальна швидкість, тобто швидкість осадження завислих часток (гідралічна крупність, мм/с).

Гідралічна крупність крім розмірів, форми і густини частинок в даному випадку ще залежить від відсотку затриманих завислих речовин. Так при 20 % затриманні  $U_{min}$  дорівнює 1,2 мм/с, а при 90 % – 0,2 мм/с.

При обробці води коагулянтами гідравлічну крупність приймають в межах 0,35...0,6 мм/с.

Ширина однієї секції відстійника  $B$  може бути знайдена, як:

$$B = \frac{Q}{vh}, \quad (4.4)$$

де  $Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с.

Дно горизонтального відстійника повинно мати ухил в напрямку оберненому напрямку руху води не менше 0,001.

*Вертикальний відстійник* – це круглий або квадратний у плані резервуар з конусним дном для нагромадження й ущільнення осаду.

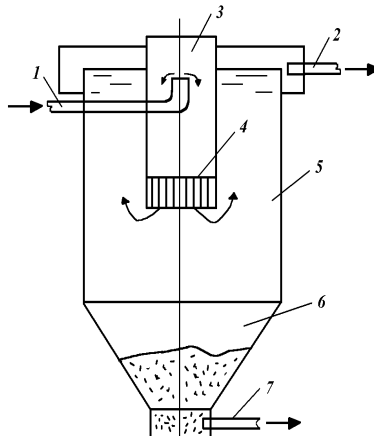


Рис. 4.5. Вертикальний відстійник:

- 1 – подача води; 2 – відведення води; 3 – камера утворення пластівців;  
4 – гаситель швидкості потоку; 5 – зона осадження пластівців; 6 – зона накопичення  
осаду; 7 – труба для скидання осаду

Кут нахилу стінок днища до горизонтальної площини приймається рівним 50...60°. У центральній частині резервуару розташована труба, яка є камерою пластівцеутворення. Для перетворення обертального руху води у поступальний, який потрібен для сприятливого режиму утворення пластівців, у нижній частині труби розміщують випрямляч (рис. 4.5).

Просвітлення води відбувається при правильному висхідному русі в зоні осадження відстійника. Розрахункова швидкість висхідного руху води має бути меншою за швидкість осадження завислих частинок і дорівнювати 0,35...0,6 мм/с.

Загальна площа відстійника визначається як:

$$F = F_0 + f, \quad (4.5)$$

де  $f$  – площа центральної (труби камери утворення пластівців);  
 $F_0$  – площа основної частини відстійника,  $\text{м}^2$ .

Площа  $f$  визначається за формулою:

$$f = \frac{Q_c}{v_u}, \quad (4.6)$$

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

$v_u$  – швидкість в центральній трубі, яка дорівнює  $0,03 \dots 0,1$   $\text{м}/\text{с}$ .

Площа  $F_0$  може бути визначена за умов перебування (відстоювання) води у відстійнику:

$$F_0 = \frac{Qkt}{H}, \quad (4.7)$$

де  $Q$  – середньодобова витрата води,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$t$  – тривалість відстоювання, год ( $0,5 \dots 1,5$ );

$k$  – коефіцієнт нерівномірності припливу рідини ( $1,1 \dots 1,3$ );

$H$  – висота циліндричної частини відстійника ( $3,5 \dots 4,5$  м).

Висота центральної труби дорівнює  $0,9 H$ . Співвідношення діаметра до висоти відстійника (крім конусної частини) повинна дорівнювати  $1,0 \dots 1,5$ .

Грязьова частина конусної або пірамідальної форми може бути розрахована виходячи з об'єму добового нагромадження осаду або з умов заданого кута конусності.

*Радіальний відстійник* – це круглий у плані залізобетонний резервуар з висотою значно меншою його діаметру (рис. 4.6).

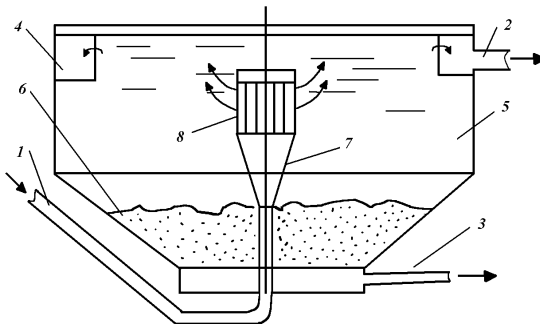


Рис. 4.6. Радіальний відстійник:

- 1, 2 – трубопроводи для подачі та відведення води; 3 – труба для скидання осаду;  
 4 – водозбірний лоток; 5 – зона просвітлення; 6 – осадозбірник; 7 – дифузор;  
 8 – циліндр-заспокоювач

Природна або стічна вода після змішування її з коагулянтном підводиться до нього знизу в центр і виливається через дифузор і циліндр-заспокоювач в зону освітлення. Вода повільно рухається від центру до периферії, де зливається у водозбірний лоток. Осад після випадання на дно зсовується металевою формою із скребачками до центру для ущільнення і відводу.

Розрахунок радіальних відстійників виконується на максимальний годинний приплив. Тривалість відстоювання приймається рівною 1,5 год.

Площа відстійника у плані визначається так:

$$F = \frac{Q}{q}, \quad (4.8)$$

де  $Q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год;  
 $q$  – навантаження стічних вод на 1м<sup>2</sup> дзеркала води у відстійнику, яке дорівнює від 2 до 3,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> год.

Звідси діаметр відстійника дорівнює:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi q}}. \quad (4.9)$$

Відношення діаметру до глибини відстійника приймається від 6 до 12. Глибина зони відстоювання частіше дорівнює 3...6 м.

#### 4.4. Просвітлювачі

Просвітлювачі можна поділити на дві групи: із завислим шаром осаду і контактні. Всі просвітлювачі очищають воду після її коагулювання або флокуляції.

Просвітлювачі із завислим шаром осаду мають більш високу продуктивність, але складніші в конструктивному відношенні, ніж відстійники. Є декілька типів просвітлювачів (напірні, відкриті, із натуральним або примусовим скидом осаду), але принцип очищення у них один – перепустка забрудненої води через раніше сформований шар завислих пластівців. Найбільш поширеною конструкцією просвітлювачів даного типу є коридорний (рис. 4.7).

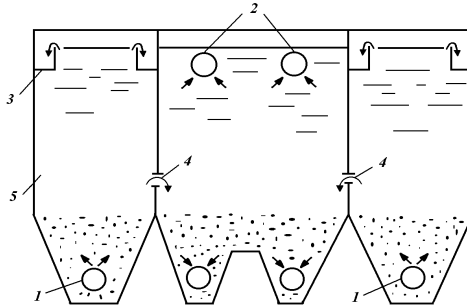


Рис. 4.7. Просвітлювач коридорного типу:  
1 – подача води; 2 – водовідвідні труби; 3 – збірні лотки;  
4 – осадоприймальні вікна; 5 – робоча камера

В просвітлювач забруднена вода потрапляє знизу крізь перфоровані труби і розподіляється рівномірно за площею робочих камер. Проходячи крізь завислий шар пластівців, вода просвітлюється і рухається до водозбірних лотків. Пластівці завислого осаду, в міру їх накопичення, через осадощільнювальні вікна переміщуються в осадощільнювальну секцію, звідки по осадовідвідним трубам скидаються на мулові майданчики.

*Контактні просвітлювачі* – є перехідними спорудами від відстійників до фільтрів, виконуючи при цьому завдання обох споруд. На відміну від просвітлювачів із завислим осадом в порожніх камерах, контактні просвітлювачі заповнені гравійним матеріалом. В шарах цього матеріалу утворюються більш щільні і крупні пластівці, що забезпечує більш тісний контакт між ними та водою. Це підвищує продуктивність просвітлювачів і зменшує витрату коагулянтів.

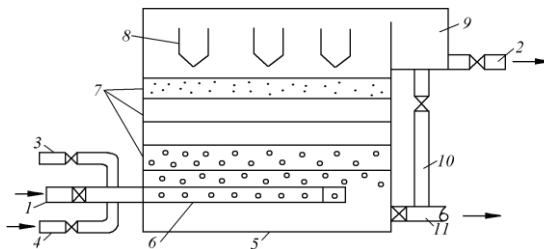


Рис. 4.8. Схема контактного просвітлювача:

- 1 – подача забрудненої води; 2 – відвід просвітленої води; 3 – подача коагулянта;  
4 – подача промивної води; 5 – корпус просвітлювача; 6 – розподільча дирчаста труба;  
7 – зернисте завантаження; 8 – переливний жолоб; 9 – кишенья; 10 – труба для відводу промивної води; 11 – труба для опорожнення резервуару



На рис. 4.8, зображений контактний просвітлювач, конструкція якого розроблена академією комунального господарства колишнього СРСР. Це залізобетонний резервуар заповнений гравієм різного фракційного складу. Діаметр фракцій зменшується в напрямку руху води.

Вода, яка оброблена коагулянтами, подається знизу через дирчасті труби. Рухаючись далі крізь гравійні шари з пластівцями вода переливається через кромки жолобів і потрапляє в кишеню, з якої відводиться на послідуєче доочищення. Промивку просвітлювача здійснюють в тому ж напрямку, але з відводом промивної води з кишені по іншій трубі.

## 4.5. Гідроциклони

Просвітлювання в полі відцентрових сил здійснюється циклонами. Гідроциклони бувають напірними (закритими) і безнапірними (відкритими) (рис. 6.9).

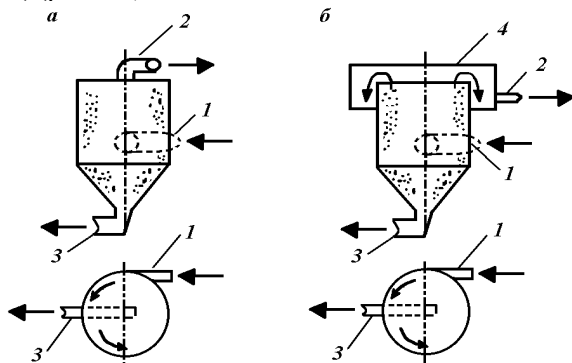


Рис. 4.9. Гідроциклони

(*a* – напірний; *б* – безнапірний):

1 і 2 – труби відповідно для подачі і відводу води;

3 – труба для відводу осаду; 4 – водозбірний лоток

Освітлена вода через напірну трубу або через збірний лоток відводиться на наступне доочищення, а осад, випавши в нижню конусну частину пристрою, відводиться на муловий майданчик.

В якості основної розрахункової формули для гідроциклону можна прийняти наступну:

$$Q = 0,24\alpha w \frac{d_e}{d_n} \sqrt{2gH}, \quad (4.10)$$

де  $Q$  – витрати води, м<sup>3</sup>/с;

$\alpha$  – коефіцієнт, який враховує втрату води з осадом (0,85...0,9);

$d_e$  і  $d_n$  – відповідно діаметри відповідного і подаючого патрубків, м;

$w$  – площа патрубка, який подає воду, м<sup>2</sup>;

$H$  – втрати напору в гідроциклоні, м.

При очищенні забруднених стічних вод з мастилами, нафтопродуктами та іншими більш важкими домішками іноді застосовують напірні гідроциклони комбінованого типу (рис 4.10).

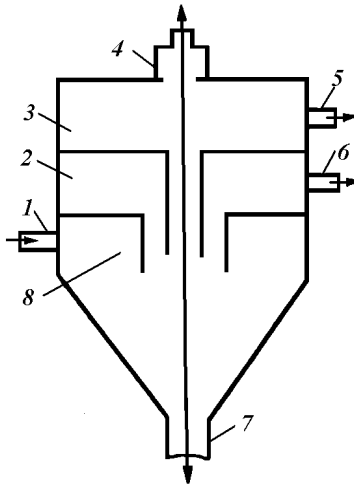


Рис. 4.10. Комбінований напірний гідроциклон:

1 – подача забрудненої води; 2 – камера водовідведення; 3 – камера мастило видалення;

4 – скид повітря; 5 – відвід мастил; 6 – відвід очищеної води;

7 – скид осаду; 8 – приймальна камера

Вода в корпус циклону подається через патрубок по дотичній, що обумовлює її рух по колу, внаслідок чого утворюються відцентрові сили, які роблять розподіл об'єму води в корпусі: біля стінок корпусу великі частки; в центрі найбільш легкі частки мастил, а посередині – частки води. Під тиском мастила рухаються по найбільш вузькій внутрішній трубі 1 у верхню камеру і далі по трубі 5 за межі апарату, а вода по трубі більшого діаметру потрапляє в середню камеру 2 і далі на скид по трубі 6. Осад зсувається біля стінок у нижню конусну частину циклону, звідки періодично скидається.

## 4.6. Нафто- і жировловлювачі

Видалення спливаючих домішок здійснюється за тими ж законами, що і осаджування важких часток. Тому і споруди для очищення плаваючих речовин (нафти, мастил, жирів, ПАР) за своєю будовою наближаються до відстійників, циклонів і інших, але відрізняються за принципом дії.

Для очищення води, що містить грубодисперсні частки нафти і нафтопродуктів в концентрації більше 100 мг/л застосовують нафтовловлювачі. Це прямокутні витягнуті в довжину залізобетонні або круглі резервуари, в яких за рахунок різної густини нафтопродуктів і води здійснюється їх розподіл. Фракції з густиною менше одиниці спливають на поверхню, а більше одиниці – осаджуються на дно. На рис. 4.11 зображена схема прямокутного нафтовловлювача.

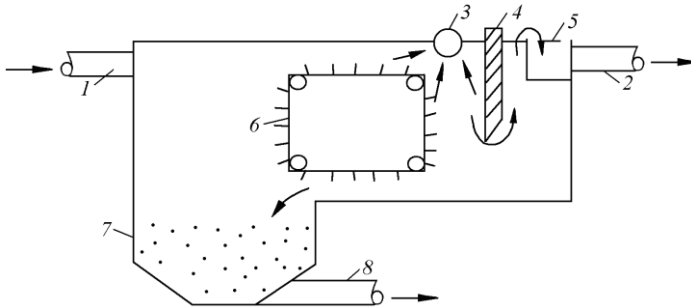


Рис. 4.11. Схема нафтовловлювача:

- 1 – подача води; 2 – відвід води; 3 – нафтозбірна перфорована труба;
- 4 – занурена перегородка; 5 – водозбірний лоток; 6 – механічна скребачка;
- 7 – бункер; 8 – відвід шламу

Забруднена вода після відстоювання і видалення легких і важких фракцій нафтопродуктів прямує в задню частину резервуару, де пройшовши під зануреною перегородкою, зливається в збірний лоток і по трубі відводиться на подальше очищення. Легкі частинки нафти після їх спливання збираються перфорованою трубою, важкі – за допомогою скребачки збираються в бункері для ущільнення і скиду.

Застосування повітря для інтенсифікації процесу видалення легких речовин із забрудненої ними стічної води можна розглянути на прикладі аерованого жировловлювача (рис. 4.12). В цій конструкції застосовується додатково такий прийом очищення води як флоатація.

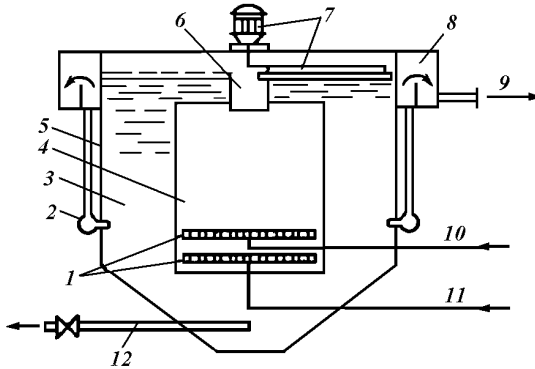


Рис. 4.12. Аерований жироловлівач:

- 1 – реактивний водорозподільний пристрій; 2 – відвід води з корпусу в лоток;  
 3 – зона відстоювання; 4 – зона флотації; 5 – корпус; 6 – лоток для збору жиру;  
 7 – привід зі скребачкою; 8 – лоток для збору очищеної води; 9 – водовідна труба;  
 10 – подача стічної води; 11 – подача водно-повітряної суміші; 12 – відвід осаду

В даному жироловлівачі в аераційну камеру під великим тиском по трубі 11 подається водоповітряна суміш, яка на виході з труби опиняється в зоні невеликого тиску, що обумовлює утворення дрібних бульбашок. При спливанні вони з'єднуються з жировими частками і утворюють на поверхні піну, яка за допомогою скребачки збирається лотком 6, а просвітлена вода по трубі 2, лотку 8 і трубі 9 відводиться за межі споруд.

### Контрольні запитання

1. На підставі яких фізичних і хімічних законів працюють відстійники, піско- і нафтовловлювачі, а також циклони?
2. Класифікація, будова і розрахунок пісковловлювачів.
3. В чому різниця в будові і розрахунках горизонтального, вертикального і радіального відстійників?
4. Яку особливість в конструкції і праці мають коридорні і контактні просвітлювачі?
5. Перерахуйте типи і особливості праці гідроциклонів.
6. За яким принципом працюють нафто- та жироловлівачі?

## РОЗДІЛ 4

# ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІДСТОЮВАННЯМ І У ПОЛІ ДІЇ ВІДЦЕНТРОВИХ СИЛ

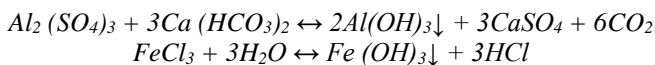
### 4.1. Принцип дії очисних споруд

Завислі крупнодисперсні речовини починають випадати з потоку при зменшенні його швидкості. Напрямок їх руху здійснюється одночасно у горизонтальній і вертикальній площинах. Швидкість руху завислої частинки зверху вниз залежить від її крупності, форми і густини. Із збільшенням ваги зростає швидкість руху частинки. Швидкість випадіння завислих часток в осад при температурі води 10°C називають гідравлічною крупністю. Від гідравлічної крупності часток в багатьох випадках залежать деякі параметри очисних споруд.

З метою штучного збільшення розмірів і маси суспензій у воді й прискорення їх осаджування в очисних спорудах застосовують коагуляцію та флокуляцію води.

*Коагуляція* – це процес очищення стічних вод від колоїднодисперсних систем за допомогою агрегування часток дисперсної фази під дією коагулянтів з подальшим відокремлюванням агрегованих часток відстоюванням, фільтруванням та іншими методами. В якості коагулянтів застосовують солі алюмінію та заліза. Найбільш поширеними з них є *сульфат* алюмінію  $[Al_2(SO_4)_3]$  та хлорне залізо ( $FeCl_3$ ). В останні роки розроблено технологію виготовлення нового ефективного коагулянту – *дигідроксосульфату* алюмінію (ДГСА) –  $Al_2(SO_4)_2(OH)_2 \cdot 11H_2O$ .

Внаслідок обробки коагулянтами у воді замість дрібних часток утворюються великі пластівці гідроколоїдів металів, які мають більш високу гідравлічну крупність, що прискорює процес їх осаджування в очисних спорудах. Але утворювані пластівці володіють здатністю уловлення дисперсних і емульгованих часток, що знаходяться в стічних водах. Процес прискорюється внаслідок того, що пластівці мають позитивний заряд, а колоїдні частинки – негативний, що обумовлює їх взаємне притягнення. Хімічний процес утворення пластівців у вигляді гідроксидів алюмінію і заліза можна описати за допомогою таких формул:



*Флокуляція.* До флокулянтів належать неорганічні та органічні високомолекулярні сполуки (ВМС), які сприяють утворенню агрегатів

у результаті утворення кількох часток за допомогою макромолекули адсорбованого або хімічно зв'язаного полімеру. Невеликі добавки (тисячні або мільйонні частки від маси твердої фази) цих речовин істотно змінюють стабільність дисперсії. Вони прискорюють утворення пластівців гідроксидів алюмінію та залізу, осадження пластівців, збільшують щільність коагулянту й рівень прояснення води.

У освітлювачах із завислим шаром флокулянти сприяють збільшенню вмісту часток у завислому шарі і зменшенню виносу з нього зависей; поліпшення адгезійних властивостей коагульованої зависі; збільшується швидкість осідання завислих речовин і фільтрації, а також продуктивність всіх споруд, що використовуються для розділення твердої і рідкої фаз в штучному режимі. Застосування флокулянтів особливо ефективно за низьких температур очищення води і знижених значень рН (кислі стічні води). У разі обробки флокулянтами мало забарвлених вод на 10...40 % знижуються витрати коагулянтів, зростає рівень прояснення і знебарвлення води, а також приблизно в 1,5 рази збільшується продуктивність очисних споруд.

Серед неорганічних флокулянтів найбільшого поширення набула активна силікатна кислота. До високомолекулярних флокулянтів природного походження належить крохмаль, похідні целюлози, гуарові смоли, лігносульфові кислоти та їх солі. З синтетичних флокулянтів більше застосовують поліакриламід та політелемоксид.

Процес відстоювання може відбуватися як в природних, так і в штучних умовах. Штучні умови утворюються внаслідок коагуляції і флокуляції води або із застосуванням деяких гідродинамічних чинників, наприклад, відцентрових сил.

Відстоюванням також видаляють речовини з густиною менше густини води, які при ламінарному русі водного потоку рухаються знизу вгору, утворюючи на поверхні жирову, мастильну або нафтову плівки.

Використання дії відцентрових сил для очищення води від дисперсних речовин дозволяє, в ряді випадків, позбутись від дорогих вартісних споруд, які працюють за гравітаційним принципом.

До споруд першої групи відносять пісковловлювачі, відстійники, просвітлювачі, нафто- і жировловлювачі різних типів, до другої – циклони і центрифуги.

## 4.2. Пісковловлювачі

Пісковловлювачі застосовують для видалення зі стічних вод важких мінеральних забруднень (переважно піску  $d \geq 0,2 \dots 0,25$  мм). Вони діляться на горизонтальні з коловим або прямолінійним рухом води, вертикальні з рухом води знизу вгору і гвинтові з поступально-обертальним рухом.

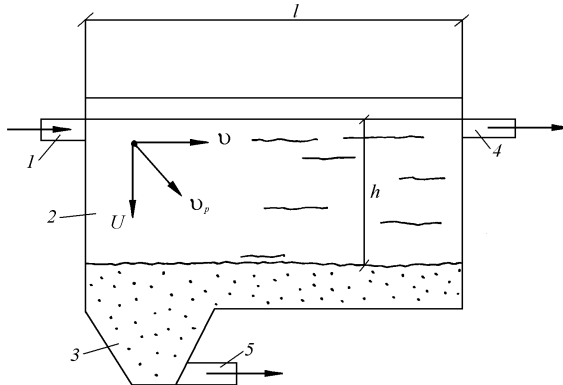


Рис. 4.1. Схема горизонтального пісковловлювача з прямолінійним рухом води:

- 1 – вхідний патрубок; 2 – проточна частина пісковловлювача; 3 – осадозбірник;  
4 – вихідний патрубок; 5 – патрубок для видалення осаду; 6 – осадозбірник

Для всіх пісковловлювачів побудованих на русі нерозчинених часток вниз під впливом сили тяжіння. Досвід експлуатації пісковловлювачів свідчить, що найбільший ефект очищення стічних вод від піску досягається в горизонтальних пісковловлювачах з прямолінійним рухом води (рис. 4.1).

Піщана частинка, що потрапила в пісковловлювач, рухається разом з потоком із швидкістю  $v$ , а також вниз з швидкістю  $U$ . В результаті її напрямок руху визначається діагоналлю прямокутника, а швидкість – величиною  $v_p$ . Швидкість руху води в пісковловлювачі приймається в межах  $0,15 \dots 0,30$  м/с. При  $v < 0,15$  м/с починають випадати в осад органічні частинки, а при  $v > 0,30$  м/с за межі споруди виносяться піщані частинки. Час перебування води в пісковловлювачі 30–60 с.

Довжина проточної частини пісковловлювача визначається за формулою:

$$l = \frac{1000 K v n}{U}, \quad (4.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який залежить від  $U$  ( $K=1,7$  при  $U \leq 18 \text{ мм/с}$  і  $K=1,3$  при  $U \geq 24 \text{ мм/с}$ );

$v$  – швидкість руху води в пісковловлювачі, м/с;

$U$  – гідравлічна крупність піску (мм/с), яка залежить від діаметра його часток (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Залежність між гідравлічною крупністю і діаметром часток піску**

$d$ , мм	0,1	0,12	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
$U$ , мм/с	5,12	7,37	11,5	18,7	24,2	28,3	34,5	0,7	51,6

Частки піску, що осіли на дно, зсуваються до осадозбірника скребачками, відкіля видаляються за допомогою гідроелеваторів або піскових насосів.

Принцип дії горизонтального колового пісковловлювача зображений на рис. 4.2.

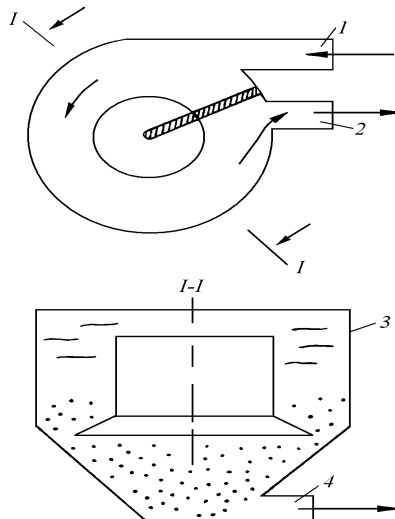


Рис. 4.2. Схема горизонтального пісковловлювача колової дії:  
1 – вхідний патрубок; 2 – вихідний патрубок; 3 – корпус пісковловлювача;  
4 – патрубок відводу осаду

Для розподілу піщаних часток за фракціями застосовують аеровані пісковловлювачі (рис. 4.3).



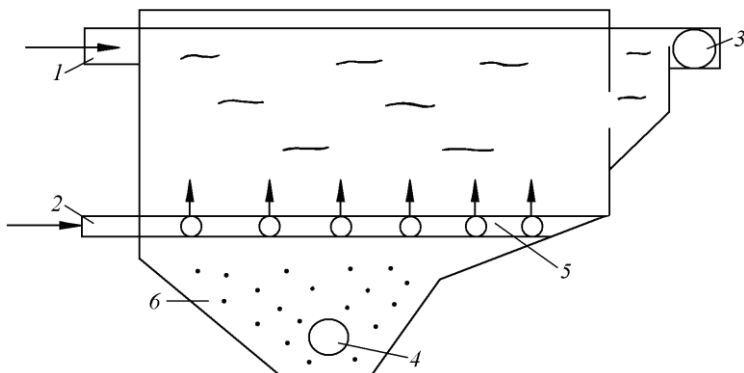


Рис. 4.3. Схема аерованого пісковловлювача:

- 1 – подача води; 2 – подача повітря; 3 – відвід води; 4 – відвід осаду;  
5 – перфорована труба для розподілу повітря; 6 – осадозбірник

В аерованих пісковловлювачах крупні частки піску осідають на його дно, де поступово зсовуються до шлакоприймального бункеру б для відводу за допомогою труби 4. Повітря, що подається в корпус пісковловлювача по трубі 2 розподіляється перфорованою трубою 5, перетворюючись в бульбашки. До бульбашок повітря прилипають дрібні частинки піску і разом з ними спливають на поверхню води, де стягуються скребачковими механізмами до відповідних лотків.

### 4.3. Відстійники

Відстійники застосовуються для видалення завислих речовин як мінерального, так і органічного походження крупністю  $\leq 0,2$  мм. За принципом дії вони працюють з коагулюванням або без нього. За конструкцією вони поділяються на горизонтальні і вертикальні. Різновидністю горизонтальних відстійників є радіальні відстійники. В горизонтальних відстійниках вода рухається горизонтально, у вертикальних – знизу вгору, в радіальних – від центру до периферії.

У відстійниках вода очищується до 150 мг/л. Вертикальні відстійники застосовуються при кількості стічних вод до 10 тис. м<sup>3</sup>/добу, горизонтальні та радіальні від 15 до 30 тис. м<sup>3</sup>/добу.

*Горизонтальний відстійник* – це прямокутний, витягнутий в напрямку руху води, залізобетонний резервуар (рис. 4.4).

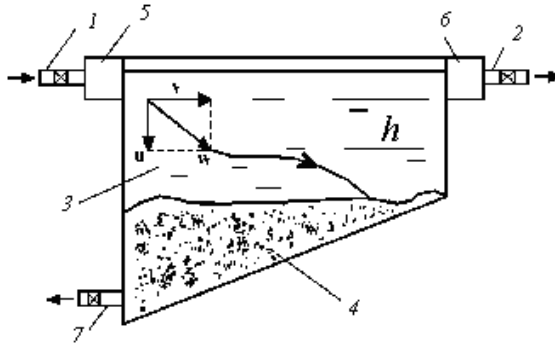


Рис. 4.4. Горизонтальний відстійник:

1 – подача води; 2 – відведення води; 3 – зона освітлення; 4 – зона накопичення осаду;  
5 – розподільний лоток; 6 – водозбірний лоток; 7 – труба для відводу осаду

У відстійник вода потрапляє через розподільний лоток і після провітлення збирається на протилежному боці лотком або перфорованою трубою для відводу на наступну споруду. Відстійник може бути поділений у повздовжньому напрямку перегородками на самостійні секції (коридори) шириною 3...6 м. Відстійник має дві зони: осаджування (провітлення) і накопичення осаду.

Глибина проточної частини відстійника визначається за формулою:

$$h = 3,6 \nu t, \text{ м}, \quad (4.2)$$

де  $\nu$  – швидкість води у відстійнику, яка приймається рівною 5...12 мм/с;

$t$  – тривалість відстоювання, яка визначається в залежності від ефекту освітлювання, с.

Довжина відстійника  $L$  визначається за формулою:

$$L = \square \frac{hv}{U}, \quad (4.3)$$

де  $\square$  – коефіцієнт, який враховує турбулентність руху води;

$U$  – вертикальна швидкість, тобто швидкість осадження завислих часток (гідралічна крупність, мм/с).

Гідралічна крупність крім розмірів, форми і густини частинок в даному випадку ще залежить від відсотку затриманих завислих речовин. Так при 20 % затриманні  $U_{min}$  дорівнює 1,2 мм/с, а при 90 % – 0,2 мм/с.

При обробці води коагулянтами гідравлічну крупність приймають в межах 0,35...0,6 мм/с.

Ширина однієї секції відстійника  $B$  може бути знайдена, як:

$$B = \frac{Q}{vh}, \quad (4.4)$$

де  $Q$  – витрата води, м<sup>3</sup>/с.

Дно горизонтального відстійника повинно мати ухил в напрямку оберненому напрямку руху води не менше 0,001.

*Вертикальний відстійник* – це круглий або квадратний у плані резервуар з конусним дном для нагромадження й ущільнення осаду.

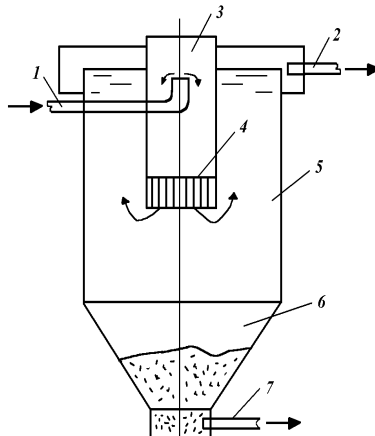


Рис. 4.5. Вертикальний відстійник:

- 1 – подача води; 2 – відведення води; 3 – камера утворення пластівців;  
4 – гаситель швидкості потоку; 5 – зона осадження пластівців; 6 – зона накопичення  
осаду; 7 – труба для скидання осаду

Кут нахилу стінок днища до горизонтальної площини приймається рівним 50...60°. У центральній частині резервуару розташована труба, яка є камерою пластівцеутворення. Для перетворення обертального руху води у поступальний, який потрібен для сприятливого режиму утворення пластівців, у нижній частині труби розміщують випрямляч (рис. 4.5).

Просвітлення води відбувається при правильному висхідному русі в зоні осадження відстійника. Розрахункова швидкість висхідного руху води має бути меншою за швидкість осадження завислих частинок і дорівнювати 0,35...0,6 мм/с.

Загальна площа відстійника визначається як:

$$F = F_0 + f, \quad (4.5)$$

де  $f$  – площа центральної (труби камери утворення пластівців);  
 $F_0$  – площа основної частини відстійника, м<sup>2</sup>.

Площа  $f$  визначається за формулою:

$$f = \frac{Q_c}{v_u}, \quad (4.6)$$

де  $Q_c$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/с;

$v_u$  – швидкість в центральній трубі, яка дорівнює 0,03...0,1 м/с.

Площа  $F_0$  може бути визначена за умов перебування (відстоювання) води у відстійнику:

$$F_0 = \frac{Qkt}{H}, \quad (4.7)$$

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

$t$  – тривалість відстоювання, год (0,5...1,5);

$k$  – коефіцієнт нерівномірності припливу рідини (1,1...1,3);

$H$  – висота циліндричної частини відстійника (3,5...4,5 м).

Висота центральної труби дорівнює 0,9  $H$ . Співвідношення діаметра до висоти відстійника (крім конусної частини) повинна дорівнювати 1,0...1,5.

Грязьова частина конусної або пірамідальної форми може бути розрахована виходячи з об'єму добового нагромадження осаду або з умов заданого кута конусності.

*Радіальний відстійник* – це круглий у плані залізобетонний резервуар з висотою значно меншою його діаметру (рис. 4.6).

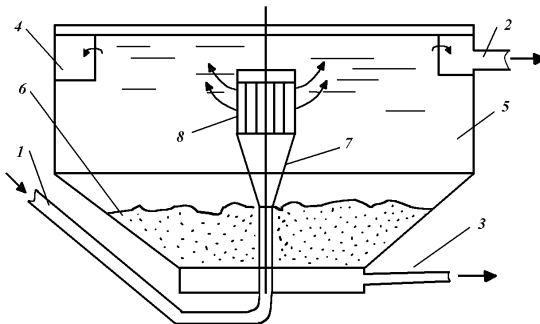


Рис. 4.6. Радіальний відстійник:

- 1,2 – трубопроводи для подачі та відведення води; 3 – труба для скидання осаду;  
 4 – водозбірний лоток; 5 – зона просвітлення; 6 – осадозбірник; 7 – дифузор;  
 8 – циліндр-заспокоювач

Природна або стічна вода після змішування її з коагулянтном підводиться до нього знизу в центр і виливається через дифузор і циліндр-заспокоювач в зону освітлення. Вода повільно рухається від центру до периферії, де зливається у водозбірний лоток. Осад після випадання на дно зсовується металевою формою із скребачками до центру для ущільнення і відводу.

Розрахунок радіальних відстійників виконується на максимальний годинний приплив. Тривалість відстоювання приймається рівною 1,5 год.

Площа відстійника у плані визначається так:

$$F = \frac{Q}{q}, \quad (4.8)$$

де  $Q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год;  
 $q$  – навантаження стічних вод на 1м<sup>2</sup> дзеркала води у відстійнику, яке дорівнює від 2 до 3,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> год.

Звідси діаметр відстійника дорівнює:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi q}}. \quad (4.9)$$

Відношення діаметру до глибини відстійника приймається від 6 до 12. Глибина зони відстоювання частіше дорівнює 3...6 м.

#### 4.4. Просвітлювачі

Просвітлювачі можна поділити на дві групи: із завислим шаром осаду і контактні. Всі просвітлювачі очищають воду після її коагулювання або флокуляції.

Просвітлювачі із завислим шаром осаду мають більш високу продуктивність, але складніші в конструктивному відношенні, ніж відстійники. Є декілька типів просвітлювачів (напірні, відкриті, із натуральним або примусовим скидом осаду), але принцип очищення у них один – перепустка забрудненої води через раніше сформований шар завислих пластівців. Найбільш поширеною конструкцією просвітлювачів даного типу є коридорний (рис. 4.7).

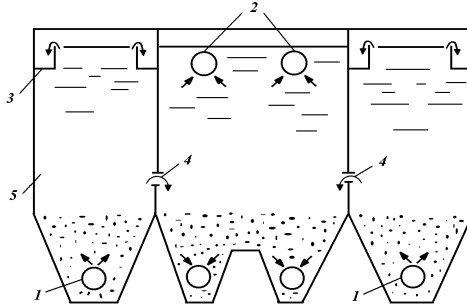


Рис. 4.7. Просвітлювач коридорного типу:  
1 – подача води; 2 – водовідвідні труби; 3 – збірні лотки;  
4 – осадоприймальні вікна; 5 – робоча камера

В просвітлювач забруднена вода потрапляє знизу крізь перфоровані труби і розподіляється рівномірно за площею робочих камер. Проходячи крізь завислий шар пластивців, вода просвітлюється і рухається до водозбірних лотків. Пластивці завислого осаду, в міру їх накопичення, через осадощільнені вікна переміщуються в осадощільну секцію, звідки по осадовідвідним трубам скидаються на мулові майданчики.

*Контактні просвітлювачі* – є перехідними спорудами від відстійників до фільтрів, виконуючи при цьому завдання обох споруд. На відміну від просвітлювачів із завислим осадом в порожніх камерах, контактні просвітлювачі заповнені гравійним матеріалом. В шарах цього матеріалу утворюються більш щільні і крупні пластивці, що забезпечує більш тісний контакт між ними та водою. Це підвищує продуктивність просвітлювачів і зменшує витрату коагулянтів.

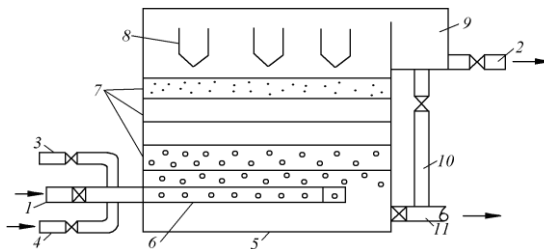


Рис. 4.8. Схема контактної просвітлювач:  
1 – подача забрудненої води; 2 – відвід просвітленої води; 3 – подача коагулянта;  
4 – подача промивної води; 5 – корпус просвітлювача; 6 – розподільча дирчаста труба;  
7 – зернисте завантаження; 8 – переливний жолоб; 9 – кишень; 10 – труба для відводу промивної води; 11 – труба для опорожнення резервуару

На рис. 4.8, зображений контактний просвітлювач, конструкція якого розроблена академією комунального господарства колишнього СРСР. Це залізобетонний резервуар заповнений гравієм різного фракційного складу. Діаметр фракцій зменшується в напрямку руху води.

Вода, яка оброблена коагулянтами, подається знизу через дирчасті труби. Рухаючись далі крізь гравійні шари з пластівцями вода переливається через кромки жолобів і потрапляє в кишеню, з якої відводиться на послідуєuche доочищення. Промивку просвітлювача здійснюють в тому ж напрямку, але з відводом промивної води з кишені по іншій трубі.

## 4.5. Гідроциклони

Просвітлювання в полі відцентрових сил здійснюється циклонами. Гідроциклони бувають напірними (закритими) і безнапірними (відкритими) (рис. 6.9).

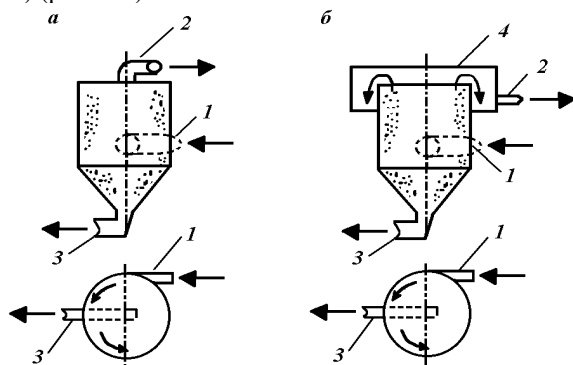


Рис. 4.9. Гідроциклони

(*a* – напірний; *b* – безнапірний):

1 і 2 – труби відповідно для подачі і відводу води;

3 – труба для відводу осаду; 4 – водозбірний лоток

Освітлена вода через напірну трубу або через збірний лоток відводиться на наступне доочищення, а осад, випавши в нижню конусну частину пристрою, відводиться на муловий майданчик.

В якості основної розрахункової формули для гідроциклону можна прийняти наступну:

$$Q = 0,24\alpha w \frac{d_e}{d_n} \sqrt{2gH}, \quad (4.10)$$

де  $Q$  – витрати води, м<sup>3</sup>/с;

$\alpha$  – коефіцієнт, який враховує втрату води з осадом (0,85...0,9);

$d_e$  і  $d_n$  – відповідно діаметри відповідного і подаючого патрубків, м;

$w$  – площа патрубку, який подає воду, м<sup>2</sup>;

$H$  – втрати напору в гідроциклоні, м.

При очищенні забруднених стічних вод з мастилами, нафтопродуктами та іншими більш важкими домішками іноді застосовують напірні гідроциклони комбінованого типу (рис 4.10).

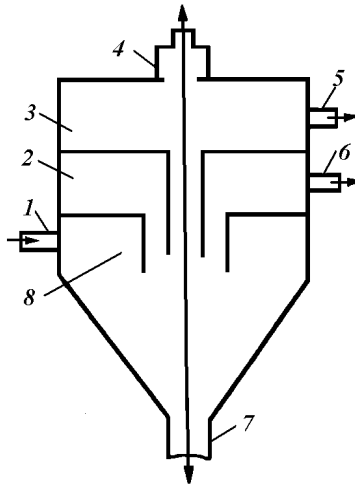


Рис. 4.10. Комбінований напірний гідроциклон:

1 – подача забрудненої води; 2 – камера водовідведення; 3 – камера мастило видалення;

4 – скид повітря; 5 – відвід мастил; 6 – відвід очищеної води;

7 – скид осаду; 8 – приймальна камера

Вода в корпус циклону подається через патрубок по дотичній, що обумовлює її рух по колу, внаслідок чого утворюються відцентрові сили, які роблять розподіл об'єму води в корпусі: біля стінок корпусу великі частки; в центрі найбільш легкі частки мастил, а посередині – частки води. Під тиском мастила рухаються по найбільш вузькій внутрішній трубі 1 у верхню камеру і далі по трубі 5 за межі апарату, а вода по трубі більшого діаметру потрапляє в середню камеру 2 і далі на скид по трубі 6. Осад зсувається біля стінок у нижню конусну частину циклону, звідки періодично скидається.



## 4.6. Нафто- і жировловлювачі

Видалення спливаючих домішок здійснюється за тими ж законами, що і осаджування важких часток. Тому і споруди для очищення плаваючих речовин (нафти, мастил, жирів, ПАР) за своєю будовою наближаються до відстійників, циклонів і інших, але відрізняються за принципом дії.

Для очищення води, що містить грубодисперсні частки нафти і нафтопродуктів в концентрації більше 100 мг/л застосовують нафтовловлювачі. Це прямокутні витягнуті в довжину залізобетонні або круглі резервуари, в яких за рахунок різної густини нафтопродуктів і води здійснюється їх розподіл. Фракції з густиною менше одиниці спливають на поверхню, а більше одиниці – осаджуються на дно. На рис. 4.11 зображена схема прямокутного нафтовловлювача.

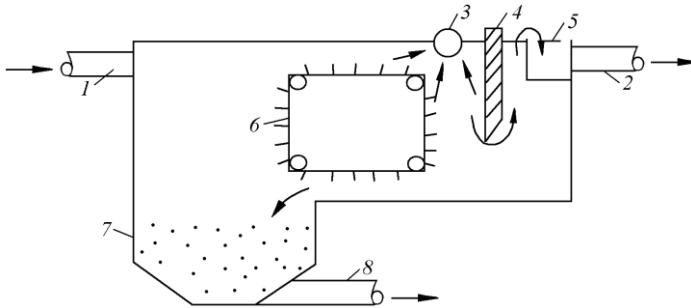


Рис. 4.11. Схема нафтовловлювача:

- 1 – подача води; 2 – відвід води; 3 – нафтозбірна перфорована труба;
- 4 – занурена перегородка; 5 – водозбірний лоток; 6 – механічна скребачка;
- 7 – бункер; 8 – відвід шламу

Забруднена вода після відстоювання і видалення легких і важких фракцій нафтопродуктів прямує в задню частину резервуару, де пройшовши під зануреною перегородкою, зливається в збірний лоток і по трубі відводиться на подальше очищення. Легкі частинки нафти після їх спливання збираються перфорованою трубою, важкі – за допомогою скребачки збираються в бункері для ущільнення і скиду.

Застосування повітря для інтенсифікації процесу видалення легких речовин із забрудненої ними стічної води можна розглянути на прикладі аерованого жировловлювача (рис. 4.12). В цій конструкції застосовується додатково такий прийом очищення води як флотація.

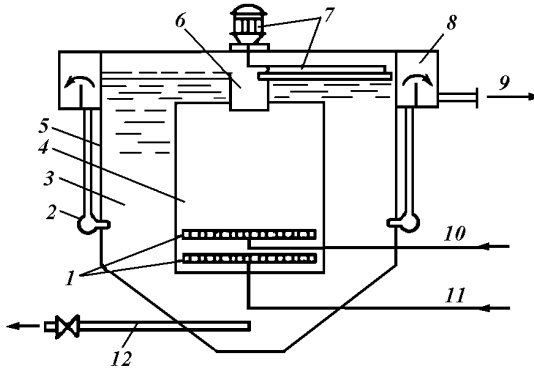


Рис. 4.12. Аерований жировловлювач:

- 1 – реактивний водорозподільний пристрій; 2 – відвід води з корпусу в лоток;
- 3 – зона відстоювання; 4 – зона флотації; 5 – корпус; 6 – лоток для збору жиру;
- 7 – привід зі скребачкою; 8 – лоток для збору очищеної води; 9 – водовідвідна труба;
- 10 – подача стічної води; 11 – подача водно-повітряної суміші; 12 – відвід осаду

В даному жировловлювачі в аераційну камеру під великим тиском по трубі 11 подається водоповітряна суміш, яка на виході з труби опиняється в зоні невеликого тиску, що обумовлює утворення дрібних бульбашок. При спливанні вони з'єднуються з жировими частками і утворюють на поверхні піну, яка за допомогою скребачки збирається лотком 6, а просвітлена вода по трубі 2, лотку 8 і трубі 9 відводиться за межі споруд.

### Контрольні запитання

1. На підставі яких фізичних і хімічних законів працюють відстійники, піско- і нафтовловлювачі, а також циклони?
2. Класифікація, будова і розрахунок пісковловлювачів.
3. В чому різниця в будові і розрахунках горизонтального, вертикального і радіального відстійників?
4. Яку особливість в конструкції і праці мають коридорні і контактні просвітлювачі?
5. Перерахуйте типи і особливості праці гідроциклонів.
6. За яким принципом працюють нафто- та жировловлювачі?

## РОЗДІЛ 5 ФЛОТАЦІЯ

### 5.1. Сутність і види процесів флоатації

Флоатаційне очищення стічних вод найчастіше застосовують після вилучення з них домішок, які осаджуються або спливають. За допомогою цього прийому виділяють із води поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, жири, смоли та інші.

Сутність процесу флоатації в тому, що до тонкодисперсних бульбашок повітря або газу прилипають частки завислих речовин і спливають разом на поверхню води. Ефект флоатації залежить від розмірів бульбашок повітря і рівномірності розподілу їх у воді. Оптимальними розмірами бульбашок вважають рівними 15...30 мкм.

Розрізняють три види флоатації: 1) виділення повітря з водного розчину (напірні, вакуумні і ерліфтні установки); 2) механічна дисперсія повітря (безнапірні, імпульсні і пневматичні установки); 3) електрофлоатація.

Найбільш поширений спосіб флоатації, в основу якого покладено закон Генрі:

$$V_r = \frac{K P_p V_p}{P_r}, \quad (5.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який характеризує розчинність газів у воді;

$P_g$  і  $P_p$  – відповідно тиск в газі і в рідині, Па;

$V_g$  і  $V_p$  – відповідно об'єм газу і рідини, м<sup>3</sup>.

Відповідно цьому закону із збільшенням тиску зростає об'єм розчиненого газу. Однак при падінні тиску газ починає виділятися з води у вигляді дрібних тонкодисперсних бульбашок. На цьому побудована дія напірних і вакуумних флотаторів і ерліфтів.

### 5.2. Напірна флоатація

В залежності від складу виділених домішок, напірна флоатація може здійснюватися без реагентів або з їх додаванням. В останньому випадку ефект очищення вище за рахунок кращого прилипання пластифікаторів, що утворюються внаслідок реакції реагентів з солями води, до бульбашок повітря.

В практиці застосовують дві технологічні схеми напірної флоатації, які зображені на рис. 5.1.

Різниця між схемами “а” і “б” полягає, головним чином в якості води, яку насичують повітрям. В першому випадку використовують неочищену воду, в другому – очищену. Недоліком схеми “а” є загроза засмічування крупними завислими частками апаратури і розподільчої системи, що виключається в схемі “б”, хоча вона дорожча, ніж перша.

При напірній флотації час перебування води в контактному резервуарі приблизно дорівнює 2 хв. Об’єм повітря, який потрібен для обробки води дорівнює 3... 5 % від об’єму забрудненої води.

При проектуванні флотатора форма і розміри флотаційної камери залежать від витрат очищеної води  $Q$ . Так, при  $Q \leq 100$  м<sup>3</sup>/год застосовують прямокутні камери, а при  $Q > 100$  м<sup>3</sup>/год – радіальні камери.

При спливанні бульбашок повітря разом із частинками забруднених речовин на поверхні води утворюється піна, для збору і відведення якої потрібно встановлювати спеціальні пристрої. В склад флотаційних установок, крім безпосередньо флотатора можуть входити камери пластівцеутворення, прилади для підготовки і розподілу, устаткування для відділення і відводу піни.

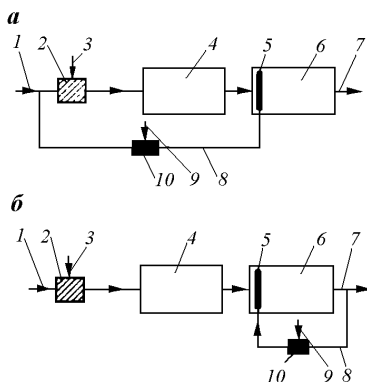


Рис. 5.1. Технологічні схеми напірної флотації при насиченні повітрям вхідної (а) або очищеної (б) води:

- 1,7 – подача забрудненої і відвід очищеної води; 2 – змішувач; 3 – подача реагентів;
- 4 – камера пластівцеутворення; 5 – розподільний пристрій; 6 – флотатор;
- 8 – подача водоповітряної суміші; 9 – подача повітря;
- 10 – бак для розчинення повітря у воді

Найбільш поширеним типом флотаторів є флотатори з горизонтальним рухом води (рис. 5.1). Вони можуть мати в плані квадратну або прямокутну форму з такими розмірами: довжина 3...9 м, ширина 6 м, глибина води 1,5...2,5 м. Днище камери будують з ухилом 0,01 до водовідвідного трубопроводу.

В горизонтальному флотаторі спочатку здійснюється коагуляція води і утворення пластівців у відповідній камері. Далі водяна суміш потрапляє в зону перемішування, де насичується бульбашками повітря, що подається по перфорованій трубі в нижню частину цієї зони, і переміщується безпосередньо у флотаційне відділення установки. Піна, яка утворюється при спливанні бульбашок, збирається скребачкою в жолоб, а очищена вода по трубі, що розташована в нижній частині флотаційної камери, відводиться на подальше очищення.

Конкретні розміри флотатора встановлюють виходячи з часу перебування води в ньому, який дорівнює 20...60 хв. Тоді об'єм камери флотації обчислюється за формулою:

$$W_{\phi} = Qt. \quad (5.2)$$

Розмір площі флотаційної камери в плані  $F$  слід визначати, виходячи з питомого навантаження на неї, яке дорівнює 6...10 м<sup>3</sup>/год, за формулою:

$$F = W_{\phi} / q, \quad (5.3)$$

де  $q$  – питоме навантаження, м<sup>3</sup>/(год·м<sup>2</sup>);

$W_{\phi}$  – об'єм флотаційної камери, м<sup>3</sup>.

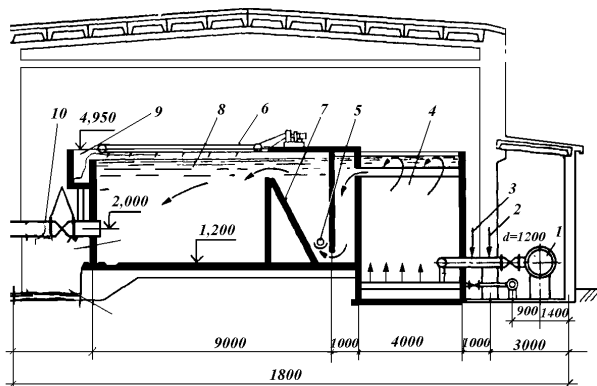


Рис. 5.2. Флотатор із горизонтальним рухом води:

- 1,10 – подача забрудненої і відвід проясненої води;
- 2 і 3 – подача реагенту;
- 4 – камера пластівцеутворення;
- 5 – подача водовітряної суміші;
- 6 – пінознімач;
- 7 – розподільча перегородка;
- 8 – флотаційна камера;
- 9 – жолоб для збору піни

В флотаторах колової форми (рис. 5.2) збір і видалення піни простий, однак системи розподілу та обробки води і подачі водовітряної суміші дещо складний.

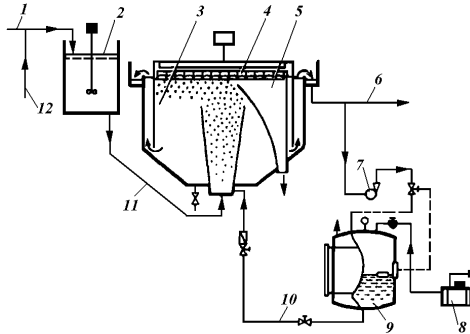


Рис. 5.3. Флотатор із роздільним рухом води:

- 1,6 – подача забрудненої і відвід проясненої води; 2 – камера пластівцеутворення;  
 3 – флотажна камера; 4 – скребачка для видалення піни;  
 5 – лоток для збору піни; 7 – насос; 8 – компресор; 9 – напірний бачок; 10 – подача водоповітряної суміші; 11 – подача коагульованої води; 12 – подача реагенту

### 5.3. Вакуумна і ерліфтна флотація

Перевага вакуумної флотації над напірною полягає в тому, що процес злипання-випливання бульбашок повітря із частинками забруднюючих речовин більш спокійніший, витрати енергії на утворення водоповітряної суміші значно менші.

Вода протягом 1...2 хв. насичується повітрям в аераційній камері, звідки під дією розрідження (0,02...0,03 МПа) вона потрапляє в флотажну камеру, де перебуває протягом 20 хв. Навантаження на 1 м<sup>2</sup> поверхні флотажної камери приблизно дорівнює 8 м<sup>3</sup>/год. Процес збору і видалення піни і проясненої води аналогічний напірній флотації.

Особливість ерліфтної флотації полягає, в основному, в будові і місцерозташуванні аераційного пристрою, в основі якого покладено сопло Вентурі. Перепад відміток між аератором і іншими складовими частинами установки сягає 20...35 м, що незручно як при її будові, так і експлуатації.

### 5.4. Безнапірна флотація

В безнапірних флотажних установках повітря подається компресором або всмоктується спеціальними пристроями (імпеллерами) безпосередньо у флотажну камеру, де за допомогою решіток з дрібними отворами, фільтросних пластин, перфорованих труб, насадок перетворюється в бульбашки розміром 4...20 мкм.

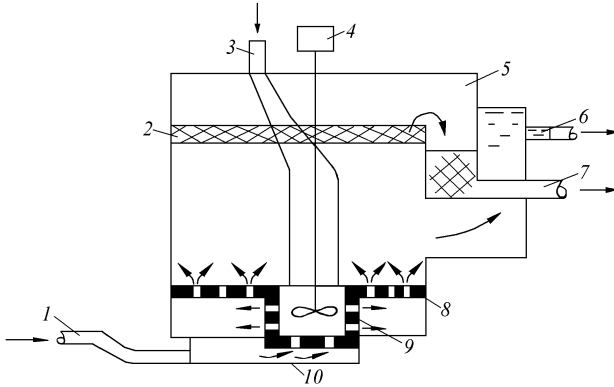


Рис. 5.4. Схема імпелерної однокамерної флотажної установки:  
 1 – подача забрудненої води; 2 – піна; 3 – подача повітря; 4 – привід імпеллера;  
 5 – пінозбірник; 6 – відвід очищеної води; 7 – відвід піни; 8 – решітка;  
 9 – статор; 10 – приймальна кишеня

Заслугує уваги флотажна установка з диспергуванням повітря турбінкою насосного типу (імпеллер) (рис. 5.4).

В імпелерній установці вода з приймальної кишені потрапляє в статор, куди також всмоктується повітря. Імпеллер перемішує воду з повітрям. Із статора водоповітряна суміш витискується під дією відцентрових сил і через решітку потрапляє безпосередньо у флотажну камеру, де утворюється розподіл рідинної фази і бульбашок повітря (піни). Піна збирається пінозбірником в спеціальну кишеню і відводиться за межі споруди. Очищена вода потрапляє в іншу кишеню. Для більш повного очищення застосовують декілька камер з послідовним рухом води крізь них.

Рівень диспергування повітря залежить від колової швидкості імпеллера, яку приймають рівною 12...15 м/с. Діаметр імпеллера  $d_i$  не повинен перевищувати 750 мм. Зона обслуговування імпеллера в квадратній камері не повинна перевищувати  $(6d_i)^2$ . Висота флотажної камери  $H_\phi$  приймається рівною 1,5...3 м; тривалість флотації  $t_\phi = 20...30$  хв.

Пропускнну здатність однієї камери флотатора визначають за формулою:

$$Q = 3,6 d_i H_\phi / 0,025 t_\phi, \quad (5.4)$$

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

Продуктивність імпеллера  $Q$  визначається за формулою:

$$Q = 0,000278 \Pi \cdot F, \quad (5.5)$$

де  $\Pi$  – питома витрата повітря на  $1 \text{ м}^2$  поверхні флотаційної камери, яка дорівнює  $40...50 \text{ м}^3/\text{год}$ ;

$F$  – площа камери в плані,  $\text{м}^2$ .

Недоліки імпульсних флотаторів є великі втрати води з піною.

## 5.5. Електрофлотація

Сутність електрофлотаційного способу очищення стічних вод полягає в процесі виносу завислих домішок бульбашками газу, що утворюється внаслідок електролізу води. В процесі електролізу води на катоді утворюються бульбашки водню, а на аноді – кисню. При застосуванні залізних або алюмінієвих електродів утворюється анодний розчин металу. В свою чергу катіони заліза і алюмінію є основою утворення пластівців гідроксидів. Одночасне утворення бульбашок газу і пластівців прискорює інтенсивність флотаційного процесу. Схема електрофлотаційної установки зображена на рис. 5.5.

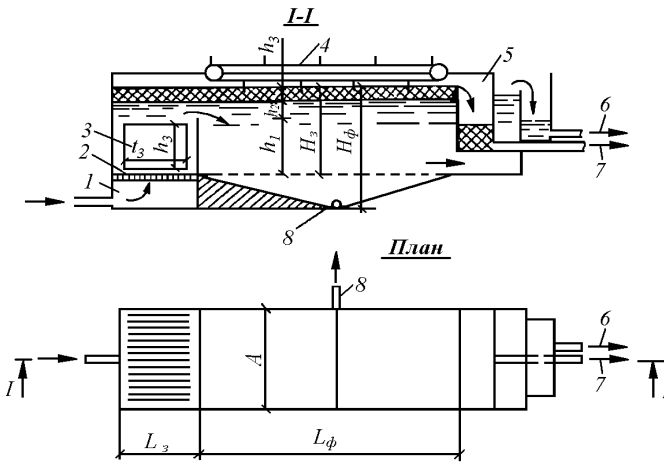


Рис. 5.5. Горизонтальний електрофлотатор:

- 1 – вхідна камера; 2 – решітка-заспокоювач; 3 – електродна система;
- 4 – піношкребачка; 5 – пінозбірник; 6 – відвід очищеної води; 7 – відвід піни;
- 8 – опорювання флотатора від води і шлама

Розрахунок установок електрофлотації зводиться до визначення загального об'єму  $W_3$ , об'ємів електродного відділення  $W_e$  і камери флотації  $W_\phi$ . Загальний об'єм установки дорівнює:

$$W_3 = W_e + W_\phi. \quad (5.6)$$



Об'єм електродного відділення визначається можливістю розміщення в ньому електродної системи.

Ширина флотатору залежить від витрат стічної води і приймається: при  $Q \leq 90$  м<sup>3</sup>/год рівною 2 м, а при  $Q = 90 \dots 180$  м<sup>3</sup>/год – 2...3,5 м.

Число пластин електродів  $n_e$ , які встановлюються паралельно напрямку руху потоку води в камері, визначають за формулою:

$$n_e = \frac{B - 2a_1 + a_2}{\delta + a_2}, \quad (5.7)$$

де  $B$  – ширина однієї секції флотатора, мм;

$a_1 = 100$  мм – відстань між пластинками і стінками камери;

$a_2 = 15 \dots 20$  мм – відстань між пластинками;

$\delta = 6 \dots 10$  мм – товщина пластин.

Необхідна площа пластин електродів  $f_e$  обчислюється так:

$$f_e = \frac{f_{ae}}{n_e - 1}, \quad (5.8)$$

де  $f_{ae}$  – активна поверхня електродів, м<sup>2</sup>.

$$f_{ae} = E \cdot Q / i, \quad (5.9)$$

де  $E$  – питома кількість електрики, А·год/м<sup>2</sup>;

$i$  – щільність струму на електродах, А/м<sup>2</sup>.

Величина  $E$  при електрофлотації стічних вод заводів нафтопродуктів, целюлозно-паперових комбінатів, шкірозаводів, м'ясокомбінатів приймається в межах 100...600 А·год/м<sup>2</sup>,  $i = 50 \dots 200$  А/м<sup>2</sup>, напруга постійного струму 5...30 В.

Прийнявши висоту пластин  $h_e$  рівною 1...1,5 м знаходимо її довжину  $l_e$ , як:

$$l_e = f_e / h_e. \quad (5.10)$$

Тоді довжина електродної камери буде дорівнювати:

$$L_e = l_e + 2a, \quad (5.11)$$

а її об'єм:

$$W_e = B H_e L_e, \quad (5.12)$$

де  $H_e$  – робоча висота електродної камери.

Висота  $H_e$  складається з наступних параметрів:

$$H_e = h_1 + h_2 + h_3, \quad (5.13)$$

де  $h_1$  – висота просвітленого шару, 1...1,5 м;

$h_2$  – висота захисного шару, 0,3...0,5 м;

$h_3$  – шар шламу, 0,4...0,5 м.

Об'єм флотаційної камери обчислюється за формулою:

$$W_e = Q \cdot t_{\phi}, \quad (5.14)$$

де  $t_{\phi}$  – тривалість флотації, 0,3...0,75 год.

### Контрольні запитання

1. В чому сутність процесу флотації та її види?
2. Схеми напірної флотації. Типи флотаторів та їх розрахунок.
3. В чому сутність вакуумної та ерліфтної флотації?
4. В чому сутність безнапірної флотації? Імпеллерний флотатор та його розрахунок.
5. З'ясуйте сутність праці електрофлотатору та його розрахунок.

## РОЗДІЛ 6 ОЧИЩЕННЯ ФІЛЬТРУВАННЯМ

### 6.1. Призначення фільтрів у ланцюгах очисних споруд

Фільтрування є обов'язковим прийомом очищення природних вод. При очищенні стічних вод воно є попереднім у механічному методі або складовою частиною біологічного і фізико-хімічного методів і знезаражування для виділення речовин, які утворюються внаслідок біохімічних процесів або хімічних реакцій під час очищення води особливо із застосуванням коагулянтів. Фільтрування широко використовується для виділення паливо-мастильних речовин в різних машинах і механізмах.

Процес фільтрування слід поділяти на макро- і мікрофільтрування. У першому випадку затримують грубі і грубодисперсні частки розміром понад 0,5 мм, в другому – тонкодисперсні домішки і хвороботворні мікроорганізми, включаючи віруси. Виділення грубих речовин здійснюється перед відстоюванням води проціджуванням її крізь решітки. Подальше фільтрування застосовують вже після того як забруднені води пройдуть попереднє очищення у відстійниках, циклонах, нафто- і жировловлювачах і інших спорудах.

Грубодисперсні частки, в основному затримуються зернистими і намивними фільтрами. Дрібнодисперсні частки виділяють за допомогою сітчастих і особливо тканинних фільтрів. Механізмами фільтраційних процесів є гравітаційні і відцентрові сили, а також гідростатичний і гідродинамічний тиски.

### 6.2. Решітки

Решітки поділяють:

- 1) за шириною просвітів – на грубі з величиною просвітів 30...100 мм і звичайні – 5...25 мм;
- 2) за конструктивними особливостями – на нерухомі та рухомі, поворотні, крильчасті та решітки –дробарки;
- 3) за способом очистки – на ручні та механічні.

Найбільш розповсюджені нерухомі решітки, які на невеликих очисних станціях очищуються вручну, а на великих – механічним способом із застосуванням рухомих граблів. Схема механічної решітки зображена на рис. 6.1. Решітку розміщують в пазах розширеної частини каналу. Це металева рамка з приєднаними до неї круглими стержнями діаметром 10 мм або пластинками розмірами у поперечному перерізі 10×50 мм.

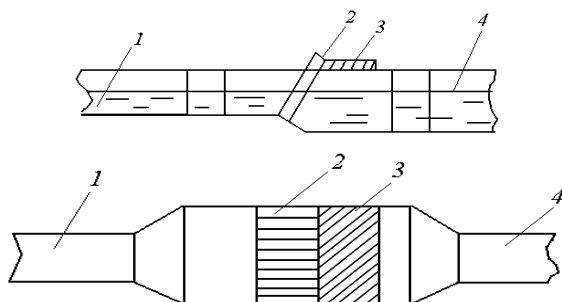


Рис. 6.1. Схема механічної решітки:

1 – підвідний канал; 2 – решітка; 3 – майданчик для обслуговування; 4 – відвідний канал

### 6.3. Зернисті та наливні фільтри

Зернисті фільтри є найбільш розповсюдженими конструкціями в системах очищення природних і стічних вод.

Виділення колоїдних домішок здійснюється за допомогою різних зернистих фільтруючих матеріалів: кварцового піску, дробленого гравію, шлаку, антрациту, керамзиту, аглопориту, бурого вугілля та інших. Вибір фільтруючого матеріалу залежить від продуктивності станції очищення і складу домішок в забруднених водах.

Матеріал завантаження може бути однорідним (одношарові фільтри) або з декількох різних за своїми властивостями шарів (багатшарові).

В першому випадку застосовують кварцовий пісок, в другому – кварцовий пісок і антрацит або інший матеріал більш легкий ніж пісок.

За принципами дії фільтри можуть бути відкритими – безнапірними і закритими – напірними. За швидкістю фільтрації вони діляться на повільні ( $v = 0,1 \dots 0,5$  м/год), швидкісні ( $v = 5 \dots 15$  м/год) і надшвидкісні ( $v = 20 \dots 25$  м/год).

Вилучення забруднених домішок може здійснюватися або поверхнею або всією товщею фільтруючих шарів.

*Повільні і швидкісні одношарові фільтри – це відкриті залізобетонні прямокутні в плані резервуари (рис. 6.2).*

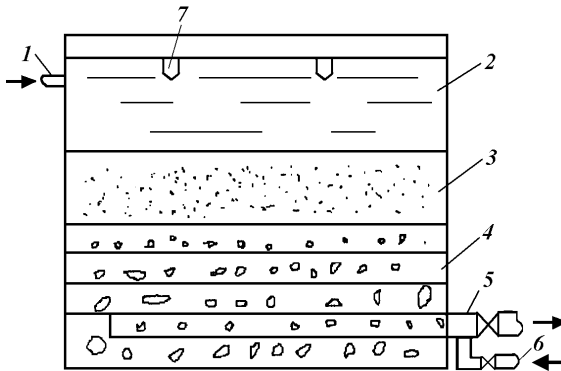


Рис. 6.2. Швидкісний фільтр (в розрізі):

- 1 – подаюча труба; 2 – шар води; 3 – шар піску; 4 – підтримуючі шари гравію;  
5 – збирна водовідвідна труба; 6 – подача води на промивку; 7 – водозбірний лоток

Стічна вода в обох типах фільтрів подається у верхню частину резервуару, і, рухаючись далі вниз крізь шар піску і підтримуючі шари гравію, збирається біля дна перфорованою трубою для відводу за межі споруди.

Шар води над піском дорівнює в повільних фільтрах біля 1,5 м, у швидкісних – понад 2 м. Шар піску  $h_{\text{п}}$  приймається рівним: у повільних фільтрах при діаметрі зерен 0,8...1,0 мм 0,8...1,3 м. В швидкісних фільтрах  $h_{\text{п}} = 0,7$  м при діаметрі зерен 0,5...1,25 мм;  $h_{\text{п}} = 1,2 \dots 1,3$  м при діаметрах зерен 0,7...1,0 мм;  $h_{\text{п}} = 1,8 \dots 3,0$  м при діаметрах зерен 0,8...2,0 мм.

Підтримуючі шари розміщують під піском в порядку зростання діаметру фракцій (від 2 до 60 мм) товщина кожного шару дорівнює 100...400 мм із загальною потужністю 450...650 мм.

Різниця між повільним і швидкісним фільтрами крім швидкості фільтрування полягає ще і в процесах затримання забруднюючих домішок, їх видалення з корпусу фільтра і періодами між очищеннями (фільтроциклах).

У повільних фільтрах завислі домішки утримуються у верхньому 20 мм шарі піску, де розвиваються мікроскопічні водорості і колонії бактерій, які формують дрібнозернисту плівку, що здатна не тільки провітлювати воду але і затримувати хвороботворні і інші організми. Через 72 години припиняється подача води у фільтр і після інфільтрації води, що залишилась, знімають вручну або за допомогою механічних приладів верхній (20 см) шар разом з бактерицидною плівкою, видаляють його за межі споруди і знову запускають фільтр в роботу.

У швидкісних фільтрах затримання завислих часток здійснюється всією товщею фільтруючого матеріалу.

Фільтроцикл триває 12...72 год. Після чого робиться промивка піску оберненим (знизу-вверх) потоком води. Промивна вода збирається спеціальними лотками, встановленими у верхній частині фільтра і відводиться за межі споруди.

Двошарові швидкісні фільтри виконують з кварцового піску (нижній шар) товщиною 0,5...0,6 м і дробленого антрациту (верхній шар) товщиною 0,3...0,4 м. Грязеємність фільтру збільшується у 2 рази внаслідок більшої пористості антрациту, що дає можливість накопичувати в цьому шарі значну кількість забруднених речовин, але на першому етапі фільтроциклу цей процес виконує кварцовий пісок.

Розрахунок загальної площі  $F$  швидкісних фільтрів виконується за формулою:

$$F = \frac{Q_{\text{max доб}}}{24v_{\phi}}, \quad (6.1)$$

де  $Q_{\max \text{ доб}}$  – максимальна добова продуктивність станції, м<sup>3</sup>/доб;

$v_f$  – швидкість фільтрації, м/год.

Кількість фільтрів на станції повинна бути не менше двох, їх довжина і ширина залежить від планування очисної станції, висота – від висоти шарів води, піску і підтримки, а також запасу для виконання монтажних і експлуатаційних робіт.

*Надшвидкісні напірні фільтри* – це металеві циліндри з напівкульовими кришками, які приєднані до них з обох сторін. Через верхню зйомну кришку іде завантаження корпусу кварцовим піском або іншим фільтруючим матеріалом (рис. 6.3).

Процес очищення у фільтрах даного типу здійснюється шляхом подачі води в нижню частину фільтруючого матеріалу і відводу її за допомогою воронки у верхній частині фільтра. В тому ж напрямку здійснюється промивка фільтру.

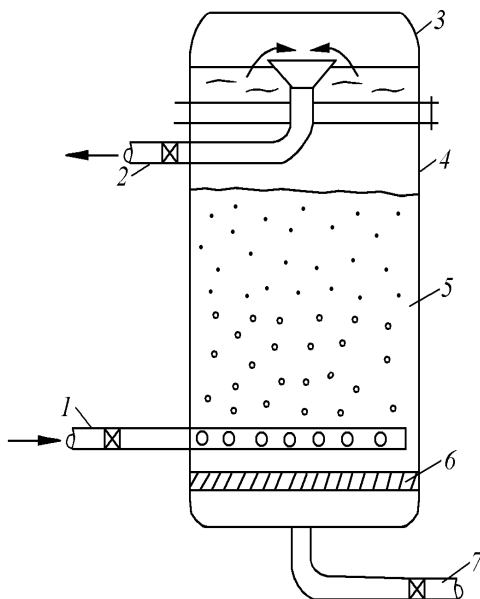


Рис. 6.3. Схема надшвидкісного фільтра:

- 1 – труба подачі забрудненої води; 2 – водовідвідна труба; 3 – зйомна кришка;  
4 – корпус; 5 – фільтруючий матеріал; 6 – опорна решітка; 7 – дренажна труба

*Намивні фільтри* застосовують при невеликій (до 40 мг/л) каламутності і витратах забруднених стічних або природних вод. Основою даної споруди є фільтрувальні елементи (пориста кераміка, сітки, каркасно-навиті стержні), на які наносять (намивають) фільтруючий порошок у вигляді дерев'яного борошна, бентоніту, діатоміту, азбестової крихти і інших матеріалів. Схема намивного фільтру зображена на рис. 6.4.

Швидкість фільтрування на намивних фільтрах змінюється від 1 до 50 м/год. При цьому вміст органічних речовин в стічних водах зменшується у 2 рази, забезпечується виділення мікроорганізмів, заліза, мангану, мастил і інших домішок.

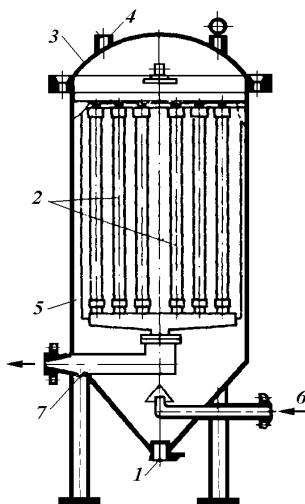


Рис. 6.4. Схема намивного фільтра:

- 1 – скид осаду; 2 – фільтрувальні елементи; 3 – зйомна кришка; 4 – скид повітря;  
5 – корпус; 6 – труба подачі забрудненої води; 7 – водовідвідна труба



## 6.4. Сітчасті, тканинні і мембранні фільтри

*Сітчасті і тканинні фільтри* застосовують, в основному, в промисловості, а також для очищення води і мастил в багатьох механізмах. Ці фільтри найчастіше роблять закритими і напірними.

Сітки можуть бути плоскими або круглими – барабанными, нерухомими і рухомими (обертальними), із очищенням скребачками або потоком води. Сітки виготовляють із нержавіючого металу з шириною просівів комірок 0,3×0,3 або 0,5×0,5 мм. Іноді застосовують сітки з більш крупними отворами (3×3).

Тканинні фільтри виготовляють з бавовни, сукні, льону, капрону і інших матеріалів.

Прикладами може бути *центрифуга* – це вертикальний циліндр з розміщеними в його середній частині сітками або фільтруючими тканинами.

Циліндр обертається навколо своєї осі, внаслідок чого утворюються відцентрові сили. Їх величини визначаються за формулою:

$$F = mw^2r, \quad (6.2)$$

де  $m$  – маса домішок, кг;

$r$  – радіус циліндра, м

$w$  – кутова швидкість, яка дорівнює:

$$w = \frac{\pi n}{30}, \quad (6.3)$$

де  $n$  – число обертів циліндру, об/хв.

На рис. 6.5 зображена схема центрифуги із змінною сіткою, яка за розмірами своїх комірок пропускає воду і не пропускає завислі, в основному, органічні частинки, які накопичуються в центральній частині корпусу, а очищена вода опиняється біля стінок, звідки вони по відповідним отворах в піддоні відводяться за межі апарату.

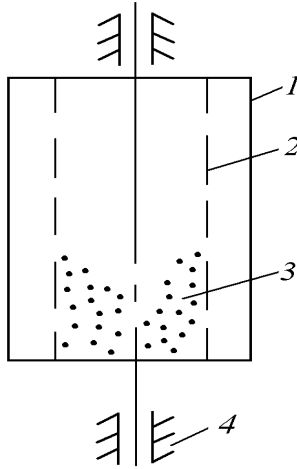


Рис. 6.5. Схема центрифуги:

1 – корпус; 2 – сітка; 3 – осад; 4 – підшипник

Стічна вода в центрифугу подається через отвір в кришці в центральній частині корпусу.

*Мембранні фільтри* застосовують в промисловості для виділення і послідовного використання цінних і корисних речовин (протеїн, крохмаль, кухонна сіль). Затримуються мембранами і токсичні елементи (ртуть, свинець і інші), хвороботворні і інші мікроорганізми.

Мембрани виготовляють з ацетилцелюлози або поліакриламідних волокон. Очищення здійснюється при тискові 2...7 МПа при температурі 18...20°C. Принципова схема гіперфільтраційного мембранного пристрою зображена на рис. 6.6.

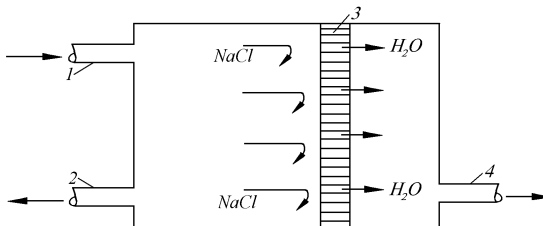


Рис. 6.6. Принципова схема пристрою опріснення солоних вод, що забрудненні кухонною сіллю (NaCl):

1 – подача солоної води; 2 – відвід NaCl; 3 – мембрана; 4 – відвід прісної води

## 6.5. Пінополістирольні фільтри

В останній час в Україні з'явилась тенденція заміни піщаних фільтрів на пінополістирольні. Питома вага гранул пінополістирола менше питомої ваги води. Тому у воді вони спливають і, щоб обмежити їх рух вгору, на верхній границі шару полістиролу встановлюють металеву нержавіючу сітку з розмірами комірок, які відповідають діаметру гранул пінополістиролу. Гранули виготовляють розмірами 0,5...1,5 мм (дрібні) і 2...8 мм (крупні). Фільтруючий матеріал в корпусі фільтра може розміщуватись одним або двома шарами (ярусами). На рис. 6.7 зображена схема фільтра з двоярусним завантаженням.

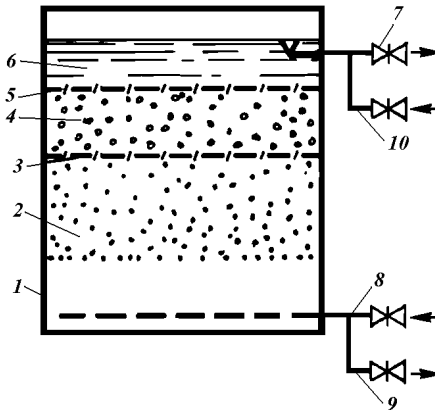


Рис. 6.7. Фільтр з двоярусним завантаженням:

1 – корпус фільтра; 2 – крупногранульоване завантаження; 3, 5 – утримуючі решітки нижнього і верхнього шарів; 4 – дрібногранульоване завантаження; 6 – над фільтрувальний простір; 7 – відвід чистої води; 8 – подача забрудненої води; 9 – відвід промивної води; 10 – подача промивної води

В пінополістирольних фільтрах забруднена вода звичайно подається в нижню частину корпусу, звідки вона, проходячи фільтруючі шари, збирається в надфільтруючому просторі і відводиться за межі споруди. Нижній ярус улаштовують з гранул великого діаметру. Тут затримуються більш великі завислі речовини. У верхньому ярусі, який роблять з дрібних гранул, затримуються частки малих розмірів.

Двошарові фільтри за висотою незначно відрізняються від одношарових. Завантаження хоча і виготовляють з одного матеріалу – пінополістиролу, але гранули верхнього і нижнього ярусів відрізняються не тільки крупністю але і питомою вагою. Необхідне співвідношення між питомою вагою і діаметром гранул кожного шару можна визначати за формулою:

$$\rho_2 = 1000 - \left( \frac{d_1}{d_2} \right)^2 (1000 - \rho_1), \quad (6.4)$$

де  $d_1$  і  $d_2$  – відповідно діаметр гранул верхнього і нижнього шарів, мм;

$\rho_1$  і  $\rho_2$  – відповідно питома вага гранул верхнього і нижнього шарів, кг/м<sup>3</sup>.

При застосуванні коагулянтів рекомендується приблизно такий розмір гранул: діаметр верхнього шару 0,8 мм, нижнього 1,2 мм; відповідно питома вага повинна дорівнювати 180 і 740 кг/м<sup>3</sup>.

Регенерація пінополістирольних фільтрів здійснюється оберненим потоком води. Для цього залишають між кожним фільтруючим шаром і дном фільтру або нижче розташованою решіткою простір висотою 0,2...0,3 м для збільшення об'єму при спушванні шару пінополістиролу внаслідок оберненого руху потоку промивної води.

Пінополістирольні фільтри можуть працювати в широкому діапазоні швидкостей від 10...12 м/год при невеликій каламутності води (до 150 мг/л) до 0,6...1,5 м/год при каламутності до 500 мг/л.

Іноді застосовують комбіновані піщано-пінополістирольні фільтри з такими параметрами фільтруючого завантаження: перший за напрямком руху води шар висотою 1,0 м роблять з пінополістиролу з діаметром гранул 1...2 мм, другий – з кварцового піску висотою шару 1,0...1,2 м і діаметром зерен 0,5...1,2 мм. Розподіл цих двох завантажень (важкої піщаної і легкої пінополістирольної) здійснюється за рахунок нахильної суцільної перегородки, яка у верхній частині переходить в решітку (рис. 6.8).

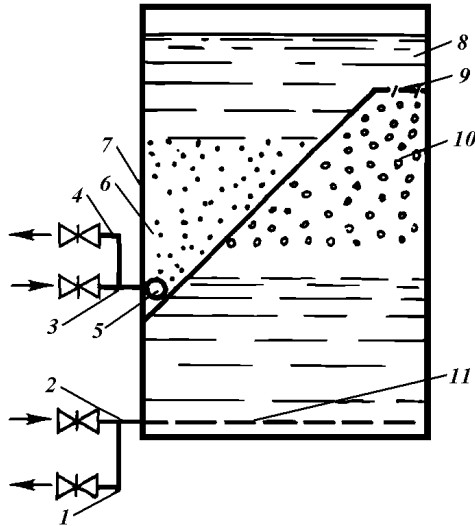


Рис. 6.8. Комбінований піщано-пінополістирольний фільтр:

- 1 – відвід промивної води; 2 – подача забрудненої води; 3 – подача промивної води;  
 4 – відвід очищеної води; 5 і 11 – дренажні труби; 6 – піщане завантаження;  
 7 – корпус фільтра; 8 – надфільтровий простір; 9 – розподільча перегородка;  
 10 – пінополістирол

Фільтр працює зі швидкістю 6...7 м/год, забезпечуючи підготовку питної води із забрудненої з каламутністю до 400 мг/л.

У випадку необхідності разом з просвітлюванням здійснювати дезодорацію води один шар (звичайно верхній) замінюється на активоване вугілля, який сорбує речовини, що викликають неприємний запах або присмак, нижній шар пінополістиролу виконує роль просвітлювача води. Фільтр працює за схемою, що зображена на рис. 6.9.

У пінополістирольно-вугільний фільтр забруднена вода по трубі 8 потрапляє в дренажну систему 7, рівномірно розподіляється по площі і послідовно знизу вверх проходить пінополістирольне і вугільне завантаження. У пінополістирольному шарі вода просвітлюється і знеколірується, а у вугільному – дезодорується. Очищена вода збирається в надфільтровому просторі 5, звідки по трубопроводу 6 відводиться в резервуар чистої води. Регенерація фільтруючого завантаження здійснюється подачею промивної води по трубі 10 з відводом її з корпусу фільтра по трубі 9.

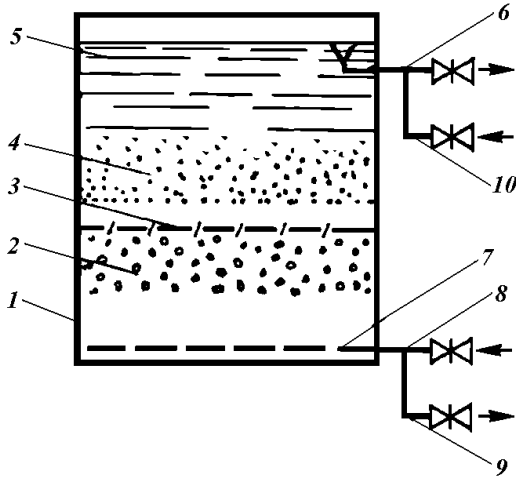


Рис. 6.9. Пінополістирольні-вугільний фільтр:

- 1 – корпус; 2 – пінополістирольне завантаження; 3 – утримуюча решітка;  
 4 – активоване вугілля; 5 – над фільтрований простір; 6 – відвід чистої води;  
 7 – дренажна розподільча система; 8 – подача забрудненої води;  
 9 – відвід промивної води; 10 – подача промивної води

### Контрольні запитання

1. Яке призначення фільтрів в ланцюгу очисних споруд?
  2. Які типи решіток Вам відомі? Їх будова.
  3. Охарактеризуйте будову та технологію очищення води зернистих та наливних фільтрів.
  4. Яка будова та принцип дії сітчастих, тканинних та мембранних фільтрів?
  5. В чому особливість будови і праці пінополістирольних фільтрів?
- Регенерація фільтрів
6. Яку перевагу мають двошарові фільтри над одношаровими? Будова різних за матеріалом двошарових фільтрів.
  7. Використання вугільно-полістирольних для дезодорації води.

## РОЗДІЛ 7 БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ

Зміст біологічного очищення полягає в окисненні органічних речовин угрупованнями мікроорганізмів (біоценозом), які включають безліч різноманітних бактерій, простіших і ряд більш високоорганізованих організмів: водоростей, грибків, хробаків і ін., які пов'язані між собою складними відношеннями (метабіозом, симбіозом і антагонізмом).

Для синтезу своїх клітин біоценози використовують крім звичайних елементів живлення (органічного карбону, нітрогену, фосфору) ще ряд інших хімічних елементів (мідь, цинк, молібден, кальцій, калій, залізо і інші), які одержують іноді шляхом хімічного синтезу з неорганічних сполук.

Ці біологічні угруповання працюють або в аеробних умовах, утворюючи біоплівку або активний мул, або в анаеробних – в складі гранульованого мулу.

За допомогою сучасних біотехнологій з'явилась можливість очищати стічні води від всіх колоїдних, емульгованих і розчинених сполук органічного походження, а також від іонів важких металів, нітратів, сульфатів, хромітів, аміакатів, хвороботворних бактерій, вірусів тощо.

Спеціально підібрані селекційні мікроорганізми здібні очищати воду від хлорорганічних речовин, СПАР, іонів важких металів, радіонуклідів, нітратів, нітрогену, амонійного азоту.

Процес біологічного очищення стічних вод починається ще задовго до потрапляння їх на споруди безпосереднього біоочищення і закінчується набагато пізніше. Перший етап біоочищення здійснюється на спорудах механічного методу разом з виділенням крупнодисперсних речовин. Останній – при знезаражуванні води перед скидом її у водойми, а також при анаеробній переробці й утилізації мулу. Тому до схеми споруд біологічного очищення дуже часто приєднують деякі споруди інших методів.

Суміш побутових і виробничих стічних вод, яка потрапляє на біохімічне очищення, повинна відповідати наступним вимогам:

- а) рН не нижче 6,5 і не вище 8,5;
- б) температура в межах 6...30°C;
- в) загальна концентрація розчинених солей не більше 10 кг/м<sup>3</sup>;
- г) повне біохімічне споживання кисню (БПК<sub>повн</sub>) не вище 0,5 кг/м<sup>3</sup> при подачі на біофільтри і не вище 1 кг/м<sup>3</sup> при подачі в аеротенки;

д) не містити нерозчинних мастил, смол, мазуту, поверхнево активних речовин (ПАР);

е) вміст токсичних речовин не повинен перевищувати ГДК природних водойм;

є) вміст біогенних елементів повинен дорівнювати: нітрогену  $5 \cdot 10^{-3}$  і фосфору  $1 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>, кисню (БПК<sub>повн</sub>)  $1 \cdot 10^{-1}$  кг/м<sup>3</sup>.

Таку якість стічним водам повинні надавати споруди попередніх методів очищення: механічного і фізико-хімічного.

Біологічне очищення може здійснюватися природним або штучним шляхами.

## 7.1. Природне очищення

Прийоми природного біоочищення ґрунтуються на процесах фільтрування стічних вод крізь шар ґрунту на полях зрошення і фільтрації, який заселений біоценозами – найкращими деструкторами біологічних забруднень або проходження стічними водами ланцюжка біоставків, де здійснюється вилучення шкідливих домішок аеробними гідробіонтами.

### 7.1.1. Поля зрошення та поля фільтрації

*Поля зрошення* – це спеціально підготовлені та сплановані земельні ділянки, призначені для очищення стічних вод і для вирощування на них сільськогосподарських культур. Якщо земельні ділянки призначені лише для очищення стічних вод, вони називаються *полями фільтрації*.

Не випадково саме в Україні вперше у Російській імперії було створено і введено в експлуатацію біологічні споруди – поля зрошення у 1887 р. в Одесі та в 1894 р. – у Києві. У Москві такі споруди з'явилися лише в 1898 р.

Очищення стічних вод в обох випадках відбувається в результаті сукупності складних фізико-хімічних і біологічних процесів. Сутність процесу очищення полягає в тому, що при фільтрації стічних вод через ґрунт у верхньому його шарі затримуються зважені і колоїдні речовини, які утворюють на поверхні часточок землі густозаселену мікроорганізмами плівку. Ця плівка адсорбує на своїй поверхні розчинені органічні речовини, які знаходяться в стічних водах. Використовуючи кисень, який проникає із атмосфери в пори землі, мікроорганізми переводять органічні речовини в мінеральні сполуки. Таким чином, наявність кисню є необхідною умовою нормального



перебігу процесу, так як, з точки зору кисневого режиму, верхні шари землі (0,2–0,3 м) знаходяться в більш сприятливих умовах, тобто в цих шарах і відбуваються найбільш інтенсивне окиснення органічних речовин і процес нітрифікації. З глибиною кількість кисню в землі швидко зменшується і, зрештою, з'являється зона анаеробіозу, де окиснення органічних речовин, які проникають сюди у вигляді розчинів, відбувається лише за рахунок процесу денітрифікації, через те, що в зону анаеробіозу стічні води потрапляють з більшим запасом нітритів. Звідси витікають вимоги, які застосовуються до відведеної під поля зрошення або фільтрації території, до властивостей ґрунтів, а також до якості та об'єму стічної води, яка може бути очищена на 1 га площі полів.

Рівень очищення стічних вод на полях зрошення та полях фільтрації значно знижується в зимовий період через уповільнення та навіть призупинення біологічних процесів при низьких температурах. В цей період поля всіх видів працюють переважно як накопичувачі, затримуючи стічні води та речовини, які в них знаходяться, шляхом поверхневого наморожування.

Для зрошення сільськогосподарських культур найчастіше використовують побутові води, які в своєму складі мають багато поживних елементів. При середніх нормах водовідведення (біля 200 л/доб) в них міститься 15–60 мг/л нітрогену, 3–12 мг/л фосфору, 6–25 мг/л калію.

Ці поживні елементи знаходяться головним чином в розчиненому вигляді та частково в зваженому. Так, розчинений нітроген складає 85 %, а 15 % його знаходиться у зваженому стані; фосфор – відповідно 60 та 40 %; калій – 95 та 5 %. Співвідношення між основними елементами живлення рослин нітрогеном, фосфором та калієм, які містяться в стічних водах, складає 5:1:2, тоді як в гної це співвідношення 2:1:2. Таким чином, стічні води є добривами з підвищеним вмістом нітрогену, який сприяє розвитку рослин.

Для зрошення можуть бути використані також виробничі стічні води, які не містять отруйних речовин в об'ємах, які шкідливо впливають на ріст рослин. Загальний вміст солей не повинен перевищувати 3–4 г/л, в тому числі поживних солей – 1–1,5 г/л. При більшому вмісті солей в стічних водах вимагається їх спеціальна підготовка (розбавлення, нейтралізація тощо).

Побутові стічні води містять значну кількість патогенних бактерій та яєць гельмінтів. Тому при впорядкуванні та експлуатації полів зрошення будь-якого типу потрібно дотримуватись певних санітарних вимог. Зокрема, забороняється зрошувати неочищеними стічними

водами поля при вирощуванні на них овочів, які вживаються в їжу в сирому вигляді.

Попереднє відстоювання стічної води забезпечує виділення з неї в осад 50 – 60 % загальної кількості бактерій разом з крупними зваженими речовинами, таким чином, відстоюана стічна вода в бактеріальному відношенні більш безпечна. Шляхом штучного механічного очищення стічних вод можна знизити число бактерій на 90 – 95 %. Але санітарна небезпека при зрошуванні такою водою залишається актуальною.

Серйозним питанням є розповсюдження через овочі глистових захворювань. Яйця гельмінтів (глисти, паразитні черви та ін.), потрапляючи в землю та на овочі, зберігають життєздатність тривалий час. Особливо стійкі яйця аскарид. Відстоювання стічних вод дозволяє знизити вміст яєць гельмінтів на 50–60 %, а в горизонтальних відстійниках при швидкості течії 1 мм/с – на 95 %.

Результати експериментальних досліджень свідчать про сильне забруднення землі патогенними мікроорганізмами та яйцями гельмінтів при зрошенні неочищеними стічними водами. Тому у всіх випадках застосування стічних вод з метою зрошення необхідно спочатку її відстоювати та обробляти отриманий осад при високих температурах (50 – 55°C).

Найкращими для створення полів є піщані та супіщані ґрунти; поля можна створювати на суглинкових ґрунтах та чорноземах, однак навантаження на них стічних вод при цьому знижують. Важкі суглинки та глини не придатні для створення полів, через те, що вони заболочуються. Торф'яні ґрунти потребують попереднього осушення.

Рівень ґрунтових вод на території, яка використовується під поля, зрошення повинно бути на глибині не менше ніж 1,5 м від поверхні. При більш високому розташуванні їх необхідна будова дренажу.

Кисень, який витрачається в процесі мінералізації органічних речовин, поповнюється в основному з повітря під час періодичної подачі стічних вод на поля зрошення.

Для полів фільтрації міжполивний період коливається від 5 до 10 днів; для полів зрошення він встановлений у відповідності до режиму поливу культур, які вирощуються.

Для запобігання швидкого замулювання пор ґрунту і зупинки доступу повітря в ґрунт стічні води, які очищаються, не повинні містити багато жирів та мастил, що досягається відстоюванням.

При визначенні необхідної площі полів зрошення та полів фільтрації виходять з так званої норми навантаження, тобто об'єму

стічної води, яка може бути очищена на 1 га площі полів за певний проміжок часу.

Норми навантаження залежать від багатьох факторів: від характеру ґрунту, його окислювальної потужності, фільтраційної здатності, пористості; від типу полів, вирощуваних на них культур, характеру та концентрації стічних вод; від кліматичних та метеорологічних умов та змінюється в межах від 10 до 90 м<sup>3</sup>/га·доб (табл. 7.1).

Таблиця 7.1

**Норми навантаження на поля зрошення м<sup>3</sup>/га·доб**

Середньорічна температура повітря, °С	Ґрунти			
	глина	суглинок	супісь	пісок
<3,5	10...20	15...30	20...40	30...60
3,6...6	15...30	20...35	25...50	40...75
6,1...9,5	20...40	25...45	30...60	40...80
9,6...11	25...50	30...60	35...70	45...85

Норма навантаження на поля фільтрації призначається в ідентичних умовах в 2...3 рази більше порівняно з полями зрошення.

### **7.1.2. Проектування зрошувальних систем**

Особливість проектування цих систем пояснюється тим, що водоспоживання рослин протягом року коливається від нуля до значних величин, а приплив стічних вод залишається майже незмінним. Крім того, в окремі періоди року, коли на полях зрошення виконуються сільськогосподарські роботи, а подача води на ці ділянки призупиняється, стічні води відводяться на резервну площу – поля фільтрації. Причому навантаження на одиницю зрошувальної і фільтраційної площі неоднакове.

Взимку з від'ємними температурами на зрошувальних і фільтраційних ділянках вода може бути наморожена шаром до 1,0 м.

Таким чином, загальна площа зрошування може бути визначена за формулою:

$$F = F_z + F_p + F_{б\text{вд}}, \quad (7.1)$$

де  $F_z$  – основна площа зрошувального масиву, га;

$F_p$  – резервна площа під фільтрацію стічних вод, га;

$F_{\text{буд}}$  – збільшення площі за рахунок забудови її спорудами, каналами і дорогами.

Площа під забудову визначається за формулою:

$$F_{\text{буд}} = (0,15 \dots 0,25)(F_z + F_p). \quad (7.2)$$

При розрахунках і проєктуванні зрошувальної і фільтраційної площі потрібно слідкувати, щоб завжди була нерівність:

$$F_z + F_p \gg F_{\text{намор}}, \quad (7.3)$$

де  $F_{\text{намор}}$  – площа наморожування.

*Визначення площі зрошування.* Площа зрошування спочатку може бути знайдена орієнтовно, як:

$$F_{\text{зр}} = \frac{Q}{q_0}, \quad (7.4)$$

де  $Q$  – максимальна добова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/доб;

$q_0$  – норма навантаження стічних вод на 1 м<sup>2</sup> поля, м<sup>3</sup>/га доб.

Однак, ця величина має бути пов'язана з нормами зрошення.

*Визначення резервної площі.* Величина резервної площі може бути визначена для періоду з мінімальними випаровуваннями вологи з поверхні ґрунту, коли виконується обробіток ґрунту та рослин, а також під час збирання врожаю сільськогосподарських культур на полях зрошення.

Площа полів фільтрації залежить від норми навантаження. Найбільша норма навантаження при глибині ґрунтових вод 3,0 м, найменша – при глибині 1,5 м. Подача стічних вод на поля фільтрації здійснюється не щодобово, а один раз на протязі 5...10 діб. Тому частина води випаровується з поверхні ґрунту, яка залежить в основному від температури повітря.

Резервну площу визначають за формулою:

$$F_{\text{рез}} = \frac{\alpha \cdot Q}{q_{\text{ф}}}, \quad (7.5)$$

де  $q_{\text{ф}}$  – фільтраційна норма навантаження, м<sup>3</sup>/га·доб;

$\alpha$  – коефіцієнт, який залежить від середньорічної температури повітря,  $T$  до 5°C  $\alpha = 1$ ; при  $T=5..10^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,75$ ; при  $T=10..15^\circ\text{C}$   $\alpha = 0,5$ .

Визначення площі наморожування. В період з від'ємними температурами вода перетворюється в лід. Однак частина її встигає профільтруватись, а частина випаровується. Тому фільтраційні норми навантаження зменшуються в суглинках на 0,3; супісях на 0,45 і пісках на 0,55.

Площа для наморожування стічних вод на полях зрошення і фільтрації буде дорівнювати:

$$F_{\text{нам}} = \frac{Q_{\text{доб}} \cdot T_{\text{нам}} \cdot (1 - \beta)}{(h_{\text{нам}} - h_0) \cdot \rho}, \text{ м}^2, \quad (7.6)$$

де  $T_{\text{нам}}$  – тривалість наморожування, діб;

$\beta$  – коефіцієнт, який ураховує просочування в ґрунт частини стічних вод (0,3... 0,9);

$h_{\text{нам}}$  – наморожування, м (до 1,0 м);

$h_0$  – шар зимових опадів, м;

$\rho$  – щільність льоду (900 кг/м<sup>3</sup>).

Площа наморожування повинна бути на 10...25 % менша загальної площі зрошення і фільтрації. Якщо ця площа виходить більша, то тоді розширяють резервну площу.

Після визначення за формулою (7.2) розмірів будівельної площі знаходять всю площу, яка потрібна для організації очищення стічних вод за допомогою полів зрошення і фільтрації.

У ряді випадків, коли нема можливості організувати вирощування сільськогосподарських культур, очищення стічних вод здійснюють за допомогою тільки полів фільтрації, але методика розрахунків площ полів фільтрації, наморожування і будівельних залишається незмінною.

Поля зрошування і фільтрації повинні розташовуватись на ділянках з спокійним рельєфом місцевості й похилом менше 0,02 з глибиною ґрунтових вод не менше 1,5 м. Бажано, щоб ґрунти були легкі: піщані й супіщані. Поля складаються з карт площею 5...6 га із співвідношенням сторін 1:5 або 1:4. Довша сторона повинна бути наближена до напрямку горизонталей, менша – до напрямку похилу. Перша має довжину 300...1500 м, друга – 100...200 м.

Вода на зрошувальну ділянку після механічного очищення подається найчастіше за допомогою напірного трубопроводу в командну точку, де розташований приймальний колодязь, від якого вода рухається по магістральному каналу (МК) в напрямку розподільних каналів (ПК).

Розподільні канали підводять воду до карткових зрошувачів (КЗ). Довжина і відстань між картковими зрошувачами визначається розмірами карти. Так як способом поливу найчастіше є поверхневий за допомогою смуг і борозен, то вода з карткових зрошувачів потрапляє в ці елементи за допомогою сифонів, трубок, оголовків, поливних щитків. Довжина смуг і борозен дорівнює 100...200 м.

Якщо МК, РК і КЗ є стійкою зрошувальною мережею, то смуги і борозни – тимчасові. Тимчасова мережа може бути зрівняна, а площа спланована на період сільськогосподарських робіт.

На полях фільтрації, якщо дозволяє рельєф місцевості, можливо суцільне затоплення карт.

Очищена вода після фільтрування крізь шар ґрунту відводиться з полів зрошення і фільтрації дренажною мережею.

Для полів слід вибирати ділянки із спокійним рельєфом місцевості. Природний ухил на таких ділянках не повинен перевищувати 0,02. Низинні та затоплені весняними водами території малопридатні для організації полів. Поля не створюють на землях, які розташовані поблизу місць виходу водоносних горизонтів.

Поля зрошення і фільтрації рекомендується розташовувати нижче за течією ґрунтових вод від водозабірних споруд на відстані не менше ніж 200 м для легких суглинків, 300 м для супісків та 500 м для пісків.

За відношенням до населених пунктів поля рекомендується розташовувати з підвітряної сторони з розривами, розмір яких залежить від типу полів та об'єму стічних вод. Для полів фільтрації розриви (захисні зони) встановлені:

при витратах стічних вод до 5000 м<sup>3</sup>/доб – 300 м;  
від 5000 до 50000 м<sup>3</sup>/доб – 500 м;  
більше 50000 м<sup>3</sup>/доб – 1000 м;

Для полів зрошення захисні зони відповідно зменшують на 100 м.

За контуром полів звичайно висаджують вербу та інші вологостійкі дерева. Ширину смуги насаджень приймають рівною 10–20 м в залежності від віддаленості полів від населених пунктів.

### **7.1.3. Біологічні ставки**

*Біологічні ставки* – штучно створені водойми для біологічної очистки стічних вод, які базуються на процесах, що відбуваються при самоочищенні природних водойм.

При відсутності добре фільтруючих ґрунтів для створення полів фільтрації або зрошення ставки можуть бути використанні як

самостійні споруди для очистки стічних вод, а також для їх доочистки в комплексі з іншими очисними спорудами.

Окиснення органічних речовин у біоставках здійснюється за допомогою аеробних мікроорганізмів, для існування яких потрібен кисень. Кисень потрапляє у воду біоставків шляхом розчинення атмосферного повітря в поверхневих шарах води або при подачі його в придонні шари водоєм дирчастими трубами від компресорної станції. В залежності від аерації всі ставки діляться на природні і штучні, а також бокс-ставки.

*Природні ставки* мають незначну глибину від 0,5 до 1 м. Це дозволяє створити значну поверхню зіткнення води з повітрям і сприятливі умови для насичення води киснем для мінералізації органічних речовин. Крім того, невелика глибина водоєми забезпечує добре прогрівання води і, як наслідок, високу продуктивність мікроорганізмів.

На ставках з *штучною* аерацією глибина збільшується до 3,0 м. Відповідно зростає і перепускна здатність ставків за рахунок подачі кисню в їх глибину.

Нормальна експлуатація ставків здійснюється при температурі вище 6° С. При зменшенні її до 0° С і, особливо, після утворення льодового покриву, коли припиняється надходження кисню у воду з поверхні, припиняється також окиснення органічних речовин в природних ставках. Але штучна аерація дає можливість підтримувати цей процес, хоча і на низькому рівні.

В *БОКС-ставках* (біологічно-оксидні-контактні-стабілізаційні) кисень виробляються мікроскопічними водоростями, які заселяють їх простір, що дає можливість в декілька разів збільшити продуктивність споруди.

## **7.2. Очищення в штучних умовах**

Методи біоокиснення у штучних умовах здійснюються у двох основних модифікаціях – з мікроорганізмами, прикріпленими до матеріалу завантаження фільтра або з вільно плаваючими в оброблюваній воді, в аеробних або в анаеробних умовах.

Перший аеробний спосіб реалізується в спорудах, які називають *біологічними фільтрами* або коротко *біофільтрами*. У біофільтрах стічна вода фільтрується через грубозернистий матеріал, покритий біоплівкою, утвореною колоніями мікроорганізмів.

Другий варіант метаболізму в аеробних умовах полягає в створенні в резервуарі зі стічною водою зваженого шару пластівців мулу, який називають *активним*, через який протікає стічна вода.

Біонаселення активного мулу і біоплівка досить різноманітні. Вони включають бактерії, яким у процесі очищення приділяється головна роль, найпростіші, гриби, деякі вищі організми (типу коловерток, хробаків, кліщів), водорості, віруси.

Якісний і кількісний склад мікронаселення мулу й плівки залежить від багатьох факторів: складу обробної води, маси забруднень, що припадає на одиницю маси мулу в одиницю часу, доступу кисню, гідродинамічного режиму в спорудах та ряду інших.

Число бактерій в мулі коливається від  $10^8$  до  $10^{12}$  на 1 мг сухої речовини. У ряді мулів розвиваються актиноміцети. В активному мулі завжди присутні – добре сформовані зооглейні скупчення бактерій з розвитою поверхнею.

Встановлено, що чим більше різних органічних сполук у стоках, тим різноманітніше біоценоз мулу. Так, в мулах від обробки господарсько-побутових стоків знайдено 32 виду бактерій, а в мулах, які вирощувалися на стоках від виробництва вінілацетату і ацетальдегіду – тільки 7 видів.

Біоценоз мулу змінюється протягом процесу очищення води. У міру зміни змісту живильних речовин в ньому відбувається зміна числа бактерій різних пологів.

У біофільтрах мікробний склад мулу змінюється за висотою споруд, що відповідає поступовому зниженню навантаження за забрудненнями у напрямку фільтрації й наростанню концентрації розчиненого кисню в очищеній воді.

Найважливішою властивістю мулу є його здатність утворювати пластівці, які можна відокремити від води шляхом седиментації. Мул відокремлюють від води у вторинних відстійниках, після чого він вертається знову в аеротенк або біофільтр, а очищена вода направляється на наступну обробку. Надлишок мулу, тобто той його приріст, що утвориться в процесі використання органічних речовин мікроорганізмами, видаляється зі споруд.

Багаторічні спостереження за роботою очисних споруд біологічного очищення, а також результати досліджень показали, що мікронаселення мулу може служити індикатором процесу очищення. У нормально працюючому мулі звичайно спостерігається велика розмаїтість найпростіших, при цьому немає кількісної переваги якогонебудь одного з видів, всі організми рухливі, перебувають у жвавому стані; мул добре флокулює і легко осідає.



Якщо харчування для мулу недостатньо, то спостерігається здрибнювання найпростіших, вони стають прозорими; інфузорії інцистуються. Слідом за інфузоріями інцистуються коловертки. Вода над мулом має дрібну, погано осідаючу каламутність.

Мул з надлишком харчування має малу кількісну розмаїтість видів при кількісній перевазі одного з них. З'являються саркодові, можуть у великому числі розвиватися нитчасті бактерії.

Відхилення в складі мулу з'являються при надходженні стічної води іншого складу або при недоліку кисню в споруди.

Кількісна оцінка організмів у мулі виробляється шляхом підрахунку числа осіб кожного виду в певному обсязі краплі (під мікроскопом) з перекладом отриманого результату на 1 моль суміші. Число організмів в 1 моль змінюється від одиниць до декількох сотень тисяч. Орієнтовно можна вважати, що «мало» організмів відповідає 1 – 10 тис. в 1 моль, «нормально», «помітно», «задовільно» – 10–100 тис. і «багато» – більше 100 тис.

### ***7.2.1. Класифікація споруд***

Біологічним шляхом видаляють багато різноманітних за своєю будовою органічних речовин, деякі неорганічні сполуки – сірководень, аміак, нітрити, а також радіонукліди.

Біологічне очищення стічних вод за допомогою залізобетонних споруд застосовують у випадках відсутності потрібних площ або при непридатних природно-кліматичних умовах. Для окиснення забруднених речовин мікроорганізмами потрібен кисень. Тому ці споруди повинні аеруватися повітрям або киснем. В залежності від способу використання мулу і аерації споруди штучного біологічного очищення діляться на:

- 1) з вільно плаваючим мулом (аеротенки, окситенки);
- 2) із закріпленим на завантажувальному матеріалі мулом (біофільтри, мочари);
- 3) з повітряною аерацією (аеротенки, біофільтри, мочари);
- 4) з кисневою аерацією (окситенки).

Ці споруди доповнюються вторинними відстійниками, мулоушільнювачами, циркуляційними насосними станціями, які здійснюють розподіл рідкої і твердої фаз, активного від надлишкового мулу і направляють потоки очищеної води, осаду і мулу на подальшу обробку і використання або на скид.

## 7.2.2. Аеротенки

Ефективність процесу очищення в аеротенках визначається рядом умов: складом забруднюючих домішок, гідродинамічними умовами перемішування, співвідношенням кількості забруднень з дієздатним мулом, кисневим режимом, температурою і активною реакцією суміші, наявністю елементів живлення для мікроорганізмів, активаторів і інгібіторів. В процесі експлуатації для покращення технологічного процесу деякі показники можуть бути змінені.

В залежності від рівня забрудненості стічних вод, способу підводу води застосовують: одноступеневі і двоступеневі схеми очищення, аеротенки з торцевим і бічним підводом води і мулу, аеротенки з регенераторами і без них. Найпростішою схемою очищення є схема із застосуванням одноступеневого аеротенка з торцевим підводом води і мулу без регенератору (рис. 7.1).

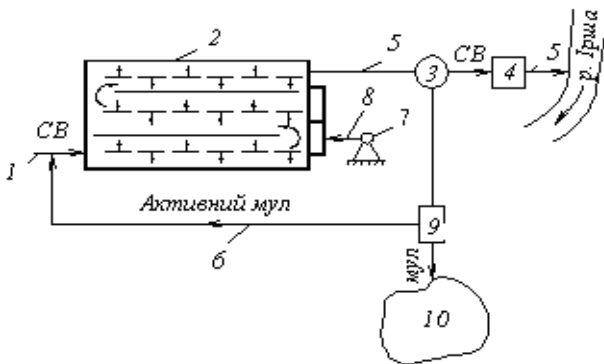


Рис. 7.1. Схема біоочищення за допомогою одноступеневого аеротенка:

- 1,5 – подача і скид води;
- 2 – аеротенк;
- 3 – вторинний відстійник;
- 4 – станція знезаражування;
- 6 – подача мулу;
- 7 – компресор;
- 8 – подача повітря;
- 9 – насосна станція;
- 10 – муловий майданчик

*Одноступеневий аеротенк* – це прямокутний в плані резервуар глибиною 3–6 м, який може бути поділений вертикальними перегородками на секції, що збільшує шлях руху води у споруді. Ширина секцій 6–10 метрів. Після виділення крупних завислих речовин на спорудах механічного очищення стічна вода потрапляє в одну із секцій аеротенка, сюди ж подається активний мул. Ця суміш деякий період часу, протягом якого здійснюється мінералізація органічних речовин, рухається по коридорам аеротенку до виходу. Для забезпечення кращої діяльності аеробних мікроорганізмів і

підтримання мулу в завислому стані в нижню частину кожної секції подається стиснене повітря.

Необхідна кількість активного мулу і повітря, а також тривалість перебування води в аеротенку залежать від рівня забруднення і необхідного очищення стічної води. З аеротенку суміш води і мулу потрапляє у вторинний відстійник, де вона ділиться на тверду і рідинну фракції. Перша – рухається до циркуляційної насосної станції, друга – на станцію знезаражування і скид у водоприймач. Тверда частина – активний мул, об'єм якого зростає на шляху руху по аеротенку, частково повертається насосною станцією (циркуляційний мул) в аеротенк, а частково відводиться на мулові майданчики для перетворення в добрива.

При високій концентрації органічних забруднень у воді, а також при наявності в ній речовин із дуже відмінними швидкостями окиснення може бути застосована двоступенева схема очищення (рис. 7.2).

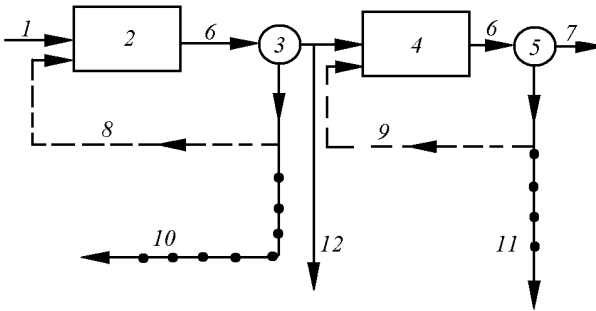


Рис. 7.2. Схема очищення стічних вод в двоступневих аеротенках:

- 1 – подача забрудненої води; 2 і 4 – аеротенки; 3 і 5 – відстійники; 6 – мулова суміш;
- 7 – очищена вода; 8 і 9 – повернений активний мул; 10 і 11 – надлишковий мул;
- 12 – аварійний скид

Особливістю багатоступеневої схеми очищення стічних вод є те, що в кожному ступені аеротенків поступово розвиваються біоценози зі специфічними якостями, здібними окиснювати вуглеводень, який практично не вилучається в одноступеневому аеротанку. Якщо процес окиснення здійснюється в дві ступені, то в останній ступені мікроорганізми мулу адаптуються до цих вуглеводів і окиснюють їх.

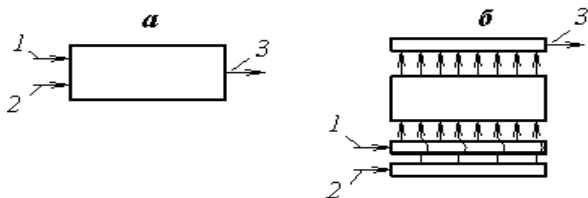


Рис. 7.3. Схеми подачі води та мулу в аеротенках:  
 а – витискувачах; б – змішувачах;  
 1 – подача води; 2 – подача мулу; 3 – відвід суміші

Вода і мул можуть подаватись в аеротенк або в початок коридору, по якому рухається суміш, і відводиться в кінці нього, або підводиться та відводиться рівномірно вздовж довгих сторін споруди (рис. 7.3). Перший називають аеротенком-витискувачем, другий – аеротенком-змішувачем.

В аеротенках-витискувачах навантаження на мул і швидкість споживання кисню максимальні в самому початку споруди та мінімальні в кінці. При умові рівномірної подачі повітря в передній частині аеротенка можуть спостерігатись значні дефіцити кисню. Ці споруди також погано впорюються із залповими перенавантаженнями по забрудненості, в них неможливо суттєво підвищувати робочу концентрацію мулу.

В аеротенках-змішувачах завдяки рівномірній подачі води та мулу ці недоліки відсутні, але в силу гідродинамічної структури потоку, яка обумовлює потрапляння тільки що поданої на очищення води у відвідну систему і тим самим зниження загального ефекту очищення.

Введення регенератора для очищення міських стічних вод доцільно застосовувати при  $BPK_{повн}$  стічної води 150 мг/л і більше. Застосування регенератора дозволяє підвищити загальну масу мулу, а звідси понизити навантаження на мул або збільшити перепускную здібність аеротенка.

Реактори встановлюють на ділянках перекачування активного мулу від вторинного відстійника до аеротенка. В них здійснюється доокиснення мікроорганізмами органічних речовин, які залишаються в мулі після аеротенку і повністю відновлюється їх працездатність.

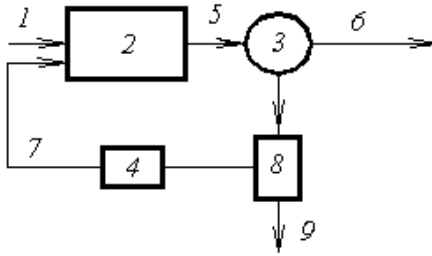


Рис. 7.4. Схема очищення води в одноступеневому аеротенку з регенератором:  
 1 – подача води; 2 – аеротенк; 3 – відстійник; 4 – регенератор; 5 – відвід суміші;  
 6 – відвід очищеної води; 7 – подача активного мулу;  
 8 – насосна станція; 9 – скид мулу

Найчастіше регенератори застосовують в одноступеневих схемах (рис. 7.4), так як в двоступеневих в якості регенераторів можуть виступати аеротенки другого ступеню, де навантаження на мул значно менше, ніж в аеротенках першого ступеню, і він має високу працездатність.

Розрахунок аеротенка полягає в наступному. Спочатку визначають тривалість перебування стічних вод в аеротенку за формулою:

$$t = \frac{C_M - C_{BHX}}{a(1 - S)p}, \text{ год.} \quad (7.7)$$

де  $C_M$  і  $C_{BHX}$  – БПК<sub>20</sub> стічної води відповідно після її механічного очищення і після перебування в аеротенку, мг/л;

$a$  – доза мулу, яка залежить від рівня забруднення води після її механічного очищення, г/л ( $a = 1, 2 \dots 3, 0$ );

$S$  – зольність мулу, яка становить 0,3;

$p$  – швидкість окиснення забруднень, мг БПК<sub>20</sub> за 1 год. на 1 г беззольної речовини (беруть за відповідними таблицями).

Робочий об'єм аеротенка визначається так:

$$V = Qt, \quad (7.8)$$

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

$t$  – тривалість аерації, год.

Площа аеротенка в плані дорівнює:

$$F = \frac{V}{H}, \quad (7.9)$$

де  $H$  – глибина аеротенка, яка береться в межах 3...6 м.

Довжина всіх коридорів аеротенка повинна становити:

$$L = \frac{F}{B}, \quad (7.10)$$

де  $B$  – ширина коридору аеротенка,  $B = (1...2)H$

### 7.2.3. Окситенки

Окситенк є високоефективною спорудою, в якій здійснюється інтенсивний процес біологічного очищення стічних вод із застосуванням чистого кисню і високих концентрацій активного мулу (рис. 7.5).

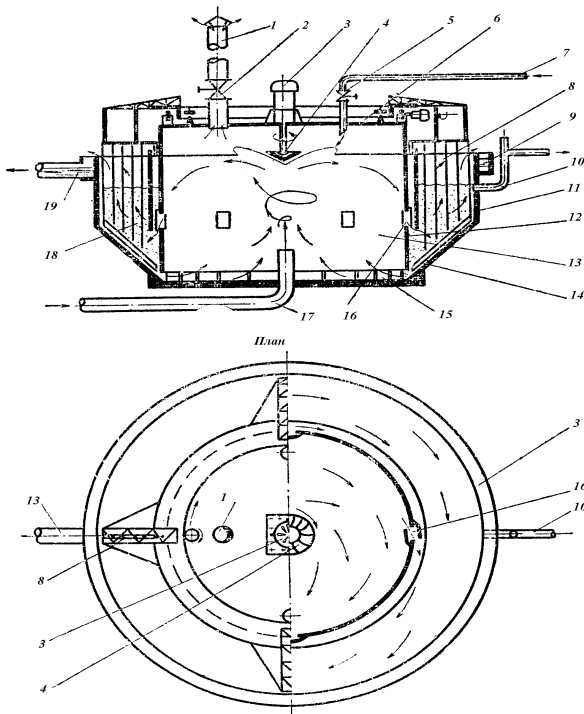


Рис. 7.5. Окситенк:

1 – вентиляційна труба; 2 і 5 – засувки; 3 – електродвигун; 4 – турбогенератор; 6 – герметичне перекриття; 7 – подача кисню; 8 і 18 – стержні; 9 – збірний лоток; 10 – скид мулу; 11 – корпус; 12 – циліндр; 13 – зона аерації; 14 – скребачка; 15 – вікна для подачі активного мулу в зону аерації; 16 – вікна для перепуску мулової суміші із зони аерації в муловідокремлювач; 17 – водопідведення; 19 – водовідвідна труба

Конструктивно окситенк виконаний у формі круглого резервуару з циліндричною перегородкою, яка ділить весь об'єм на зону аерації (центральна частина) і муловідокремлювач (з периферії). В середній частині перегородки зроблені вікна для перепуску мулової суміші із зони аерації в муловідокремлювач; в днищі циліндра – вікна для подачі мулу в зону аерації. Зверху циліндрична перегородка обладнана герметичним перекриттям, на якому встановлено електродвигуни турбогенератора.

Муловідокремлювач обладнаний приладом у вигляді радіальних решіток з вертикальних стержнів  $d = 30...50$  мм із зазорами між ними 300 мм, який призначений для перемішування мулової суміші. В нижній частині решіток шарнірно закріплені скребачки.

Завдяки безперервній подачі кисню в зону аерації як над поверхнею води, так і в муловій суміші, постійно підтримується його висока концентрація, що значно прискорює окиснення забруднюючих речовин, а надлишок кисню, що потрапляє з муловою сумішшю в муловідокремлювач, сприяє закінченню окиснення і прискорює розподіл суміші на рідинну і тверду фази.

Переваги окситенків над аеротенками полягають в наступному: потужність вище в 5...6 разів, капітальні витрати в 1,5...2 рази, а експлуатаційні – в 2,5...3 рази менше, ефективність використання кисню в окситенках 90...95 %. Все це є наслідком того, що концентрація розчиненого кисню в окситенках 10...12 мг/л, доза мулу 6...8 г/л, період аерації 2,5...3 год. В аеротенках ці показники відповідно дорівнюють – 2...4 мг/л, 2,5...3 г/л; 16...20 год.

#### **7.2.4. Біофільтри**

В біофільтрах (рис. 7.6) вода рухається зверху вниз крізь фільтруючий матеріал з плівками активного мулу. Залежно від шару навантаження, діаметру фільтруючого матеріалу і продуктивності вони поділяються на крапельні, високонавантажені та баштові (табл. 7.2).

*Таблиця 7.2*

**Характеристика фільтрів**

Вид фільтру	Шар завантаження, м	Діаметр загруз. матеріалу, мм	Продуктивність, м <sup>3</sup> /доб
Крапельні	1...2	20...30	До 2000
Високонавантажені	2...4	40...60	2000...5000
Баштові	8...16	60...80	> 5000

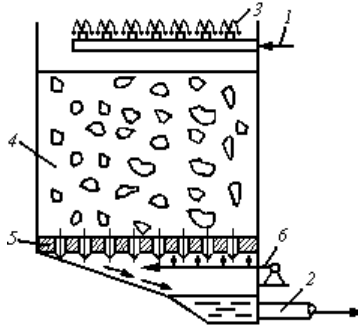


Рис. 7.6. Біофільтр:

1,2 – труби для подачі та відведення води; 3 – розбризкувачі;  
4 – фільтрувальне завантаження; 5 – дренаж; 6 – подача повітря

Розрахунок біофільтрів полягає у визначенні необхідного об'єму завантажувального матеріалу і розмірів усього фільтру.

Об'єм фільтрувального матеріалу визначають за формулою:

$$W = \frac{Q}{q_0}, \quad (7.11)$$

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

$q_0$  – граничне навантаження води на фільтр, яка може бути очищена  $1 \text{ м}^3$  фільтруючого завантаження,  $\text{м}^3/\text{м}^3 \cdot \text{доб}$ .

Визначається  $q_0$  за формулою:

$$q_0 = \frac{OP}{C_M - C_{ВНХ}}, \quad (7.12)$$

де  $OP$  – окисна потужність,  $\text{Г}_{\text{БПК}}/\text{м}^3 \cdot \text{доб}$ .

Окисна потужність залежить від температури води і повітря, матеріалу завантаження і способу подачі повітря. Залежно від температури повітря, наприклад, вона береться в межах  $150 \dots 300 \text{ Г}_{\text{БПК}}/\text{м}^3 \cdot \text{доб}$ .

$C_M$  і  $C_{ВНХ}$  – відповідно біологічна потреба в кисні після механічного очищення і на виході з біофільтру,  $\text{г}/\text{м}^3$ .

Загальну площу фільтра можна визначити за формулою:

$$S = \frac{Q}{q}, \quad (7.13)$$

де  $q$  – гідравлічне навантаження,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{доб}$ .

Величина  $q$  залежить від температури повітря і  $\text{БПК}$  (табл. 7.3).



Таблиця 7.3

**Залежність гідравлічного навантаження від середньорічної температури повітря**

Середньорічна температура повітря, °С	Окислювальна потужність, $\Gamma_{\text{БПК}}/\text{м}^3 \cdot \text{доб}$	Гідравлічне навантаження, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{доб}$	
		БПК <sub>20</sub> <200мг/л	БПК <sub>20</sub> >200мг/л
До 6	150	0,75	0,50
6...10	250	1,25	0,83
>10	300	1,50	1,00

Висота завантаження фільтра визначається так:

$$H = \frac{W}{S} . \quad (7.14)$$

### 7.2.5. Біоплато

Біоплато з вищими водними рослинами (*ВВР*) відрізняються значною окисною здатністю завдяки створенню біоплівки гідробіонтів (перифітону) на поверхні інертного субстрату та зануреної частки кореневищ та пагонів *ВВР*, які знаходяться в стані симбіотичної взаємодії. Частинка біоценозу мікроорганізмів знаходиться у зваженому стані у вигляді пластівців, а також утворює шар природних відкладень – бентос, в якому відбувається активний процес анаеробного розкладу органічних забруднень. Значну роль в процесах доочищення виконують сапрофітні бактерії, які разом з *ВВР* успішно виконують роль дезінфектантів за рахунок своїх продуктів обміну та антагонізму з бактеріями-гетеротрофами, що в ряді випадків дозволяє запобігти використанню систем хлорування або озонування води.

Роль *ВВР* в гідроекосистемах багатогранна та багатофункціональна. В першу чергу, вони є автотрофами і приймають безпосередню участь в процесах утворення органічних речовин. При цьому утилізується  $\text{CO}_2$  не лише з атмосфери, але і з води, і виділяється кисень, яким насичується вода. Вони зв'язують нітроген, фосфор, кальцій, магній та інші елементи, відіграють важливу роль як біофільтри при очищенні вод від забруднення, затримують та акумулюють зважені та органічні часточки. Слід також відмітити здатність заростей *ВВР* інтенсифікувати очищення вод від важких металів, пестицидів, фенолів, радіоактивних речовин, патогенної мікрофлори.

В наукових роботах виділяють поверхневі, інфільтраційні та наплавні конструкції біоплато. В якості поверхневого біоплато

використовують інженерні споруди або природні заболочені території з вільним рухом води через угруповання повітряно-водної та зануреної рослинності. *Інфільтраційні біоплато (мочари)* – це земляні фільтруючі споруди з завантаженням щебню, гравію, керамзиту, піску тощо. Фільтрація стічних вод може здійснюватися як в горизонтальному, так і вертикальному напрямках. На поверхні завантаження висаджуються найбільш стійкі дерево-кущові або трав'янисті рослини. Очищення стічних вод здійснюється за рахунок життєдіяльності земноводних рослин-макрофілів, мікроорганізмів біоплівки та ризосфери, а також грибів та актиноміцетів ризосфери коренів в шарі перегною, який поступово формується. Застосовують також наплавні біоплато, при цьому на поверхні плаваючих у воді матів, які виготовляють із синтетичних волокон, висаджують трав'яні багаторічні рослини, які утворюють розвинену кореневу систему. Наплавні біоплато добре зарекомендували себе при очищенні стічних вод від плаваючих домішок (піни, СПАР, нафтопродуктів та ін.).

Відомі біоплато з відкритими дзеркалом води, які призначені для очищення стічних вод, де в якості водних рослин використовують ірис, рогіз, півники, очерет озерний з густиною посадки 1–15 рослин на 1 м<sup>2</sup>. Вид рослин вибирають в залежності від типу забруднень.

Існують також біоплато гідропонного типу (рис 7.7), яке використовується після біологічного очищення для глибокого доочищення зворотних вод. Зворотні води транспортуються через гравійне завантаження фільтраційного басейну, в якому розташоване кореневища *BBP* та бактеріальний біопрепарат, який сприяє розкладанню важко окислювальних органічних речовин. Споруда вкрита термоізоляційним волокнистим поліпропіленовим матеріалом для запобігання промерзання біоплато в зимовий період, що забезпечує цілорічне очищення стічних вод.

Біоплато найчастіше виконує завершальну роль в процесі очищення стічних вод. Попереднім етапом очищення є видалення забруднюючих речовин на спорудах механічного або фізико-хімічного методів очищення. Тут відбувається осаджування важких та затримка плаваючих домішок, а також розчинених хімічних речовин.

Безпосередньо саме біоплато складається з трьох самостійних споруд. Перші два виконують фільтрацію стоків в двох напрямках: вертикальному і горизонтальному. Ці споруди – “лежачі фільтри” є земляні траншеї глибиною до 2 м, на дні яких влаштовується протифільтраційний екран з поліетиленової плівки. Поверх екрану вкладається горизонтальний дренаж і шар щебню, піску, керамзиту іншого фільтруючого матеріалу. Поверхня споруди засаджується

очеретом та іншими місцевими видами вищої водяної рослинності з розрахунку не менш 10–12 стебел на 1 м<sup>2</sup>. За технологією біоплато в очищенні води беруть участь співтовариства водних (на поверхні блоку) і ґрунтових (у фільтруючому шарі) мікроорганізмів, вища водна рослинність і саме фільтруючий мочар.



Рис.7.7. Біоплато гідропонного типу

Ці споруди можуть розміщуватись каскадом на похилому рельєфі місцевості. Першою спорудою в цьому каскаді (рис. 7.8) може бути поверхневий мочар.

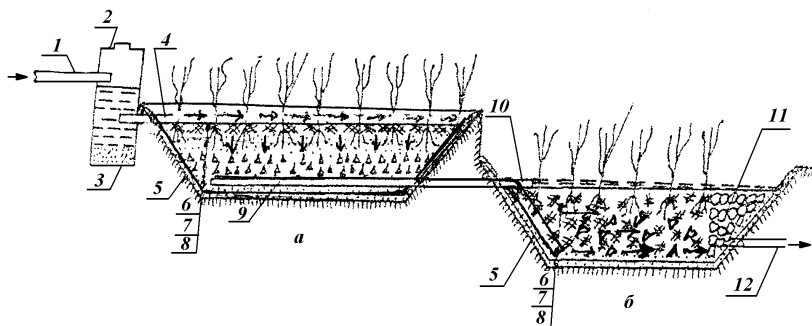


Рис. 7.8. Очисні споруди типу біоплато:

- а – поверхневий мочар; б – інфільтраційний мочар; 1 – подача води на очищення;
- 2 – відстійник; 3 – осад; 4 – розподільний трубопровід; 5 – протифільтраційний екран;
- 6 – рослинний ґрунт; 7 – пісок; 8 – щебінь; 9 – дренаж; 10 – вища водна рослинність;
- 11 – кам'яний накид; 12 – очищена вода

У поверхневому мочару вода знаходиться як вище, так і всередині шарів: гумусового, піщаного і гравійного. Рух води здійснюється

зверху вниз, збирається системою дірчастих труб і відводиться в інфільтраційний мочар.

В інфільтраційному мочарі підвід води здійснюється по його ширині за допомогою дірчастої труби. Завдяки ухилу дна і поверхні споруди вода рухається до протилежної сторони траншеї, яка збирається іншою перфорованою трубою і відводиться за межі мочара.

Незалежно від типу мочара на його поверхні висаджується вища водна рослинність. Вища водна рослинність (рогоза, осока, водяний перець, череда, пір тощо) сприяє аерації і транспірації води, вилучає з неї біогенні елементи, зокрема фосфор, калій, азот, а також важкі метали і, завдяки своїй розгалуженій кореневої системи, збільшують товщину біоплівки на завантажувальних частинках. В порах частки ґрунту затримують крупнодисперсні зважені частки. Таким чином, на цих спорудах здійснюється як біологічне очищення, так і механічне доочищення.

Вибір типу мочара, їх конструкція та розміри визначаються розрахунковим шляхом в залежності від об'ємів стічних вод, їх забрудненості та наявності будівельних матеріалів.

Третій елемент системи споруд біоплато носить назву плаваючого біоплато. Плаваюче біоплато встановлюється в акваторії ділянки водойми загального користування, куди скидається поверхневий стік, який очищується. В даному місці скиду на поверхні водойми укладаються плаваючі сітки, в комірки яких вживлені паростки ВВР. Коренева система цих рослин знаходиться в шарі води, який розташований між дном та її поверхнею, а система стебел, опираючись на плаваючу сітку, знаходиться вище рівня води. Поверхневий стік, який очищується, проходячи між кореневищами плаваючої ВВР та контактуючи з мікроорганізмами, які закріплені на коренях, піддається додатковому очищенню.

Оптимальна комбінація блок-секцій при застосуванні споруд біоплато до окремих граничних умов визначається методами математичного моделювання.

За технологією біоплато забезпечують очищення господарсько-побутових стічних вод за  $BPK_{20}$  до 5–10 мг/л, за зваженими речовинами – до 8–12 мг/л, причому наявність зважених речовин в основному зв'язано з виносом їх з фільтруючого шару. Значно (на 40–70 %) знижується вміст сполук азоту і фосфору. Спорудженні біоплато, вдало розташовані по рельєфу місцевості, не вимагають застосування електроенергії, хімікатів і забезпечують надійну роботу як у літній, так і в зимовий період. Для очищення виробничих стічних

вод за технологією біоплато потрібно робити їхню передочистку відповідно до особливостей складу і властивостей.

Практичне застосування одного з видів біологічних плато для вирішення великої проблеми сучасності – проблеми чистої води в її біологічному аспекті, особливо актуально в техногенно-перевантажених регіонах, одним з яких є Донецька область. Прикладом використання одного з видів інженерно-біологічної споруди – двоярусного біоплато гідропонного типу з *BBP* (очеретом та рогазом) та спеціальним біопрепаратом, може слугувати біоплато очисних споруд заводу з переробки насіння соняшника в Петровському районі м. Донецька, яке розташоване в зоні відпрацьованих територій, тобто в техногенно-перевантаженому гірничо-добувному регіоні.

Усреднені показники ефективності роботи біоплато з *BBP* на заводі з переробки насіння соняшника в м. Донецьку (2000–2002 рр.) наведені в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4

**Ефективність очищення стічних вод заводу з переробки соняшнику за допомогою біоплато**

Показники якості води	Вхід на очисні споруди	Вхід на біоплато	Вихід з біоплато	Ефективність очищення, %
Температура, °С	32	24	23	-
pH	5,2	7,4	7,6	-
Eh, мВ	-315	70	64	9,1
Зважені речовини, мг/дм <sup>3</sup>	143,5	60,5	15,5	67,0
БПК <sub>5</sub> , мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	538,0	16,0	6,2	71,5
ХПК, мг О <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	914,9	96,0	30,0	70,0

Як свідчать результати досліджень, в процесі проходження зворотних вод через біоплато суттєво знижується їх забрудненість бактеріями групи кишкових паличок, що свідчить про підвищений рівень санітарно-епідеміологічної безпеки зворотних вод та високу бар'єрну роль біоплато у відношенні розповсюдження патогенних мікроорганізмів.

Дослідження з визначення ефективності використання біоплато у відновлюванні зворотних вод заводу як біологічно повноцінного середовища існування гідробіонтів, проведені з використанням в якості тест-об'єктів безхребетних ракоподібних, показали, що відновлені на біоплато зворотні води не виявляють негативного впливу

на життєздатність тест-організмів навіть в короткочасному досліді (протягом місяця досліджень).

Отримані експериментальні дані свідчать про те, що вилучення забруднюючих речовин з вод системою “біоплато” відбувається шляхом прямого поглинання коренями *BBP* розчинених у воді мінеральних речовин, в тому числі біогенних елементів. При цьому у водойми та підземні води потрапляють стабільно відновлені зворотні води, що запобігає забрудненню навколишнього середовища аварійними викидами та суттєво знижує ризики виникнення надзвичайних ситуацій від викиду недостатньо очищених традиційними способами зворотних вод, так як на ефективність роботи біоплато не впливають збої в подачі електроенергії. Крім того, їм властива значна буферність та витримка значних коливань концентрації домішок на вході без суттєвого погіршення якості зворотних вод на виході.

Зелена маса *BBP* з біоплато легко збирається і може бути використана в якості зеленого корму або при компостуванні разом з осадом стічних вод для отримання компосту з високими властивостями добрив.

Аналіз приведених результатів досліджень свідчать про суттєвий внесок *BBP* біоплато системи очисних споруд в зниження екологічного ризику від будівництва промислових підприємств в техногенно-перевантажених регіонах.

### **7.3. Анаеробне зброджування**

Анаеробне зброджування органічного осаду стічних вод здійснюється для сирого осаду з первинних відстійників і надлишкового активного мулу.

Зброджування осаду проходить дві фази: кислу і лужну. В кислій фазі бродіння складних органічних речовин осаду та мулу під дією позаклітинних бактеріальних ферментів спочатку гідролізуються до більш простих: білки – до пептидів та амінокислот, жири – до гліцерину і жирних кислот, вуглеводи – до простого цукру. В подальшому утворюються кінцеві продукти – органічні кислоти. В другій фазі лужного (метанового) бродіння з органічних кислот утворюється метан або вугільна кислота в кількості 5...15 м<sup>3</sup> газу на 1 м<sup>3</sup> осаду.

Швидкість розпаду органічних речовин залежить від їх хімічного складу, температури, дози завантаження, вологості осаду і інших факторів.

Зброджування осадів стічних вод найчастіше виконують при двох температурних режимах: мезофільному при температурі 30...35°C і термофільному при температурі 52...55°C. Вибір режиму зброджування залежить від складу осаду і технічних можливостей очисних споруд.

Процес зброджування уповільнюється, а іноді зовсім припиняється, якщо осад утримує в своєму складі такі речовини, які паралізують працю і життєдіяльність анаеробних мікроорганізмів.

Для обробки та анаеробного зброджування осаду, в основному, застосовують три види споруд: септики, двоярусні відстійники і метантенки.

Септики застосовують для попередньої обробки стічних вод з витратами не більше 25 м<sup>3</sup>/добу. В септиках одночасно відбувається просвітлення води і перегнивання осаду, який випав з суміші.

*Септик* – це прямокутний або круглий резервуар, в якому стічна вода рухається дуже повільно. Час перебування її в споруді від 6 до 12 місяців. За цей період із води випадають в осад усі завислі речовини. Одночасно починається їх переробка анаеробними мікроорганізмами. Недоліком септиків є неповний розпад органічних речовин, який закінчується утворенням жирних кислот, але кінцевими елементами повинні бути метан і вугільна кислота. Накопичення жирних кислот обумовлює затримання періоду бродіння.

Тривалий період перебування осаду в септиках обумовлює великі розміри цих споруд. Тому однокамерні септики роблять лише при витратах стічних вод до 5 м<sup>3</sup>/добу, а при більших витратах будують декілька камер.

В *двоюрисних відстійниках* відстійна частина віддалена від гниючої розміщенням в різних висотних площинах. Простота будови робить ці споруди найбільш розповсюдженими в практиці переробки осаду з витратами стічної води до 10 тис. м<sup>3</sup>/добу.

Відстійник – прямокутна або колова в плані споруда із конічним або пірамідальним днищем. У верхній частині споруди розміщені осадові жолоби, а в нижній – гнилісна камера (рис. 7.9).

Осадові жолоби по яких тече стічна вода виконують роль горизонтального відстійника. В них здійснюється осаджування завислих речовин. Частинки, що випали в осад, сповзають по нахиленим стінкам нижньої частини жолобу в щілину шириною 0,15 м і падають в мулову камеру. Нижні грані жолоба перекривають в горизонтальній площині одна одну приблизно на 0,15 м. Це потрібно для того, щоб при перегниванні і спливанні, частинки мулу і бульбашки газу не потрапляли в жолоби.

Мул після збродження видаляють з гнилостійкої (септичної) камери знизу через мулову трубу діаметром 200 мм під гідростатичним тиском 1,5...1,8 м. Період перебування осаду у відстійниках 60...120 діб. Процес збродження відбувається при температурі 10...15 °С. Тому ці споруди треба розміщувати або в опалювальних приміщеннях або у напівзануреному і обсіпаному землею стані.

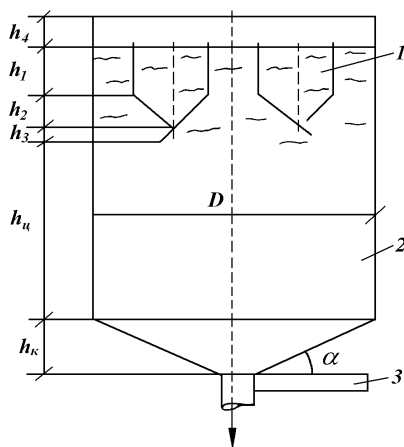


Рис. 7.9. Схема двоярусного відстійника:  
1 – жолоб; 2 – гнилісна камера; 3 – скид мулу

*Метантенк* – це споруда, в якій процес збродження осаду здійснюється за рахунок штучного підігріву при температурах 30...35°C (мезофільний процес), або при температурах 50...55°C (термофільний процес). При термофільному процесі розпад органічних речовин здійснюється приблизно в два рази швидше, ніж при мезофільному, що зменшує розмір і вартість очисних споруд. Крім того, в цих умовах йде повна дегельмінтизація осаду, тоді як в мезофільних умовах гине лише 50...80 % яєць гельмінтів. Осад, що одержаний в термофільних умовах, легше зневоднюється.

Мінералізація органічних речовин осаду і мулу в метантенках в процесі збродження супроводжується виділенням газу-метану і вугільної кислоти.

Метантенки проектується у вигляді герметичних залізобетонних резервуарів з рухомим (плавальним) або нерухомим перекриттям.



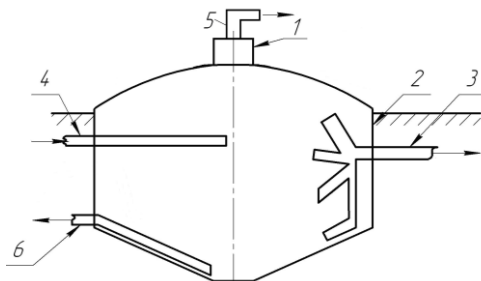


Рис. 7.10. Метантенк з нерухомим перекриттям:

- 1 – газовий ковпак; 2 – корпус; 3 – відвід мулової води і збродженого осаду;  
 4 – подача сирого осаду і активного мулу; 5 – труба для скиду газу;  
 6 – труба для опорожнення метантенка

До позитивних якостей метантенків з плавальним перекриттям відносять їх вибухобезпечність, можливість регулювання завантаження і розвантаження осаду по висотному положенню перекриття. Застосування метантенків з плавальним перекриттям обмежене, так як внаслідок великого дзеркала бродильної маси здійснюються сприятливі умови для утворення твердої плівки. Крім того, при низькій температурі повітря утруднюється рух перекриття по роликam внаслідок їх обмерзання.

Найбільше розповсюдження у вітчизняній практиці знайшли метантенки з нерухомим перекриттям. На рис. 8.10 зображено круглий метантенк з напівкульовим нерухомим перекриттям із загальним корисним об'ємом 5200 м<sup>3</sup>, в якому виділяється за добу біля 700...1200 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> газу. Діаметр споруди 24 м, загальна висота 19,6 м. Для збору газу у верхній частині перекриття розташована горловина діаметром 4 м і висотою 2,5 м, на якій розміщені газові ковпаки висотою 3,8 м.

Вітчизняний досвід свідчить, що співвідношення діаметра до глибини метантенків повинно дорівнювати 1:1 або 1:0,8. Найбільш раціональний режим експлуатації метантенків є безперервна подача і відвід осаду із споруди. Осад через дозуючу камеру подається у верхню зону метантенка, а вивантажується, в основному, з конусного днища.

У вітчизняній практиці найбільш розповсюджені метантенки із підігрівом осаду гострою парою з температурою 100...112°C. Пара подається або у всмоктувальну трубу насоса при перекачуванні осаду, або безпосередньо в корпус метантенка за допомогою ежекторних пристроїв. Пара, утворюючи з осадом суміш, конденсується, а теплота, що при цьому виділяється, підігріває його.

## Контрольні запитання

1. В чому сутність процесу біологічного очищення? Його різновиди.
2. Охарактеризуйте процес та споруди природного біологічного очищення?
3. Проектування зрошувальних систем на стічних водах.
4. Які види та особливості будови мають біологічні ставки?
5. Умови застосування та класифікація штучних очисних споруд.
6. Охарактеризуйте принцип дії різних видів аеротенків з допоміжними спорудами. Методика розрахунків основних параметрів аеротенка.
7. Поясніть переваги і недоліки окситенку.
8. Як побудовані та працюють біофільтри?
9. В чому сутність очищення стічних вод на біоплато? Конструктивні особливості різних типів мочарів.
10. Де застосовують анаеробне очищення стоків? Які споруди при цьому використовують?

## РОЗДІЛ 8 ФІЗИКО-ХІМІЧНА ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД

### 8.1. Сорбція та іонний обмін

#### *8.1.1. Характеристика прийомів сорбційного очищення*

Сорбція є одним з універсальних засобів глибокого очищення стічних вод від розчинених органічних речовин і деяких хімічних елементів. Її застосовують тоді, коли забруднюючі речовини неможливо видалити біологічним методом, так як вони не піддаються біохімічному окисненню. Це такі речовини, як тканини, лігніни, ефіри, протеїни, пестициди, хлорорганічні тощо. Джерелами забруднення є підприємства з виробництва целюлози, хлорорганічних речовин, нафтопродуктів, барвників, коксохімічне виробництво.

Способи сорбційного очищення ґрунтуються на адгезії (прилипанні) розчинених речовин до поверхні сорбенту – речовини, яка має значну зовнішню і внутрішню (пори) поверхні. Така властивість, в основному, твердих речовин називається *адсорбцією*. Сорбційними властивостями володіють як природні матеріали: активоване вугілля, зола, шлаки, коксова крихка, торф, керамзит, цеоліти і деякі глини; так і синтетичні полімери – полісорби.

Другим напрямком сорбції є поглинання забруднюючою речовиною рідкої маси сорбенту з утворенням розчинів. Такий процес вилучення забруднюючих домішок називається *абсорбцією*. До сорбентів даного виду відносяться вода, мастила, кислоти та інші. Процес абсорбції застосовують найчастіше для очищення газових потоків.

Третьою різновидністю сорбції є *хемосорбція*, де адсорбція супроводжується хімічною взаємодією поглинаючої речовини із сорбентом. Цей прийом застосовують для видалення таких газів і парів, як сірководень, оксид нітрогену та інших. В якості поглинаючих матеріалів тут виступають різні синтетичні смоли.

Однією з різновидностей сорбційних процесів є іонний обмін, тобто заміна іонів сорбенту на іони забруднюючих речовин стічних вод.

#### *8.1.2. Адсорбційні апарати*

Ефективність праці адсорбційних апаратів в більшості залежить від якості сорбенту і його стану. Одним з головних показників якості

сорбенту є пористість. Із збільшенням пористості зростає продуктивність очисних пристроїв. Найчастіше використовують такі сорбенти як активоване вугілля і діаміт, де пористість становить 60...75 % від загального об'єму матеріалу.

Адсорбція гранульованим активованим вугіллям виконується в насипних фільтрах із щільним нерухомим або рухомим шаром, а також в апаратах з псевдорідким (киплячим) шаром вугілля. В залежності від складу забруднюючих домішок адсорбційні апарати розміщують до або після споруд біологічного очищення.

Апарати першого типу виготовляють закритими (напірними) у вигляді сталевих циліндричних колон або відкритими (безнапірними) в формі резервуарів прямокутного чи круглого перерізу. Напрямок руху води в цих адсорберах може бути як згори вниз, так із низу вгору (рис. 8.1). Простота та надійність цих апаратів зумовили широке їх застосування в технології очищення води.

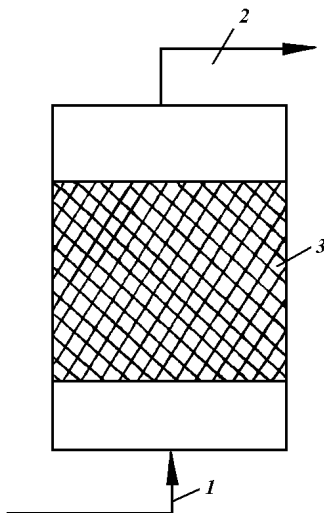


Рис. 8.1. Схема насипного адсорбційного фільтра:

- 1 – подача стічних вод та пари; 2 – відвід чистої води і конденсату;  
3 – активоване вугілля

Однак, щоб збільшити продуктивність апаратів з нерухомим шаром сорбенту треба завантажувати великий об'єм вугілля або інших матеріалів, що робить ці апарати ємкісними з великою будівельною вартістю.

Істотно зменшити об'єм необхідної кількості активованого вугілля можна за рахунок постійного оновлення його в апаратах безперервної

дії (рис. 8.2). В цих апаратах верхня та нижня частина сталеві колони мають конічну форму. Апарати працюють під тиском.

Принцип дії таких апаратів полягає в тому, що вода рухається знизу вгору, а вугілля зверху вниз. Надлишок його відводиться з нижньої конусної частини апарату на регенерацію, а у верхню конусну частину подається свіже вугілля.

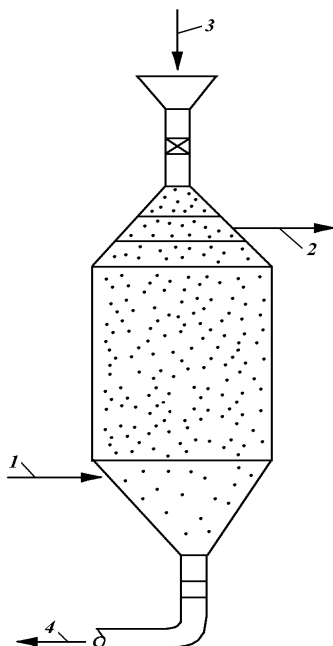


Рис. 8.2. Схема адсорбера з рухомих шаром сорбенту:

- 1 – подача стічної води; 2 – відвід чистої води; 3 – засипка активованого вугілля;  
4 – відвід вугілля на регенерацію

На очисних спорудах великої потужності використовують апарати з псевдорідким шаром активованого вугілля, які мають такі переваги перед апаратами першого типу:

- 1) можливість використовувати зерна адсорбенту відносно малих розмірів;
- 2) невеликий гідравлічний опір шару сорбенту;
- 3) велику рухливість часток у „кип’ячому” шарі, що підвищує і прискорює процес адсорбції.

Адсорбери з псевдорідким шаром будують одноярусні або багатоярусні і, в основному, безнапірні.

Частинки сорбенту в адсорберах постійно знаходяться в завислому стані, так як вода подається під тиском в нижню частину апарату (рис. 8.3, а).

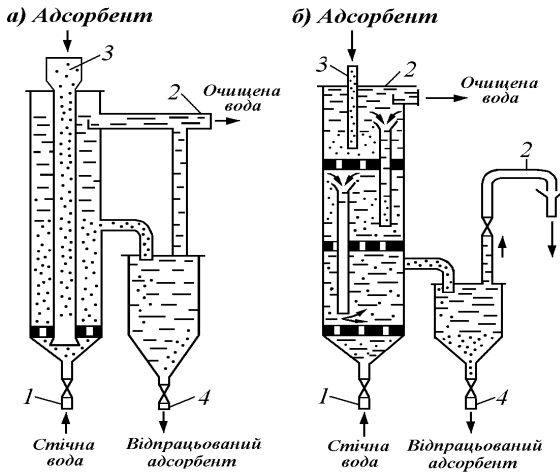


Рис. 8.3. Схема адсорбера з псевдорідким вугіллям  
(а – одноярусний; б – багатоярусний):

1 – подача стічної води; 2 – відвід чистої води; 3 – подача вугілля; 4 – відвід вугілля

У цих апаратах частинки активованого вугілля за рахунок стирання при перемішуванні зменшують свої розміри і, як наслідок, гідралічну крупність, що призводить до виносу їх потоком води за межі корпусу. Тому тут постійно йде додавання активованого вугілля.

Іноді застосовують порошокподібне активоване вугілля. Фільтри такого типу (рис. 8.3, б) в декілька разів скоріше сягають рівноважного, тобто робочого стану, що екологічно дуже вигідно.

Регенерація адсорбентів, в основному, здійснюється за допомогою хімічних розчинників, пари або термообробки.

Застосування органічних розчинників (спирти, кетони, ефіри, аліфатичні і ароматичні розчинники) дає змогу досягти високого рівня регенерування активованого вугілля і макропористих полімерних смол (полісорбів) при здійсненні екстракційної технології регенерування.

Практично всі адсорбовані речовини розкладаються при нагріванні до 700...1000°C. Термічна регенерація активованого вугілля здійснюється у шахтних однокамерних або багатоканальних печах у щільному, рухомому або кип'ячому шарі, а також в обертових печах. Тривалість регенерування вугілля 30...60 хв. Втрати активованого

вугілля при цьому становить 10...15 %. Термічна регенерація найбільш поширена серед усіх видів регенерації адсорбентів.

Після адсорбційного очищення стічної води її можна використовувати в системах зворотного водопостачання. Якби не висока вартість адсорбційного очищення стічної води, вона з успіхом може замінити біологічне очищення.

### **8.1.3. Характеристика іонообмінних речовин**

Іонний обмін є одним з перспективних сорбційних методів видалення із стічних вод таких токсичних хімічних елементів, як сполуки миш'яку і фосфору, ціанідні сполуки і радіоактивні речовини. Він здійснюється із застосуванням іонообмінних матеріалів – іонітів. Внаслідок обмінної реакції шкідливі іони розчину приєднуються до іоніту, а замість них в розчин з іоніту потрапляють нешкідливі катіони  $H^+$ ,  $Na^+$ , і  $NH_4^+$  або аніони  $OH^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ .

За зовнішнім виглядом і ступенем дисперсності іоніти поділяють на: зернисті, гранульовані, порошкоподібні, формовані або волокнисті. За рівнем пористості іоніти бувають гелеві, ізопористі і макропористі (мезопористі). Є також особливий вид іонітів – рідкий. За типом і знаком протиіонів іоніти діляться на: а) катіоніти, які здатні до обміну катіонів; б) аніоніти, які здатні до обміну аніонів; в) анфоліти, які залежно від умов середовища, здатні до обміну як катіонів, так і аніонів.

Іонітними властивостями володіють як природні, так і штучні синтезовані матеріали. До неорганічних природних іонітів належать глауконітові піски, природні цеоліти, глинисті мінерали (алюмосилікати), в тому числі бентонітові глини, глауконіт, вермикуліт, польові шпати, слюди та інші. До органічних іонообмінних матеріалів належать: кам'яне і буре вугілля, торф, целюлоза тощо. До синтетичних органічних іонітів відносять: сульфовугілля, синтетичні цеоліти, силікагелі, алюмогелі, пермутити та іонообмінні смоли.

### **8.1.4. Схеми і апарати іонообмінного очищення**

При роботі іонообмінних фільтрів поступово витрачаються іони іоніту, внаслідок чого припиняється очищення води. Для відновлення здатності відпрацьованого іоніту до обміну треба здійснювати його регенерацію. Наприклад, для відновлення катіонів натрію і деяких аніонітів крізь фільтруючий матеріал перепускають 15 % розчин

кухонної солі, для відновлення катіонів водню – розчин сірчаної кислоти. Перед регенерацією відпрацьований іонітний матеріал спускають, а після неї промивають. Для цього може бути застосована очищена раніше або природна незабруднена вода. Режим кожної операції слід вибирати таким чином, щоб забезпечити потрібну якість очищеної води. Принципова схема роботи іонітового фільтра наведена на (рис. 8.4).

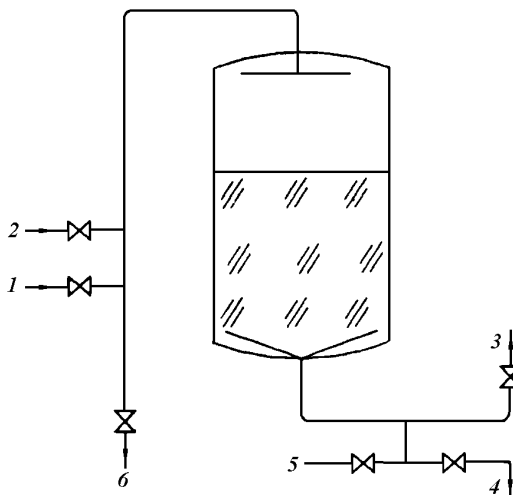


Рис. 8.4. Принципова схема роботи іонітового фільтра:

- 1 – подача забрудненої та промивної води; 2 – подача регенераційного розчину;
- 3 – відвід очищеної води; 4 – відвід регенераційного розчину;
- 5 і 6 – відповідно подача і відвід води для спускування

У процесі іонообмінних реакцій і регенерації іоніт у фільтрах спрацьовується і вимагає або періодичної заміни, або постійного оновлення. Тому існують іонообмінні установки періодичної або безперервної дії (рис. 8.5).

Існують фільтри змішаної дії (*ФЗД*), які містять в одному корпусі шари катіоніту і аніоніту, які відрізняються між собою розмірами і густиною частинок іоніта, що в процесі різних операцій (очищення, розпушування, регенерація і промивка) не дає їм можливості перемішування.



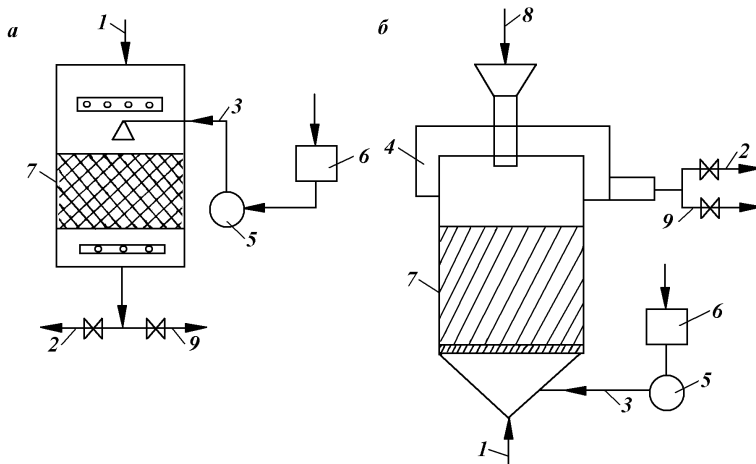


Рис. 8.5. Схеми установок іонообмінного очищення  
(*a* – періодичної дії; *б* – безперервної дії):

1 – подача забрудненої води; 2 – відвід очищеної води; 3 – подача регенеруючого розчину; 4 – збірний жолоб; 5 – насос; 6 – бачок розчинник;  
7 – іоніт; 8 – бункер додачі іоніту; 9 – скид відпрацьованого розчину

Перехід катіонів  $H^+$  або аніонів  $HCO^-$  з іоніту в воду, збільшує її кислотність, а при попаданні у воду катіонів  $Na^+$  або аніонів  $OH^-$  підвищується її лужність. Тому для нейтралізації лужності або кислотності води іноді застосовують схему паралельного включення  $H^+$  та  $Na^+$  – катіонових фільтрах (рис. 8.6).

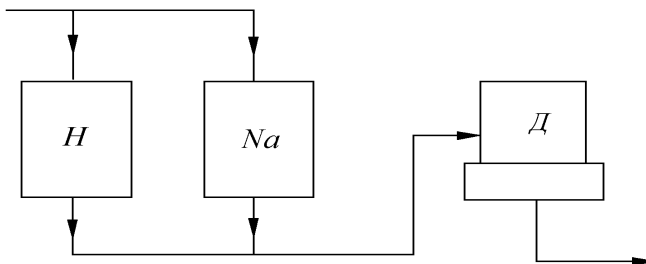


Рис. 8.6. Принципова схема паралельного  $H^+$  –  $Na^+$  – катіонування:  
Д – декарбонізатор (прилад для виділення агресивних газів)

Для більш глибокого очищення води іноді застосовують послідовну схему праці декількох однотипових фільтрів (рис. 8.7).

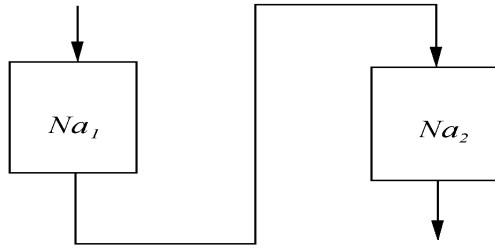


Рис. 8.7. Принципова схема дворівневого Na-катіонування

В фільтрі першої ступені  $Na$ -катіонування виділяється основна кількість іонів, що забруднюють воду, а в другій – їх вміст доводиться до мінімального рівня.

При виділенні разом катіонів та аніонів з води може бути застосована послідовна одно-, двох- або багатоступенева схема розміщення катіонітових і аніонітових фільтрів (рис. 8.8).

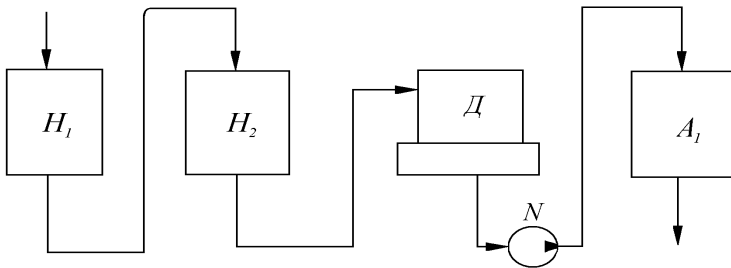


Рис. 8.8. Дворівнева схема H-катіонування і однорівнева A-аніонування:  
Д – декарбонізатор; N – насос

Конструктивні розміри іонітових фільтрів залежать від витрати стічних вод, швидкості фільтрації, об'єму фільтруючого матеріалу та кількості однотипових фільтрів.

Швидкість фільтрації в іонітових фільтрах призначається в межах 20...50 м/год. Площа поперечного перерізу одного фільтру розраховується за формулою:

$$F = Q/nv. \quad (8.1)$$

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

$n$  – число фільтрів;

$v$  – швидкість фільтрації, м/год.

Висота корпусу фільтра приймається в межах 1,0...2,5 м.

## 8.2. Екстракція

### 8.2.1. Способи і схеми екстракційного процесу

Цим прийомом можуть вилучатись тверді, рідинні і газоподібні забруднюючі речовини. Екстракційний метод широко застосовується для очищення промислових стічних вод від органічних домішок, особливо тих, які мають технічну цінність. Принцип методу полягає в тому, що під час змішування двох рідин – стічної води та органічного розчинника (екстрагенту), які практично не розчиняються одна в одній, утворюються дві рідкі рівноважні фази-екстракту (органічна фаза), в яку переходять забруднюючі речовини, і рафінат (водна фаза), з якої вилучені екстраговані компоненти. Екстракт і рафінат розділяються гравітаційною сепарацією або іншими механічними способами. Зконцентрована в екстрагенті речовина далі виділяється з розчинника і використовується як додатковий товарний продукт або утилізується у виробництві. Звільнений від екстрагованої речовини екстрагент знову подається для очищення стічних вод. Частина екстрагенту, що залишається в рафінаті, виділяють відгонкою водяною парою для подальшого використання. В якості екстрагентів застосовують бутилацетат, аміловий і діетиловий спирти, бензол, діетиловий ефір, ацетат і інші. З їх допомогою зі стічних вод вилучають такі домішки: мурашиний альдегід, хлорацетатову, бензолну і саліцилову кислоти, феноли, хінон, анілін, хлоральдегідрат.

При однократній екстракції неможливо повністю виділити зі стічних вод всю речовину, що екстрагується. Тому бажаний ефект одержують лише внаслідок багатократної екстракції.

Екстракцію стічних вод проводять такими способами:

- а) перехресним потоком;
- б) ступенево-протитечійними потоками;
- в) безперервно-протитечійними потоками.

*Екстракція з перехресним потоком* виконується шляхом додавання до стічної води екстрагенту. Після сепарації фаз рафінат знову обробляють порцією свіжого екстрагенту. Цей процес може повторюватись. Таке повторення називають ступенями екстракції. На рис. 8.9 зображена багаторівнева екстракція з перехресним потоком.

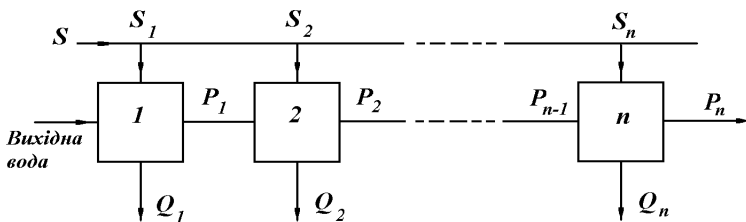


Рис. 8.9. Схема багаторівневої екстракції з перехресним потоком:  
 $S$  – екстрагент;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  – екстракти;  $P_1, P_2, \dots, P_n$  – рафінати

Проведення екстракції перехресним способом не дуже економічно, так як вимагає велику кількість екстрагенту. Наприклад, для видалення зі стічних вод фенолу з пониженням концентрації від 6,0 г/л до 0,1 г/л потрібно 2,2 л бензолу на 1 л води. Тому найчастіше застосовують протитечійний напрямок руху стічної води і екстрагенту. В цьому випадку для зниження концентрації фенолів з 6,0 до 0,1 г/л потрібно лише 0,5 л бензолу на 1 л стічної води.

*Ступінчато-протитечійна екстракція.* Цей спосіб екстракції полягає в тому, що вхідна вода та екстрагент подаються з протилежних кінців багаторівневої установки, рівні якої сполучені послідовно і рухаються протитечією один до одного (рис. 8.10).

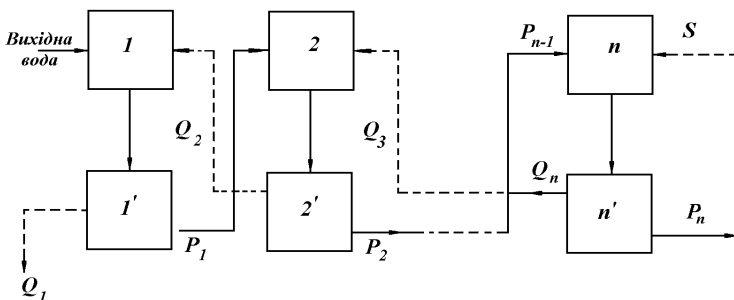


Рис. 8.10. Схема ступенево-протитечійної екстракції:  
 $1, 2, \dots, n$  – змішувачі;  $1', 2', \dots, n'$  – сепаратори;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  – екстракти;  
 $P_1, P_2, \dots, P_n$  – рафінати;  $S$  – чистий екстракт

Кожний рівень багатоступеневої екстракційної установки містить перемішувальний пристрій для змішування фаз і сепаратор (найчастіше відстійник) для їх гравітаційного розділення. Ці елементи компонується окремо або в одному апараті (рис. 8.11).

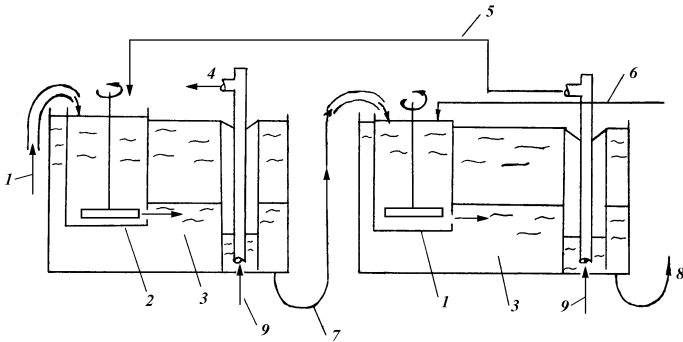


Рис. 8.11. Екстрактор змішувально-відстійного типу:  
 1 – подача стічної води; 2 – змішувач; 3 – відстійник; 4 і 5 – екстракти;  
 6 – екстрагент; 7 і 8 – рафінат; 9 – повітря

Для кращого перемішування стічних вод з екстрагентами в середині екстракторів розміщують перегородки, встановлюють мішалки різних типів, ерліфти, форсунки, інжектори, сопла. Для сепарації фаз іноді замість відстійників використовують відцентрові апарати (гіроциклони, центрифуги).

У трьохрівневу каскаді протитечійної екстракції стічні води проходять послідовно три екстрактори, які обладнані механічними мішалками. Чистий екстрагент вводять в третій екстрактор, в якому вода, що очищується, утримує порівняно невелику кількість забруднень. Після відділення у відстійнику третього ступеню цей екстрагент перекачується в другий екстрактор, де знаходиться більш концентрована стічна вода. Після розподілу у відстійнику другого рівню екстрагент подають в перший екстрактор з найбільшою концентрацією. Виділений у відстійнику першого рівня екстрагент направляється на регенерацію і повторне використання.

*Безперервно-протитечійна екстракція.* За цим способом екстракційна вхідна вода і екстрагент контактують в одному апараті – вертикальній протитечійній колоні, де рідини рухаються на зустріч одна одній під впливом різниці густин. Якщо вода має більшу густину, ніж екстрагент, то вона подається у верхню частину колони, а екстрагент в нижню, і, навпаки, при більш важкому реагенті він подається у верхню частину, а вода в нижню частину. В першому випадку насичений речовиною, що вилучається, екстракт відводиться з верхньої частини колони, а рафінат – з нижньої. В другому випадку, навпаки, екстракт відводиться з нижньої, а рафінат з верхньої частини колон.

### 8.2.2. Екстракційні апарати та їх розрахунок

Для кращого перемішування двох фаз колони поділяють на апарати без механічного або з механічним перемішуванням. В колонах першого типу встановлюють перегородки, насадки різного типу (кільця Рашига, сідла Берля, металеві насадки у вигляді розтягнутих сіток та інші), перфоровані тарілки, розпилювальні колони (рис. 8.12). В апаратах з механічним перемішуванням фаз здійснюється або обертання обох фаз по колу за допомогою дисків, або зворотно-поступальний рух рідин за рахунок пульсаційної їх подачі в колону. Останні – можуть доповнюватися сітчастими тарілками.

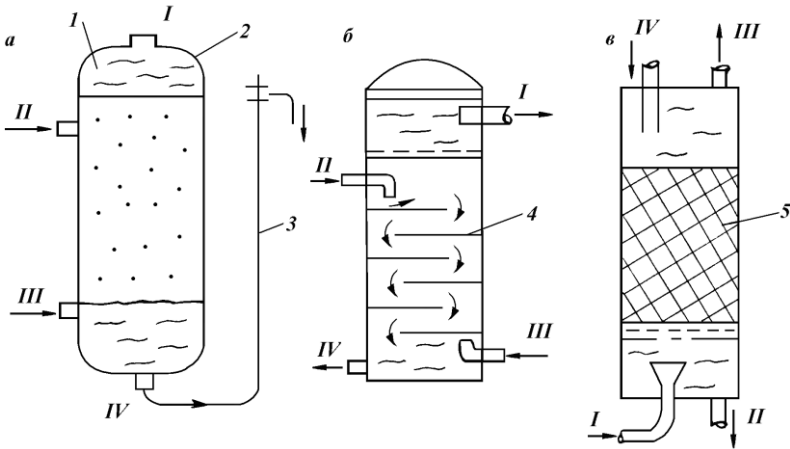


Рис. 8.12. Екстракційні апарати без механічного перемішування  
(а – розпилювальна колона; б – колона з перегородками;  
в – колона з насадками):

1 – рівень розділення фаз; 2 – шар легкої фази; 3 – гідрозатвор; 4 – перегородки;  
5 – насадки; I, III – легкі фази; II, IV – важкі фази

Найпростіший апарат – розпилювальна колона, куди екстрагент вводять за допомогою ежектора. Тут можливо виконувати однорівневу екстракцію. Тому їх застосовують тільки для видалення твердих завислих речовин.

У колонах з горизонтальними перегородками і тарілками збільшується шлях руху фаз за рахунок зміни вертикального напрямку в горизонтальний, а також покращуються умови перемішування рідин.

У колонах насадкового типу контакт між фазами збільшується за рахунок розвиненої поверхні насадок. У цих колонах майже завжди

можна досягти ступеня вилучення забруднюючих речовин, що відповідає декільком ступеням екстрагування.

Екстракційні апарати з механічним перемішуванням фаз зображені на рис. 8.13. Це колони в яких перемішування здійснюється або за допомогою дисків, які обертаються спільним центральним валом (рис. 8.13, *a*), або за рахунок пульсації (зворотно-поступальних коливань) рідин, що рухаються в колоні (рис. 8.13, *б*).

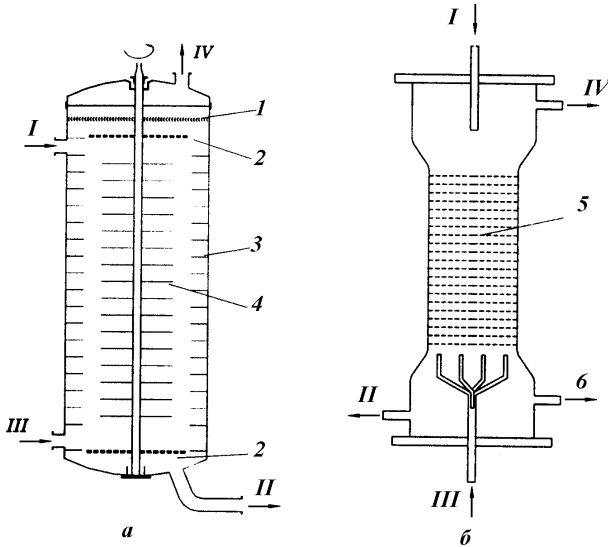


Рис. 8.13. Екстракційні апарати з механічним перемішуванням фаз:  
(*a* – роторно-дискова колона; *б* – пульсаційна колона  
із сітчастими тарілками):

- 1 – межа розподілу фаз; 2 – сітки; 3 – кільця статора; 4 – роторний диск;  
5 – сітчасті тарілки; 6 – подача пульсуючої рідини

Регенерація екстракту і рафінату виконується різними способами: ректифікацією, екстракцією іншим розчинником, хімічною реакцією, випаровуванням, водяною парою та іншим. Іноді вартість регенерації становить більшу частину вартості всього процесу екстракції. Тому спосіб і схема регенерації підбираються разом зі схемою екстракції для конкретних умов очищення води.

Розрахунок екстракторів починається із визначення потрібного об'єму екстрагента за формулою:

$$W = bnQ, \quad (8.2)$$

де  $b$  – питома витрата екстрагента,  $\text{м}^3/\text{м}^3$ ;

$n$  – число екстракцій;

$Q$  – витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/доб;

$W$  – об'єм екстрагенту, м<sup>3</sup>/доб.

У тому випадку, коли концентрація забрудненої речовини у воді після її очищення задана величина „ $b$ ” знаходиться за формулою:

$$b = \frac{C_o - C}{KC_o}, \quad (8.3)$$

де  $C_o$  – початкова концентрація екстрагуючої речовини у воді, кг/м<sup>3</sup>;

$C$  – кінцева концентрація екстрагуючої речовини у воді, кг/м<sup>3</sup>;

$K$  – коефіцієнт розподілу, величина якого знаходиться так:

$$K = C_o / C_e, \quad (8.4)$$

де  $C_e$  – концентрація даної речовини в екстрагенті, кг/м<sup>3</sup>.

Крім того, величина  $K$  залежить від температури, при якій здійснюється процес екстракції. У таблиці 8.1 наведені деякі величини коефіцієнта  $K$  при температурі 25°C.

Таблиця 8.1

#### Значення коефіцієнта розподілу $K$

Екстрагуюча речовина	Екстрагент	$K$
Мурашиний альдегід	Аміловий спирт	3,09
Хлорацетатова кислота	Аміловий спирт	1,5...7,3
Бензойна кислота	Діетиловий спирт	70,9...90,9
	Бутилацетат	30
	Хлороформ	9,4...13,5
Саліцилова кислота	Бензол	1,7...4,5
	Ацетат	126
Фенол	Бутилацетат	51
	Бензол	2,3...12,5
Хінон	Діетиловий спирт	3,1...3,2
Анілін	Бутил ацетат	27,2
Хлоральдегід	Діетиловий спирт	4,25

Виходячи із швидкості руху стічної води і екстрагенту або часу перебування їх в апараті встановлюють основні розміри екстракторів. Так площу поперечного перерізу знаходять за формулою:

$$F = W / 3600 v_e, \quad (8.5)$$

де  $v_e$  – швидкість руху екстрагенту в апараті, м/с;

$W$  – об'єм екстрагенту, м<sup>3</sup>/год.



Якщо апарат має колову форму (наприклад колони), то його діаметр дорівнює  $\sqrt{\frac{4F}{\pi}}$ , а якщо прямокутною, то співвідношення між висотою і шириною підбирають конструктивно, а довжина визначається часом перебування суміші в екстракторі.

### 8.3. Пом'якшення, демінералізація і знезалізнення води.

#### Дегазація

Зі збільшенням температури і зменшенням тиску розчинність газів у воді зменшується. За високого тиску і сталої температури у випадку розбавлених розчинів розчинність газів, що не вступають у хімічну взаємодію, підкорюється закону Генрі.

*Пом'якшення води* здійснюють при наявності в ній іонів  $Ca^{+}$  і  $Mg^{+}$ , коли твердість перевищує 7 мг-екв/л. Способи пом'якшення можуть бути такі:

- 1) кип'ятіння;
- 2) реагентний спосіб із застосуванням кальцинованої соди, гідроксиду натрію або їх суміші;
- 3) катіонообмінний – перепускання води крізь фільтри з катіонообмінними речовинами, які вилучають з води іони  $Ca^{+}$  і  $Mg^{+}$  і віддають в розчин іони  $Na^{+}$  і  $K^{+}$ .

*Демінералізація*, тобто зменшення кількості солей у воді.

Якщо рівень зменшення досягає допустимого рівня вмісту солей у питній воді (<1000 мг/л), то цей процес називається опрісненням, а якщо – рівня дистилляту – знесоленням.

Способи демінералізації можуть бути застосовані наступні:

- 1) випаровування води з подальшою її конденсацією;
- 2) виморожування – ґрунтується на різниці температур замерзання солоної і прісної води (солоня замерзає при більш низькій температурі, ніж прісна);
- 3) іонообмінний – воду перепускають через катіонитові і анітові фільтри;
- 4) мембранний – використовують таку мембрану, яка перепускає лише певні компоненти і з суміші.

*Охолодження* води необхідне для зниження її температури після певного технологічного процесу перед повторним використанням або скиданням у водойми. Охолодження виконують за допомогою таких споруд як градирні, бризкальні, басейни, ставки-охолоджувачі.

*Знезалізнення* води здійснюють різними шляхами в залежності від форми, в якій залізо  $Fe^{2+}$  або  $Fe^{3+}$  знаходиться у воді. Якщо воно

знаходиться в формі двокарбонісного заліза  $Fe(HCO_3)_2$ , то залізо дуже легко видаляється шляхом аерації води. Вода з вмістом сірчаного заліза  $Fe_2(SO_4)_3$  перед аерацією обробляється вапном. В наслідок реакції між цими солями і водою утворюється гідроксид заліза  $Fe(OH)_2$ , якій випадає в осад. Загальна схема знезалізнення води шляхом аерації зображена на рисунку 8.3.

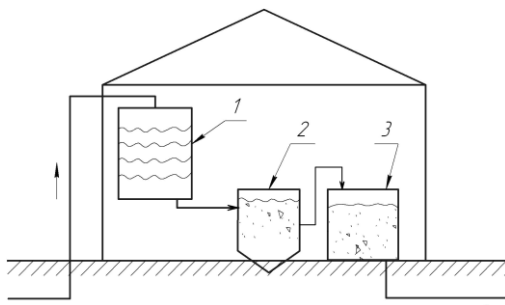


Рис. 8.14. Схема знезалізнення води аерацією:  
1 – градирня; 2 – відстійник; 3 – фільтр

### 8.3.1. Видалення з води розчинних газів

У воді можуть знаходитись багато газів в розчинному стані або іонній формі. Це кисень, сірководень, оксид карбону, вуглекислий газ, хлор, метан і інші. Розчинність газів у воді залежить від природи газу, температури і тиску. Велика розчинність таких газів як  $NH_3$  і  $SO_2$  зумовлена хімічною взаємодією з водою. Зі збільшенням температури і зменшенням тиску розчинність газів у воді зменшується. В табл.8.2 наведена розчинність деяких газів у воді при тиску в 1 МПа.

Розчинність газів у воді,  $cm^3/dm^3$

Таблиця 8.2

ГАЗ	ТЕМПЕРАТУРА, °C								
	0	110	20	30	40	50	60	80	100
O <sub>2</sub>	48,9	38,0	31,00	26,1	23,1	20,9	19,5	17,6	17,0
N <sub>2</sub>	23,3	18,3	15,1	12,8	11,0	9,6	8,2	5,1	0,0
Cl <sub>2</sub>	1,44	0,95	0,71	0,56	0,45	0,38	0,32	0,22	0,0
CO <sub>2</sub>	1713	1194	878	665	530	436	359	~	~
SO <sub>2</sub>	~	13,3	9,4	7,2	5,5	4,3	3,1	2,1	~
NH	46,7	40,4	34,5	28,7	23,5	16,8	16,5	~	~
H <sub>2</sub> S	4370	3590	2910	2330	1860	~	~	~	~
CH <sub>4</sub>	55,6	41,8	33,4	27,6	23,7	21,3	19,5	17,7	17

Зі збільшенням температури та зменшенням тиску розчинність газів у воді зменшується. За невисокого тиску і сталої температури у

випадку розбавлених розчинів розчинність газів, що не вступають у хімічну взаємодію з водою, підкоряється закону Генрі (2.1).

*Фізичні методи дегазації води.* Зміст фізичних методів дегазації полягає в тому, що очищена вода контактує з газом (переважно повітрям або водяною парою), в якому немає розчинених газів або вони містяться в невеликих кількостях, значно менших, ніж розчинено у воді, тобто парціальний тиск газів, які видаляють, в продувному газі дорівнює нулю або близький до нього ( $P_i \approx 0$ ). Під час продування води повітрям (аерації) видаляються сірководень і оксид карбону, оскільки їх вміст невеликий і парціальний тиск у повітрі близький до нуля. Так, в атмосферному повітрі міститься 0,1–0,3 %  $CO_2$ . Оскільки парціальний тиск кисню в повітрі досить великий (вміст кисню в ньому 21 %), то аерацією його видалити неможливо. У цьому разі розчинність газу у воді знижують нагріванням, доводячи очищену воду до кипіння. При цьому значно зменшується коефіцієнт абсорбції газу водою і розчинність газів падає до нуля. Довести воду до кипіння можна нагріванням (термічні дегазатори) або зниженням тиску, за якого вода кипить без підігрівання (вакуумні дегазатори).

Залежно від конструктивного оформлення застосовують різні типи дегазаторів: пінні, барботажні, плівкові з різними насадками, термічні, вакуумні, вакуумно-ежекційні. Барботажні дегазатори використовують для глибокого видалення вуглекислого газу на установках продуктивністю не більш як  $20 \text{ м}^3/\text{год}$ . Плівкові дегазатори з насадкою з кілець Рашига застосовують для глибокого видалення з води вуглекислого газу і сірководню. У разі глибокого (за залишкової концентрації  $0,01\text{--}0,05 \text{ мг/дм}^3$  або часткового  $0,3\text{--}0,5 \text{ мг/дм}^3$ ) знекиснення води, а також спільного видалення кисню і вуглекислого газу застосовують вакуумні дегазатори з насадкою з кілець Рашига.

У процесі дегазації води в *апаратах барботажного типу* створюється більша поверхня контакту рідкої і газової фаз. Залежно від залишкової концентрації газу, який видаляють, застосовують односекційні і двосекційні-дегазатори (рис. 8.14).

У двосекційному апараті вода проходить послідовно через обидві секції. Повітря, яке подають у дегазатор, розподіляється на два однакових потоки, що надходять окремо в кожен секцію через повітрярозподільну плиту. Розбрикування води здійснюють дірчастими стаканами із заглушеним днищем. Витрати повітря під час барботування становлять  $10 \text{ м}^3$  на  $1 \text{ м}^3$  води. Витрати води на одиницю площі барботувального дегазатора дорівнюють  $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{год})$ .

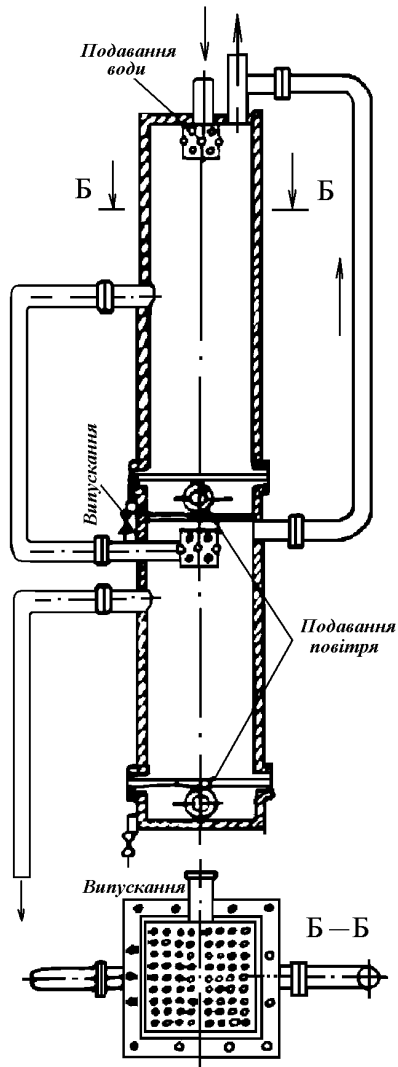


Рис 8.15. Схема барботажного дегазатора

*Плівковий дегазатор* (рис. 8.15) з насадкою з кілець Рашига – це циліндричний апарат, у нижню частину якого вентилятором подають повітря.

Вода надходить у верхню частину дегазатора і рівномірно розподіляється по перерізу плитою з ковпачками. Насадка розміщується на проміжному днищі з дірчастого листа або у вигляді зварної рами з кутової сталі. В таких дегазаторах залишковий вміст вуглекислого газу в очищеній воді становить 1–2 мг/дм<sup>3</sup>. У разі видалення сірководню воду спочатку підкислюють до рН=5, а потім дегазовану воду підлужують до необхідних значень рН. Щільність зрошення насадки водою становить 60 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год) при глибокому видаленні оксиду карбону або сірководню і 90 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год) при частковому видаленні CO<sub>2</sub> в процесі знезалізнення води. Витрати повітря на 1 м<sup>3</sup> дегазованої води становлять 15 м<sup>3</sup> при глибокому, 4 м<sup>3</sup> при частковому видаленні вуглекислого газу і 12 м<sup>3</sup> при глибокому видаленні сірководню.

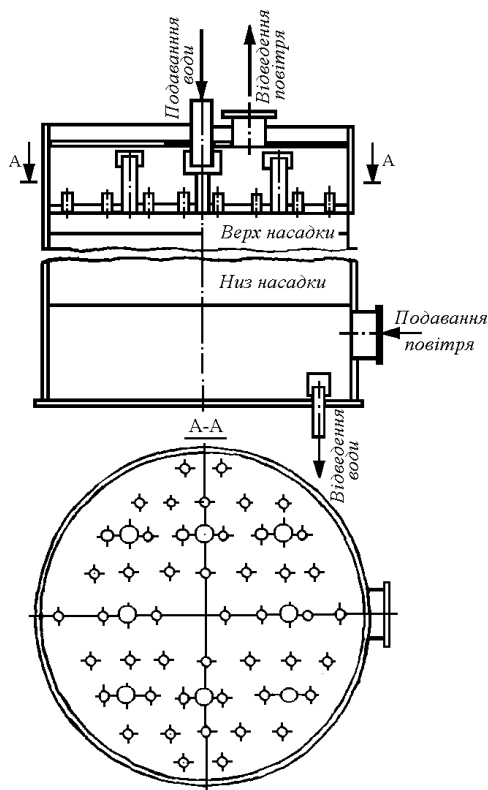


Рис. 8.16. Схема плівкового дегазатора

Значного поширення в практиці очищення води від газів набули *термічні дегазатори*. Принцип дії цих апаратів ґрунтується на контакті очищеної води з паром. Нагрівання води до температури насичення за даного тиску сприяє зниженню парціального тиску газу над водою до нуля, розчинність його також зменшується до нуля. Підвищення температури очищеної води інтенсифікує дифузію молекул газу і видалення їх у парову фазу. Одночасно зменшується коефіцієнт абсорбції газу.

Термічні дегазатори для підготовки живильної води для парогенераторів електростанцій поділяють на кілька типів: вакуумні ДСВ (що працюють за тиском 0,0075–0,05 МПа), атмосферного тиску типу ДСА (0,12 МПа) та підвищеного тиску типу ДСП (0,6–0,8 МПа). Дворівневий дегазатор ДСА (рис. 8.17) складається з горизонтального циліндричного бака-акумулятора 14, деаераційної колонки 2, зануреного барботажного пристрою і охолоджувача випару 4. Очищена вода надходить по трубопроводу 7 і змішується з паром з трубопроводу 1 на першій верхній тарілці деаераційної колонки, з якої вода струменями зливається на другу тарілку, а потім у бак-акумулятор. З нього вода після витримання надходить у барботувальний пристрій, що являє собою дірчастий лист 12, під який подають пар по трубопроводу 6. Останній барботує у воду, що рухається по каналу 13 до трубопроводу 11, який відводить дегазовану воду. Вода, що виходить з барботувального пристрою, закипає у вертикальному каналі, утвореному листами 9 і 10.

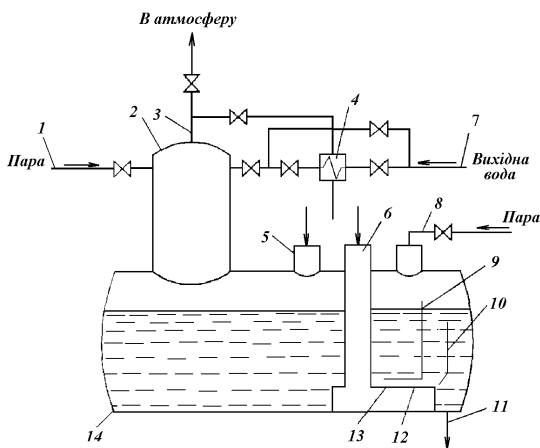


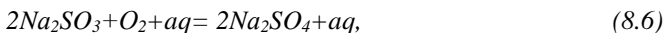
Рис. 8.17. Схема термічного дворівневого дегазатора типу ДСА

Пара після барботажного пристрою через паровий простір бака над поверхнею води надходить у деаераційну колонку, де піднімаючись угору, омиває струмені води, що рухаються назустріч. Несконденсована пара і виділені з води газу видаляються по трубопроводу 3, а також частково в охолоджувач випару 4, де відбувається підігрівання дегазованої води. В охолоджувачі випару пара конденсується, а виділені газу видаляються в атмосферу. Підведення додаткової нагрівної пари в дегазатор здійснюють по трубопроводах 5 і 8.

Вищими за інтенсивністю процесу та ефектом дії характеризуються вакуумні дегазатори, які бувають з підігріванням і без підігрівання води. Вакуумні дегазатори з підігріванням води використовують для глибокої дегазації. Застосування вакуумних дегазаторів дає змогу зменшити температуру кипіння очищеної води, що полегшує добір матеріалів для дегазації агресивних вод

Щоб досягти максимального ефекту дегазації, слід забезпечити зниження парціального тиску газу, який видаляють, до нуля, нагріванням води до максимально можливої температури (здебільшого до температури кипіння), сталість температури очищеної води, більшу поверхню контакту водяної і газової (парової) фаз. Для цього потрібно застосувати насадку з максимально розвиненою поверхнею або організувати інтенсивне барботування, що досягається подаванням газу або водяної пари під підвищеним тиском. Одночасно слід збільшити тривалість контакту води і газу (пари). Ефект дегазації залежить від кількості пари, що подається на барботування. Концентрація кисню в очищеній воді та витрати пари на барботування до 15–20 кг/т різко знижується. Слід організувати безперервне відведення газів, що видаляються з води, щоб забезпечити їх мінімальний парціальний тиск. Для забезпечення оптимальних умов дегазації води потрібно підтримувати сталими температуру і тиск, зберігати заданий гідравлічний режим роботи апарата тобто підтримувати сталою витрату води, яку дегазують.

*Хімічні методи дегазації води.* Хімічні методи дегазації води ґрунтуються на взаємодії розчинених газів з різними реагентами, в результаті якої утворюються сполуки, що легко видаляються з обробної води. Видалення залишкового кисню після видалення його фізичними методами здійснюють обробкою води різними відновниками: оксидом сульфуру, гідразином, сульфідом і тіосульфатом натрію, металічним залізом тощо. Під час взаємодії з розчиненим киснем сульфід натрію окиснюється до сульфату за схемою:



Сульфїт і тїосульфат натрію подають в обробу воду у вигляді 3–10 %-х розчинів. Витрати сульфїту натрію  $G$  (г/м<sup>3</sup>) можна визначити за формулою:

$$G = (8C + k) / P_{x,p'}, \quad (8.7)$$

де  $C$  – концентрація кисню у воді після дегазатора, г/м<sup>3</sup>;

$k$  – надлишок реагенту, г/м<sup>3</sup>;

$P_{x,p'}$  – вміст хімічно чистої речовини в технічному продукті.

Швидкість цієї реакції залежить від температури і кількості сульфїту натрію, який подають. Так, за 40°C і стехіометричної дози останнього процес закінчується через 6–7 хв, тоді як за 80°C – через 1 хв. За 70%-го надлишку реагенту повне зв'язування кисню відбувається через 2 хв за будь-якої температури. Іони мангану інтенсифікують процес знекиснення води, тоді як органічні речовини і підвищення рН середовища гальмують його.

Повнота перебігу і швидкість цих реакцій залежать від надлишку гідразину, температури, концентрації розчиненого кисню, рН оброблюваної води та наявності каталізаторів.

На холоді за відсутності каталізаторів гідразин повільно вступає в реакцію з киснем, але з підвищенням температури ця реакція інтенсифікується. Так, за 20°C кисень не взаємодіє з гідрaziном, тоді як за 60°C протягом 40 хв концентрація кисню у воді зменшується від 8 до 2 мг/дм<sup>3</sup>. Значний вплив на швидкість реакції мають каталізатори (сполуки купруму тощо) і значення рН.

Мінімальна швидкість процесу спостерігається за рН=9...11.

За 10 %-го надлишку дозу (мг/дм<sup>3</sup>) сульфїту натрію, оксиду сульфору або гідразину можна визначити за формулою:

$$D = 1,1\beta(O_2), \quad (8.8)$$

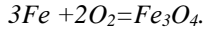
де  $O_2$  – концентрація розчиненого у воді кисню, мг/дм<sup>3</sup>;

$\beta$  – стехіометричний множник, який визначається витратою реагенту на 1 мг  $O_2$  в розрахунку на безводний продукт, мг.

Для гідразину він дорівнює 1 (завичай беруть 1,5), для оксиду сульфору – 4 і для сульфїту натрію – 7,9.

Знекиснення води фільтруванням крізь фільтри, заповнені сталюною стружкою, застосовують переважно при гарячому водопостачанні. У процесі фільтрування залізо окиснюється киснем, розчиненим у воді, за такою схемою:





Тривалість контакту води із стружкою залежить від температури обробної води. Вона зменшується з 25 до 3 хв при збільшенні температури від 20 до 80°C. Як правило, стружку замінюють через 6–12 місяців роботи фільтра. У фільтрі повинно бути 5 кг стружки на 1 кг кисню, який видаляють з води. Об'єм стружки (м<sup>3</sup>) визначають за формулою:

$$V = 5 \cdot 10^6 q C_k \tau, \quad (8.9)$$

де  $q$  – витрати води, м<sup>3</sup>/год;

$C_k$  – концентрація кисню у воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$\tau$  – тривалість роботи фільтрів у період між замінами стружки, год.

Знекиснення води можна здійснювати в електролізерах з розчинними залізними або алюмінієвими електродами, які застосовують для коагуляційного очищення води від колоїдно-дисперсних домішок. Відновлення кисню здійснюють за допомогою анодної і катодної деполаризації, а також хімічного окиснення алюмінію і заліза розчиненим киснем.

Воду, що містить сірководень і гідрогенсульфіди, піддають хлоруванню та аерації з подальшим хлоруванням. Підкислену воду аерують, а потім прояснюють коагуляцією і фільтруванням. Розчинений у воді сірководень видаляють також за допомогою гідроксиду феруму або окисненням сіркобактеріями.

Витрати хлору визначають з урахуванням наявності в обробній воді інших домішок. Якщо вміст останніх невідомий, то витрати хлору приймають на 2–3 мг/дм<sup>3</sup> більшими від кількості, потрібної для окиснення сірководню. З метою зниження витрат хлору воду, яка містить сірководень, підкислюють до рН=5,5 і піддають аерації. При цьому разом з десорбцією сірководню відбувається його часткове окиснення киснем повітря:



Дозу кислоти  $D_k$  (мг/л) на підкислення визначають за формулою:

$$D_k = L \cdot e \cdot 100 / C_k, \quad (8.11)$$

де  $L$  – лужність води, мг/дм<sup>3</sup>;

$e$  – еквівалентна маса кислоти;

$C_k$  – концентрація кислоти в технічному продукті, %.

Доза хлору для окиснення сірководню, що міститься у воді після аерації, становить 2–3 мг/дм<sup>3</sup>. Аерацією видаляють 20–30 % сірководню. При вмісті його в воді 2–3 мг/дм<sup>3</sup> без підкислення залишкова концентрація  $H_2S$  після аерації може бути знижена до 0,3–0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

## 8.4. Очищення стічних вод випарюванням, дистиляцією і ректифікацією

### 8.4.1. Зміст методу та межі його застосування

Очищення стічних вод випарюванням, дистиляцією і ректифікацією супроводжується зміною їхнього агрегатного стану. У разі нагрівання стічної води до температури, що перевищує температуру її насичення за даної концентрації, вона починає кипіти. При цьому молекули води за рахунок теплового і коливального рухів отримують енергію, яка переважає сили міжмолекулярного притягання, і переходять у пару. Малорухливі іони розчинених солей, не маючи потрібного запасу енергії, залишаються в розчині, внаслідок чого відбувається його концентрування. Утворена пара за тиском до 5 МПа не розчиняє солей вихідної води, тому під час її конденсації утворюється опріснена вода. Процес концентрування розчинів нелетких або малолетких речовин називають *випарюванням*, а процес термічного опріснення (виділення опрісненої води) – *дистиляцією*.

У разі випарювання невеликих об'ємів стічних вод пару не піддають конденсації і звичайно викидають в атмосферу, у разі переробки великих об'ємів стічних вод доцільно отримувати дистилят і повторно використовувати його в технічних процесах, а з висококонцентрованих розсолів виділяти продукти.

Як гріючий агент під час випарювання значно частіше використовують водяну пару, яку називають *зріючою*, або *первинною*, і рідше – продукти спалювання палива. Пару, утворену внаслідок випарювання розчину, називають *вторинною*. Тепло до розчину, який потрібно нагрівати, частіше підводять крізь стінку апарату. Іноді водні розчини концентрують при безпосередньому їх контактуванні з газоподібним носієм.

Процеси випарювання проводять за атмосферного і підвищеного тисків, а також під вакуумом. Вибір кожного з цих методів зумовлений властивостями випарюваного розчину і можливістю використання вторинної пари. В разі випарювання за атмосферного тиску вторинну

пару не використовують і викидають її в атмосферу. Проведення процесу під тиском, що перевищує атмосферний, дає змогу використати пару як для власне процесу випарювання, так і для інших технологічних цілей. Вторинну пару, яку відбирають окремо, називають *екстра-парою*.

Випарювання під вакуумом проводять за нижчих температур. Це дає змогу концентрувати розчини, термічно нестійкі за підвищених температур. У разі розрідження збільшується корисна різниця температур між гріючим агентом і розчином, завдяки чому можна зменшити поверхню нагрівання апарата. Під час випарювання за цим методом можна використати гріючий агент з нижчими параметрами, в тому числі і вторинну пару. Проте застосування вакууму здорожує випарні установки у зв'язку з ускладненням конструкції апарата.

Випарюванню піддають стічні води, в яких розчинені тверді речовини (водні розчини солей, лугів та ін.), а також висококиплячі рідини, які за температур випарювання характеризуються малим тиском пари (багатоатомні спирти, деякі мінеральні та органічні кислоти тощо).

Для розділення рідких однорідних сумішей, які складаються з двох і більше компонентів, застосовують перегонку (дистиляцію і ректифікацію). *Перегонка* – це процес часткового випарювання розділюваної суміші і наступна конденсація утвореної пари, яку можна здійснювати одно- або багаторазово. Розділення перегонкою ґрунтується на різній леткості компонентів суміші за однієї й тієї самої температури. У цьому разі всі компоненти суміші переходять у парову фазу в кількостях, пропорційних їхнім фугітивностям. Не випарована рідина, яку називають залишком, багата на важколеткий (висококип'ячий) компонент. Рідину, яку отримують внаслідок конденсації її пари, називають *дистилятом*, або *ректифікатом*.

Розрізняють два види перегонки: просту перегонку (дистиляцію) і ректифікацію. *Проста перегонка* – це процес одноразового часткового випарювання рідкої суміші і конденсації утвореної пари. Їх застосовують для розділення сумішей, які сильно відрізняються за леткістю компонентів (зазвичай для попереднього грубого розділення суміші, а також відокремлення небажаних сумішей). *Ректифікація* – це процес багаторазового часткового випарювання рідини і конденсації пари. Її застосовують для виділення компонентів у чистому стані у виробництвах органічного синтезу, полімерів, напівпровідників та інших, а також для переробки стічних вод цих виробництв. У практиці очищення стічних вод найбільш поширені

випарювання і дистиляція. Остання також широко застосовується для опріснення високомінералізованих вод.

#### 8.4.2. Випарювання і дистиляція

Використання теплоти на випарювання може бути одно- і багаторазовим. У першому випадку випарювання здійснюють в одному апараті, і таку установку називають *однокорпусною*, а сам процес – *однокорпусним випарюванням*. Теплота вторинної пари не використовується, а сама пара може конденсуватися в дистилат. У другому випадку теплоту утвореної вторинної пари використовують для нагрівання упареного розсолу в інших випарних апаратах. У цьому разі випаровану установку називають *багатокорпусною*, а процес випарювання в ній – *багатокорпусним випарюванням*.

Однокорпусне випарювання (рис. 8.18) полягає в тому, що стічну мінералізовану воду подають крізь конденсатор 1 у випарувач 3, де вона підігрівается паром за допомогою змійовика, розміщеного у воді. Утворювана вторинна пара спрямовується крізь краплевлловлювач 2 в конденсатор 1, де вона охолоджується випарованою стічною водою і конденсується в дистилат. Останній використовують для технологічних потреб. У процесі однокорпусного випарювання вихід дистилату не перевищує 50 %. Упарений розсід, що залишився, подають на переробку для вилучення розчинених мінеральних солей або скидають у море в разі опріснення морської води.

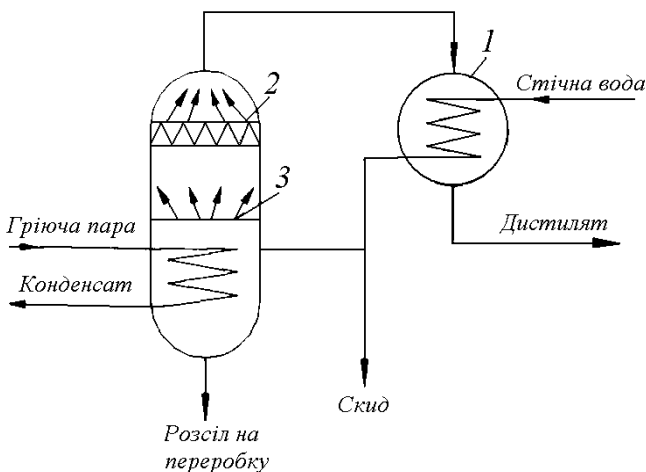


Рис. 8.18. Схема однокорпусного випарювання

Схеми однокорпусного випарювання неекономічні, оскільки потребують великих витрат пари на отримання дистилату (1 кг пари на 1 кг дистилату). Зі збільшенням числа корпусів випарних апаратів, тобто із застосуванням багатокорпусних випарних установок, значно скорочуються витрати горючої пари і питома витрата теплоти для отримання дистилату. Так, для отримання 1 кг пари у двокорпусній установці потрібно затратити близько 0,7 кг гріючої пари, у трикорпусній – 0,5, у чотирикорпусній – 0,4 кг.

Принцип дії багатокорпусної випарної установки зводиться до багаторазового використання теплоти гріючої пари, яка надходить у перший корпус установки, шляхом нагрівання кожного наступного корпусу вторинною парою з попереднього корпусу. На рис. 8.19 зображена схема трикорпусної вакуум-випарної установки, яка працює при прямотечійному русі гріючої пари і розчину. Нагріту в підігрівнику 1 до температури кипіння вхідну стічну воду подають у перший корпус 2, який нагрівається вторинною свіжою парою. Вторинну пару з цього корпусу спрямовують як гріючу в другий корпус 3. Внаслідок зниженого тиску в ньому розчин, що самотечією надходить з першого корпусу, кипить за нижчої температури. Аналогічно упарений розчин з другого корпусу самотечією надходить у третій корпус 4, що нагрівається вторинною парою з другого корпусу. Вторинна пара з останнього корпусу відводиться в барометричний конденсатор 5, в якому під час конденсації пари створюється необхідне розрідження.

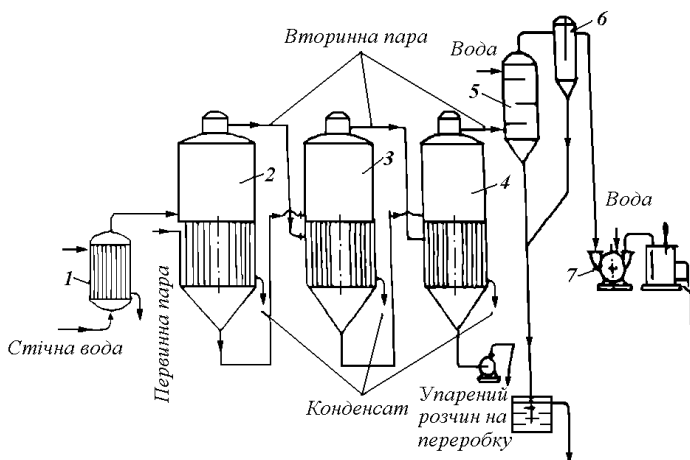


Рис. 8.19. Схема багатокорпусної прямотечійної вакуум-випарної установки

Повітря та інші сконденсовані гази, які потрапляють в установку з парою та охолодною водою, а також крізь нещільності трубопроводів і різко погіршують теплопередачу, відсмоктуються вакуум-насосом 7 крізь краплевловлювач 6.

Велике збільшення числа корпусів випарювача пов'язане із зменшенням температурного перепаду на кожний корпус, а також призводить до збільшення габаритних розмірів випарювача, підвищених витрат металу і збільшення витрат теплоти. Тому для багатокорпусного випарювання звичайно застосовують не більше 10–12 корпусів з перепадом температур 5–6°C на кожний апарат.

Залежно від тиску вторинної пари в останньому корпусі розрізняють установки, які працюють під розрідженням і під надлишковим тиском. Випарні установки розрізняють також за взаємним напрямком руху гріючої пари і випарюваного розчину і поділяють їх на прямотечійні і протитечійні. В останніх гріюча пара і випарюваний розчин переміщуються в корпусах у протилежних напрямках. Істотною перевагою випарювання в багатокорпусних протитечійних установках є те, що в першому корпусі найбільш концентрований розчин випаровується парою вищих параметрів, тоді як в останньому корпусі початковий розчин найнижчої концентрації упарюється вторинною парою з найнижчим тиском і температурою.

Великі промислові багатокорпусні випарні установки доцільно використовувати за принципом прямотечії, оскільки в протитечійних установках для перекачування розчинів з корпусу з меншим тиском у попередній корпус з більшим тиском необхідно встановлювати насоси. Це ускладнює конструкцію установки та її експлуатацію, а також підвищує витрати електроенергії.

Протитечійні випарні установки використовують для випарювання розчинів до високих кінцевих концентрацій, коли можливі небажана кристалізація твердих речовин або різке зростання в'язкості випарених розчинів.

При випарюванні з паралельним живленням корпусів вихідний розчин надходить одночасно в усі корпуси установки. Випарений розчин видаляється одночасно з усіх корпусів і має однакову концентрацію. Такі установки використовують в основному для випарювання насичених розчинів, а також у процесах, які не потребують значного підвищення концентрацій розчину.

У практиці опріснення води використовують також установки миттєвого випарювання, в них упарювану вихідну воду пропускають крізь каскад трубчастих теплообмінників-конденсаторів, вбудованих у камери випарювання, в яких воду не доводять до температури кипіння

Потім випарювану воду подають у головний підігрівник, де її нагрівають до 102–104°C за рахунок підведення пари й спрямовують послідовно у ряд камер низького тиску, де відбувається миттєве закипання й утворення пари. У цьому разі вдається розділити стадії нагрівання і випарювання і тим самим запобігти утворенню накипу на гриючих поверхнях.

Останнім часом у світовій практиці термічного опріснення простежується тенденція використання установок, споряджених плівковими випарними апаратами. Такі установки характеризуються інтенсивним теплообміном у тонкому шарі упарюваної рідини і малою тривалістю контакту шару рідини з теплообмінною поверхнею. Є декілька технологічних схем здійснення плівкової течії випарюваного розчину; довготрубні вертикальні плівкові випарні апарати зі спадною або висхідною плівкою і горизонтально-трубчасті.

#### ***8.4.3. Проста перегонка***

Просту перегонку здійснюють поступовим, випарюванням рідини в кубі з наступним відведенням і конденсацією пари, що утворюється. Процес можна проводити періодичним або безперервним способом. У разі періодичного способу перегонки початкову розподільну суміш завантажують у перегонний куб із змішувачем для підігрівання і нагрівають її до кипіння. Утворену пару конденсують у холодильнику. Фракції дистилляту збирають в окремих збірниках. Після закінчення перегонки залишок зливають з куба, і процес повторюють знову.

Рівень розділення суміші можна підвищити, встановивши перед конденсатором-холодильником додатково дефлегматор. Пара частково конденсується в ньому й у вигляді флегми повертається в куб. Закінчення процесу визначають за температурою кипіння рідини в кубі, яка повинна відповідати заданому складу.

Зниження температури кипіння можна досягнути перегонкою під вакуумом або введенням у суміш, що переганяється, додаткового компонентів у вигляді гострої пари або інертного газу (діоксиду карбону, нітрогену тощо). У разі застосування водяної пари, як теплоносія, розділяють суміші з температурою кипіння понад 100°C. Застосування інертних газів дає змогу значно знизити температуру випарювання суміші, що розділюється, порівняно з перегонкою її у струмені водяної пари, що зумовлено температурою її конденсації;

#### ***8.4.4. Ректифікація***

Процес ректифікації здійснюють багаторазовим контактуванням нерівноважних парової і рідкої фаз. У результаті багаторазового контактування цих фаз і перерозподілу компонентів відбувається збагачення пари низькокиплячим компонентом, а рідини – висококиплячим і в решті-решт – практично повне розділення вихідної суміші.

Процеси ректифікації можна проводити в апаратах безперервної і періодичної дії за різних тисків. Суміші висококиплячих речовин розділяють за атмосферного тиску або під вакуумом. Суміші, які за нормальних температур є газоподібними, розділяють під тиском, що перевищує атмосферний.

Схему ректифікаційної установки безперервної дії, яку широко застосовують у промисловості, зображено на рис. 8.20.

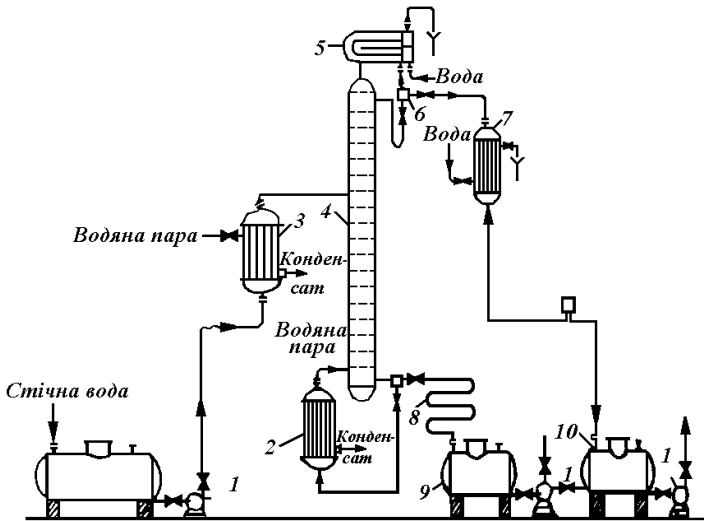


Рис. 8. 20. Схема ректифікаційної установки безперервної дії

Знизу вгору по колоні 4 переміщується пара, що надходить із виносного кип'ятильника 2. Пара проходить крізь шар рідини на нижній (першій по ходу пари) тарілці. Оскільки пара має вищу температуру, рідина на першій тарілці з концентрацією  $x_1$  і температурою  $t$ , частково випаровується і в пару переходить переважно низько-кип'ячий компонент (НК), а з пари в рідину конденсується переважно високо кип'ячий (ВК), вміст якого у парі, що надходить на тарілку, вищий від рівноважного зі складом рідини на тарілці. На другій тарілці рідина складу  $x_2$  містить більше НК



компонента, ніж на першій, і відповідно кипить за нижчої температури. Стікаючись з цією рідиною, пара складу у, частково конденсується і, збагатившись на НК компонент, видаляється на вище розміщену тарілку тощо. Отже, пара, що виходить із кип'ятильника, яка містить переважно ВК компоненти, в міру переміщення вгору колони збагачується на НК компоненти і залишає верхню тарілку колони у вигляді практично чистої пари НК. Остання конденсується у водоохолоджувальному дефлегматорі 5.

Сконденсована рідина розділяється у подільнику 6 на дистилат і флегму, яка повертається на верхню тарілку колони. Стікаючи вниз по колоні і взаємодіючи з парою, що рухається назустріч, на нижній тарілці колони вона стає практично чистим високо кип'ячим компонентом. Останній надходить у кип'ятильник, де нагрівається сухою парою або іншим теплоносієм. На певній відстані від верху колони до рідини з дефлегматора в живильній тарілці приєднується стічна вода, яка подається насосом 1 із збірника і нагрівається в підігрівнику 3 до температури кипіння рідини на живильній тарілці.

У дефлегматорі 5 пара може сконденсуватись повністю або частково. В першому випадку частина конденсату, яка залишилась після повернення флегми, є ректифікатом (дистилатом), який після охолодження в холодильнику 7 направляється в збірник 10. У другому випадку несконденсована в дефлегматорі пара конденсується й охолоджується в холодильнику 7, який за такого варіанта є конденсатором-холодильником дистилату. Рідина, за складом близька до ВК компонентів, і яка виходить з нижньої частини колони, також ділиться на дві частини. Одна частина спрямовується в кип'ятильник 2, а друга після охолодження водою в холодильнику надходить у збірник 9.

Періодичну ректифікацію бінарних сумішей можна проводити за сталого флегмового числа. За сталої кількості флегми, яку повертають у колону, дистилат поступово збіднюється на низькокип'ячий компонент. Це дає змогу розділити суміш на окремі компоненти. Для отримання дистилату сталого складу потрібно поступово збільшувати кількість флегми, що повертається в колону, або проводити ректифікацію за сталого флегмового числа.

Розділення багатокомпонентних сумішей здійснюють у декількох колонах. Число колон для ректифікації суміші повинно бути на одну меншим, ніж число компонентів розділюваної суміші. В ректифікаційних установках переважно використовують насадкові і тарілчасті колони. Ректифікацію під вакуумом здійснюють у роторних і плівкових колонах. У насадкових колонах використовують насадки

різних типів, найчастіше з кілець Рашига. Для забезпечення рівномірного розподілу рідини по насадці діаметр колон не повинен перевищувати 0,8–1 м. Плівкові апарати застосовують для ректифікації під вакуумом сумішей з малою термічною стійкістю.

### Контрольні запитання

1. В чому сутність сорбційних прийомів очищення стічних вод?
2. Як працюють такі види адсорберів: насипні (з нерухомим і з рухомим шаром сорбенту) і з псевдорідким шаром вугілля? Регенерація активованого вугілля.
3. Які види і коли застосовують іонітові фільтри? Схеми установок іонообмінного очищення.
4. Яка сутність способів екстракційної очистки стоків?
5. Які Ви знаєте апарати екстракційного очищення стоків? Методика розрахунків.
6. Які прийоми застосовують при пом'якшенні, демінералізації та знезалізненні води?
7. Як можна видалити з води розчинені гази?
8. Залежно від яких параметрів і як змінюється розчинність газів у воді?
9. Сформулюйте закон Генрі і назвіть межі його застосування.
10. У чому полягає суть фізичних і хімічних методів дегазації води?
11. Які фізичні методи дегазації води ви знаєте і в чому полягає їх суть?
12. Які хімічні методи дегазації води ви знаєте і в чому полягає їх суть?
13. У чому полягає зміст методів очищення стічних вод випаровуванням, дистиляцією і ректифікацією та які межі їх застосування?

## РОЗДІЛ 9 ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ ВОДИ

Багато бактерій, що є збудниками небезпечних захворювань (холера, паратиф, черевний тиф, дизентерія, бруцельоз, туляремія, інфекційна жовтяниця, сап, сибірська виразка і ін.), можуть поширюватися через воду. Під впливом різних факторів ці бактерії у воді гинуть, але в ряді випадків вони порівняно довго зберігають свою життєздатність і вірулентність (хвороботворність). Так, бацили черевного тифу зберігаються в криничній воді більш 6 місяців. Холерний вібріон може існувати в мулистих відкладеннях ще більш тривалі терміни.

Стічні води містять в своєму складі велику кількість хвороботворних мікроорганізмів. Загальні прийоми очищення не в змозі вилучити або знешкодити їх. Тому треба застосовувати спеціальні прийоми так звані прийоми знезаражування води.

Усі прийоми знезаражування води можна поділити на: фізичні, хімічні і хіміко-механічні.

До першої групи відносяться: термічна обробка води, знезаражування бактерицидними променями, застосування ультразвукових коливань тощо.

До другої входять такі способи: хлорування, озонування, бактерицидна обробка іонами важких металів, обробка гіпохлоратом кальцію і натрію.

До третьої відносять знезаражування на спорудах механічного методу очищення з попередньою обробкою води коагулянтами.

### 9.1. Фізичні способи

Термічний метод широко застосовується в побуті для знезаражування невеликих порцій води кип'ятінням. Для обробки великих кількостей води цей спосіб не вигідний.

Велика робота, проведена в останні роки Академією комунального господарства (В. Ф. Соколов), дозволяє в даний час порушувати питання про більш широке застосування дуже ефективного методу знезаражування води бактерицидними променями.

Як відомо, усі типи електромагнітних коливань відрізняються між собою частотою коливань і довжиною бактеровбиваючої хвилі. Довжину хвиль світлових коливань прийнято вимірювати в ангстремах ( $1\text{Å} = 10^{-10}\text{м}$ ).

Ультрафіолетові промені, що розташовуються лівіше видимої частини спектра, мають довжину хвилі менш 4000 А послабляють життєдіяльність бактерій, але найбільш згубний вплив на них роблять промені з довжиною хвилі від 2950 до 2000 А. Ця область ультрафіолетових променів називається бактерицидною, тобто з максимальною бактерицидністю діють промені з довжиною хвилі 2600 А.

Механізм впливу ультрафіолетових променів на бактерії ще далеко не вивчений, можна вважати тільки встановленим, що бактерії гинуть внаслідок біохімічних змін речовини в самому мікроорганізмі.

Як джерела бактерицидного випромінювання можуть служити два типи ламп, що виготовляються нашими заводами: ртутно-кварцові високого тиску (ПРК-2; ПРК-4; ПРК-5 і ПРК-7) і бактерицидні аргоно-ртутні низького тиску (БУВ-15; БУВ-30; БУВ-30-П).

Знезаражування води бактерицидними променями проводиться на установках із зануреними і з незануреними у воду джерелами випромінювання.

Крім того, заглибні бактерицидні установки можна монтувати на всмоктувальних чи напірних трубопроводах, що робить іноді непотрібним додатковий підйом води насосами.

На рис. 9.1 показана конструкція установки для знезаражування води з однією зануреною бактерицидною лампою типу БУВ-15 чи БУВ-30-П.

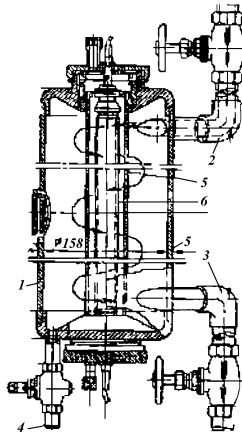


Рис. 9.1. Конструкція установки для знезаражування води з однією зануреною бактерицидною лампою:  
1 – сталевий корпус; 2 – вхідний патрубок, 3 – вихідний патрубок для відводу знезараженої води; 4 – випускний кран, 5 – кварцовий циліндричний чохол, 6 – бактерицидна аргоно-ртутна лампа БУВ; 7 – оглядове вікно

Прояснена вода надходить у сталевий циліндричний корпус 1 установки по патрубку 2. Останній, як і вихідний патрубок 3, приварений до корпусу по дотичній, що забезпечує обертання потоку води навколо розміщеної в центрі корпусу в прозорому кварцовому чохлі 5 бактеріцидний лампи 6 (як це показано стрілкою на рис. 9.1).

Для безпосереднього добору води з установки в корпусі 1 улаштований спускний кран 4. Контролювати роботу лампи можна через оглядове вікно.

Для одержання великої кількості знезараженої води необхідне застосування декількох працюючих установок.

Знезаражування води на більш великих очисних станціях можливо на установках, обладнаних ртутно-кварцовими лампами високого тиску типу ПРК-7. Конструкція такої установки ОВ-АКХ-1, розроблена і впроваджена у виробництво Академією комунального господарства, дана на рис. 9.2. ОВ-АКХ-1 складається з типових камер, що з'єднуються між собою послідовно (тобто вода, що знезаражується, послідовно проходить через усі камери). Число камер визначається розрахунком. У типовій установці прийнято 5 камер. Камери між собою з'єднані фланцями 3 і можуть монтуватися в будь-якому положенні (вертикальному, горизонтальному, похилому). Кожна камера складається з двох литих чавунних однакових половинок, що з'єднуються один з одним болтами. У середині камери в кварцовому чохлі розміщена ртутно-кварцова лампа 4. Перегородки 2 забезпечують циркуляцію води навколо лампи 4, що поліпшує її опромінення.

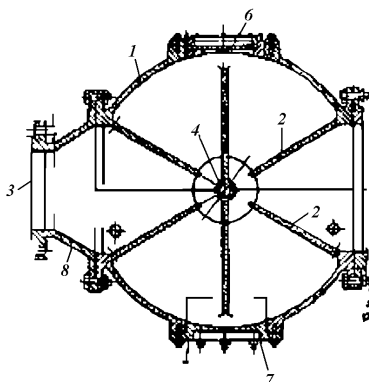


Рис. 9.2. Конструкція однієї камери установки для знезаражування води ОВ-АКХ-1 із зануреними ртутно-кварцовими лампами ПРК-71:

- 1 – рознімний чавунний корпус камери; 2 – радіальні перегородки; 3 – фланець з'єднання з наступною камерою, 4 – ртутно-кварцова лампа в кварцовому чохлі; 5 – оглядове вікно, 6 і 7 – експлуатаційні луки

## 9.2. Хімічні способи

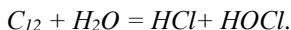
Хімічні способи знезаражування води побудовані на окисленні органічних речовин, включаючи хвороботворні мікроорганізми.

### 9.2.1. Хлорування води

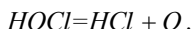
На даному етапі найбільш поширеними прийомами знезаражування є хлорування води за допомогою газоподібного хлору або хлорного вапна. Газоподібний хлор застосовують на очисних станціях великої потужностей, вапно – на малих.

Знезаражування води хлором засновано на виділенні в результаті ряду хімічних реакцій вільних атомів кисню, що окислюють речовину бактерій і викликають їхню загибель. Крім того, хлор також згубно впливає на плазму бактерій.

При додаванні у воду газоподібного хлору утвориться соляна і хлорнуватиста кислоти:



Хлорнуватиста кислота у воді дисоціює з виділенням атома кисню:



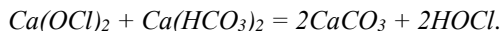
Таким чином, два атоми хлору виділяють при хлоруванні води один атом кисню.

У сільськогосподарському водопостачанні для знезаражування води застосовується головним чином хлорне вапно, що виходить у результаті обробки хлором сухого гашеного вапна. Хлорне вапно за ГОСТ 1692–46 повинно містити активного хлору від 32 до 36 %.

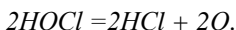
При додаванні у воду хлорне вапно утворює хлористий кальцій і гіпохлорит кальцію:



Гіпохлорит кальцію при наявності у воді бікарбонатів кальцію і магнію утворює вуглекислий кальцій і хлорнуватисту кислоту:



Хлорнуватиста кислота дисоціює у воді, виділяючи два атоми кисню:



Кисень, що виділяється, витрачається на окиснення не тільки бактерій, але органічних і мінеральних речовин, що містяться у воді.

Тому хлор повинний бути поданий у воду в достатньому для цього кількості. Варто також враховувати, що хлорпотрібності води коливаються при змінах як кількості домішок, що окисляються у воді, так і умов протікання окисних процесів (температура, рН і ін.). Усе це у виробничих умовах затрудняє визначення розрахунковим шляхом потрібної кількості хлору.

Кількість активного хлору, який вводиться для знезаражування на одиницю об'єму стічних вод, називають дозою хлору і вимірюється в мг/л або г/м<sup>3</sup>. Дозу хлору визначають пробним хлоруванням або призначають залежно від способу очищення. Після 30 хвилинного контакту концентрація залишкового хлору у воді повинна дорівнювати 0,1–0,2 мг/л. При залишковому хлорі більш 0,4 мг/л вода має неприємний запах і непридатна для пиття, але всі бактерії при цьому знищуються.

Іноді в зв'язку з різними і несподіваними коливаннями якості сирової води, а також при слабкій кваліфікації обслуговуючого персоналу призначають свідомо надлишкові дози хлору, при яких концентрація залишкового хлору перевищує 1,0 мг/л. У цьому випадку мається впевненість у повному знезаражуванні води, але надлишок хлору потрібно видалити з води різними засобами. Такий метод знезаражування води називається її перехлоруванням з наступним дехлоруванням.

В залежності від способу очищення стічних вод перед скидом їх в природні водойми призначають такі дози хлору:

після механічного очищення – 10 г/м<sup>3</sup>;

після біофільтрів – 5 г/м<sup>3</sup>;

після аеротенків – 3 г/м<sup>3</sup>.

Для хлорування води хлорним вапном в умовах невеликих очисних станцій необхідні пристрої для готування і дозування суспензій: затворні, розчинні баки і дозатори. Для хлорування води газоподібним хлором служать хлоратори. Хлор доставляється на очисну станцію в рідкому виді в сталевих балонах (Е25 і Е50 ємністю 25 і 50 л хлору ГОСТ 949–41). З переносного балону, який встановлений на контрольні ваги, газ по сполучній трубі переходить у стаціонарний балон, що служить відстійником для можливих забруднень газу.

З нерухомого балону через вентиль газ йде на фільтр і відтіля очищений – у редукційний клапан, що підтримує на виході постійний заданий тиск, що замірюється манометром низького тиску. Далі газ надходить у газометр, що вимірює витрату газу. Газометри застосовуються різних типів. Між газометром і редукційним клапаном

встановлений регулювальний вентиль. З газометра газ переходить у змішувач, де він змішується з водою, що надходить самопливом з бачка, у якому рівень води підтримується кульовим поплавковим клапаном на постійній оцінці.

Хлорна вода зі змішувача засмоктується ежектором і подається в трубопровід, по якому тече вода, що незаражується.

При хлоруванні води газоподібним хлором варто ретельно виконувати правила техніки безпеки. При проектуванні очисної станції необхідно забезпечити для хлораторного приміщення дотримання ряду умов: розміщення на 1 поверсі; передбачити два виходи з герметичними дверми; гарне провітрювання через вікна; штучна вентиляція з відсосом повітря з підлоги; площа приміщення з розрахунку 2 м<sup>2</sup> на кожні два хлоратори плюс 4 м<sup>2</sup> на контрольні ваги.

Розчин хлору в очисних станціях вводиться у воду, що незаражується, звичайно в двох місцях (подвійне хлорування): перед змішувачем разом з коагулянтном і після фільтра. Перша порція складає приблизно 70–75 % від повної встановленої дози хлору і друга 30–25 %.

Для хлорування невеликих постійних витрат води зручно застосовувати хлораторну установку ВОУ-НУМУ-1 (водознезаражуюча установка Новочеркаського інженерно-меліоративного інституту, тип 1). Основним елементом цієї установки служить дозатор хлорної води з повітряним регулюванням системи Н. Н. Богданова, (рис. 10.3). Сталевий корпус 1 дозатора являє собою герметично закриту посудину визначеної ємності. У верхній кришці корпусу маються два отвори 2 і 3, які закриваються щільно пробками на різьбу. Через один отвір дозатор заповнюється відстійною хлорною водою 1–5 % концентрації. Через інший в цей час виходить з корпусу повітря, що витісняється водою. Після закриття отворів 2 і 3 хлорна вода може впливати з дозатора через кран 4 тільки в тому випадку, якщо в корпус 1 впускає через кран 6 по трубі 7 повітря.

Повітря повинне проникнути до крана 6 через скляну ліжку 5, заповнену ватою (повітряний фільтр).

Відкриттям крана 6 можна відрегулювати надходження повітря в дозатор таким чином, щоб хлорна вода з крана 4 впливала окремо падаючими краплями, що дає в 1 хвилину близько 25 мл розчину.

Отже, дозатор з розмірами, зазначеними на рис. 10.3, що має корисну ємність близько 24 л, може подавати хлорну воду без перезарядження протягом 16 годин.



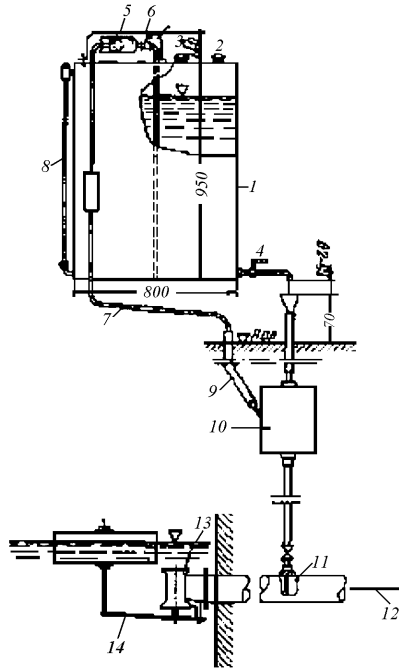


Рис. 9.3. Водознезаражувальна установка Новочеркаського інженерно-меліоративного інституту типу 1 (ВОУ-НИМИ-1) з повітряним регулюванням системи Н.Н. Богданова

- 1 – сталевий зварений корпус; 2 і 3 – отвори, що закриваються пробками на різьбленні для заповнення дозатора хлорною водою і випуску повітря при заповненні;  
 4 – кран для випуску хлорної води; 5 – лійка, заповнена ватою; 6 – скляний кран для регулювання надходження зовнішнього повітря в дозатор; 7 – трубка для повітряновідвіду; 8 – водомірна трубка; 9 – гумова трубка; 10 – поплавковий клапан;  
 11 – в'єднення хлорної води; 12 – трубопровід хлоруємої води; 13 – поплавковий клапан у резервуарі чистої води; 14 – резервуар чистої води

### 9.2.2. Озонування та знезаражування води іонами важких металів

*Озонування води.* Цей спосіб знезаражування води заснований на застосуванні нестійких сполук кисню  $O_2$ . Молекула озону  $O_3$  у воді розпадається на кисень  $O_2$  і вільний атом  $O$ . Останній, окислюючи речовину бактерій і інших мікроорганізмів, викликає їхню загибель. При озонуванні вся складність полягає у виробленні озону ( $O_3$ ) з повітря за допомогою електричного розряду. Загальна схема установки по озонуванню зображена на рис 9.4.

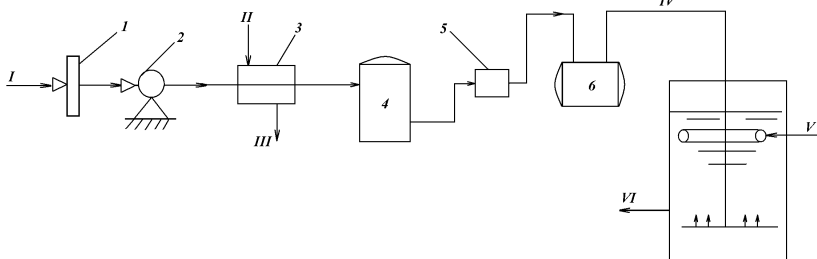


Рис. 9.4. Схема озонаторної установки:

1 – повітряний фільтр; 2 – повітродувка; 3 – теплообмінник; 4 – фреонова холодильна установка; 5 – волого вловлювач; 6 – озонатор; 7 – контактний резервуар;

Потоки: I – повітря; II і III – подача і відвід охолоджуваної води; IV – озон;

V і VI – подача і відвід рідини на знезаражування (окиснення)

В озонатор (котел для одержання  $O_3$ ) треба подавати осушене і очищене повітря, що здійснюється у фільтрі і вологовловлювачі. Озон вводиться у воду за допомогою мережі перфорованих труб, що укладаються по дну контактного резервуара. Доза озону і тривалість контакту визначається концентрацією і особливістю забрудненої речовини. Виходячи з цього об'єм контактного резервуару знаходиться за формулою:

$$V = 60 \cdot q \cdot t, \text{ м}^3, \quad (9.1)$$

де  $q$  – витрата води,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$t$  – тривалість контакту озону із забрудненою речовиною, хв.

*Знезаражування води іонами важких металів.* Наприкінці минулого сторіччя швейцарський ботанік Карл Негелі установив властивість металів при контакті їх з водою убивати мікроорганізми. Результати досліджень цього питання (Г.А. Серіков, С. В. Моїсєєв, В. А. Кутів, Тиле Вольф, Л. А. Кульський) показали, що бактерицидну дію становлять іони чи метали їх сполук, здатні у воді розпадатися на іони. З важких металів для знезаражування води застосовується срібло.

Збагачення води іонами срібла можливо двома способами – контактним і електролітичним. Останній метод більш ефективний і дає можливість точніше дозувати іонізацію срібла. Він одержав, завдяки роботам Л. А. Кульського, значне поширення, поки в основному не для цілей водопостачання.

Л. А. Кульський розробив і впровадив у виробництво ряд апаратів, названих автором іонаторами, для збагачення води іонами срібла. Деякі з них є стаціонарними (ЛК-21, ЛК-22, ЛК-23), інші переносними (ЛК-25, ЛК-26 тощо).

Загальна схема роботи і зовнішній вигляд іонатору ЛК-22 показані на рис. 9.5. У електролізі 1 розміщені два срібні електроди 2, живлення струмом яких здійснюється від освітлювальної мережі. У електролізер вже по трубі 3 підведена вода. Вона омиває електроди і потім циркулює через контактний резервуар 5 до вивідної труби 4. Продуктивність іонатору – від 15 до 200 мг/год срібла.

Знезаражування води іонами срібла, незважаючи на ряд позитивних переваг, у найближчі роки з економічних розумінь навряд чи одержить велике поширення в практиці водопостачання, як комунального, так і сільськогосподарського.

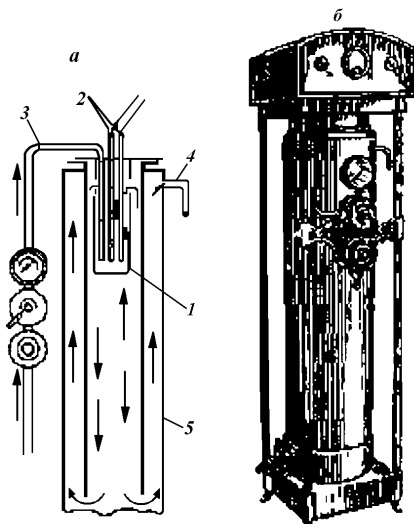


Рис. 9.5. Схема циркуляції води в іонаторі ЛК-22 (а) і зовнішній вигляд іонатору для знезаражування питної води (б):

1 – електролізер; 2 – срібні електроди; 3 – труба для підведення води;  
4 – вивідна труба; 5 – контактний резервуар

Як показали дослідження останніх років, після обробки води хлором у ній залишається дуже багато шкідливих токсичних речовин, що утворюються внаслідок реакції хлору з солями води. Це – речовини небезпечні для здоров'я людини, рослин і тварин. Тому, не дивлячись

на простоту і відносно малу вартість хлорування, виникає потреба в заміні його іншими способами.

Так на невеличких очисних станціях можна застосовувати бактерицидне опромінювання ультрафіолетовими променями за допомогою ртутно-кварцевих і аргонно-ртутних ламп, здійснювати обробку води іонами важких металів, озонуванням, гіпохлоритом кальцію або натрію.

Ці прийоми знезаражування води коштують дорожче ніж хлорування. Крім того виробництво окислювачів або утворення променів технологічно дуже складно.

### 9.3. Хіміко-механічне знезаражування

В останній час вченими запропонована технологія знезаражування великих об'ємів води за допомогою споруд механічного методу очищення без або із застосуванням коагулянтів. В першому випадку дуже добре зарекомендували себе повільні зернисті фільтри. Це залізобетонна споруда заповнена кварцовим піском, який знизу підтримується шарами гравію (рис. 9.6).



Рис. 9.6. Схема повільного фільтра:

- 1 – шар води;
- 2 – бактерицидна плівка;
- 3 – пісок;
- 4 – підтримуючі шари гравію;
- 5 – водозбірна труба

Вода, рухаючись крізь пісок зі швидкістю 0,1...0,3 м/год, утворює на поверхні фільтруючого шару бактерицидну плівку товщиною 2...3 см, яка затримує 95...97 % всіх мікроорганізмів, що знаходяться у воді.

Застосування коагулянтів на останньому етапі очищення стічних вод (після біологічного очищення) дозволяє на 100 % позбутись від хвороботворних мікроорганізмів без хлорування води. Схема очищення доповнюється спорудами, які вилучають з води не тільки мікроорганізми, але і продукти реакції коагулянта з солями води. Схема цього процесу зображена на рис. 9.7.

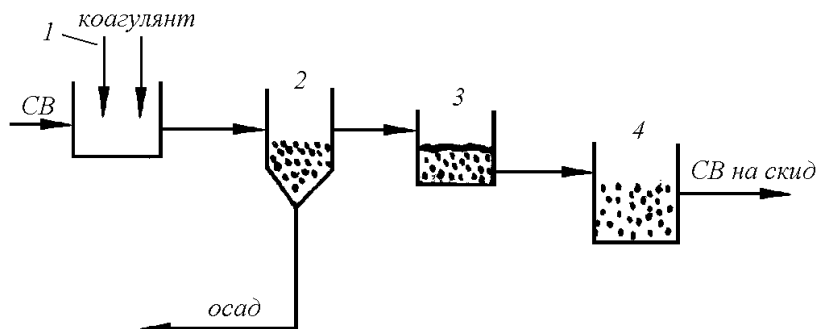


Рис. 9.7. Схема знезаражування стічних вод за допомогою механо-хімічного способу:

- 1 – змішувач; 2 – відстійник; 3 – піщаний фільтр;  
4 – фільтр з активованим вугіллям

### Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте сутність і методи знезаражування води.
2. Які прилади застосовують у фізичному методі знезаражування? Механізм впливу їх на мікроорганізми?
3. Охарактеризуйте процес хлорування води. Особливості застосування газоподібного хлору та хлорного вапна.
4. Що таке озонування води та знезараження її за допомогою іонів важких металів?
5. На якому принципі побудована бактерицидна дія повільного фільтру?
6. Охарактеризуйте схему дії хіміко-механічного знезаражування води.

## РОЗДІЛ 10

### ВИМОГИ ДО РЕЖИМУ ПРАЦІ СТАНЦІЙ ВОДОПІДГОТОВКИ З МЕТОЮ ПІДТРИМАННЯ ЕКОЛОГО-БЕЗПЕЧНОГО СТАНУ ПРИРОДНИХ ВОДОЙМ

Перед проектуванням і будівництвом різних підприємств мають бути надані до органів Держсаннагляду матеріали про вплив цих об'єктів на стан водних джерел та розроблені заходи по запобіганню їх забруднення, які забороняють:

1. Прийом в експлуатацію об'єктів з недоробками, порушеннями проекту, що не забезпечує нормальної якості води, а також без випробування цих споруд.

2. Збільшення потужності агрегатів, яке призводить до збільшення потужності очисних споруд.

3. При скиданні у водойми стічних вод, які:

а). можуть бути використані в системах зворотного водопостачання, для зрошення сільськогосподарських культур;

б). містять цінні відходи, які можуть бути вилучені за відповідними технологіями;

в). містять промислову сировину, кінцеві продукти виробництва, які перевищують нормативні, що обумовлені технологічним процесом;

г). містять речовини, для яких не встановлено ГДК;

д). за обсягом скидання забруднюючих речовин перевищують гранично допустимі норми.

Очищення стічних вод перед скиданням їх у водний об'єкт здійснюється на очисних спорудах за різними схемами набору очисних споруд. Відсоток забруднюючих речовин, який мають виділити очисні споруди, визначається за формулою:

$$\Xi = \frac{C_{ex} - C_{вих}}{C_{ex}} \cdot 100\% , \quad (10.1)$$

де  $C_{ex}$  – концентрація забруднюючих речовин, з якою стічні води надходять до очисної споруди, мг/л;

$C_{вих}$  – концентрація забруднюючих речовин на виході з очисних споруд, яка може бути визначена із співвідношенням витрат води і концентрацій забруднюючих речовин в двох створах потоку (рис. 1.1) за формулою (1.6).

Крім того передбачаються:

1. Необхідність організації контролю за якістю води в найближчих пунктах водокористування.

2. Наявність планів ліквідації аварій на очисних спорудах та систем термінового повідомлення санітарних служб про ці аварії, а також причини їх виникнення.

3. Не дозволяється введення в експлуатацію нових та реконструйованих старих об'єктів без наявності очисних споруд.

### **Контрольні запитання**

1. Які запобіжні заходи застосовуються при будівлі та прийомки очисних споруд в експлуатацію?

2. Які речовини забороняють скидати у водойми зі стічними водами?

3. За якою формулою визначають ступінь очищення стічних вод на очисних спорудах?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бакка М.Т. Гідрологія, регулювання та охорона водних ресурсів. / Бакка М.Т., Дорошенко В.В. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 125 с.
2. Бакка М.Т. Очисні споруди і пристрої. / Бакка М.Т., Дорошенко В.В. – Житомир: ЖДТУ, 2005. – 180 с.
3. Белов С.В. Охрана окружающей среды. / Белов С.В., Барабинов Ф.А., Козьяков А.Ф. и др. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
4. Водне господарство України / За ред. А.В. Яцика, В.М. Хорева. – К.: Генеза, 2000. – 456 с.
5. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. – М.: Высш. шк., 1978. – 268 с.
6. Дорошенко В.В., Коцюба І.Г., Єльнікова Т.О. Водні ресурси та їх охорона. – Житомир: Житомирський державний технологічний університет, 2017. – 264 с.
7. Гулієнко, С. В. Регенерація рулонованих мембранних модулів систем підготовки води: Монографія / С.В. Гулієнко, Я.М. Корнієнко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 207 с.
8. Запольський А.К. і ін. Фізико-хімічні основи очищення стічних вод. – К.: Лібра, 2000. – 287 с.
9. Коганський А.М. Абсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод. – К.: Думка, 1983. – 236 с.
10. М.Т. Бакка, В.В. Дорошенко. Очисні споруди і пристрої. Житомир: Житомирський державний технологічний університет, 2005. – 180 с.
11. Левковский С.С. Комплексное использование и охрана водных ресурсов. – К.: Высш. шк., 1982. – 224 с.
12. Мацнев А.И. Очистка сточных вод флотацией. - К.: Будивельник, 1976. – 174 с.
13. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. – К.: Держкомекобезпека України, 1988. – 28 с.
14. Б.А. Шелудченко, В.В. Дорошенко, В.І. Котков, І.А. Шелудченко, М.В. Зосимович, Н.О. Пінчук. Інженерна екологія (частина II). Гідросфера. – Житомир: Державний агроекологічний університет, 2001. – 220 с.
15. Трейбал Р. Жидкосная экстракция. – М.: Химия, 1966. – 724 с.
16. Экология города / Под редакцией Ф.В. Стольберга. – К.: Лібра, 2000. – 464 с.
17. Яковлев и др. Канализация. – М.: Стройиздат, 1975. – 632 с.



18. Яковлев и др. Очистка производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1979. – 320 с.

19. Яцик А.В. Экологические основы рационального водопользования. – К.: Генеза, 1997. – 640 с. Сытник К.М., Брайон А.В., Гордецкий А.В. Биосфера. Экология. Охрана природы. – Справоч. пос./ Под ред. К.М. Сытника,- К.: Наукова думка, 1987.– 524 с.

20. Химия окружающей среды.- Пер. с англ./ Под ред. Дж.О.М. Бокриса М.: Химия, 1982.- 672 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
Розділ 1. Стан забруднення та шляхи покращення якості природних і стічних вод.....	5
1.1. Шляхи забруднення водних джерел .....	5
1.2. Характеристика домішок в природних водах .....	7
1.3. Загальні і гранично допустимі показники забрудненості води .....	10
1.4. Умови скидання стічних вод в поверхневі водні джерела....	12
1.4.1. Коефіцієнт змішування.....	14
Контрольні запитання.....	17
Розділ 2. Фізичні, біохімічні та гідравлічні закономірності видалення забруднюючих речовин в наслідок само- та штучного очищення води.....	18
2.1. Використання фізико-хімічних властивостей води.....	18
2.2. Застосування законів гідравліки до прийому очищення води.....	18
2.3. Самоочищення води в річках і водоймах.....	21
Контрольні запитання.....	24
Розділ 3. Напрямки підготовки води за прямою, повторною та зворотною схемами очищення.....	25
3.1. Вимоги до напрямків підготовки води. Розташування очисних споруд насосних станцій та водоводів на території міських селищ.....	25
3.2. Прямоточна та зворотна схеми використання та очищення води.....	26
3.3. Використання міських очищених стоків на виробничих підприємствах та полях зрошення.....	29
3.4. Методи і схеми очищення стічних вод.....	30
3.5. Особливості водопідготовки в системі водопостачання.....	35
Контрольні запитання.....	38
Розділ 4. Очищення води відстоюванням і у полі дії відцентрових сил.....	39
4.1. Принцип дії очисних споруд.....	39
4.2. Пісковловлювачі.....	41
4.3. Відстійники.....	43
4.4. Просвітлювачі.....	47

4.5. Гідроциклони.....	49
4.6. Нафто- і жироловлівачі.....	51
Контрольні запитання.....	52
Розділ 5. Флотація.....	53
5.1. Сутність і види процесів флотації.....	53
5.2. Напірна флотація.....	53
5.3. Вакуумна і ерліфтна флотація.....	56
5.4. Безнапірна флотація.....	56
5.5. Електрофлотація.....	58
Контрольні запитання.....	60
Розділ 6. Очищення фільтруванням.....	61
6.1. Призначення фільтрів у ланцюгах очисних споруд.....	61
6.2. Решітки.....	61
6.3. Зернисті та наливні фільтри.....	62
6.4. Сітчасті, тканинні і мембранні фільтри.....	66
6.5. Пінополістирольні фільтри.....	68
Контрольні запитання.....	72
Розділ 7. Біологічне очищення.....	73
7.1. Природне очищення.....	74
7.1.1. Поля зрошення та поля фільтрації.....	74
7.1.2. Проектування зрошувальних систем.....	77
7.1.3. Біологічні ставки.....	80
7.2. Очищення у штучних умовах.....	81
7.2.1. Класифікація споруд.....	83
7.2.2. Аеротенки.....	84
7.2.3. Окситенки.....	88
7.2.4. Біофільтри.....	89
7.2.5. Біоплато.....	91
7.3. Анаеробне зброджування.....	96
Контрольні запитання.....	100
Розділ 8. Фізико-хімічна очистка стічних вод.....	101
8.1. Сорбція та іонний обмін.....	101
8.1.1. Характеристика прийомів сорбційного очищення.....	101
8.1.2. Адсорбційні апарати.....	102
8.1.3. Характеристика іонообмінних речовин.....	105
8.1.4. Схеми і апарати іонообмінного очищення.....	105
8.2. Екстракція.....	109
8.2.1. Способи і схеми екстракційного процесу.....	109
8.2.2. Екстракційні апарати та їх розрахунок.....	112

8.3. Пом'якшення, демінералізація і знезалізнення води. Дегазація.....	115
8.3.1. Видалення з води розчинних газів .....	116
8.4. Очищення стічних вод випарюванням, дистиляцією і ректифікацією.....	124
8.4.1. Зміст методу та межі його застосування.....	124
8.4.2. Випарювання і дистиляція.....	126
8.4.3. Проста перегонка.....	129
8.4.4. Ректифікація.....	130
Контрольні запитання.....	133
Розділ 9. Знезаражування води.....	134
9.1. Фізичні способи.....	134
9.2. Хімічні способи.....	137
9.2.1. Хлорування води.....	137
9.2.2. Озонування та знезаражування води іонами важких металів.....	140
9.3. Хіміко-механічне знезаражування.....	143
Контрольні запитання.....	144
Розділ 10. Вимоги до режиму праці станцій водопідготовки з метою підтримання еколого-безпечного стану природних водойм.....	146
Контрольні запитання.....	147
Література.....	148