

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

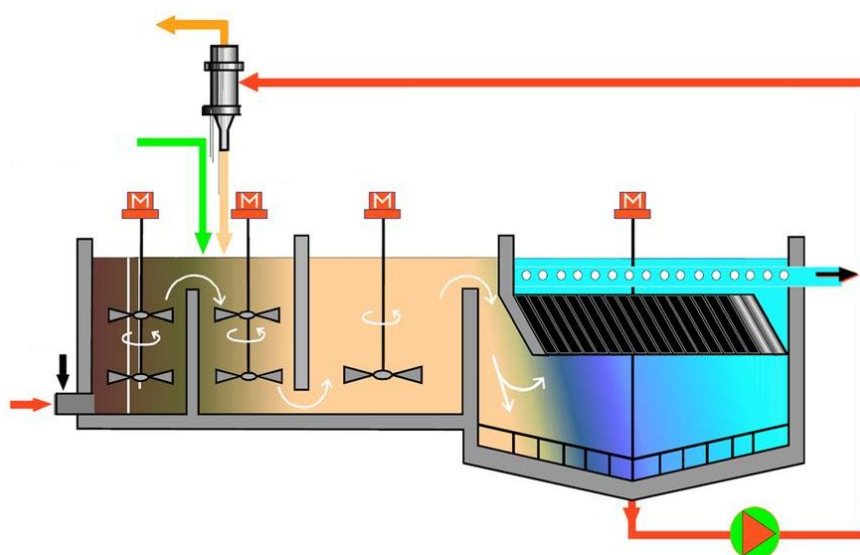
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

К. Б. Сорокіна

## ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД

### КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для здобувачів вищої освіти всіх форм навчання  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво,  
водна інженерія та водні технології)*



Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2021

УДК 628.16

**Сорокіна К. Б.** Технологія очистки природних вод : конспект лекцій для здобувачів вищої освіти всіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології / К. Б. Сорокіна ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 115 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. К. Б. Сорокіна

Рецензенти:

**С. М. Епоян**, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова);

**М. В. Дегтяр**, доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 01.09.2021.*

Конспект складений з метою допомогти здобувачам вищої освіти інженерних спеціальностей під час вивчення конструкцій і особливостей роботи споруд, які застосовують для очищення природних вод.

© К. Б. Сорокіна, 2021

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021

# ЗМІСТ

Вступ.....	4
ЗМ 1 Загальна характеристика процесів, методів і схем очищення природних вод.....	6
Тема 1 Природні води та вимоги до їх якості.....	6
Тема 2 Загальна характеристика методів і схем підготовки води для питного водопостачання.....	16
Тема 3 Реагентне господарство.....	26
Тема 4 Коагуляційне очищення природних вод.....	38
Тема 5 Попереднє очищення води.....	56
ЗМ 2 Процеси та споруди для прояснення, знебарвлення та знезараження води.....	66
Тема 6 Змішування реагентів із водою.....	66
Тема 7 Процеси, застосовувані на першому ступені прояснення води.....	70
7.1 Камери утворення пластівців.....	70
7.2 Осадження домішок води.....	75
7.3 Прояснення води в шарі завислого осаду.....	82
Тема 8 Фільтрування води.....	91
Тема 9 Знезараження води.....	104
Список рекомендованих джерел.....	114

## ВСТУП

Вода дуже впливає на здоров'я і повсякденне життя людини. Для того щоб людина була здорова, вона повинна вживати тільки якісну чисту питну воду.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я приблизно 90 % хвороб людей викликані вживанням неякісної води. Тому в даний час проблема якості питної води не втратила своєї актуальності.

*Якісна вода* – це очищена вода, яка не містить шкідливих домішок і сполук, небезпечних для здоров'я людини або для використовуваного обладнання на підприємстві. Подібна вода повинна відповідати встановленим стандартам якості, тобто бути без запаху, осадів і прозорою, а так само вона повинна бути безпечна при тривалому вживанні.

Високі вимоги до якості води, що пред'являються споживачами, дуже різні та залежать від її призначення. Так, наприклад, вода для питних і господарсько-побутових цілей повинна бути безпечна в епідеміологічному відношенні, нешкідлива за хімічним складом, мати сприятливі органолептичні властивості. Для того, щоб питна вода відповідала всім необхідним нормам, потрібна якісна очистка, для цього потрібна велика кількість часу і капіталовкладень.

Перед тим як подати воду споживачеві, її необхідно очистити від механічних, хімічних і бактеріологічних забруднень. Для цієї мети в системах водозабезпечення передбачають спеціальні інженерні споруди, пов'язані певними технологічними процесами, в яких здійснюють обробку води.

На сьогоднішній день в нашій країні існує загальна комплексна технологія очищення води, яка подається в подальшому споживачам. Дана технологія містить в собі поетапну очистку води, яку можна проводити декількома способами. Традиційні схеми, як правило, включають наступні процеси:

- первинне відстоювання із застосуванням або без застосування реагентів, залежно від складу вихідної води;
- коагуляцію (тобто введення в оброблювану воду солей алюмінію, заліза або поліелектролітів), для укрупнення завислих та колоїдних частинок і переведення їх у фільтровану форму;
- механічну очистку води за допомогою фільтрування;
- знезараження.

Найважливішим технологічним завданням є обґрунтований вибір на основі вивчення якості води в джерелах питного водопостачання і можливих джерел їх забруднення способів очищення води та проектування станцій з очищення води. При вирішенні цього завдання необхідно використовувати сучасні фізико-хімічні та біологічні способи очищення, передбачати захист водних ресурсів від можливих забруднень.

Проблема «чистої води» з кожним роком стає все серйознішою і набуває зростаюче економічне, соціальне та екологічне значення. Безповоротне водоспоживання і загрозливе забруднення природних вод вносить дуже суттєві,

необоротні зміни у водний баланс і екологічні умови все більш обширних районів.

Крім того, існує проблема застарівання та зношеності споруд та обладнання, що призводить до зниження продуктивності споруд, ефективності вилучення з води забруднень і надійності системи в цілому.

Оцінка сучасного стану якості води в вододжерелах та існуючих технологій і технічних засобів очищення природних вод, аналіз нормативно-правової бази в галузі охорони водних ресурсів та забезпечення населення високоякісною питною водою дозволяє сформулювати основні стратегічні принципи сучасного технічного переозброєння систем водоочистки.

Їх реалізація на практиці повинна передбачати:

- системний підхід до оцінки якості води у водозаборі з урахуванням постійних або періодичних антропогенних навантажень на вододжерела, тимчасового чинника присутності у воді в місцях водозаборів інгредієнтів, які лімітуються, фазово-дисперсного стану домішок;

- вибір і обґрунтування інтенсифікованих та розробку нових технологій і технічних засобів водоочищення з урахуванням не тільки їх достатньої санітарно-гігієнічної надійності, але й економного використання дорогого устаткування, реагентів, матеріалів, що мають достатню екологічність;

- техніко-економічне порівняння на стадіях проектування та впровадження альтернативних технологій і споруд при їх однакової водоочисній здатності;

- створення структурних і математичних моделей для розв'язання оптимізаційних задач, як для водоочисних комплексів (станцій) в цілому, так і для окремих блоків і споруд водопідготовки;

- розробку і реалізацію програмних засобів оперативного управління технологічними процесами на водоочисних станціях в оптимальних режимах при швидко змінюваній якості води, що надходить в «голову» очисних споруд.

# ЗМ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСІВ, МЕТОДІВ І СХЕМ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД

## ТЕМА 1 ПРИРОДНІ ВОДИ ТА ВИМОГИ ДО ЇХ ЯКОСТІ

1. *Характеристика джерел водопостачання.*
2. *Вплив домішок води на її якість.*
3. *Вимоги до якості господарсько-питної води.*
4. *Вибір методів очищення води на основі класифікації домішок за фазово-дисперсним станом.*

### 1 Характеристика джерел водопостачання

Традиційно природні джерела, використовувані для цілей господарсько-питного водопостачання поділяють на дві основні групи:

– *поверхневі джерела*: річки, озера, водосховища, канали, моря, льодовики;

– *підземні джерела*: різні типи підземних вод (артезіанські, ґрунтові, верховодка, підрусліві та ін.), джерела.

Поширеними джерелами промислового водопостачання найчастіше є поверхневі та частково мінеральні води.

При виборі технологій водопідготовки першорядну роль відіграє об'єктивна оцінка джерела господарсько-питного або технічного водопостачання.

Гідрохімічний режим поверхневих вододжерел формується в умовах інтенсивної господарської діяльності на водозборах. До природних і техногенних чинників, які впливають на якість природних вод, відносять:

- геоморфологічна будова вододжерела;
- кліматичні умови;
- поверхневий і ґрунтовий покрив;
- джерела утворення поверхневих і підземних вод;
- техногенні навантаження (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Залежність якості води від природних і техногенних факторів

Аналіз гідрохімічної та санітарно-гігієнічної інформації щодо динаміки зміни якості води в зіставленні з даними багаторічних спостережень дозволяє в першому наближенні виявити для конкретного вододжерела домінування тих чи інших природних факторів при формуванні якості природних вод, встановити кореляційні зв'язки між характером зміни концентрацій інгредієнтів природного походження і фазами водного режиму джерела.

Повсюдне забруднення природних вод джерел господарсько-питного водопостачання домішками антропогенного і техногенного походження, що спостерігається в останні десятиліття, обумовлюється більшою мірою надходженням в них неочищених і недостатньо очищених стічних вод.

Номенклатура і кількість забруднюючих речовин, які потрапляють в поверхневі води, дуже різноманітні та залежать від профілю й обсягу промислових і сільськогосподарських підприємств, розташованих в районі водозбору; ефективності та надійності технологій очищення побутових і промислових стічних вод, що скидаються у вододжерело, та інших факторів (рис. 1.2).

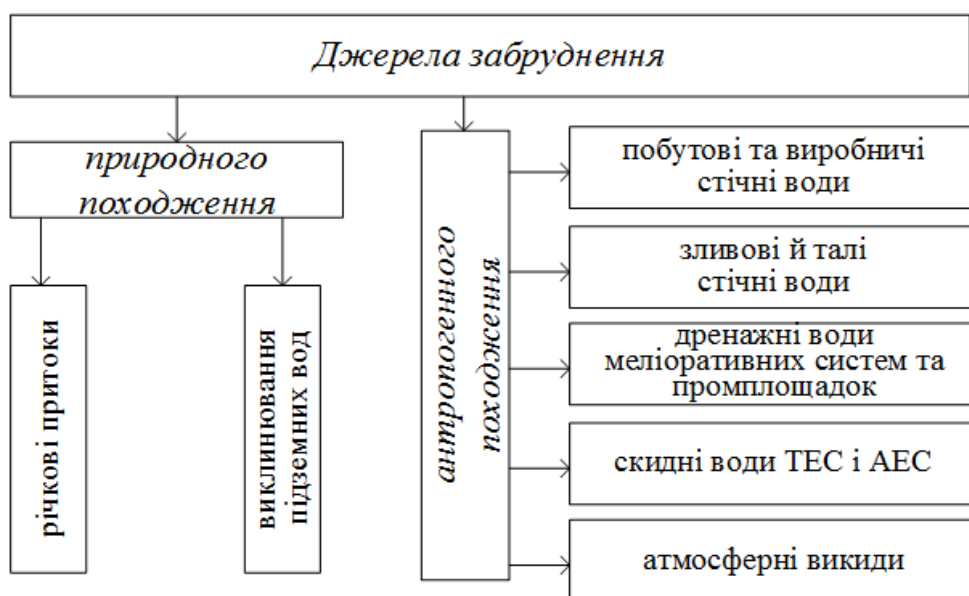


Рисунок 1.2 – Джерела забруднення поверхневих вод в районі водозабору

Однією з причин забруднення підземних вододжерел є недотримання режиму господарської діяльності у зонах санітарної охорони. Забруднення підземних вод відбувається в результаті техногенного впливу промислових і комунальних об'єктів.

У санітарно-епідеміологічному відношенні підземні води глибших водоносних горизонтів, особливо артезіанські води, є найбільш безпечними.

Їх бактеріальні показники, як правило, не перевищують допустимих норм для питної води. Однак води верхніх горизонтів, зокрема, ґрунтові підземні води, схильні до забруднення патогенними бактеріями і вірусами через недостатню захищеності водозаборів з поверхні, що вимагає особливої уваги для забезпечення їх знезараження.

В цілому слід зазначити, що в умовах хаотичних безгосподарних скидів стічних вод і забруднення поверхні землі різного роду звалищами промислових відходів водоносні горизонти підземних вод виявляються бактеріально забрудненими внаслідок розвитку в ґрунті патогенної мікрофлори.

Вибір джерела води для обробки і подальшого розподілу через мережу питного водопостачання залежить від багатьох факторів. Для кожного з ресурсів (підземні або поверхневі води з різних водойм) потрібно оцінити:

– **кількість:** джерело повинен при будь-яких обставинах забезпечувати необхідний об'єм води;

– **якість:** якість вихідної води має відповідати чинним в країні правилам.

Природна вода дуже різноманітна, і тому в кожному випадку слід визначати технології та споруди, найбільш придатні для цілей обробки. Оцінка повинна виконуватися з урахуванням мінливості якості вихідної води за довгий попередній період часу (добові, сезонні, кліматичні варіації) і можливих змін, передбачуваних у майбутньому (будівництво гребель, урбанізація та ін.);

– **економічність:** для кожного з доступних ресурсів слід оцінювати інвестиційні та експлуатаційні витрати (на зберігання і подачу вихідної води, на її обробку, на зберігання і розподіл чистої води).

## ***2 Вплив домішок води на її якість***

Природна вода являє собою багатокомпонентну динамічну систему, до складу якої входять гази, мінеральні та органічні речовини, які знаходяться в розчиненому, колоїдному і завислому станах, а також мікроорганізми.

З *розчинених газів* в природних вододжерелах найчастіше присутні кисень, азот, вуглекислий газ, рідше – сірководень, метан та інші. Кількісний вміст газів у воді залежить від їх природи, парціального тиску, температури, складу водного середовища та інших факторів.

***Розчинений кисень*** у воду надходить з атмосферного повітря, а також утворюється в результаті фотосинтезу водоростями органічних речовин (вуглеводів) з неорганічних (вугільної кислоти, води). Вміст кисню у воді зменшується внаслідок процесів окислення органічних речовин і споживання його живими організмами при диханні.

Різке зменшення вмісту кисню у воді порівняно з нормальним свідчить про її забруднення, а також сприяє посиленню корозії металу котлів, теплообмінної апаратури, тепломереж і водопровідних труб.

При підвищеному вмісті кисню у воді, навпаки, внаслідок пасивації поверхні за рахунок утворення оксидних плівок можливе усунення корозії.

Присутність у природних водах розчиненого ***вуглекислого газу*** обумовлено біохімічними процесами окислення органічних речовин у водоймах, в ґрунті, а також диханням водних організмів і виділенням його при геохімічних процесах. У поверхневих водах вміст вільної вугільної кислоти (обумовлений в основному розчинністю вуглекислого газу з повітря) незначний (до 20 мг/дм<sup>3</sup>). У підземних водах її концентрація досягає 120 мг/дм<sup>3</sup> і більше.

Підвищений вміст вільної вуглекислоти у воді зазвичай спостерігається після очищення води коагуляцією, оскільки при реакції гідрокарбонатів з



кислотою, що утворюється при гідролізі коагулянтів (сульфату алюмінію і хлориду заліза), виділяється близько 80 мг вуглекислого газу на 100 мг коагулянту.

Наявність у воді вільної (агресивної) вугільної кислоти викликає корозію залізобетонних конструкцій, призводить до розчинення карбонатної плівки на поверхні труб і обладнання, погіршує роботу очисних споруд в результаті посиленого заростання відстійників синьо-зеленими водоростями.

**Сірководень** зустрічається в основному в підземних джерелах, утворюючись в результаті процесів відновлення і розкладання деяких мінеральних солей (гіпсу, сірчаного колчедану та ін.). У поверхневих водах він майже не зустрічається, тому що легко окислюється. Поява його в поверхневих джерелах може бути наслідком протікання гнильних процесів і скидання неочищених стічних вод. Наявність у воді сірководню (іноді до 20–40 мг/дм<sup>3</sup>) надає їй неприємний запах, інтенсифікує процеси корозії трубопроводів і викликає їх заростання внаслідок розвитку сіркобактерій.

Поява **азоту** в природних водах пов'язана з поглинанням його з повітря, відновленням сполук азоту бактеріями і розкладанням органічних залишків. Розчинність азоту у воді значно менша, ніж кисню, однак у зв'язку з високим парціальним тиском азоту в повітрі, в природних водах його більше, ніж кисню.

**Метан** найчастіше зустрічається в підземних водах. Його поява пов'язана з процесом розкладання мікробами клітковини рослинних залишків. У поверхневі води метан може потрапляти в результаті скидання неочищених стічних вод.

*Завислі речовини* потрапляють у воду в результаті змиву твердих частинок верхнього покриву землі дощами чи талими водами під час весняних і осінніх паводків, а також в результаті розмиву русел річок. Найменша каламутність водойм спостерігається взимку, коли вони покриті льодом, найбільша – навесні в період паводку, а також влітку внаслідок випадання дощів, танення снігу в горах і розвитку найдрібніших плаваючих живих організмів і водоростей.

Наявність у воді завислих речовин перешкоджає використанню її для господарсько-питних цілей, в теплоенергетиці, на заводах з приготування харчових продуктів, при виробництві паперу, тканин, кіноплівки та ін.

Найзначнішими постачальниками *органічних речовин* у природну воду є ґрунтовий та торф'яний гумус, продукти життєдіяльності й розкладання рослинних і тваринних організмів, стічні води побутових і промислових підприємств. Для водойм особливу небезпеку представляють стічні води, у складі яких є білки, жири, вуглеводи, органічні кислоти, ефіри, спирти, феноли, нафта та ін.

Ступінь забарвлення природних вод, висловлюване в градусах платиново-кобальтової шкали, називають **забарвленістю**. Найбільшу забарвленість мають природні води річок і озер, розташованих в зонах торф'яних боліт і заболочених лісів, найменшу – в лісостепових і степових зонах.

Взимку кількість органічних речовин мінімальна, проте в період повені і паводків, а також влітку в період масового розвитку водоростей – «цвітіння» водойм – вона підвищується. Наявність у воді органічних речовин різко

погіршує органолептичні показники води, підвищує забарвленість, спінюваність, негативно діє на організм людини і тварин.

У більшості випадків с визначається катіонами  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  і аніонами  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ . Катіони  $\text{H}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  та ін., аніони  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{BO}_2^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{HSiO}_3^-$ ,  $\text{HS}^-$  та ін. в природній воді містяться в незначних кількостях, однак їх вплив на властивості та якість води іноді також дуже великий.

За вмістом іонів у воді визначають ступінь її *мінералізації* (вміст солей):

$$M = \Sigma \text{ Кат} + \Sigma \text{ Ан, мг/дм}^3,$$

де  $M$  – загальна мінералізація води,  $\text{мг/дм}^3$ ;

$\Sigma \text{ Кат}$  – сума концентрацій,  $\text{мг/дм}^3$ ;

$\Sigma \text{ Ан}$  – сума концентрацій аніонів,  $\text{мг/дм}^3$ .

Ступінь мінералізації підземних вод, різноманітних за хімічним складом, залежить від умов залягання водоносного горизонту і коливається від  $100\text{--}200 \text{ мг/дм}^3$  до декількох грамів на літр.

Вміст солей у водах океанів і деяких морів досягає  $50 \text{ г/дм}^3$  і більше. Вміст солей у водах внутрішніх морів значно менше.

Катіони  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  обумовлюють *твердість води*. Хоча вони й не приносять особливої шкоди організму, однак наявність їх у воді у великій кількості є небажаною, оскільки така вода непридатна для господарських потреб. У жорсткій воді збільшується витрата мила при пранні білизни, повільно розварюються м'ясо і овочі. Тверда вода непридатна і для систем оборотного водопостачання, для живлення парових котлів і використання у багатьох галузях промисловості.

Катіони  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  в істинно розчиненому стані знаходяться в дуже невеликих концентраціях. Велика частина заліза і марганцю в природних водах міститься у вигляді колоїдів і суспензій. У підземних водах сполуки заліза і марганцю переважають у вигляді гідрокарбонатів, сульфатів і хлоридів, в поверхневих – у вигляді органічних комплексних сполук або у вигляді тонкодисперсної суспензії.

Сполуки *азоту* зустрічаються в природній воді у вигляді катіонів амонію, нітритних і нітратних аніонів. Поява цих аніонів у природних водах пов'язано з розкладанням різних складних органічних речовин тваринного і рослинного походження, а також з розкладанням білкових речовин, що потрапляють у водойми з побутовими стічними водами.

*Кремнієва кислота* не шкідлива для здоров'я, проте підвищений вміст її у воді робить воду непридатною для живлення парових котлів через утворення силікатної накипу.

Наявність у воді більше  $500 \text{ мг/дм}^3$  *сульфатів* або  $350 \text{ мг/дм}^3$  *хлоридів* надає їй солонуватий присмак і призводить до порушення діяльності шлунково-кишкового тракту у людей. Вода з великим вмістом хлорид- і сульфат-іонів має також підвищену корозійну активність, більш високу некарбонатну твердість, руйнівню діє на залізобетонні конструкції.

Сполуки *фосфору* зустрічаються в природних водах в невеликих кількостях у вигляді іона  $\text{HPO}_4^{2-}$  і органічних комплексів ортофосфорної

кислоти або у вигляді завислих часток органічного або мінерального походження.

У природних водах в дуже малих кількостях містяться іони  $F^-$ ,  $Br^-$ ,  $VO_2^-$  та ін. Ці мікроелементи значно впливають на здоров'я людини.

Катіони  $Pb^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Sr^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Se^{2+}$ ,  $As^{3+}$ ,  $As^{5+}$  і багато інших, що відносять до отруйних, в природних водах у природному стані зустрічаються, як правило в незначних кількостях і потрапляють в них у великих кількостях в результаті скидання неочищених побутових і промислових стічних вод.

При виявленні у воді кількох токсичних речовин (за винятком фторидів, нітритів і радіоактивних) сума їх концентрацій, виражена в частках від максимально допустимих концентрацій кожної речовини окремо, не повинна перевищувати 1. Розрахунок ведеться за формулою

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} \dots \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1,$$

де  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – виявлені у воді концентрації речовин, мг/дм<sup>3</sup>;

$ГДК_1, ГДК_2, \dots, ГДК_n$  – максимально (гранично) допустимі концентрації, мг/дм<sup>3</sup>.

Природні води населяє величезна кількість мікро- і макроорганізмів тваринного і рослинного походження: віруси, бактерії, найпростіші, водорості, вищі рослини і тварини, які також суттєво впливають на фізико-хімічний склад води.

### ***3 Вимоги до якості господарсько-питної води***

Склад природних вод, концентрації та агрегативно-кінетична стійкість їх домішок є основоположними при оцінці придатності води для використання її різними категоріями споживачів.

За цільовим призначенням воду класифікують як використовувану для:

- господарсько-питних цілей;
- харчової промисловості;
- зрошення полів і сільськогосподарських потреб;
- паросилового господарства;
- охолодження виробничого обладнання;
- технологічних цілей підприємств;
- заводнення нафтових пластів та ін.

Основними показниками, що визначають придатність води для різних категорій водоспоживачів, є склад і концентрація домішок, які містяться в ній.

Вимоги до безпечності та якості питної води, призначеної для споживання людиною, а також правила виробничого контролю та державного санітарно-епідеміологічного нагляду у сфері питного водопостачання населення встановлюються за ДержСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною [1]. Вимоги Санітарних норм не поширюються на води мінеральні лікувальні, лікувально-столові, природні столові. У світовій практиці використовуються нормативи ВООЗ.

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

Гігієнічну оцінку безпечності та якості питної води згідно [1] проводять за показниками епідемічної безпеки (мікробіологічні, паразитологічні), санітарно-хімічними (органолептичні, фізико-хімічні, санітарно-токсикологічні) та радіаційними показниками. Під час вибору вододжерела та технології водопідготовки у разі будівництва чи реконструкції підприємства питного водопостачання населення слід надавати перевагу джерелам та технологіям, які забезпечать виробництво питної води з оптимальним вмістом мінеральних речовин за показниками фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води.

Виробництво питної води здійснюють за нормативними документами та відповідно до технологічного регламенту або іншого документа з описом технологічного процесу виробництва питної води, погодженого головним державним санітарним лікарем України. Якщо під час виробництва питної води проводиться знезараження, виробник повинен вжити заходів щодо мінімізації забруднення питної води побічними продуктами знезараження.

Після введення в дію в 2010 р. ДСанПіН 2.2.4-171-10 [1] замість старого ГОСТ 2874-82 «Вода питна» залишився цілий ряд невирішених питань, що стосуються контролювання якості питної води. І основна частина цих питань пов'язана з відсутністю необхідної матеріально-аналітичної бази в переважній більшості лабораторій і центрів, які контролюють якість питної води централізованого водопостачання в різних регіонах країни. У зв'язку з цим в ДСанПіН [1] передбачалося ступеневу введення в дію переліку обов'язкових для контролю показників якості води.

Початок другого етапу реалізації положень ДСанПіН [1] планувалося з 01.01.2015, а третього – з 01.01.2020. Однак існуюче в даний час становище з оснащенням контролюючих питну воду лабораторій України необхідним аналітичним обладнанням поки, як і раніше, не дозволяє повністю здійснити реалізацію цього вже чинного документа.

У новому національному стандарті України ДСТУ 7525 : 2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості [2], інформація про введення якого в дію з 01.02.2015 з'явилася на офіційному сайті «Укрметртестстандарту», зроблена спроба систематизації підходу та впорядкування інформації, що стосується побудови документа, нормативних посилань на методи контролювання показників якості води, класифікації показників якості води. Так, останні розділені на наступні групи: мікробіологічні, вірусологічні, паразитологічні, мікологічні, рівня токсичності, радіаційної безпеки, органолептичні, хімічні, що впливають на органолептичні властивості питної води, токсикологічні показники безпеки хімічного складу питної води, речовини, які утворюються і надходять у питну воду під час водопідготовки.

В даний час даний документ обговорюється і викликає суперечливі думки у зв'язку з включенням до переліку обов'язкових для контролю ряду показників, об'єктивність використання яких як показників якості питної води, на думку більшості фахівців, є досить спірною, і неможливістю організації в даний час в переважній більшості контролюючих якості води лабораторій визначення ряду токсикологічних показників у зв'язку з відсутністю відповідного обладнання та матеріальної бази для його придбання.

#### **4 Вибір методів очищення води на основі класифікації домішок за фазово-дисперсним станом**

Класифікація домішок за їх фазово-дисперсним станом запропонована академіком АН України Л. А. Кульським.

Сутність такої класифікації, полягає в тому, що всі домішки води за відношенням до неї розділені на чотири групи, з яких дві відносять до гетерогенних систем, дві – до гомогенних.

Гетерогенні системи представлені у воді зависями або колоїдами, емульсіями або пінами, а гомогенні – речовинами, які утворюють із водою молекулярні або іонні розчини.

Природні та стічні води – дисперсні системи. Домішки утворюють дисперсну фазу, а вода – дисперсійне середовище (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Розміри частинок дисперсної фази

Дисперсна система	Розмір частинок дисперсної фази, см	Група
Гетерогенна	$10^{-3} - 10^{-5}$	I
	$10^{-5} - 10^{-6}$	II
Гомогенна	$10^{-6} - 10^{-7}$	III
	$< 10^{-7}$	IV

*I група.* Грубодисперсні домішки. Розміри частинок – від  $10^{-5}$  см до  $10^{-3}$  см. З водою такі частинки утворюють суспензії, емульсії, піни. Каламутність води обумовлена, насамперед, цими домішками.

До складу даної групи входять глинисті речовини, карбонатні породи, мул, дрібний пісок, малорозчинні гідроксиди металів, суспензії органічних речовин, детрит, планктон, волокна, пластмаси, каучук та ін.

Системи, утворені домішками першої групи, кінетично нестійкі. Нерозчинні речовини утримуються у завислому стані динамічними силами потоку води.

Для видалення домішок першої групи використовують методи і прийоми, засновані на таких фізико-хімічних процесах, як адгезія на поверхні інертних зернистих завантажень, седиментація і коагуляція за допомогою коагулянтів та флокулянтів, флотація.

Основні методи очищення води: відстоювання, фільтрування, мікропроцідування, центрифугування, обробка води коагулянтами з подальшим видаленням суспензій, флотація.

Знезараження води: обробка води окислювачами (хлорування, озонування), важкими металами (срібло), обробка води ультразвуком, ультрафіолетовими променями.

*II група.* Домішки колоїдного ступеня дисперсності. Розміри частинок – від  $10^{-5}$  см до  $10^{-6}$  см. До цієї групи речовин належать гідрофільні, гідрофобні колоїди і високомолекулярні речовини, представлені мінеральними і органомінеральними частинками ґрунтів, недісоційованими та нерозчинними формами гумусових речовин, віруси та інші мікроорганізми відповідних розмірів.

Речовини другої групи, як правило, обумовлюють забарвленість води і окислюваність.

Домішки другої групи утворюють з водою стійкі колоїдні системи, тому основними фізико-хімічними процесами, що лежать в основі очищення води, є процеси утворення і руйнування колоїдних систем.

Основні методи очищення води: окислення, коагуляція за допомогою різних коагулянтів і флокулянтів.

Знезараження води проводять аналогічно знезараженню домішок першої групи.

*III група.* Домішки молекулярного ступеня дисперсності. Розміри частинок – від  $10^{-6}$  см до  $10^{-7}$  см. До цієї групи відносять розчинені у воді гази та органічні сполуки як біологічного, так і антропогенного характеру, різноманітні продукти життєдіяльності й відмирання цвілевих грибів, бактерій, водоростей. Феноли, спирти, альдегіди, які потрапляють у воду разом зі стоками. Речовини третьої групи є неелектролітами або слабкими електролітами, ступінь дисоціації яких дуже мала.

Домішки молекулярного ступеня дисперсності надають воді найрізноманітніші присмаки і запахи, іноді забарвлення.

Методи очищення води засновані на таких фізико-хімічних процесах, як розчинність газів у рідинах, рідин у рідинах.

Основні методи очищення води: окислення, аерування, адсорбція, електроліз, екстракція, евапорація.

*IV група.* Домішки іонного ступеня дисперсності. Розміри часток – менше  $10^{-7}$  см. До цієї групи відносять речовини, які утворюють з водою розчини електролітів (солі, основи, кислоти).

Іони, які знаходяться у воді, руйнують її структуру.

Іони невеликого розміру, розташовані в порожнинах води, майже не змінюють її структуру. Іони середніх розмірів, особливо одновалентні, притягають молекули води, які знаходяться на близькій відстані, утворюючи гідратну оболонку. Структура води при цьому дещо спотворюється, що викликає зміну ряду фізико-хімічних і технологічних властивостей – зменшується об'єм, тепломісткість, ентропія і стисливість розчину.

Найбільш руйнівний вплив на структуру води надають іони великих розмірів. Вони утворюють гідратні оболонки, різні аквакомплекси, які можуть переходити в гідросокомплекси (наприклад, при гідролізі солей алюмінію, заліза).

Методи очищення води засновані на сучасних уявленнях про природу розчинів.

Основні методи очищення води: переведення іонів, в малодисоційовані сполуки або в малорозчинні сполуки за допомогою різних хімічних реагентів, іонообмінний метод, дистиляція, екстракція, електродіаліз і електроосмос.

### ***Контрольні питання***

1. Охарактеризуйте природні джерела, використовувані для цілей господарсько-питного водопостачання.

2. Які природні та техногенні чинники впливають на якість природних вод?

3. Які забруднюючі речовини потрапляють в поверхневі води та як це впливає на якість останніх?

4. Причини та фактори забруднення підземних вододжерел.

5. Як здійснюють вибір джерела води для обробки і подальшого розподілу через мережу питного водопостачання?

6. Як домішки води впливають на її якість?

7. Які гази можуть міститися в природній воді? Як це впливає на властивості води?

8. Охарактеризуйте вміст у природних водах завислих речовин.

9. Охарактеризуйте вміст у природних водах органічних речовин.

10. Охарактеризуйте іонний склад природних вод.

11. Як визначають ступінь мінералізації води?

12. Вимоги до якості господарсько-питної води.

13. Які документи встановлюють вимоги до безпечності та якості питної води?

14. Які основні вимоги ставлять до питної води, призначеної для споживання людиною?

15. Вибір методів очищення води на основі класифікації домішок за фазово-дисперсним станом.

16. На які групи розділяє домішки води класифікація Л.А. Кульського?

17. Охарактеризуйте домішки 1 групи за класифікацією за їх фазово-дисперсним станом та методи видалення цих домішок.

18. Охарактеризуйте домішки 2 групи за класифікацією за їх фазово-дисперсним станом та методи видалення цих домішок.

19. Охарактеризуйте домішки 3 групи за класифікацією за їх фазово-дисперсним станом та методи видалення цих домішок.

20. Охарактеризуйте домішки 4 групи за класифікацією за їх фазово-дисперсним станом та методи видалення цих домішок.

## ТЕМА 2 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДІВ І СХЕМ ПІДГОТОВКИ ВОДИ ДЛЯ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

*1. Методи, технологічні процеси та споруди для очищення природних вод.*

*2. Класифікації основних технологічних схем.*

*3. Основні критерії для вибору технологічної схеми та складу споруд для очищення вод, принципи їх компонування.*

### *1 Методи, технологічні процеси та споруди для очищення природних вод*

Технологія виготовлення будь-якої продукції взагалі й підготовки води зокрема визначається якістю вихідної сировини та вимогами до якості готової продукції. Для підготовки води використовують природну воду, яку забирають із поверхневих чи підземних джерел, а готовою продукцією може бути питна або технічна вода. Тому технологія підготовки води визначається якістю природної води, її фізичними, фізико-хімічними і бактеріологічними властивостями та вимогами споживача.

Природну воду очищають тоді, коли її якість із природних джерел не задовольняє вимоги споживача. Хімічний склад, цільове призначення води та вимоги споживача до її якості (фізичні, хімічні й бактеріологічні показники) визначають вибір процесів підготовки води. При цьому враховують якість води джерела водопостачання у різні пори року, ступінь і можливість забруднення його побутовими й промисловими стічними водами.

Технологія підготовки питної чи технічної води охоплює комплекс процесів з метою зміни її початкового складу та поліпшення природних властивостей зменшенням або повним вилученням небажаних інгредієнтів та збагачення її тими, яких не вистачає. Потреба у застосуванні того або іншого процесу підготовки води виникає у разі її невідповідності вимогам споживача. В основу вибору процесу підготовки води покладено порівняння якості води джерела водозабезпечення (дані хімічних і технологічних аналізів) із даними державного стандарту на питну воду [1] або технічними умовами споживача. Результати зіставлення визначають вибір процесу поліпшення якості води. При цьому можуть виявитися конкурентоздатними кілька процесів підготовки води. Тоді вибір певного процесу здійснюють згідно з даними еколого-техніко-економічного аналізу з урахуванням мінімальних затрат і досягнення високих технологічного й екологічного ефектів. *Процеси підготовки води* поділяють на такі основні групи:

- поліпшення органолептичних властивостей води (прояснення і знебарвлення, дезодорація та ін.);
- забезпечення епідеміологічної безпеки (хлорування, озонування, ультрафіолетове, радіаційне та інші способи знезараження);
- кондиціонування мінерального складу (фторування, знефторення, знезалізнення, деманганація, зм'якшення, знесолення та ін.).

Основними процесами поліпшення якості води для господарсько-питних цілей є прояснення, знебарвлення та знезараження.



*Прояснення води.* З метою видалення з води завислих домішок проводять її прояснення. Залежно від потрібного кінцевого вмісту завислих речовин у воді прояснення здійснюють відстоюванням води у відстійниках, у гідроциклонах, центрифугуванням, флотацією, фільтруванням, пропусканням через шар раніше утвореного завислого осаду в прояснювачах та інших апаратах.

Для інтенсифікації процесу осадження завислих речовин застосовують їх коагулювання. Для цього у воду додають хімічні речовини – коагулянти. В результаті коагуляції утворюються великі агрегати, на поверхні яких адсорбуються домішки та завислі часточки, що швидко осідають під дією сил гравітації. Процес коагулювання здійснюють у прояснювачах із шаром завислих пластівців або в контактних прояснювачах зі статичним зернистим шаром.

Виділення з води грубодисперсних зависей здійснюють центрифугуванням та в гідроциклонах із наступним проясненням на швидких фільтрах, фільтруванням крізь сітки, на мікрофільтрах або крізь тканини. Прояснення води одночасно з її знебарвленням відбувається у флотаторах.

*Знебарвлення води* – процес видалення з неї забарвлених колоїдів або розчинених домішок, які зумовлюють кольоровість води. Вона знебарвлюється під час коагулювання або флотації із застосуванням окисників або сорбентів. Для цього застосовують хлорування, фільтрування крізь гранульоване активоване вугілля та напірну флотацію з обов'язковим попереднім коагулюванням домішок.

*Знезалізнення води* – процес зменшення вмісту солей феруму до вимог державного стандарту на питну воду [1] або технічних умов споживача. Залежно від форм сполук феруму, наявних у воді, застосовують безреагентні або реагентні способи видалення сполук феруму. Широко застосовують аерування води з наступним її фільтруванням на швидких фільтрах.

*Фторування води* зазвичай здійснюють уведенням до її складу сполук фтору для запобігання захворюванню зубів на карієс. Розчин фторвмісного реагенту додають у воду до або після фільтрування на швидких фільтрах.

*Знезараження води* здійснюють для знищення в ній патогенних бактерій та вірусів, проводячи хлорування, озонування або вводячи перманганат калію.

Для доведення якості води до вимог питної кондиції крім наведених вище заходів інколи використовують такі процеси: дезодорацію (усунення небажаних запахів і присмаків застосуванням аерації, окисників і сорбентів), введення у воду лужних реагентів і осадження солей твердості, опріснення (зменшення загальної мінералізації води електродіалізом, зворотним осмосом, дистиляцією, іонним обміном та ін.).

Під час підготовки технічної води для технологічних цілей часто виникає потреба її прояснення, глибокого зм'якшення, повного знесолення, деманганації, знефторення, дегазації, зменшення окиснюваності та ін. Воду, яку використовують для охолодження, зазвичай не очищають, але проводять її стабілізацію з метою запобігання корозії металу труб і теплообмінних апаратів або їх заростання осадом карбонату кальцію. В деяких випадках охолодну воду хлорують для запобігання біобрастанню системи охолодження.

У процесі підготовки питної води, якщо її забір здійснюють із поверхневих водойм, воду очищують за традиційною технологією, яка включає процеси прояснення і знебарвлення у відстійниках, прояснювачах із шаром завислого осаду, швидкими і повільними фільтрами та контактними прояснювачами. Завершують підготовку води знезараженням із використанням хлорування або озонування чи іншого способу (рис. 2.1).

У деяких випадках для усунення стійких неприємних запахів і присмаків, видалення планктону застосовують подвійне хлорування природної води з підвищеними дозами хлору, а інколи й дехлорування її. В цьому випадку первинне хлорування проводять у водоприймальному колодязі або насосній станції першого підйому. Після прояснення у відстійнику або після фільтрування здійснюють вторинне хлорування.

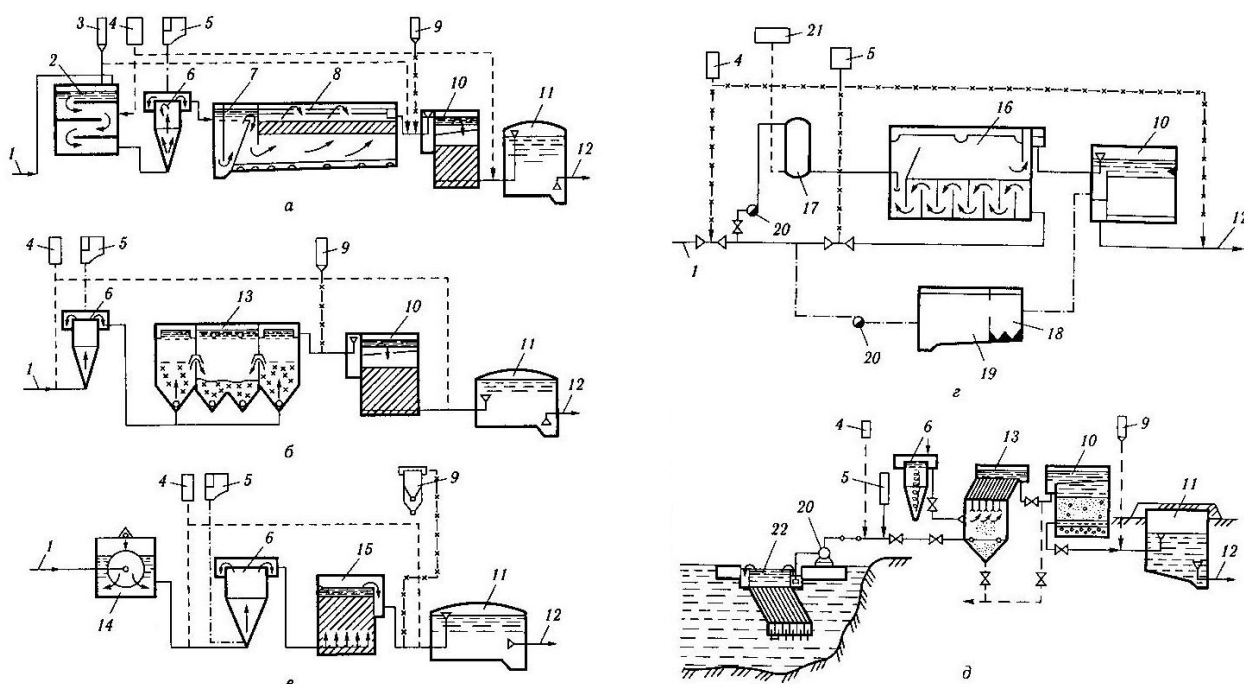


Рисунок 2.1 – Висотні схеми технологічних споруд водоочисних станцій:  
*а* – з вертикальним відстійником і швидкими фільтрами; *б* – з прояснювачами і фільтрами; *в* – з контактними прояснювачами; *г* – з флотаторами;  
*д* – з тонкошаровими відстійниками;  
 1 – подача вихідної води; 2 – контактний резервуар; 3 – установка для очистки води вугільним сорбентом; 4 – хлораторна; 5 – баки коагулянту;  
 6 – вертикальний змішувач; 7 – камера утворення пластівців;  
 8 – горизонтальний відстійник із вбудованими тонкошаровими модулями;  
 9 – установка для фторування; 10 – швидкий фільтр; 11 – РЧВ; 12 – відведення очищеної води; 13 – прояснювач із шаром завислого осаду; 14 – мікрофільтр;  
 15 – контактний прояснювач; 16 – флотатор; 17 – напірний бак;  
 18, 19 – резервуари-усереднювачі із піскоуловлювачем; 20 – насоси;  
 21 – компресор; 22 – тонкошаровий відстійник на понтонах

Надлишок хлору видаляють в адсорбційних фільтрах, заповнених гранульованим активованим вугіллям. У разі дехлорування води оксидом сульфуру (IV) або іншими хімічними реагентами вугільні фільтри не використовують. За наявності в очищеній воді солей феруму (II) і мангану (II) проводять подвійне хлорування – до відстоювання та після фільтрування.

Розміщення технологічних процесів і споруд у певній послідовності для отримання води заданих кількості та якості, що відповідають вимогам споживача, – це технологічна схема підготовки води. Здійснення окремих технологічних процесів за певних умов для отримання найбільшого виходу продукту (чистої води заданої якості) за мінімальних витрат сировини (природної води), енергії та інших допоміжних матеріалів і реагентів є параметрами технології (тривалість процесів, температура, інтенсивність перемішування, доза реагенту і його концентрація тощо).

Останнім часом розроблено й впроваджено у практику водопідготовки нові технологічні схеми. В цих схемах використовують електрокоагулятори, гідроциклони, тонкошарові відстійники, напірну флотацію, акустичні фільтри, контактні прояснювачі КП-3 (КО-3) та контактні фільтри КФ-5, повільні фільтри з механічним розпушуванням піску і гідрозмиванням забруднень після промивання та ін. Як приклад розглянемо кілька поширених технологічних схем.

Найпоширенішою як у нашій країні, так і за кордоном, є універсальна технологічна схема, зображена на рисунку 2.1, а. Її можна застосовувати для очищення природної води будь-якої якості. Очищувана вода під тиском насосів першого підйому подається на барабанні сітки для вилучення крупних зависей. Потім вона надходить у змішувач, у який додають хлор (первинне хлорування), коагулянт та за потреби лужні реагенти (підлогування води). Після змішування з реагентами вода надходить до камери утворення пластівців, вмонтовану у відстійнику. Утворені великі агрегати пластівців випадають в осад у вертикальних або горизонтальних відстійниках. Вибір останніх залежить від продуктивності станції. За великої продуктивності застосовують горизонтальні відстійники. Потім вода надходить на швидкий фільтр, перед яким за потреби до неї додають реагенти для дезодорації, фторування чи інтенсифікації процесу фільтрування. Профільтровану воду знезаражують і направляють у резервуар чистої води, звідки насосами другого підйому вона подається в мережу водоспоживача. Якщо воду використовують як технічну, то потреба в її дезодорації, фторуванні й знезараженні відпадає.

Удосконалена технологічна схема (рис. 2.1, б) передбачає реагентне оброблення води, її прояснення і знебарвлення в шарі завислого осаду та фільтрування на швидких фільтрах. Тут функції камери утворення пластівців і відстійника поєднуються в одному апараті – прояснювачі із завислим шаром осаду, що дає змогу інтенсифікувати процеси прояснення та знебарвлення. У цій технологічній схемі одночасно застосовують двошарові або двопотокові фільтри та фільтри з великозернистим завантаженням. Крім того, у цій схемі передбачається вилучення великих зависей на барабанних сітках, дезодорація,

фільтрування і знезараження. Порівняно з попередньою вона компактніша. Апарати (споруди), що входять до складу цієї технологічної схеми, менші за об'ємом, але конструктивно складніші і це, в свою чергу, ускладнює їх експлуатацію.

Технологічна схема з флотатором і швидким фільтром передбачає підготовку малокаламутних і дуже забарвлених природних вод (рис. 2.1, з). Природну воду спочатку фільтрують на барабанних сітках, а потім подають для змішування з реагентами у вертикальний змішувач. Після цього вода надходить у камеру утворення пластівців, в якій відбувається коагулювання дрібнодисперсних домішок води з утворенням великих пластівців. Останні в процесі флотації перетворюються на піну флотатора. Процес прояснення і знебарвлення води завершується на швидких фільтрах, але перед початком цього процесу до неї вводять вугільну пульпу або окисник для дезодорації та фторовмісний реагент для фторування. Знезаражують очищену воду хлором. Ця технологічна схема компактна, ефективна в роботі, але має конструктивні ускладнення деяких технологічних процесів.

Застосовують технологічну схему з контактними прояснювачами (рис. 2.1, в). Із природної води на мікрофільтрах видаляють планктон й обробляють її реагентами, які подають у контактний прояснювач, де завершується прояснення і знебарвлення. У схемі передбачають також знезараження і фторування води за допомогою спеціальних установок. Очищена кондиційна вода надходить у резервуари чистої води і під тиском насосів другого підйому – в мережу споживача.

## **2 Класифікації основних технологічних схем**

Технологічні схеми, які використовують у практиці підготовки води можна класифікувати за такими основними ознаками:

- участю реагентів – реагентні чи безреагентні;
- ефектом прояснення – глибоке і неповне;
- кількістю технологічних процесів – одно-, дво- і багатопроцесні, чи ступенів кожного з них;
- напірні чи безнапірні.

*Реагентні й безреагентні* технологічні схеми застосовують під час підготовки води для господарсько-питних потреб та потреб промисловості. Вони різняться як за складом процесів, так і за розмірами водоочисних споруд й умовами їх експлуатації. Безреагентні схеми із використанням гідроциклонів, акустичних, наливних і повільних фільтрів, як правило, застосовують для водозабезпечення невеликих споживачів за кольоровості вихідної природної води до 50 град. Їх застосовують під час неглибокого прояснення води для водозабезпечення промислових об'єктів. У безреагентних технологічних схемах інколи використовують одне відстоювання або фільтрування на грубозернистих фільтрах або мікрофільтрах. Порівняно з реагентними вони в експлуатації простіші.

Технологічні схеми для підготовки води із застосуванням реагентів порівняно із безреагентними схемами значно компактніші й дешевші, але

складніші в експлуатації. Процеси підготовки води із застосуванням реагентів відбуваються інтенсивніше і значно ефективніше. Так, фільтрування з використанням реагентів здійснюють зі швидкістю 5–12 м/год і більше, а без реагентів – 0,1–0,3 м/год. Тому для осадження основної маси завислих речовин за наявності реагентів потрібно лише 2–4 год, тоді як без них – кілька діб.

*За кількістю технологічних процесів і числом ступенів кожного з них* технологічні схеми підготовки води поділяють на одно-, дво- і багатопроцесні. Наприклад, в однопроцесній схемі здійснюють одне лише прояснення за допомогою гідроциклону, або акустичного фільтра, або повільного фільтра. Двопроцесна технологічна схема – два основні технологічні процеси (наприклад, оброблення води в шарі завислого осаду і фільтрування) здійснюють послідовно й одноразово (за один ступінь). Якщо один з основних технологічних процесів здійснюють двічі або більше, технологічну схему називають дво-, три- і багатоступінчастою.

Кількість технологічних процесів і число ступенів у технологічній схемі залежать від якості природної води та вимог споживача до якості очищеної води. Так, для грубого прояснення води можна обмежитися процесом осадження у відстійниках, центрифугах або фільтрах. Під час підготовки висококаламутних вод для господарсько-питних цілей застосовують двоступінчасте осадження з наступним фільтруванням в один ступінь або використовують технологічну схему, яка передбачає попереднє прояснення води в гідроциклонах із наступним доочищенням.

*За ефектом прояснення* розрізняють технологічні схеми повного (глибокого) і неповного прояснення. Після глибокого прояснення очищена вода відповідає вимогам якості питної води, тоді як після грубого прояснення вміст завислих речовин в очищеній воді набагато більший (до 50–100 мг/дм<sup>3</sup> і більше). Зазвичай грубопрояснену воду використовують в охолодниках різного виробничого призначення. Отже, технологію для неповного прояснення води зазвичай використовують для підготовки технічної води. Технологічні схеми з глибоким проясненням води застосовують для підготовки питної води та води, яку використовують у харчовій, фармацевтичній промисловості й багатьох інших виробництвах, де до якості технічної води ставлять високі вимоги.

*За характером руху оброблюваної води* технологічні схеми водопідготовки поділяють на самоплинні (безнапірні) і напірні. На міських і великих промислових водоочисних спорудах рух вихідної води в технологічному процесі здійснюється самоплинно. При цьому рівень води в кожній наступній споруді знаходиться нижче рівня, ніж у попередній. Різниця рівнів визначає напір, потрібний для подолання гідравлічного опору в очисних спорудах та в комунікаціях від однієї споруди до іншої.

У напірній технологічній схемі рух води від одного апарата до іншого відбувається під тиском, вищим ніж атмосферний. Тому апарати різних процесів можна розмістити на одній відмітці. Напірні очисні апарати мають бути герметичними і розрахованими на тиск, який створюється насосами. В напірних технологічних схемах можна не влаштовувати резервуари чистої води і насосну станцію другого підйому. В окремих випадках очищена вода під

тиском насосів першого підйому передається безпосередньо в мережу споживача. У разі самоплинного руху води очисними спорудами потрібні дві насосні станції (першого і другого підйому) і резервуари чистої води. Напірні технологічні схеми характеризують значною металоємністю, що пов'язано з обмеженням продуктивності очисних станцій.

### **3 Основні критерії для вибору технологічної схеми та складу споруд для очищення вод, принципи їх компоновання**

Вибір технологічної схеми водопідготовки залежить від якості природної води в джерелі, вимог споживача та кількості води для споживання. Так, для підготовки невеликої кількості забарвленої або каламутної води з економічного погляду доцільно замість громіздких горизонтальних відстійників застосовувати вертикальні. Змішувач у цьому разі можна замінити соплом Вентурі або шайбою.

Орієнтовний вибір технологічної схеми для прояснення і знебарвлення води до рівня нормативів питної кондиції можна здійснити згідно з рекомендаціями Державних будівельних норм [2].

Таблиця 2.1 – Рекомендації для попереднього вибору споруд для прояснення та знебарвлення води ([2], табл. 14)

Основні споруди	Умови застосування				Продуктивність станції, м <sup>3</sup> /добу
	Каламутність, НОК (мг/дм <sup>3</sup> )		Забарвленість, град.		
	вихідна вода	очищена вода	вихідна вода	очищена вода	
1	2	3	4	5	6
<i>Обробка води із застосуванням коагулянтів і флокулянтів</i>					
1 Швидкі фільтри (одноступінчасте фільтрування): – напірні,  – відкриті	не більше ніж 52 (30) те саме 34 (20)	не менше ніж 2,6 (1,5) те саме 2,6 (1,5)	не більше ніж 50 те саме 50	не менше ніж 20 те саме 20	до 30 000 вкл. до 50 000 вкл.
2 Ультрафільтраційні установки	« 138 (80)	« 0,17 (0,1)	« 120	« 4	«
3 Вертикальні відстійники – швидкі фільтри	« 2 586 (1 500)	« 2,6 (1,5)	« 120	« 20	до 5 000 вкл.
4 Горизонтальні відстійники – швидкі фільтри	« 2 586 (1 500)	« 2,6 (1,5)	« 120	« 20	понад 30 000
5 Контактні префільтри – швидкі фільтри (двоступінчасте фільтрування)	« 517 (300)	« 2,6 (1,5)	« 120	« 20	будь-яка

Продовження таблиці 2.1

6 Прояснювачі з завислим осадом – швидкі фільтри	не менше ніж 86 (50) до 2 586 (1 500) вкл.	« 2,6 (1,5)	« 120	« 20	понад 5 000
7 Два ступеня відстійників – швидкі фільтри	понад 2 586 (1 500)	« 2,6 (1,5)	« 120	« 20	будь-яка
8 Контактні прояснювачі	не більше ніж 207 (120)	« 2,6 (1,5)	« 120	« 20	«
9 Горизонтальні відстійники та прояснювачі з завислим осадом для часткового прояснення води	« 2 586 (1 500)	від 14 (8) до 26 (15) вкл.	« 120	« 40	«
10 Крупнозернисті фільтри для часткового прояснення води	« 138 (80)	не менше ніж 17 (10)	« 120	« 30	«
11 Радіальні відстійники для попереднього прояснення висококаламутних вод	понад 2 586 (1 500)	« 431 (250)	« 120	« 20	«
<i>Обробка води без застосування коагулянтів і флокулянтів</i>					
12 Ультрафільтраційні установки	не більше ніж 52 (30)	не менше ніж 1,72 (1,0)	не більше ніж 50	не менше ніж 2	будь-яка
13 Крупнозернисті фільтри для часткового прояснення води	« 259 (150)	30–50 % вихідної	« 120	така ж, як вихідна	«
14 Радіальні відстійники для часткового прояснення води	понад 2 586 (1 500)	30–50 % вихідної	« 120	«	«
15 Повільні фільтри з механічною або гідравлічною регенерацією піску	не більше ніж 2 586 (1 500)	2,6 (1,5)	« 50	не менше ніж 20	«

Примітка 1. Каламутність зазначена сумарна, яка включає каламутність, що утворюється від введення реагентів.

Примітка 2. На водозабірних спорудах або на станції водопідготовки необхідно передбачати установку сіток з отворами від 0,5 до 2 мм включно. При середньомісячному вмісті у воді планктону понад 1 000 кл/мл і тривалості «цвітіння» понад 1 місяця за рік додатково до сіток, встановлених на водозабір, потрібно передбачати установку мікрофільтрів або флотаторів на водозабір або на станції водопідготовки.

Примітка 3. При відповідному обґрунтуванні для обробки води допускається застосовувати споруди при продуктивності більше або менше вказаної, а також споруди, які не зазначені в таблиці (мультигідроциклони, флотаційні установки тощо)

Примітка 4. Прояснювачі із завислим осадом потрібно застосовувати при рівномірній подачі води або поступовій зміні витрати води в межах не більше ніж 15 % за 1 годину і коливанні температури води не більше ніж 1 °С за 1 годину.

Примітка 5. Метод ультрафільтрації ґрунтується на використанні мембран з розміром пор 0,01–0,1 мкм при робочому тиску до 0,5 МПа.

Примітка 6. Для знебарвлення води при застосуванні коагулянтів і флокулянтів використовують мембрани з розміром пор 0,01–0,02 мкм. Для прояснення та знебарвлення води без застосування коагулянтів і флокулянтів використовують мембрани з відсіканням по молекулярній масі не більше 15–20 кДа (розмір пор 10 нм).

Вибір технологічних процесів, конструктивне оформлення та визначення оптимального складу реагентів, їх дози і встановлення раціональних параметрів кожного з них здійснюється з урахуванням даних хімічного й технологічного аналізів природної води для кожного джерела водозабору. Проте деякі рішення можливі апріорі на основі узагальнення наявного досвіду експлуатації технологічних схем водоочисних комплексів в аналогічних умовах. Так, коагулянти – основні хлориди та основні сульфати або залізовмісні – за інших однакових умов мають перевагу під час тривалих весняних паводків, оскільки за цих умов значно нижча температура очищуваної води (нижче 4 °С) та підвищені каламутність і забарвленість. Для інтенсифікації процесу коагулювання кольорових вод як флокулянт доцільно використовувати активовану силіцієву кислоту (активація хлором), а для каламутних – поліакриламід, К-4 та ін. Вертикальні змішувачі, які забезпечують ефективне змішування та повітровідділення, рекомендується застосовувати в технологічних схемах із контактними прояснювачами та завислим осадом.

При підготовці малокаламутних знебарвлених вод у технологічних схемах, в яких використовують прояснювані із завислим осадом, перевагу надають конструкціям з піддонним осадоушільнювачем. Ця конструкція високонадійна у роботі та високоефективна.

Для очищення висококаламутних вод як споруди першого ступеня прояснення можна використати тонкошарові й радіальні відстійники, акустичні фільтри, гідро- й мультициклони та ін. Планктон або великі домішки, що плавають у воді, доцільно вилучати на мікрофільтрах або барабанних сітках. У прямотечійних схемах зі швидкими фільтрами з використанням реагентів рекомендується застосовувати контактні фільтри.

Конструктивне оформлення прийнятої схеми визначається продуктивністю і складом проєктованих споруд, рельєфом і гідрогеологією майданчика, кліматичними даними та можливістю створення зон санітарної охорони, а також техніко-економічними розрахунками.

Об'єми очисних споруд розраховують за часом, необхідним для протікання тих чи інших фізико-хімічних процесів в оброблюваній воді.

Реагенти у воду подають таким чином, щоб обробка її закінчувалася в проєктованому комплексі устаткування і вихідна вода відповідала вимогам споживача й аби надалі вода не змінювала свого складу і властивостей.

Компонування очисних споруд повинне забезпечувати можливість подальшого їх розширення, що особливо важливо для великих міських і промислових водопроводів.

Одна з основних вимог, яку пред'являють до водоочисних станцій, – безперебійність в роботі. Передбачають обвідну лінію (при продуктивності



понад 100 тис. м<sup>3</sup>/добу), що дозволяє відключити весь комплекс ОС і при необхідності подавати воду через РЧВ у всмоктувальну лінію НС2.

При проектуванні самотечійних очисних споруд для здешевлення будівництва необхідно максимально використовувати рельєф місцевості. Для цього складають висотну схему споруд, на якій встановлюють положення (позначку) рівнів води в кожній споруді.

### ***Контрольні питання***

1. Які основні методи застосовують для очищення природних вод?
2. Які фактори визначають вибір технології підготовки води?
3. На які основні групи поділяють процеси підготовки?
4. Як здійснюють прояснення води?
5. Як здійснюють знебарвлення води?
6. Для чого і як здійснюють знезараження води?
7. Основні умови розміщення технологічних процесів і споруд у певній послідовності.
8. Охарактеризуйте основні технологічні схеми підготовки питної води з поверхневих джерел.
9. Класифікації основних технологічних схем підготовки питної води.
10. Порівняйте реагентні й безреагентні технологічні схеми підготовки питної води.
11. Як розділяють схеми підготовки води за кількістю технологічних процесів і числом ступенів кожного з них?
12. Які технологічні схеми розрізняють за ефектом прояснення?
13. Які технологічні схеми розрізняють за характером руху оброблюваної води?
14. Принципи компонування технологічної схеми для очищення вод.
15. Охарактеризуйте рекомендації для попереднього вибору споруд для прояснення та знебарвлення води.

## ТЕМА 3 РЕАГЕНТНЕ ГОСПОДАРСТВО

- 1. Реагенти, що застосовують для підготовки питної води. Послідовність введення реагентів.*
- 2. Технологічні схеми реагентного господарства.*
- 3. Дозування реагентів.*

### *1 Реагенти, що застосовують для підготовки питної води. Послідовність введення реагентів*

У практиці водопідготовки для здійснення технологічного процесу очищення природних і стічних вод використовують різні реагенти та матеріали:

- для коагуляційного очищення води застосовують коагулянти і флокулянти,
- для підлужування – вапно, соду;
- для стабілізації – вапно, соду, кислоти;
- для дезодорації – активоване вугілля, окислювачі;
- для знезараження – окислювачі;
- для фільтрування — пісок, гравій, щебінь тощо.

При здійсненні технологічних процесів водопідготовки значну увагу приділяють не лише вибору реагентів, а й порядку їх уведення в очищувану воду. Останній впливає на якість очищеної води, витрати та ефективність усього технологічного процесу. Зазвичай реагенти вводять в очищувану воду для того, щоб усі технологічні процеси завершилися в очисних спорудах та не відбувався перебіг вторинних процесів у мережі водопостачання і забруднення очищуваної води, яку подають споживачеві. У деяких випадках, коли для корекції якісного складу води потрібно ввести реагенти в очищену воду, вони не повинні взаємодіяти з солями, розчиненими у воді, та не мати і не утворювати під час змішування завислих речовин. Послідовність уведення реагентів при здійсненні певних технологічних процесів підготовки води з різними фізико-хімічними властивостями наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Послідовність введення реагентів в очищувану воду

Характеристика води	Реагент	Послідовність введення реагентів
Запахи і присмаки відсутні Запахи (в тому числі й хлорфенольний) і присмаки після хлорування не з'являються	Хлор, коагулянт: а) коагулянт, озон; б) хлор, перманганат калію, коагулянт; в) хлор, активоване вугілля, коагулянт; г) хлор, перманганат калію, активоване вугілля, коагулянт	Первинне хлорування, через 2–3 хв коагулянт. Коагулянт, озон перед фільтрами або у фільтровану воду. Первинне хлорування, через 10 хв перманганат калію, потім через 2–3 хв коагулянт: а) первинне хлорування, через 10–15 хв активоване вугілля, потім через 10 хв коагулянт; б) первинне хлорування, через 2–3 хв коагулянт, активоване вугілля у дозі до 5 мг/л перед фільтрами. Первинне хлорування, через 10 хв перманганат калію, потім через 10–15 хв активоване вугілля, потім ще через 10 хв коагулянт
Те саме, після хлорування з'являється хлорфенольний запах	а) аміак, хлор, коагулянт; б) коагулянт, озон; в) перманганат калію, хлор, коагулянт; г) аміак, хлор, перманганат калію, коагулянт; д) перманганат калію, хлор, активоване вугілля, коагулянт	Аміак, через 2–3 хв первинне хлорування, потім через 2–3 хв коагулянт. Коагулянт, озон перед фільтрами або у фільтровану воду. Перманганат калію, через 10 хв хлор, потім через 2–3 хв коагулянт. Аміак, через 2–3 хв хлор, ще через 10 хв перманганат калію, потім через 2–3 хв коагулянт. Перманганат калію, через 10 хв хлор, ще через 10–15 хв активоване вугілля, потім через 10 хв коагулянт

Особливо велике значення має порядок введення коагулянтів і флокулянтів в очищувану воду. Коагулянти можна вводити у воду до її надходження в очисні споруди (у водоприймальний колодязь чи ківш) або у змішувач. Їх змішують з

усією масою очищеної води або за невеликої кількості забруднень – з частиною оброблюваної води за наступного змішування з рештою потоку (концентрована коагуляція). За невеликого вмісту забрудників в очищеній воді коагулянт можна вводити окремими невеликими порціями (дрібна коагуляція). При цьому важливо забезпечити швидке формування дрібнодисперсних агрегатів золю на стадії перекінетичної коагуляції. В цьому разі вони мають високорозвинену поверхню і характеризуються високою хімічною та сорбційною активністю, що сприяє ефективному проясненню і знебарвленню очищеної води.

Флокулянти зазвичай вводять через 2–3 хв після введення коагулянту в змішувач наприкінці процесу змішування або в камеру на початку процесу утворення пластівців. Така послідовність уведення флокулянтів дає змогу сформуватися дрібнодисперсним агрегатам, інтенсифікує процеси агрегації та утворення крупнодисперсних пластівців, які швидко осідають під дією сил гравітації. Коагуляцію за допомогою коагулянтів і флокулянтів доцільно застосовувати за низької температури (нижче 6 °С) очищеної води та малого вмісту завислих речовин. У разі застосування поліакриламідів та інших флокулянтів перед подаванням у фільтри або контактні прояснювачі тривалість введення цих реагентів має бути мінімальною.

Знезараження води здійснюють після її очищення перед подаванням у резервуар чистої води або у два прийоми: перед подаванням для очищення і після нього. Тому хлорвмісні реагенти за попереднього хлорування вводять у ківш, водоприймальний колодязь, всмоктувальну або напірну лінію першого підйому або у змішувач. Для знезараження очищеної води її подають у колектор, резервуар чистої води або у всмоктувальний трубопровід насосної станції другого підйому.

Амонізацію води проводять у тих самих місцях, що й оброблення хлорвмісними реагентами. При цьому аміак вводять після і перед подаванням хлорвмісних реагентів. За наявності в очищеній воді фенолів аміак подають перед подаванням хлору. Реагенти для дехлорування вводять в очищену воду.

Вапняне молоко, крейдяну суспензію і соду, які використовують для підлугування води і містять велику кількість завислих речовин, вводять у тих самих місцях, що й коагулянти, до і після подавання їх залежно від результатів технологічних досліджень у лабораторних умовах. За недостатньої лужності води підлугуюючи реагенти подають одночасно з коагулянтами. У разі очищення висококонцентрованих кольорових вод підлугування їх здійснюють після осадження основної маси пластівців коагулянту в кінці відстійників.

Фторовмісні реагенти можна вводити у водопроводи насосної станції першого підйому перед очисними спорудами, на фільтри і після очисних споруд. Реагенти зазвичай подають у вигляді водних розчинів за умови ретельного перемішування з очищеною водою. Якщо споживають артезіанську воду без її очищення, фторовмісні реагенти вводять безпосередньо у напірні водопроводи. Здебільшого їх подають після коагуляції. За малого навантаження на фільтри реагенти вводять перед фільтрами, а за великого

навантаження – після фільтрів у трубопровод між фільтрами і резервуаром чистої води або в останній. Під час хлорування води фториди не видаляються. Хлор і фториди можна вводити одночасно.

Присмаки і запахи усувають за допомогою фільтрів, завантажених гранульованим активованим вугіллям, або двошарових фільтрів з верхнім шаром активованого вугілля. Ці фільтри розміщують після прояснювальних фільтрів. Якщо воду обробляють активованим вугіллям, то перша доза його може подаватися у ківш, а друга – у трубопроводі подавання знебарвленої й проясненої води на фільтри.

Під час очищення забарвленої води, а також води із запахами й органічними речовинами без запаху активоване вугілля для дезодорації доцільно вводити у воду після виділення основної маси цих сполук. Якщо це здійснити неможливо, то дозу вугілля збільшують. У разі зм'якшення води активоване вугілля вводять перед вапнуванням.

Під час введення реагентів слід дотримуватися не лише послідовності, а й тривалості інтервалів між введенням окремих сполук. Якщо такі інтервали витримати не вдається, то встановлюють додаткові змішувачі й контактні ємкості. Проте при цьому треба запобігати осадженню реагентів, які вводять в очищувану воду у вигляді суспензій.

## ***2 Технологічні схеми реагентного господарства***

На водоочисних станціях використання реагентів та матеріалів передбачає:

- складування;
- зберігання;
- підготовку для подавання в технологічний процес;
- дозування;
- змішування з очищуваною водою.

Проектування й експлуатація водоочисних комплексів передбачає дві ***схеми організації реагентного господарства***:

- 1) отримання готових реагентів із заводів-постачальників;
- 2) отримання реагентів-напівфабрикатів.

У першому випадку їх подають безпосередньо в очищувану воду, а в другому – проводять спеціальну підготовку з метою отримання потрібних продуктів та подальшого їх використання в технологічному процесі.

Реагенти можна застосовувати в технологічному процесі у вигляді твердих порошків, водних суспензій і розчинів. Тому на водоочисних станціях має бути склад, розрахований на 5–30-добове зберігання реагентів, та необхідне обладнання для їх підготовки і подавання в технологічний процес.

Складування реагентів може здійснюватися у сухому вигляді навалом, у спеціальній тарі або у вигляді висококонцентрованих розчинів у спеціальних місткостях.

Складування і зберігання реагентів у сухому вигляді здійснюють у закритому приміщенні на першому поверсі поблизу розчинних баків. Коагулянт сульфат алюмінію зберігають за висоти шару до 2 м, а негашене вапно – до

1,5 м. За наявності відповідних засобів для навантаження і розвантаження висота шару реагентів насипом може відповідно збільшуватися до 3,5 м і до 2,5 м. Рекомендована висота шару хлориду натрію – до 2 м. У разі постачання реагентів у тарі висота складування може бути значно більшою: до 2 м у металевих бочках до 3–3,5 м – у паперових мішках і гумових контейнерах.

Для запобігання втраті коагулянту від злежування, уникнення важких навантажувально-розвантажувальних робіт нині широко використовують складування і зберігання коагулянтів, які постачають у великих обсягах, у рідкому стані (рис. 3.1). На великих водоочисних спорудах передбачають не менше трьох резервуарів великої місткості, в них зберігають потрібний запас висококонцентрованої розчину коагулянту (до 7–7,5 %  $Al_2O_3$ ). Такий коагулянт виготовляють на заводі та поставляють в авто- або залізничних цистернах. Для потужних водоочисних станцій, коли за добу використовують до 10 т і більше коагулянту, його постачають у вагонах.

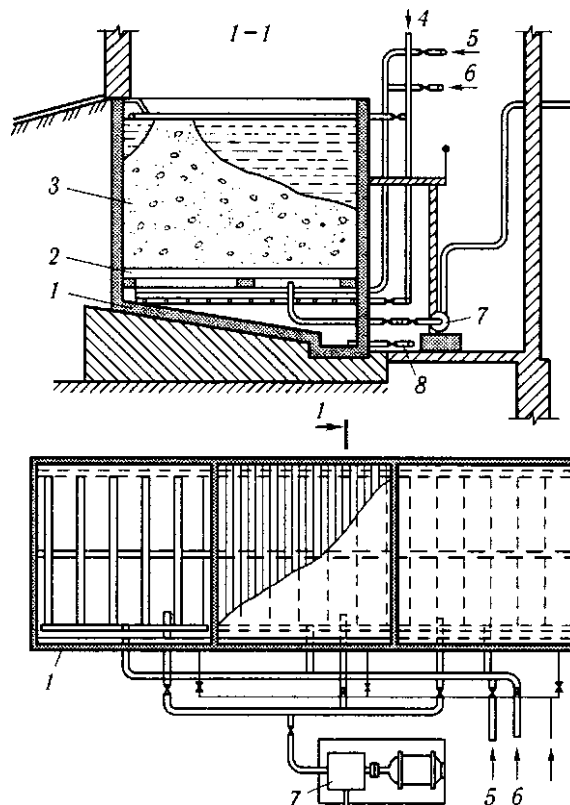


Рисунок 3.1 – Схема облаштування резервуарів для мокрого зберігання коагулянту:

- 1 – залізобетонний резервуар з антикорозійним покриттям; 2 – колосникова решітка; 3 – шар коагулянту; 4 – подавання води для змивання осаду;
- 5,6 – відповідно подавання пари і стисненого повітря у витратні баки;
- 7 – кислотний насос; 8 – скидання осаду у водостік

Перед подаванням коагулянту в очищувану воду його розбавляють водою у витратних баках до концентрації близько 2 %  $Al_2O_3$ . Якщо продуктивність очисної станції не перевищує 32 тис. м<sup>3</sup>/добу, то реагентний цех суміщають з очисними спорудами. Місячний запас коагулянту доцільно зберігати в розчинних приймальних місткостях. За більшої продуктивності водоочисних

станцій його розміщують в окремому приміщенні з обладнанням з'єднувальних галерей з очисними спорудами. При цьому застосовують мокрий спосіб зберігання реагенту. Загальний об'єм розчинних баків доцільно визначати з урахуванням величини разового поставлення коагулянту, способу його завантаження і розчинення за температури 10 °С, відстоювання, перекачування й очищення піддону. Розчинні баки та баки-сховища розміщують надворі, а насоси, арматуру й трубопроводи – у галереї з наземним павільйоном. Усе обладнання повинно мати антикорозійне покриття або виготовлятися з корозійностійких матеріалів.

Склад для зберігання кислот ізолюють від складу зберігання інших реагентів. Його обладнують надійною нагнітально-витяжною вентиляційною системою з дотриманням усіх вимог, які ставляться до обладнання та утримання складів для зберігання сильнодіючих і отруйних речовин. Це саме стосується складів аміаку і хлору. Останні розміщують у низинних місцях водоочисної станції.

У складі для хлору має вміщуватися не більше ніж 100 т реагенту, а в повністю ізольованому відсіку – до 50 т. Хлор зберігають у балонах або контейнерах. Склад активованого вугілля обладнують в окремому приміщенні, яке належить до категорії В протипожежної безпеки. За мокрого зберігання хлориду натрію та добової витрати понад 0,5 т об'єм баків-сховищ визначають із розрахунку 1,5 м<sup>3</sup> на 1 т реагенту. Склад для зберігання іонообмінних матеріалів розраховують на об'єм завантаження двох катіонітових та на одне завантаження аніонітових фільтрів.

Склад для зберігання фільтрувальних матеріалів та вибір обладнання проектують із розрахунку 10 % щорічного поповнення і заміни фільтрувального запасу на перевантаження одного фільтра – загальної їх кількості до 20, і двох – у разі більшої кількості.

Для завантаження фільтрів використовують водоструминні й піскові насоси. В усіх складських приміщеннях завантажувальні й розвантажувальні роботи мають бути механізовані. Для цього використовують конвеєри та механічні лопати.

Останнім часом у практиці водопідготовки найбільшого поширення набули способи підготовки і дозування реагентів у вигляді розчинів і суспензій. Тому в технологічних схемах передбачають наявність місткостей для розчинення реагентів, кислотостійких насосів для транспортування розчинів та дозаторів для дозування реагентів у потрібній кількості в очищувану воду. Розчини або суспензії готують у місткостях, яких має бути не менше двох.

Для інтенсифікації процесу розчинення реагентів використовують механічне перемішування та циркуляцію розчину за допомогою насоса або проводять його барботування стисненим повітрям (рис. 3.2). У розчинних баках концентрація коагулянту досягає 6–7,5 %, а у витратних – 2–3 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Під час приготування розчинів очищеного коагулянту днище в розчинних баках має бути нахилене під кутом 15 ° до горизонталі.

На водоочисних спорудах невеликої продуктивності (до 1 000 м<sup>3</sup>/добу) застосовують суміщені розчинно-витратні місткості (рис. 3.2, а). В розчинну

місткість завантажують коагулянт і воду, і розчин коагулянту надходить у витратну місткість через днище. В цю саму місткість надходить вода для розбавлення та стиснене повітря для барботування через систему дірчастих труб, розміщених на дні апарата. Для забезпечення безперервного подавання розчину коагулянту в технологічний процес водоочищення місткість має два відділення.

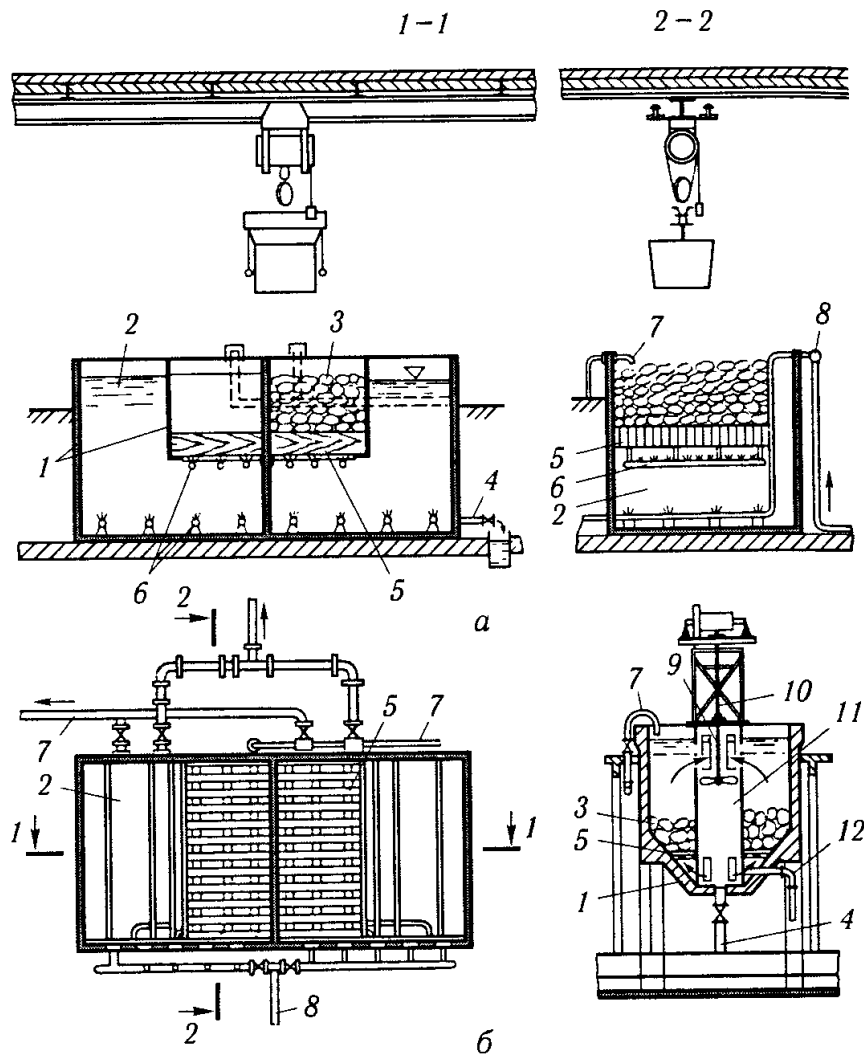


Рисунок 3.2 – Схема баків для приготування розчину коагулянту з барботажем повітрям (а) і механічним перемішуванням (б):

1 – залізобетонні резервуари з антикорозійним покриттям; 2 – витратний бак; 3 – куски коагулянту в розчинному баці; 4 – спорожнення бака; 5 – колосникова решітка; 6 – повіторозподільні системи; 7, 8 – відповідно подавання води і повітря; 9 – вікна для циркуляції води під час розчинення коагулянту; 10 – вісь мішалки; 11 – центрально розміщений стакан; 12 – відведення розчину коагулянту

Розчинні й витратні місткості на водоочисних спорудах великої продуктивності застосовують окремо. Місткості виготовляють із дерева або кислотостійких матеріалів, якщо споруди невеликої продуктивності, та із



залізобетону з антикорозійним захистом усередині, якщо споруди великої продуктивності.

Під час розчинення хлориду феруму місткості для реагентів розміщують в окремому добре вентильованому приміщенні. Поверх розчинних місткостей встановлюють колосникову решітку.

На очисних спорудах продуктивністю до 1 000 м<sup>3</sup>/добу місткості для реагентів можна розміщувати на верхньому поверсі для подавання їх самопливом, а на високопродуктивних комплексах місткості для реагентів розміщують поряд зі складом реагентів на першому поверсі. При цьому розчини подають до дозаторів насосами.

Для підлугування і стабілізації води застосовують вапно у вигляді вапняного молока концентрацією до 5 % СаО або розчин концентрацією до 1,4 г/л, а також розчин карбонату натрію концентрацією 5–8 %. За добового використання вапна до 50 кг СаО можна застосовувати вапняний розчин, приготовлений у сатураторах. За більшого використання вапна приготування вапняного розчину або вапняного молока здійснюють у місткостях, кількість яких має бути не менше двох. Місткості повинні мати конусне днище з кутом нахилу 45° і скидні трубопроводи діаметром не менше ніж 100 мм. Безперервне перемішування розчину здійснюють барботуванням стисненим повітрям, механічним способом за допомогою мішалки або циркуляцією розчину за допомогою насоса. За умови використання високоякісного вапняного порошку доцільно використовувати сухе дозування із застосуванням дозаторів за масою або об'ємом.

Кількість баків приймають не менше двох. Вапняне молоко постійно скаламучують перемішуванням за допомогою насоса (гідравлічне), стисненого повітря або лопатевих мішалок.

Якщо використовують кускове вапно, то в технологічній схемі передбачають проміжний склад для його зберігання в сухому стані, а також дробарки, вапногасильники, резервуари-сховища, пристрої для відбирання і транспортування вапняного тіста, витратні місткості з циркуляційним перемішуванням, пристрої для очищення вапняного молока, дозатор.

Розчин карбонату натрію готують у залізобетонних або сталевих резервуарах з механічним або пневматичним перемішуванням. Для інтенсифікації розчинення застосовують підігріту до 50–60 °С воду.

Для дезодорації води готують вугільну пульпу концентрацією 5–10 %, замочуючи порошкоподібне активоване вугілля у місткостях з мішалками або за допомогою циркуляційного перемішування. Установки розміщують у добре провітрюваному приміщенні, в якому не менше ніж п'ятикратний обмін повітря.

Розчин поліакриламід (ПАА) готують у місткостях з лопатевими мішалками або з рециркуляцією розчину (рис. 3.3). Приготовлений розчин подають у витратний бак, з якого він з концентрацією 0,5–1 % за допомогою дозатора та ежектора повторно розбавляють до концентрації 0,1–0,25 % і подають в очищувану воду. Тривалість приготування розчину ПАА з гелю

становить 30–40 хв, а із сухого продукту – 2 год. Якщо для розчинення ПАА використовувати підігріту до 50 °С воду, тривалість розчинення зменшується.

Приготування розчинів активної силіцевої кислоти (АС) здійснюють взаємодією силікату натрію з розчином сульфату алюмінію або хлором на установках безперервної або періодичної дії. За витрати АС до 3 кг SiO<sub>2</sub> застосовують установки періодичної дії. До їх складу входять: розчинна місткість, хлоратор, відцентровий насос і дозатор.

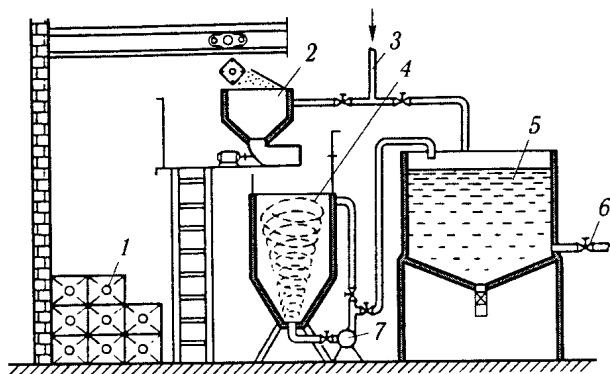


Рисунок 3.3 – Установка для приготування розчину поліакриламід (ПАА): 1 – склад напівфабрикату (8 %-й гель ПАА в ящиках або бочках); 2 – бункер об'ємного дозатора; 3 – подавання води; 4 – розчинний бак з безперервною циркуляцією розчину; 5 – витратний бак; 6 – відведення 0,5–1 %-го розчину ПАА; 7 – циркуляційний насос

Розчини фторовмісних реагентів готують у сатураторах одинарного насичення (для малорозчинних реагентів) або у витратних місткостях (для добре розчинних реагентів) з механічним або повітряним перемішуванням. Установки із сатураторами використовують на водоочисних станціях продуктивністю до 50 тис. м<sup>3</sup>/добу, а установки з розчинно-витратними місткостями – на водоочисних станціях великої продуктивності.

Розчин перманганату калію концентрацією 0,5–2 % готують у розчинних баках, кількість яких має бути не менше двох. Так, за температури води до 2 °С розчинення перманганату калію триває 4–6 год, а за температури 40 °С – 2–3 год.

Розчин гексаметафосфату натрію (кальцію) концентрацією 2–3 % готують у місткостях з механічним перемішуванням у кількості не менше двох. Тривалість розчинення за температури 16–18 °С і безперервного перемішування становить 4–5 год, а за температури 50 °С – близько 2 год. Місткості для приготування розчинів повинні мати антикорозійне покриття.

### 3 Дозування реагентів

Ефективність очищення води із застосуванням коагулянтів і флокулянтів залежить насамперед від встановлення оптимальної дози коагулянту. Останню визначають у контрольно-аналітичній лабораторії. Дослідження проводять на очищуваній воді в умовах, наближених до технологічного процесу, на лабораторній установці пробної коагуляції.

Суть пробної коагуляції полягає в тому, що очищувану воду наливають у кілька циліндрів або стаканів (не менше чотирьох) об'ємом 4–2 л і поміщають їх у водяний термостат. Температура води у термостаті має відповідати температурі очищуваної води. Циліндри витримують у термостаті до досягнення встановленої температури. Після цього у три циліндри додають різні дози розчину коагулянту сульфату алюмінію або інших реагентів, ретельно перемішують мішалкою впродовж 1–2 хв і відстоюють 30–90 хв. В одному з циліндрів відстоюють воду без додавання коагулянту («холостий» дослід). Після цього визначають вміст завислих речовин у відстоюній (проясненій) воді в кожному із циліндрів фотометричним або гравіметричним методами, а також кольоровість і залишковий вміст алюмінію за відповідними методиками.

Отримані дані заносять до таблиці та будують графік у координатах: вміст завислих речовин ( $\text{мг/дм}^3$ ) на осі ординат і доза коагулянту ( $\text{мг/л}$ ) на осі абсцис. З отриманих результатів дослідів визначають оптимальну дозу коагулянту, за якої досягають нормативного вмісту завислих речовин, залишкового вмісту алюмінію та кольоровості в очищуваній воді. Цю оптимальну дозу приймають для здійснення технологічного процесу очищення води.

З метою забезпечення безперервного подавання оптимальної дози коагулянту в очищувану воду його дозують за допомогою дозаторів. У водопідготовці застосовують дозатори розчинів і суспензій для дозування коагулянтів та інші способи дозування газуватих і твердих реагентів, які можна класифікувати на три види:

- дозатори постійної дози;
- пропорційні дозатори, які автоматично підтримують дозу відповідно до змін витрат води або її якості;
- насоси-дозатори.

Реагенти можна подавати у відкритий потік чи в спеціальний змішувач, в якому вони швидко розчиняються.

У практиці водопідготовки часто застосовують дозатор постійної дози системи В. В. Хованського, схему якого зображено на рисунку 3.4. Він складається з поплавка і підвішеного над ним гнучкого шлангу. В отворі трубки під поплавком знаходиться дозувальна діафрагма. Оскільки цей отвір знаходиться на тому самому рівні від поверхні розчину (тобто зберігається сталий напір), то кількість розчину, що витікає через ту саму діафрагму, буде також сталою. Змінюючи внутрішній діаметр діафрагми, регулюють кількість розчину, що витікає через гнучкий шланг. Для запобігання тому, щоб шланг не працював як сифон, до трійника під поплавком приєднують повітряну трубку, кінець якої виходить вище за рівень розчину.

Схему пропорційного дозатора розчину зображено на рисунку 3.5, а. Більша частина потоку води надходить у змішувач, менша – у водомірну ємкість. Із ємкості вода виходить через патрубок з діафрагмою і надходить через лійку в змішувач. Водомірна ємкість також має поплавок, який за допомогою тросика, перекинутого через блок, підтримує на певній висоті

дозувальну трубку з діафрагмою. Крізь останню із ємкості витікає певний об'єм реагенту, рівень якого підтримують сталим за допомогою зворотного клапана. У разі збільшення кількості води, яка надходить для очищення, рівень води у водомірній ємкості збільшується і поплавков піднімається. Дозувальна трубка при цьому опускається і витрата розчину реагенту збільшується пропорційно кількості очищуваної води. У водомірній ємкості заспокійлива камера відокремлена перегородкою.

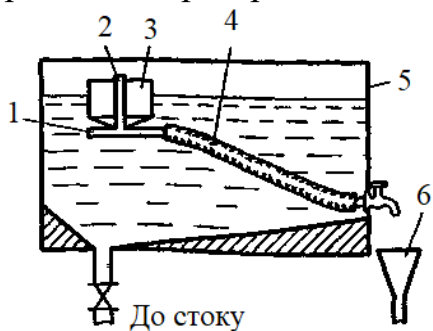


Рисунок 3.4 – Схема дозатора розчинів постійної витрати:

1 – дозувальна діафрагма; 2 – повітряна трубка; 3 – поплавок; 4 – гумовий шланг; 5 – бак; 6 – приймальна лійка

Схему дозатора з «плаваючою трубкою» зображено на рисунку 3.5, б. Завдяки тросику, що з'єднується з лебідкою, регулюється висота рівня розчину коагулянту, витрата якого встановлюється пропорційно витраті води, що протікає крізь діафрагму, встановлену в трубопроводі.

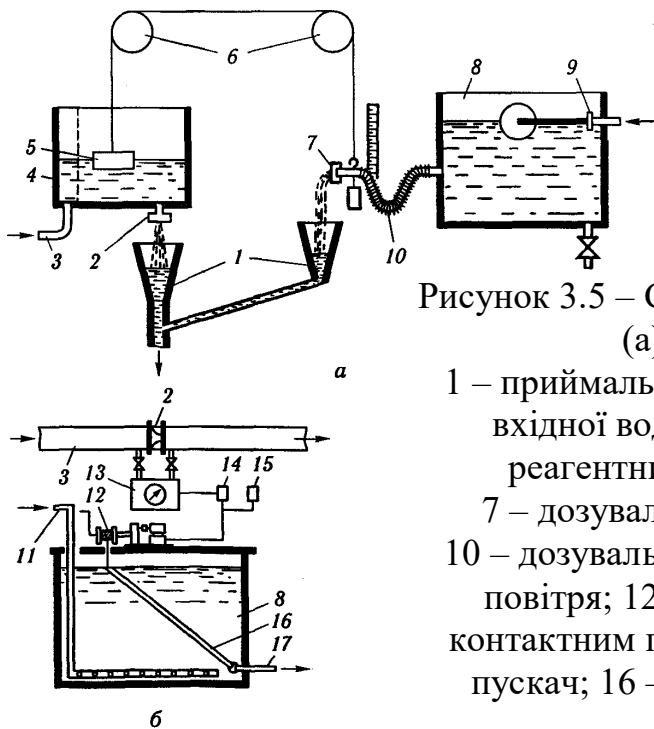


Рисунок 3.5 – Схеми дозаторів пропорційної витрати (а) і «плаваючої труби» (б):

1 – приймальні лійки; 2 – діафрагма; 3 – подавання входної води; 4, 8 – відповідно водомірний і реагентний баки; 5 – поплавок; 6 – блоки; 7 – дозувальна діафрагма; 9 – кульовий кран; 10 – дозувальна трубка; 11 – подавання і розподіл повітря; 12 – барабан лебідки; 13 – водомір з контактним пристроєм; 14 – реле; 15 – магнітний пускач; 16 – плаваюча трубка; 17 – відведення віддозованого реагенту

Автоматично діючий дозатор пропорційної дози системи Чейшвілі Кримського зображено на рисунку 3.6. Дія його ґрунтується на різниці електропровідності неперервно коагульованої води і тієї самої води після введення коагулянту. За таким самим принципом працює дозатор АОВ-2, розроблений в Інституті загальної та неорганічної хімії НАН України (м. Київ).

Останнім часом, як у нашій країні, так і за кордоном, у практиці водопідготовки для дозування реагентів широко застосовують плунжерні та гвинтові насоси-дозатори.

Тверді порошкоподібні та гранульовані реагенти дозують тарілковими, вібраційними, шнековими й стрічковими дозаторами за об'ємом і масою. Дозатор для дозування реагентів у твердому стані (сухе дозування) зображено на рисунку 3.7. Віддозований дозаторами реагент за допомогою змивного пристрою (слешера) та ежектора транспортується водою до змішувача. Значними перевагами сухого дозування є компактність установки, простота схеми автоматизації, попередження корозії обладнання та істотне зменшення капітальних витрат.

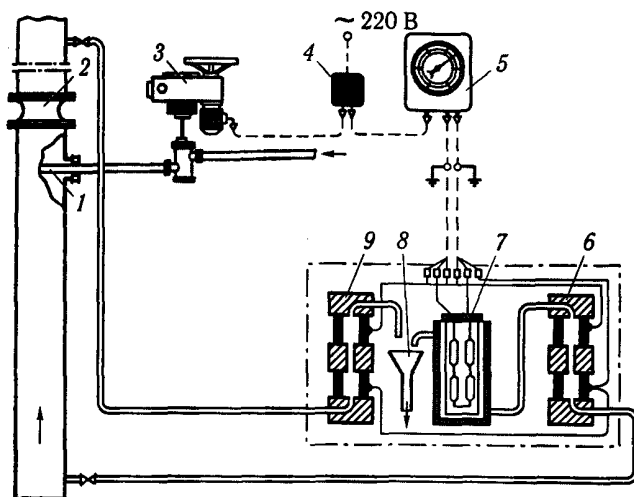


Рисунок 3.6 – Схема кондуктометричного дозатора системи Чейшвілі-Кримського:

1 – підведення розчину коагулянту; 2 – шайбовий змішувач; 3 – кран для регулювання подавання коагулянту; 4 – магнітний пускач; 5 – вимірювальний прилад; 6, 9 – відповідно комірки некоагульованої і коагульованої води; 7 – компенсаційна комірка; 8 – зливна лійка

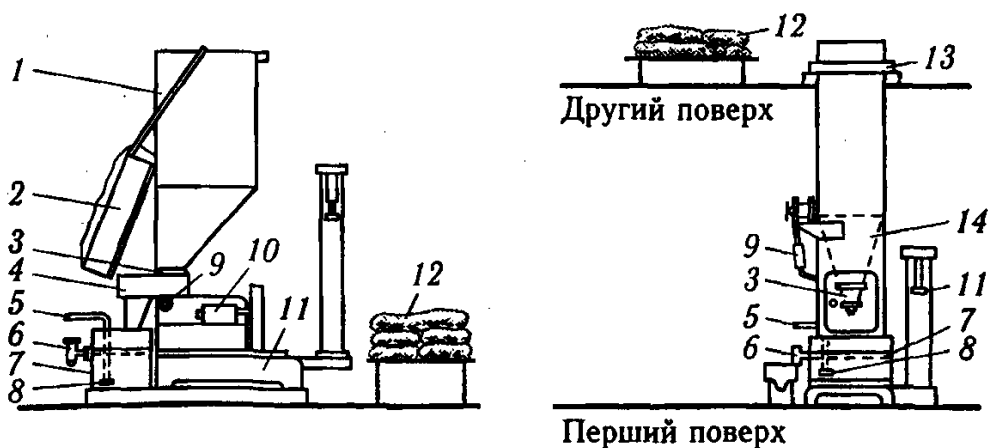


Рисунок 3.7 – Апарат сухого дозування реагентів:

1 – живильний бункер; 2 – завантажувальний пристрій; 3 – подавальний механізм; 4 – коробка передач; 5 – подавання води; 6 – зливання готового розчину; 7 – розчинна камера; 8 – перемішувальний струмінь; 9 – регулятор подавання реагенту; 10 – електродвигуни; 11 – ваги; 12 – затарований реагент; 13 – гнучке сполучення; 14 – приймальна лійка

### **Контрольні питання**

1. Які використовують основні реагенти та матеріали у практиці водопідготовки?
2. Які основні закономірності введення реагентів в очищувану воду?
3. Опишіть послідовність введення реагентів в очищувану воду залежно від її якості.
4. Як вводять в воду коагулянти?
5. Як вводять в воду флокулянти?
6. Як здійснюють знезараження води?
7. Як проводять амонізацію води?
8. Як вводять фторовмісні реагенти?
9. Здійснення яких процесів передбачають технологічні схеми реагентного господарства?
10. Охарактеризуйте схеми організації реагентного господарства.
11. Як здійснюють складування і зберігання реагентів?
12. Основні принципи приготування розчинів коагулянтів.
13. Основні принципи приготування вапняного молока.
14. Основні принципи приготування розчинів флокулянтів.
15. Як визначають оптимальну дозу коагулянту?
16. Які типи дозаторів застосовують у водопідготовці?
17. Принцип роботи дозаторів постійної дози.
18. Принцип роботи пропорційних дозаторів.
19. Дозування твердих порошкоподібних та гранульованих реагентів.

## **ТЕМА 4 КОАГУЛЯЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД**

1. *Механізм очищення води коагулянтами.*
2. *Технологія очищення води коагулянтами.*
3. *Очищення води флокулянтами.*
4. *Контактна коагуляція.*
5. *Електрохімічна коагуляція.*

### **1 Механізм очищення води коагулянтами**

Природні й стічні води, що містять дрібнодисперсні часточки розміром від  $10^{-9}$  м до  $10^{-4}$  м, утворюють колоїдно-дисперсну систему. Зокрема, домішки, які зумовлюють каламутність і забарвленість води, різняться надзвичайно малими розмірами, внаслідок чого їх осадження відбувається досить повільно. За розміром часточок (ступенем дисперсності) дисперсні системи поділяють на грубо- і тонкодисперсні. У грубодисперсних системах (зависі, суспензії, емульсії) часточки мають розмір понад 0,1 мкм, осідають або спливають у гравітаційному полі, не проникають крізь паперові фільтри і видимі в оптичному мікроскопі. Тонкі дисперсні колоїдні розчини (золі) містять часточки завбільшки від  $10^{-7}$  м до  $10^{-9}$  м, які проникають крізь звичайні фільтри, але затримуються в ультрафільтрі (пергамент, целофан), практично не осідають і видимі в оптичному мікроскопі.

Стійкість дисперсних систем залежить від їх властивостей та властивостей дисперсійного середовища (води) і дисперсної фази. Властивості дисперсійного середовища характеризуються вмістом розчинених солей, газів, органічних поверхнево-активних та інших речовин, а також кислотністю, лужністю, твердістю, густиною, в'язкістю, поверхневим натягом тощо. На властивості дисперсної фази впливають розмір, форма часточок, їх хімічний і мінералогічний склад, щільність, пористість, іонообмінна ємність, заряд поверхні часточок, адсорбційні властивості тощо. Ці властивості залежать від складу природної води, перероблюваної сировини і реагентів, параметрів технологічних процесів та інших факторів, які визначають склад стічних вод.

Для очищення природних і стічних вод, що утворюють колоїдно-дисперсну систему, треба провести розділення рідкої й твердої фаз з метою виділення завислих речовин. При цьому внаслідок малого розміру часточок дисперсної фази, а також високої агрегативної і седиментаційної стійкості системи виникають певні ускладнення. Інтенсифікувати процес розділення, тобто порушити агрегативну стійкість колоїдно-дисперсної системи, можна за рахунок укрупнення часточок в агрегати під дією коагулянтів, флокулянтів та їхніх сумішей.

Низькомолекулярні неорганічні або органічні електроліти, що сприяють агрегації часточок, називають коагуляторами. Як коагулятори можна використовувати коагулянти і флокулянти. Коагулянти – солі, що гідролізують, наприклад сульфати або галогеніди багатозарядних катіонів, переважно алюмінію і феруму, рідше титану та інших металів. Флокулянти – неорганічні та органічні високомолекулярні сполуки, сприяють утворенню агрегатів за рахунок об'єднання кількох часточок за допомогою макромолекул адсорбованого або хімічно зв'язаного полімеру.

Отже, суть процесу коагуляційного очищення води від колоїдно-дисперсних речовин полягає у зниженні стійкості дисперсних систем за допомогою агрегування часточок дисперсної фази під дією коагуляторів (коагулянтів і флокулянтів) з подальшим відокремленням агрегованих часточок відстоюванням, фільтруванням, центрифугуванням та іншими способами.

Дисперсні системи поділяють на ліофільні та ліофобні. Відмінність у характері прояву сил міжмолекулярної взаємодії на межі поділу фаз дисперсної системи зумовлює різний механізм стабілізації й коагуляції ліофобних та ліофільних колоїдів. Ліофільні системи характеризуються сильною міжмолекулярною взаємодією часточок дисперсної фази з дисперсійним середовищем (водою), довільним диспергуванням і термодинамічною стійкістю системи. До ліофільних систем належать глини, мила, агрегати високомолекулярних сполук тощо, які утворюють у водному середовищі необмежено стійкі дисперсні системи. Ліофобні системи характеризують значною енергією зв'язку всередині дисперсної фази, яка значно перевищує енергію її взаємодії із середовищем. У цьому разі диспергування відбувається під дією зовнішніх сил – механічних і хімічних.

Серед ліофобних колоїдів розрізняють седиментаційну та агрегативну стійкість. *Седиментаційною* називають *стійкість* дисперсії щодо сили

гравітації. Розділення фаз у цьому разі відбувається як осадженням часточок під дією сил гравітації, так і втратою агрегативної стійкості в результаті об'єднання часточок при добавлянні електролітів і флокулянтів, а також під дією інших факторів, наприклад нагрівання.

Отже, під *агрегативною стійкістю* розуміють здатність часточок протистояти злипанню. Тонкодисперсні колоїдні розчини (золі, мікроемульсії) відрізняються від грубодисперсних суспензій (зависей) високою агрегативною стійкістю. Між колоїдними часточками діють сили притягання і відштовхування. Стійкість дисперсної системи залежить від хімічної природи поверхні часточок і визначається балансом сил притягання і відштовхування. Між часточками переважно діють молекулярні сили притягання – сили Ван дер Ваальса, електростатичні сили відштовхування (в випадках вони можуть зумовити притягання), структурні сили відштовхування, спричинені взаємодією абсорбованих макромолекул. Молекулярні та електростатичні сили є універсальними, дія яких спостерігається завжди, навіть у разі переважання інших сил. Сили відштовхування адсорбованих молекул і структурні більш специфічні. Вони діють лише поблизу ліофільних або ліофілізованих (наприклад, за рахунок адсорбції поверхнево-активних речовин) поверхонь, перші – за наявності достатньо довгих адсорбційних шарів високомолекулярних сполук. Залежно від природи переважаючих сил відштовхування розрізняють такі фактори стійкості дисперсій: електростатичний, молекулярно-сольватаційний (структурний) та стеричний (ентропійно-ентальпійний).

Як коагулянти використовують переважно солі алюмінію та феруму. Одним із найпоширеніших коагулянтів є *сульфат алюмінію*. Ця сіль утворена багатозарядним катіоном слабкого лугу та аніоном сильної у кислоти, ступінчасто гідролізує з утворенням гідроксокомплексів складу  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_5(\text{OH})]^{2+}$  (перший ступінь),  $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_4(\text{OH})_2]^+$  (другий ступінь) та  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (третій ступінь).

За достатньо високої концентрації гідроксид-іонів сульфат алюмінію безпосередньо гідролізує до  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . При цьому в нерівноважному розчині, яким є очищувана вода, містяться також мономерні та димерні аквагідроксокомплекси алюмінію, що утворюються ще на стадії приготування робочих розчинів коагулянту. Ці комплекси хемосорбуються на поверхні часточок гідроксиду алюмінію, надаючи останнім відповідного заряду. Тому в дисперсній системі можуть міститися часточки, що характеризуються різними дисперсністю і величиною заряду. В результаті гідролізу їхня поверхня втрачає електричний заряд, що сприяє коагуляції.

Позитивно заряджені часточки колоїдів можуть адсорбуватися безпосередньо на негативно заряджених часточках осаджуваних домішок, у наслідок чого відбувається гетерокоагуляція.

Міцели коагулюють спонтанно в усьому об'ємі дисперсної системи за механізмом розгалуженого ланцюга з утворенням агрегатів переважно за



рахунок міжмолекулярних сил Ван дер Ваальса за принципом молекулярної реакції. Взаємодія міцел відбувається в зоні швидкої коагуляції, коли всі часточки, що перебувають у броунівському русі, при зближенні злипаються.

Між дисперсними часточками діють сили притягання і відштовхування. При введенні сульфату алюмінію в розчин сили відштовхування слабшають, а потім повністю зникають. Міцели скоагульованого золю, перебуваючи на близькій відстані або зближуючись у результаті броунівського руху на досить близьку відстань, під дією сил міжмолекулярного притягання Ван дер Ваальса і наступної гідролітичної взаємодії сполучаються водневим зв'язком у кулясті агрегати золю завбільшки до 20 нм. На їх поверхні розміщуються заряджені поліядерні аквагідроксокомплекси алюмінію – активні центри поверхні. Позитивний заряд цих комплексів компенсується протиіонами  $\text{SO}_4^{2-}$ , якщо останні не сполучені з іншими іонами, що мають з ними більшу хімічну спорідненість.

Унаслідок наявності на поверхні часточок заряджених алюмінієвих аквагідроксокомплексів виникають електростатичні сили відштовхування, що мають стабілізувальну дію. Стабілізації дисперсної системи також сприяють гідратні оболонки навколо часточок. У разі віддаляння часточок на значну відстань порівняно з їх розмірами між ними не відбувається притягання або відштовхування. В результаті броунівського руху позитивно заряджені часточки зближуються, і виникають електростатичні сили відштовхування, що додаються до сил молекулярної притягання. Зі зменшенням відстані між часточками результуюча дія цих протилежних сил зумовлює превалювання сил відштовхування. У разі подальшого зближення сили відштовхування зменшуються, і починають переважати сили притягання. Для того щоб відбулася коагуляція, часточки мають подолати сили відштовхування (енергетичний бар'єр), що може відбуватися за достатньо високої енергії руху часточок або зниження висоти бар'єра. Що вищий цей бар'єр і менша енергія руху часточок, то менша ймовірність їх злипання і то повільніше відбувається процес коагуляції («млява» коагуляція) або він зовсім припиняється. Зі зменшенням величини електричного заряду або в разі його відсутності, а також із підвищенням енергії руху часточок сили відштовхування зменшуються, і процес коагуляції інтенсифікується.

У міру зниження температури очищеної води значно підвищується в'язкість дисперсійного середовища і зменшується ступінь гідролізу сульфату алюмінію. Так, при зниженні температури води від 30 °С до 0 °С в'язкість води збільшується у 2,2 рази, що спричинює відповідно зменшення інтенсивності броунівського руху і, як результат, – швидкість коагуляції. Саме це і спостерігається у практиці очищення води з використанням сульфату алюмінію взимку, коли температура води знижується до 4 °С. У зв'язку з малою кінетичною енергією кулястих агрегатів утворюються слабкі пухкі пластівці. У цьому разі для поліпшення процесу коагуляційного очищення води застосовують досить високі дози сульфату алюмінію або його дробне дозування за одночасного збільшення лужного резерву (підлугування), що сприяє підвищенню ступеня гідролізу і концентрації часточок.

Дуже ефективним є застосування коагулянтів з підвищеною основністю ( $\alpha_0$ )-гідроксосульфатів алюмінію полімерних гідроксокомплексів, які потребують значно меншого лужного резерву очищеної води. Корисним є також застосування змішаних коагулянтів – сумішей солей алюмінію і феруму, а також каламутників і флокулянтів.

Солі феруму гідролізуються більше і є центрами коагуляції, на яких утворюються щільні, великі й досить міцні пластівці. Флокулянти сприяють укрупненню часточок і їх коагуляції. При цьому значно підвищується швидкість седиментації.

Як каламутники застосовують тонкодисперсні глини, мул (зависі після очищення води) тощо. Вони відіграють роль затравки (центрів коагуляції) й утворюють нестійку полідисперсну систему, в якій значно поліпшуються умови гетерокоагуляції.

Утворені в процесі гідролізу сульфату алюмінію позитивно заряджені поліядерні аквагідроксокомплекси – міцели й більші кулясті агрегати золю та менше полімеризовані аквагідроксокомплекси хемосорбуються на поверхні глинистих або інших мінеральних часточок очищеної води. При цьому відбувається їх взаємодія з гідратною оболонкою глинистої часточки за участю водневого зв'язку й одночасно компенсується заряд. У результаті часточки зависі вкриваються щільним шаром часточок гідроксиду алюмінію (рис. 4.1). Отже, завислі речовини (каламутники) очищеної води відіграють роль поверхні, яка «провокує» перші етапи адсорбційно-коагуляційної взаємодії, і сприяє утворенню щільних агрегованих структур. Завдяки великій кількості центрів коагуляції структура стає розгалуженою і щільнішою.

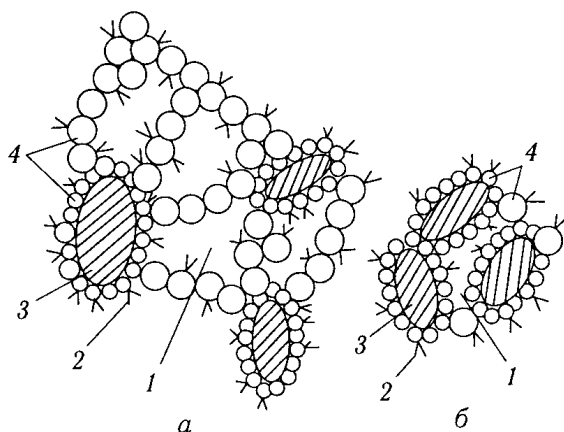


Рисунок 4.1 – Модель структури пластівців (а, б):  
1 – захоплена вода; 2 – гумінові речовини; 3 – глинясті часточки зависі; 4 – часточки гідроксиду алюмінію

Глинисті часточки, вкриті «шубою» дрібніших кулястих часточок гідроксиду алюмінію, сполучуються ланцюговими структурами гідроксиду алюмінію, утворюючи мозаїчну структуру. Утворення ланцюгів-містків відбувається за малої концентрації глинистих часточок в очищеній воді (рис. 4.1, а). За підвищеного вмісту останніх (вкритих «гідроксидною шубою») вони можуть з'єднуватися, утворюючи щільніші пластівці (рис. 4.1, б). У разі більших глинистих часточок процес потребує менших витрат коагулянту.

Коагуляція ланцюгів гідроксиду алюмінію з глинистими часточками, вкритими «гідроксидною шубою», або глинистих часточок між собою

відбувається в результаті переміщення часточок з різними швидкостями під дією сили гравітації (*гравітаційна коагуляція*) або завдяки інтенсивному перемішуванню (*градієнтна коагуляція*). Гравітаційна коагуляція відбувається в результаті інерційних явищ, осадження захопленням і підтягуванням часточок. Інерційні сили діють у разі безпосереднього зіткнення відносно великих (понад 100 нм) полідисперсних часточок. Дрібніші часточки переважно осаджуються захопленням і підтягуванням під час руху по

Отже, весь процес прояснення води, починаючи з утворення міцелл (перших «цеглинок» структури пластівців) і закінчуючи їх осадженням, умовно поділяють на кілька етапів (рис. 4.2). На першому етапі, після введення коагулянту в очищувану воду, відбувається його гідроліз з утворенням міцел і подальшим їх агрегуванням у більші кулясті часточки золю (приблизно 10–100 нм). При цьому спостерігається опалесценція – так звана стадія прихованої коагуляції. Потім настає період побудови ланцюгових структур та утворення величезної кількості найдрібніших пластівців, що агрегуються на більші, і, досягнувши певних розмірів, під дією сили гравітації осідають – стадія седиментації. Насправді ці етапи чітко один за одним не відбуваються, а перекриваються, ускладнюючи процес прояснення.



Рисунок 4.2 – Зміна каламутності води в процесі коагулювання:

I – прихована коагуляція; II – початок утворення пластівців;

III – початок седиментації; IV – закінчення седиментації

У процесі очищення води від завислих мінеральних речовини й особливо забарвлених (гумус та інші органічні речовини) найважливішу роль відіграють первинні часточки – міцели і більші кулясті часточки, що характеризуються високою поверхневою енергією. Початковим актом очищення води, очевидно, є взаємодія димерів та інших поліядерних аквагідроксокомплексів алюмінію з іонами й молекулами розчинених речовин, а потім і з колоїдними домішками. Процес знебарвлення переважно відбувається на стадії формування кулястих агрегатів, а прояснення – на стадії побудови ланцюгових структур.

Утворені великі пластівці в процесі очищення води швидко осідають. Тому первинні найдрібніші часточки золю гідроксиду алюмінію, відігравши основну роль в очищенні води – сорбції домішок, об'єднуються у великі

пластівці, які швидко осідають. Для підвищення ефективності очищення води від колоїдно-завислих речовин потрібно забезпечити найсприятливіші умови для гідролізу сульфату алюмінію, максимальну швидкість утворення міцел і первинних агрегатів золю на першому етапі, а також максимальну швидкість утворення достатньо великих пластівців, що швидко осідають на наступному етапі.

Для швидкого осадження пластівців у відстійниках вони повинні мати розміри 0,003–0,007 м та велику щільність.

Об'єм твердих часточок в одиниці об'єму пластівців чистого гідроксиду алюмінію у разі використання як коагулянтів солей алюмінію незначний і вимірюється десятими частками відсотка. Пластівці мають щільність 1,001–1,003 кг/дм<sup>3</sup> і характеризуються пухкою структурою з великим умістом рідини. Пухкі та легкі пластівці утворюються під час коагулювання кольорових малокаламутних вод, а щільніші й важчі з підвищеним об'ємом (до кількох відсотків) твердих часточок – за підвищеного вмісту зависі в оброблюваній воді.

Структура пластівців залежить від складу дисперсної системи, хімічної природи коагулянтів і технологічних параметрів процесу коагулювання. Підвищення концентрації хлоридів і гідрокарбонатів у воді, яка очищується ферумовмісними коагулянтами, сприяє зміцненню структури пластівців, а сульфати зменшують її. У першому випадку утворюються великі пухкі пластівці, в другому – дрібнокрісталічні.

У разі застосування коагулянтів у вигляді 0,01 %-них розчинів FeCl<sub>3</sub> і Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> структура пластівців буде міцнішою для хлориду феруму.

## ***2 Технологія очищення води коагулянтами***

Технологія очищення води коагулянтами складається з таких основних операцій (рис. 4.3):

- складування реагентів;
- попереднє прояснення;
- підлогування води;
- підготовка і змішування коагулянту;
- знебарвлення і прояснення.

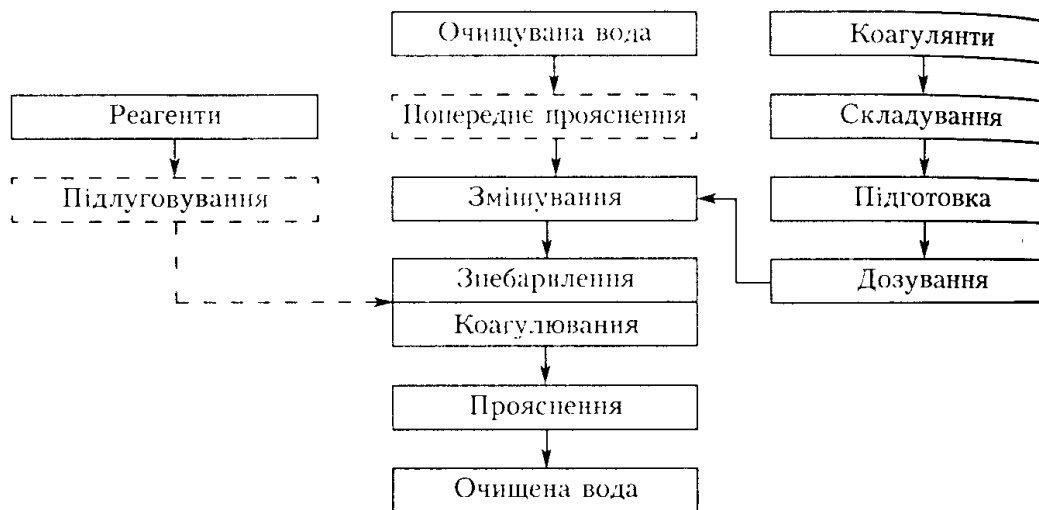


Рисунок 4.3 – Технологічна схема очищення води коагулянтами

У разі полідисперсного складу завислих речовин, особливо за наявності поряд із колоїдно-дисперсними грубодисперсних зависей (пісок, часточки руди та нерудних копалин), природні й стічні води попередньо прояснюють. Дрібніші мінеральні або органічні зависі відокремлюють також відстоюванням або фільтруванням. Попереднє фільтрування на мікрофільтрах можна проводити перед повільними пісковими фільтрами, перед обробленням води коагулянтами або перед швидкими пісковими фільтрами. Як відстійні споруди застосовують ставки-відстійники, горизонтальні відстійники та їх поєднання, а також різні відстійники періодичної й безперервної дії (вертикальні, горизонтальні, радіальні, трубчасті, пластинчасті тощо). Для відокремлення грубодисперсних речовин застосовують також гідроциклони напірного і безнапірного типів.

Очищувану воду підлогувають, якщо лужний резерв недостатній для задовільного гідролізу коагулянтів. Для підлогування води і зв'язування утворюваного під час гідролізу агресивного оксиду карбону (IV) застосовують гідроксид і карбонат натрію, карбонат кальцію і вапно, а також у невеликих кількостях аміак та аміачну воду.

Під час підлогування значення рН підтримують у межах 6,5–7,5. Це сприяє також зменшенню залишкового вмісту алюмінію і заліза в очищуваній воді та зниженню її корозійної здатності.

Прояснення і знебарвлення каламутних вод з підвищеною твердістю коагулянтами доцільно проводити за високих значень рН, а забарвлених м'яких вод – за знижених. Особливо важливим є порядок введення реагентів. Так, у разі введення підлогувальних реагентів у забарвлену воду перед додаванням коагулянтів погіршуються процес коагуляції та якість її очищення. У воді залишається підвищений вміст забарвлених речовин, утворюються дрібні пластівці гідроксидів, з'являється опалесценція. Вода краще знебарвлюється після введення підлогувальних реагентів – коагулянтів, оскільки частина забарвлених речовин встигає сорбуватися у момент утворення гідроксидів.

Органічні речовини, що містяться у воді у вигляді гуматів натрію, за низьких значень рН гідролізують з утворенням негативно заряджених часточок. Останні енергійно взаємодіють із позитивно зарядженими поліядерними гідроксокомплексами (міцелами). Тому в разі оброблення коагулянтами високозабарвлених вод їх підлуговують після введення коагулянтів. Гідроксид і карбонат натрію застосовують для підлуговування очищеної води.

Одним з найважливіших технологічних параметрів процесу очищення води коагуляцією є доза коагулянту. Її оптимальна величина залежить від властивостей дисперсної системи – температури, кількості завислих і колоїдно-дисперсних речовин, кольоровості, іонного складу дисперсійного середовища, значення рН та інших фізико-хімічних показників. У разі недостатньої дози коагулянту потрібний ефект очищення не досягається, а в разі надлишку – поряд з перевитратою високовартісного реагенту в деяких випадках процес коагуляції може погіршитися.

Зі зменшенням температури оброблюваної води доза коагулянту значно зростає, особливо у разі каламутних вод та зі збільшенням вмісту у воді завислих речовин, зокрема тонкодисперсних зависей. За значного вмісту завислих речовин вони, вкриваючись «кожухом» колоїдних часточок гідроксиду алюмінію, коагулюють, запобігаючи утворенню довгих ланцюгових містків з кулястих часточок, унаслідок чого потрібна менша доза коагулянту. Для високозабарвлених вод з підвищенням їх лужності доза коагулянту збільшується, для каламутних – зменшується.

Дозу коагулянту визначають методом пробного коагулювання.

Щоб коагулювання відбувалося швидко і в усьому об'ємі очищуваної води, слід інтенсивно змішувати реагенти впродовж незначного проміжку часу (1–2 хв за мокрого і не більш як 3 хв – за сухого дозування реагентів) у гідравлічних або механічних змішувачах. Змішування коагулянту з водою має відбуватися так, щоб спочатку утворювалася велика кількість дрібних агрегатів, на поверхні яких містилися хемосорбовані заряджені поліядерні гідроксокомплекси алюмінію, що мають високу активність щодо очищуваних домішок.

В одноступінчастій технологічній схемі коагулянт добавляють у безпосередній близькості від фільтрів. Реагент бажано ввести у відносно невеликий об'єм очищуваної води, а потім швидко змішати її з рештою (*роздільне коагулювання*). Збільшення початкової концентрації коагулянту сприяє інтенсифікації процесу коагуляції внаслідок підвищення часткової концентрації коагулянту в оброблюваному об'ємі води (*концентроване коагулювання*). Іноді рекомендують таке співвідношення об'ємів обробленої і необробленої води – 1 : 1,5. У разі концентрованого коагулювання витрати сульфату алюмінію зменшуються на 20–30 %, знижуються також каламутність і кольоровість води.

Ефективним є *фракційне* (дробне, або часткове) коагулювання води, за якого коагулянт добавляють до очищуваної води двома чи кількома порціями або послідовно вводять різні коагулянти. При цьому утворюються полідисперсні агрегати коагулянту та збільшується період утворення позитивно

заряджених поліядерних гідроксокомплексів, унаслідок чого коагуляція інтенсифікується. Рекомендований оптимальний інтервал часу між введенням окремих частин коагулянту становить 90–120 с. У разі знебарвлення води перша доза коагулянту має становити половину загальної.

*Переривчасте* (періодичне) коагулювання ґрунтується на поєднанні концентрованого і фракціонованого методів. Періоди подавання збільшених доз коагулянту чергуються з періодами повного припинення коагулювання. В результаті такого оброблення малокаламутної води за двоступінчастою схемою витрати коагулянту зменшуються на 30–40 %, ступінь знебарвлення води підвищується. Більш глибоке видалення забарвлювальних домішок зумовлене меншими значеннями рН у період подавання збільшених доз коагулянту.

Інтенсифікації коагулювання досягають також *рециркуляцією коагулянту* (коагульованої зависі). Суть способу полягає у подаванні частини відпрацьованого осаду в зону подавання свіжих порцій коагулянту. Це сприяє прискоренню процесу й утворенню щільніших пластівців. Застосування цього способу ефективно для інтенсифікації коагулювання малокаламутних вод, причому значно (до 30 %) скорочуються витрати коагулянту.

Процес утворення пластівців успішно відбувається за повільного і рівномірного перемішування дисперсної системи, що сприяє агломерації дрібних пластівців у більші, які легко осідають. Особливо потрібно перемішування за низьких температур оброблюваної води (нижче 5 °С). Під час перемішування прискорюється ріст часточок у результаті їх зіткнення, збільшується взаємозв'язок та утворюються міцніші пластівці. Перемішування позитивно впливає на утворення пластівців тоді, коли часточки досягли певного розміру в результаті броунівського руху (кулясті агрегати розміром 0,02 мкм і більше). При цьому перикінетична коагуляція переходить у зону ортокінетичної коагуляції в потоці, що рухається (градієнтне і гравітаційне коагулювання). Тому за низьких температур слід забезпечити сприятливі умови для перебігу перикінетичної коагуляції (створення потрібного лужного резерву і введення підвищеної дози коагулянту, введення скаламутнювачів, подавання коагулянтів підвищеної концентрації або в менший об'єм очищеної води), а потім здійснити інтенсивне перемішування. Введенням додаткового каламутника за низької температури очищеної води тривалість утворення пластівців зменшується на 30–80 % за одночасного зменшення оптимальної дози коагулянту. Особливо прискорюється процес утворення пластівців після добавляння дрібнодисперсних часточок розміром менш як 3 мкм.

Як скаламутники застосовують дрібнодисперсні глинисті часточки (10 мг/дм<sup>3</sup>), порошкоподібне активоване вугілля (2–5 мг/дм<sup>3</sup>), чорний коагулянт (суміш порошкоподібного вугілля з коагулянтом), а також промивні води фільтрів та осади з відстійників. Цей прийом дає змогу істотно поліпшити якість очищеної води і зменшити витрати коагулянту.

Перемішування води не має бути занадто інтенсивним, щоб запобігти руйнуванню пластівців. Для забезпечення оптимальних умов перемішування перед відстійниками встановлюють камери для утворення пластівців, у яких за

допомогою перегородок або водоворотних пристроїв забезпечується вертикальний чи горизонтальний рух води.

Інтенсифікувати коагуляційне очищення води можна добавкою флокулянтів, накладанням електричного (коагуляція під струмом) і магнітного полів, а також дією ультразвуку та іонізуючого випромінювання.

Сформовані пластівці коагулянту разом з адсорбованими домішками відокремлюють від очищеної води в процесі прояснення, застосовуючи для цього відстоювання, фільтрування, центрифугування, флотацію.

### ***3 Очищення води флокулянтами***

Для регулювання стійкості дисперсних систем і, зокрема, інтенсифікації процесів очищення води від колоїдно-дисперсних речовин значного поширення набули різні флокулянти. До флокулянтів належать неорганічні або органічні високомолекулярні сполуки (далі – ВМС), які сприяють утворенню агрегатів у результаті об'єднання кількох часточок за допомогою макромолекули адсорбованого або хімічно зв'язаного полімеру.

Варто зазначити, що невеликі добавки (тисячні або мільйонні частки маси твердої фази) цих речовин істотно змінюють стабільність дисперсій. Вони прискорюють утворення пластівців гідроксидів алюмінію і феруму, осадження пластівців, збільшують щільність коагулянту та ступінь прояснення води.

У прояснювачах із завислим осадом флокулянти сприяють збільшенню вмісту часточок у завислому шарі та зменшенню винесення з нього зависей, внаслідок чого поліпшуються адгезійні властивості коагульованої зависі, збільшується швидкість фільтрування, зменшуються витрати води на промивання осадів, підвищується грязеемність фільтрів, а також збільшується продуктивність відстійників, прояснювачів, фільтрів, центрифуг та іншого обладнання, що використовується для розділення рідкої і твердої фаз. При цьому значно розширюються межі оптимальних значень рН і зменшується залишковий вміст алюмінію і заліза в очищеній воді. Застосування флокулянтів особливо ефективно за низьких температур очищеної води і значень рН (кислі стічні води). У разі оброблення флокулянтами малозабарвлених вод на 10–40 % знижуються витрати коагулянтів, зростає ступінь прояснення і знебарвлення води, а також приблизно в 1,5 рази збільшується продуктивність очисних споруд.

Процеси флокуляції складаються з адсорбції ВМС і агрегації часточок полімером. Тому, розглядаючи кінетику флокуляції, слід враховувати швидкість дифузії макромолекул до поверхні часточки і досягнення адсорбційної рівноваги.

Багато дослідників причиною флокуляції вважають утворення містків між дисперсними часточками за допомогою молекул (іонів) адсорбованої високомолекулярної сполуки. Флокуляція за механізмом місткоутворення буде різною для випадків установленої і невстановленої рівноваги адсорбції ВМС на поверхні часточок. У разі невстановленої адсорбційної рівноваги флокулянтами є високомолекулярні речовини, які, недостатньо закріплюючись на поверхні, слабо деформуються під час адсорбції або містять досить довгі петлі й хвости.



Іншою умовою флокуляції за механізмом місткоутворення має бути наявність вільної поверхні на сусідніх (що зближуються) часточках, на яких можуть адсорбуватися незв'язані ділянки макромолекул. Флокуляція найефективніша на половинному покритті поверхні від гранично можливої.

За умови рівноваги реагенту флокуляція відбувається впродовж кількох годин. При цьому ефективність процесу менше залежить від ступеня полімеризації реагентів, оскільки, маючи різну молекулярну масу, вони утворюють на поверхні адсорбційні шари приблизно однакової товщини. Однак на процес у системі більше впливає концентрація електроліту. При цьому важливо, щоб довжина петель або хвостів адсорбованих макромолекул перевищувала радіус дії електричних сил відштовхування між часточками.

У разі флокуляції дисперсії можлива гетерокоагуляція високомолекулярними неорганічними полімерами (гелями силікатної кислоти), що гідролізуються багатозарядними іонами або глобулами поліелектролітів, які утворюють у розчині кінетичні одиниці колоїдних розмірів. Флокуляція дисперсій протилежно зарядженими електролітами пояснюється зниженням ефективного заряду й потенціалу часточок, тобто при цьому діє механізм, аналогічний механізму нейтралізаційної коагуляції золів багатозарядними протиіонами. Заряд поверхні та  $\xi$ -потенціал можуть знизитися як за рахунок накопичення достатньо великої кількості протилежно заряджених ланок у шарі Штерна (за умови помітної деформації макроіонів при адсорбції), так і внаслідок різних хімічних взаємодій між функціональними групами поліелектроліту та потенціалвизначальними іонами або протиіонами подвійного шару часточок. Добавки електролітів розширюють межі флокулюючої концентрації поліелектроліту внаслідок нейтралізації частини поверхневого заряду протиіонами.

На практиці, залежно від кількості добавленого реагенту, концентрації дисперсної фази, іонної сили розчину, тривалості контактування макромолекул з часточками та інших факторів, флокуляція однієї й тієї самої дисперсії поліелектролітом може відбуватися за різними механізмами – як за рахунок місткоутворення, так і внаслідок зниження заряду і потенціалу часточок.

Флокулянти, які застосовують для очищення води, поділяють на три групи:

- неорганічні полімери;
- природні високомолекулярні речовини;
- синтетичні органічні полімери.

Серед неорганічних флокулянтів найпоширенішою є активна силікатна кислота (далі – АК). Вважають, що вона є колоїдною системою, яка складається з часточок із чіткою поверхнею поділу фаз, тобто як золь  $\text{SiO}_2$ . Часточки сферичної форми мають розмір від 1 нм до 150 нм. За іншими уявленнями, АК є розчином високомолекулярних силікатних кислот.

До високомолекулярних флокулянтів природного походження належать крохмаль та його похідні, декстрин, альгінат натрію, і целюлози, гуарові смоли, хітозан, лігносульфонові кислоти та їх солі.

Значно частіше застосовують синтетичні високомолекулярні флокулянти

(далі – ВМФ), які поділяють на неіонні, аніонні та катіонні. Найпоширенішим є поліетиленоксид (ПЕО) зі складом елементарної ланки  $\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—O—}$ . Флокулянт змішується з водою у будь-яких співвідношеннях, добре розчиняється у більшості органічних розчинників.

Одним з найпоширеніших аніонних флокулянтів є поліакриламід (далі – ПАА) – полімер акриlamіду  $\text{—CH}_2\text{—CH—CONH}_2$ . Поліакриламідні флокулянти виготовляють переважно у вигляді гелю з масовою часткою полімеру 7–11 %, рідше – у вигляді гранул з масовою часткою основної речовини 82–98 %. Поліакриламід гідролізує із водою, лугами і кислотами з утворенням акрилової кислоти та її солей. У практиці широко застосовують гідролізовані поліакриламідні (далі – ГПАА), що є співполімерами акриlamіду з акрилатами за вмісту останніх понад 20 %. До аніонних флокулянтів належать гідролізований поліакрилонітрил (гіпан), співполімери акриlamіду, акрилонітрилу та акрилатів, а також метасол і полістиролсульфокислота.

До катіонних флокулянтів належать поліетиленімін (далі – ПЕІ), четвертинні амонієві солі на основі полістиролу, полімер піридинової солі (далі – ППС), полідиметиламіноетилметакрилати (далі – полі-ДМАЕМА), аміфлок, поліаміноалкілові естери метакрилової кислоти, полівінілпіролідони (далі – ПВП) та ін.

Добрими флокулянтами є полімери, що забезпечують максимальне очищення системи від дисперсних часточок за мінімальних витрат реагенту і достатньо великої протяжності ділянки флокуляції. Флокуляційна дія ВМС залежить від природи і кількості доданого полімеру, його молекулярної маси й заряду, умов уведення реагенту, вмісту в системі дисперсної фази та електролітів тощо.

Флокулянтами дисперсій можуть бути ВМС, що мають достатньо високу молекулярну масу, добре адсорбуються часточками і при цьому розчиняються в дисперсійному середовищі.

Важливим фактором, що визначає можливість флокуляції є достатньо міцне зв'язування макромолекули з часточками, чому сприяє утворення водневих зв'язків або хімічних сполук між активними центрами поверхні та функціональними групами реагенту. Крім того, утворення великої кількості контактів макромолекули (іона), що призводить до значної деформації полімеру під час адсорбції та формування достатньо тонкого адсорбційного шару, погіршує умови флокуляції.

Флокуляція і стабілізація дисперсій високомолекулярними речовинами взаємопов'язані. У міру зростання вмісту полімеру в системі її стійкість спочатку зменшується (флокуляція), а потім зростає (стабілізація). Довжина інтервалу зони флокуляції і стабілізації залежить від хімічної природи й молекулярної маси реагенту, концентрації дисперсної фази, вмісту в системі електролітів тощо. Залежно від концентрації ВМС у дисперсії у зв'язку з явно вираженим максимумом, що відповідає мінімальній стійкості, відбуваються зміни швидкості седиментації, фільтрування та об'єму осадів суспензії.

Флокуляційна здатність неіонних полімерів та однойменно заряджених поліелектролітів зазвичай зростає зі збільшенням ступеня їх полімеризації, що

зумовлює зменшення оптимальної дози реагенту. В деяких випадках виявлено екстремальну залежність флокуляційної дії ВМС від їхньої молекулярної маси. У разі флокуляції за механізмом місткоутворення та за нерівноважних умов адсорбції ВМС залежність ступеня флокуляції від молекулярної маси виражена чітко, і навпаки, для непокритих часточок і часточок за рівноважних умов адсорбції ВМС ступінь флокуляції мало залежить від молекулярної маси полімеру. Якщо флокуляція є результатом нейтралізації заряду поверхні, то ступінь полімеризації полімеру відіграє меншу роль.

У розбавлених дисперсіях кількість полімеру, що спричинює максимальну флокуляцію, прямо пропорційно залежить від концентрацій твердої фази. Проте така залежність спостерігається не завжди. Флокуляційна дія ВМС залежить також від способу їх внесення у дисперсну систему та тривалості й інтенсивності перемішування. У разі додавання полімеру в два прийоми однаковими порціями та за короткочасного повільного перемішування флокуляція поліпшується. Тривале й інтенсивне перемішування руйнує утворені флокули. Електроліти, як правило, поліпшують флокуляційну здатність полімерів. При цьому розширюється зона флокуляції та зменшується доза флокулянта.

Для очищення природних і стічних вод, що є складними багатокомпонентними системами й містять різні за величиною, електроповерхневими властивостями та гідрофільністю домішки, застосовують композиційні флокуляційні добавки. До складу добавок входять високомолекулярні сполуки, поверхнево-активні речовини, солі-коагулянти, а також добавки з великою поверхнею (АК, глинисті мінерали тощо). У технології очищення природних і стічних вод застосовують композиційні коагуляційні суміші, що складаються з сульфату алюмінію і позитивно заряджених часточок золю активної силікатної кислоти.

Ефективним прийомом розділення багатокомпонентних систем є *селективна флокуляція* (далі – СФ) – флокуляція часточок однієї речовини за незмінного або надто слабкого ступеня агрегації часточок іншої. Вона здійснюється в результаті селективного утворення агрегатів у суспензіях сумішей мінералів або інших дисперсних часточок під дією флокулянта і подальшого відокремлення агрегатів від неагрегованих часточок (наприклад, унаслідок осадження, флотації тощо). Селективна флокуляція може відбуватися вибірковою адсорбцією флокулянта на поверхні одних часточок або запобіганням адсорбції реагенту на поверхні інших, а також за рахунок різної оптимальної тривалості оброблення суспензії.

У разі селективної флокуляції в суспензію зазвичай одночасно із флокулянтом (або до його введення) додають диспергатори – речовини, що стабілізують часточки неагрегованого компонента і сприяють їх збереженню в диспергованому стані. Як диспергатори застосовують реагенти, адсорбція яких призводить до зростання від'ємного електродинамічного потенціалу поверхні твердих часточок (рідке скло, їдкий натр, фторид або сульфід натрію тощо).

У технології очищення природних і стічних вод від дисперсних часточок та органічних домішок для відокремлення твердої фази використовують ті самі

процеси, що й у разі коагуляції: осадження у відстійниках, прояснення в завислому шарі та фільтрування крізь зернисте завантаження. Флокулянти прискорюють формування й осадження пластівців у камерах утворення пластівців і відстійниках, поліпшують прояснення води і швидкість її руху в очисних спорудах. У прояснювачах із завислим осадом флокулянти сприяють збільшенню концентрації часточок у завислому шарі та зменшенню винесення з нього завислих часточок.

Застосування флокулянтів на фільтрах і в контактних прояснювачах збільшує прозорість фільтрату та інтенсифікує роботу апаратів.

На практиці широко застосовують аніонні, катіонні та неіонні ВМС. Найефективнішими є катіонні флокулянти, які корозійно неактивні, не потребують корекції рН очищеної води і додаткового внесення електролітів, що дає змогу виключити застосування нейтралізуючих реагентів та отримувати осади з меншою вологістю. Сильно- та слабкоосновні катіонні флокулянти застосовують для очищення каламутних вод від мінеральних забруднень, гумінових та фульвокислот.

#### ***4 Контактна коагуляція***

Контактна коагуляція – технологічний процес прояснення і знебарвлення води, що полягає в адсорбції її домішок з порушеною агрегативною стійкістю на поверхні частинок контактної маси. В основі процесу лежать ван-дер-ваальсові сили міжмолекулярної тяжіння. Однак, вони визначаються тільки за умови руху рідини, коли дрібні частинки домішок води зближуються із зернами фільтруючого завантаження, подолавши при цьому електростатичні сили відштовхування.

У процесі контактної коагуляції взаємодіють частинки, які значно розрізняються своїми розмірами. Частинки домішок води мають мікро- і ультрамікроскопічні розміри, а частки контактного середовища – макроскопічні. Прилипання агрегативно нестійких домішок води до поверхні частинок контактної маси є окремим випадком коагуляції, що носить назву адагуляція. Характерною особливістю цього процесу є велика швидкість у поєднанні з високим ефектом при менших витратах коагулянту. Інтенсивність прилипання дрібних домішок до відносно великих зерен завантаження набагато перевищує швидкість агломерації між собою окремих дрібних частинок у вільному об'ємі рідини.

При фільтруванні води, обробленої коагулянтом, через пісок з розміром зерен 0,5 мм її прояснення відбувається за 5–10 с. Подібна глибина прояснення води при конвективній коагуляції частинок з утворенням пластівців досягається за 20–40 хв. Контактна коагуляція відрізняється не тільки високою швидкістю процесу, а й більшою повнотою вилучення з води її домішок, що дозволяє при обробці маломутних забарвлених вод обмежуватися тільки одним методом її кондиціонування. При коагулюванні домішок води в об'ємі утворювані пластівці вимагають подальшого їх виділення тим чи іншим методом.

Практика показала, що ефект контактної коагуляції підвищується в міру скорочення інтервалу між введенням коагулянту в оброблювану воду та її

надходженням у шар контактної маси. За цей короткий проміжок часу в оброблюваній воді встигають утворитися мікроагрегати злиплих первинних частинок. Далі коагуляція йде за рахунок когезії цих мікроагрегатів на макроповерхності частинок контактної маси.

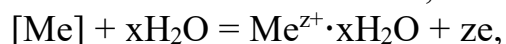
Іншими особливостями контактної коагуляції є незалежність процесу від лужності та температури води, менший вплив рН та ін.

Водоочисні споруди, робота яких заснована на принципі контактної коагуляції, називають контактними прояснювачами, контактними фільтрами, прояснювачами з шаром завислого осаду.

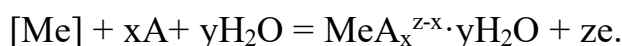
### **5 Електрохімічна коагуляція**

Коагулянти отримують електролітичним розчиненням алюмінію і заліза. Суть способу полягає в анодному розчиненні металів у водних середовищах під дією електричного струму з подальшим утворенням відповідних гідроксидів. Цей спосіб дає змогу здійснювати ефективно очищення води від зависей мінерального, органічного й біологічного походження, колоїдів і речовин у молекулярному та іонному стані, зокрема заліза і сполук, які зумовлюють забарвленість води. Електрокоагуляція має перевагу перед реагентними способами: компактність установки і можливість повної автоматизації. Недоліком способу є підвищені витрати електричної енергії, а в деяких випадках використання дорожчого металу – алюмінію. Цей спосіб перспективний для використання у невеликих автономних об'єктах, наприклад на судах річкового флоту, у невеликих селищах.

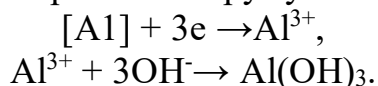
Електрохімічне розчинення металів здійснюється як під дією зовнішнього струму (анодне розчинення), так і внаслідок хімічної реакції під час взаємодії електродного металу з електролітом. У разі утворення простих гідратованих іонів процес анодного розчинення можна записати, як



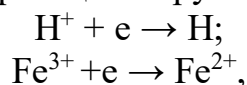
а в разі утворення комплексних іонів –



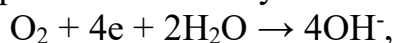
Під час застосування алюмінієвого анода можуть відбуватися: реакції, не зумовлені проходженням електричного струму:



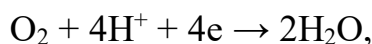
Наявність у воді іонів-депасиваторів, інтенсифікація руху електроліту і накладання постійного електричного струму сприяють кращому перебігу процесу хімічного розчинення. В очищуваній воді у разі застосування алюмінієвих і залізних анодів здійснюється анодне розчинення металів, а на катоді може відбуватися деполаризація мігруючими іонами:



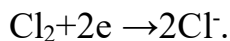
а також деполаризація нейтральними молекулами в лужному:



кислому:



і нейтральному середовищах:



Крім того, може відбуватися відновлення іонів металів, оксидів і органічних сполук.

У природній воді переважно відбуваються киснева і воднева деполяризації. За високих значень рН (до 10) у прикатодному шарі можлива хімічна взаємодія алюмінію з водою.

Виділення водню на поверхні алюмінієвого катода сприяє перебігу цієї реакції, оскільки алюміній переходить в активніший стан.

Оброблення електродного матеріалу перед розчиненням, склад електроліту та електродна щільність значно впливають на швидкість розчинення катода. На металевих електродах адсорбуються органічні та неорганічні речовини, що можуть сповільнювати й прискорювати електрохімічний процес. Під дією електричного струму відбувається електрофорез (напрявлений рух завислих часточок і крапель іншої рідини), який значно впливає на швидкість електрохімічного розчинення металу. За наявності в алюмінію легуючих домішок анодне розчинення значно прискорюється.

Процес електрокоагуляційного очищення води доцільно здійснювати за високої густини струму. Однак підвищення густини струму спричинює пасивацію електродів і сприяє прискоренню поляризаційних явищ. Це зумовлює збільшення напруги і витрату електроенергії на побічні процеси. Зі зростанням густини струму пришвидшується хімічне розчинення, особливо за наявності домішок у металі. З метою запобігання утворенню осаду на електродах рекомендують змінювати полярність струму.

Активність алюмінієвого анода залежить також від природи і концентрації наявних у воді аніонів. Із підвищенням температури води від 2 °С до 80 °С вихід алюмінію за струмом збільшується, особливо різко в інтервалі від 2 °С до 30 °С. У кислому і переважно в лужному середовищах розчинення алюмінію підвищується порівняно з нейтральними розчинами. Найінтенсивніше утворення пластівців відбувається за рН = 3 – 10.

Вихід металу за струмом визначається мінеральним складом води.

Електрохімічному розчиненню металу анода (алюмінію чи заліза) сприяють підвищення температури води, накладання постійного струму, присутність у воді іонів-депасиваторів та підвищення швидкості руху води щодо поверхні металу. Враховуючи, що разом з електрохімічним може здійснюватися й хімічне розчинення металу, то вихід за струмом перевищуватиме 100 % й досягатиме 120 % і більше.

Електрохімічні процеси на електродах супроводжуються адсорбцією на них неорганічних і органічних сполук. Останні прискорюють або сповільнюють електрохімічні реакції. Виділення на електродах бульбашок водню та кисню сприяє винесенню забрудників з води на поверхню (електрофлотація). В процесі електролізу може здійснюватися електрофорез та інші явища.

Очищення води електрокоагуляцією здійснюється у безнапірних пластинчастих електролізерах горизонтального або вертикального типу. Як

електроди найчастіше використовують алюмінієві або залізні пластини, які встановлюють у пакети на відстані 0,003–0,02 м один від одного й утримують ізолювальними вставками. Досить поширеними є електролізери із засипними електродами, де як засипку застосовують відходи у вигляді стружки чи обрізків.

Електролізер (рис. 4.4) складається з кількох комірок, розділених сепараторами. Кожну комірку заповнюють стружкою. Струм підводять або до крайніх електродів, або до кожної комірки. Застосування засипних електролізерів для очищення води має певні істотні недоліки: пасивація анодів і зниження виходу металу за струмом; нагромадження між стружкою гідроксидів металів з адсорбованими на них забрудненнями; збільшення напруги і витрати електроенергії за рахунок підвищення опору комірок і потреба спеціальної обробки стружки з метою її очищення.

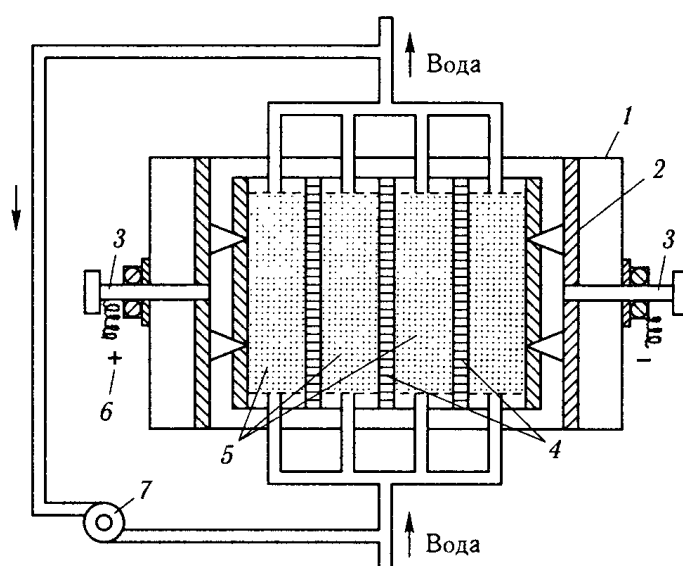


Рисунок 4.4 – Схема електролізера із засипними електродами:

- 1 – ванна; 2 – неелектродні торцеві пластини; 3 – гвинти для уцілювання засипки; 4 – діафрагма; 5 – засипка з металевої стружки; 6 – струмопідведення; 7 – циркуляційний насос

### ***Контрольні питання***

1. Механізм очищення води коагулянтами.
2. Як характеризують стійкість дисперсних систем?
3. Які речовини використовують як коагулянти?
4. Суть процесу коагуляційного очищення води від колоїдно-дисперсних речовин.
5. Охарактеризуйте ліофільні та ліофобні дисперсні системи.
6. Охарактеризуйте дію коагулянту сульфату алюмінію.
7. Опишіть сили притягання і відштовхування, які діють між дисперсними часточками.
8. Як впливає температура води на ступінь гідролізу сульфату алюмінію?
9. Опишіть зміну каламутності води в процесі коагулювання.
10. Етапи процесу прояснення води.

11. Від яких факторів залежить структура пластівців, утворюваних при коагулюванні домішок води.
12. Назвіть основні операції технології очищення води коагулянтами?
13. Для чого підлогувають очищувану воду при коагуляції?
14. Від чого залежить доза коагулянту?
15. Як здійснюють роздільне коагулювання?
16. Як здійснюють концентроване коагулювання?
17. Як здійснюють фракційне коагулювання?
18. Як здійснюють переривчасте коагулювання?
19. Яку роль відіграє рециркуляція коагульованої зависі?
20. Як впливає перемішування на процес утворення пластівців?
21. Очищення води флокулянтами.
22. Як впливають флокулянти на процес очищення води?
23. Особливості процесу флокуляції.
24. На які групи поділяють флокулянти, які застосовують для очищення води?
25. Назвіть найпоширеніші флокулянти.
26. Назвіть особливості процесу контактної коагуляції.
27. Назвіть особливості процесу електрохімічної коагуляції.
28. Які процеси протікають при електролізі електролітів?

## **ТЕМА 5 ПОПЕРЕДНЄ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ**

- 1. Водозабірно-очисні споруди та пристрої.**
- 2. Споруди для безреагентного відстоювання води.**
- 3. Гідроциклонні прилади.**
- 4. Фільтрування води крізь сітки та тканини.**
- 5. Мікрофільтрування.**

### **1 Водозабірно-очисні споруди та пристрої**

Для технічного, польового, пасовищного водопостачання та зрошення потрібні значні кількості частково проясненої води. Підготовка поверхневих вод для цих цілей на традиційних очисних спорудах вимагає істотних капітальних і експлуатаційних витрат. Сітчасті водоприймачі та гідроциклони не вирішують в достатній мірі ефективно задачу прояснення води безпосередньо у водозаборі та проблему рибозахисту.

Сифонні водоприймачі з горизонтальними вікнами (рис. 5.1), що забезпечують висхідний прийом води, покращують якість води не тільки по завислим, але й по плаваючим речовинам. Досягається це завдяки більшому, ніж на водозаборах з вертикальними вікнами, заглибленню вікон (що особливо важливо при малій глибині води в джерелі) і виділенню з води завислих речовин на висхідній ділянці сифона.



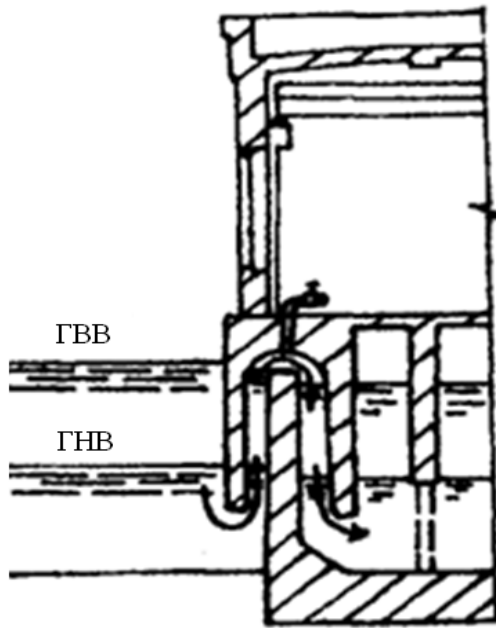


Рисунок 5.1 – Береговий водозабор сифонного типу

Пригреблеві водозабори забезпечують не тільки більш високу надійність відбору води, але й знижують її каламутність за рахунок попереднього відстоювання у водосховищі. У комплекс водозаборів включають спеціальні споруди, які дозволяють поєднувати технологію відбору та очищення води.

Іншим різновидом водоочисного пристрою на водозаборах є шлюз з фільтруючою завантаженням. Тут можливе надмірно велике грязьове навантаження на фільтр в періоди паводків, у зв'язку з чим повинна бути передбачена можливість короткочасного його відключення. Регенерацію такого фільтру здійснюють змивом відкладень поверхневим потоком води, а також шляхом декольматації фільтруючих ґрунтів.

Для захисту водозаборів від шуги, завислих наносів, а також рибозахисту застосовують водозабори з фільтруючими водоприймачами. Існує кілька типів фільтруючих водоприймачів, які розрізняють за складом фільтруючого матеріалу, компонуванням і розташуванням фільтруючих елементів тощо. За напрямком руху води розрізняють три основних типи фільтруючих водоприймачів:

I – з горизонтально розташованим фільтром і входом води зверху вниз; їх застосовують на ріках, що мають важкий шуголедовий і наносний режим та малі глибини під потужним крижаним покривом;

II – з горизонтальним фільтром і входом води знизу вгору; застосовують на водосховищах та річках з достатніми глибинами, головним чином, в якості рибозахисту і одночасно для захисту від захоплення завислих наносів й сміття;

III – з фільтром, розташованим у вертикальній площині, і входом води по горизонталі; застосовують на ріках та водоймах у якості захисту від транзитної шуги, а також рибозахисту.

Розроблені та впроваджені споруди, призначені для забору та попереднього очищення поверхневих вод, в яких широко використані фільтруючі легкі гранульовані матеріали.

До таких споруд відносять і оголовки руслових водозаборів, виконаних у вигляді залізобетонних колодязів, бічні стінки яких мають по периметру вхідні вікна. В середину короба вставлений каркас з металевих стрижнів, заповнений великими гранулами спіненого полістиролу або шунгізиту з діаметром 4–8 мм. Вода, що надходить через водоприймальні вікна, проходить спочатку грубу очистку і тільки після цього досягає рівня осі всмоктувального патрубка насосного агрегату. Промивання фільтруючого шару здійснюють зворотним струмом води від напірного трубопроводу при виключенні насоса. Для отримання води більш високої якості оголовок виконують у вигляді корпусу, бічні стінки якого являють собою фільтруючі касети з двома або трьома шарами завантаження.

## ***2 Споруди для безреагентного відстоювання води***

Одним з найбільш раціональних споруд комплексного призначення, включаючи попереднє відстоювання річкових висококаламутних вод є водоприймальні ковші та підвідні канали від головного джерела водопостачання до очисної станції. При сприятливих рельєфних і кліматичних умовах у складі водозабірно-очисного комплексу доцільно влаштування запасних-регулюючих басейнів (водойм), які розташовують безпосередньо біля водотоку в районі головного водозабору. Забезпечуючи в них наповнення і зберігання до 30–45 добових обсягів води, такі споруди використовують для комбінованого фізико-хімічного та природного біологічного ефективного очищення води.

У підвідних каналах при відповідному обґрунтуванні, зокрема, при необхідності видалення з очищених вод інгредієнтів антропогенного походження, економічно і технологічно обґрунтовано висаджувати вищі водні рослини (очерет, рогозник вузьколистий та ін.) і обладнувати наплавними біоконтейнерами. Однак, при цьому повинні обов'язково здійснюватися заходи щодо своєчасного видалення з каналів відмерлих насаджень і таких, що вичерпали свою біосорбційну ємність.

Другою важливою умовою експлуатації споруд є підтримання в них необхідного кисневого режиму і прочищення ділянок, які замулюються.

Найбільше застосування в практиці водопостачання та гідротехніки знаходять ковшеві водоприймачі, які виконують одночасно функції споруд для предочистки і є засобами боротьби з шуголедовими перешкодами. Розрізняють ковші з верховим, низовим і двостороннім входом води з водотоку.

За характером розташування ковшів по відношенню до берегів річки розрізняють ковші, висунуті в русло річки (рис. 5.2) і врзані в берег (рис. 5.3).

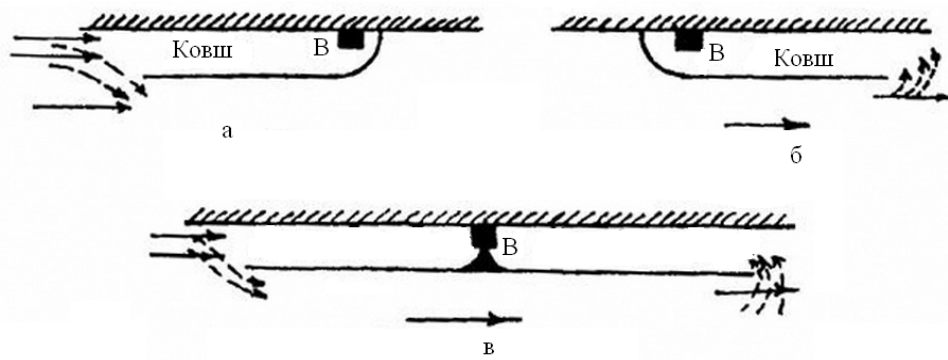


Рисунок 5.2 – Схема ковшей, висунутих в річку:  
 а – ківш верхового живлення; б – ківш низового живлення;  
 в – ківш двостороннього живлення;  
 В – водозабір

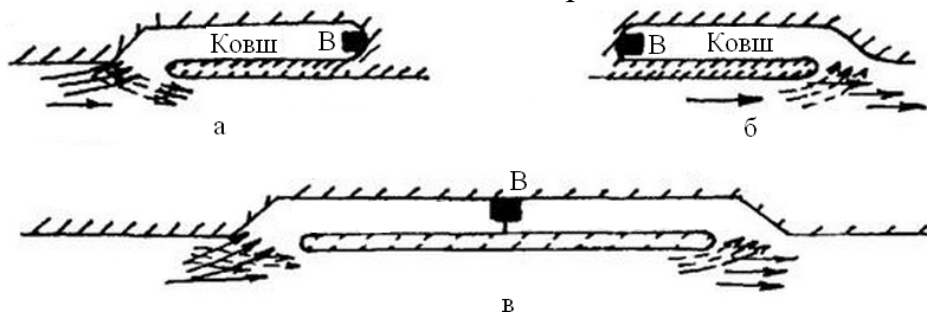


Рисунок 5.3 – Схеми ковшей, заглиблених в берег:  
 а – ківш верхового живлення; б – ківш низового живлення;  
 в – ківш двостороннього живлення;  
 В – водозабір

Оцінку затримуючої здатності ковшових відстійників за завислими речовинами проводять за гідравлічною крупністю фракції наносів, повністю затримуваної в ковші, каламутністю води до і після ковша, добовим обсягом відкладень наносів в ковші, потужністю шару наносів на вході в ківш.

Одним з ефективних комплексних методів забору і поліпшення якості вихідної води є влаштування прибережних (наливних) водосховищ для прояснення води із забруднених річок і каналів, що піддаються періодичним залповим скиданням в них забруднень. Цей метод широко поширений у ряді країн Європи. Значний запас води у водосховищах дозволяє відключити будь-яке з них для регулярного очищення земснарядями або ремонту, а також більш строго підходити до якості води, використовуваної для їх заповнення У періоди паводку, підвищеного вмісту у воді амонійного азоту, планктону та інших токсичних компонентів відбір води з річки не здійснюють.

Недоліком наливних водосховищ є необхідність великих площ під їх будівництво, а також труднощі в організації захисту води в них від забруднень води повітрям, при аварійних викидах забрудненого повітря. Складним є створення водосховищ в густо населених промислово розвинених районах.

Специфічними є водозабірно-очисні споруди з передгірних і гірських річок. Залежно від ухилу русел швидкість руху води в них змінюється в межах 0,5–3 м/с в межень до 5–6 м/с в паводки. Коливання рівнів і витрат води в

гірських річках не тільки за сезонами року, а й протягом однієї доби значно залежать від умов живлення річок. На відміну від рівнинних, гірські річки характеризуються нестійким великим твердим стоком у вигляді наносів (донних і завислих). Їх концентрації у воді можуть досягати 50–1000 т/км<sup>3</sup>. Небезпеку представляє собою утворення шуги (до 10–15 % від витрати води по руслу річки). Період безперервного шугохода зазвичай становить 5–6 діб. На ряді річок Кавказу період шугохода досягає 30–60 діб на рік. Для басейнів річок Середньої Азії та Кавказу слід враховувати періодичне утворення селевих потоків тривалістю до 2 год. і більше. Тому однією з головних особливостей конструкцій водозабірних-очисних пристроїв на таких річках є обов'язкове включення в них споруд відстоювання води, в яких передбачають можливість промивки їх основних блоків в будь-який час.

### *3 Гідроциклонні прилади*

На водозабірних вузлах систем водопостачання та зрошення, на свердловинах вертикального дренажу, в землесосних і пульпопід'ємних установках серйозною проблемою є очищення природних вод від наносів, що містять мінеральну суспензію з щільністю більше щільності воли. Вирішення цього завдання може бути досягнуто за допомогою спеціальних конструкцій гідроциклонних установок (далі – ГЦУ). Гідроциклони і гідроциклонно-фільтраційні установки (далі – ГЦФУ) є високоефективними засобами для такого очищення води як на всмоктуючій, так і на нагнітальній лінійках насосів в умовах напірно-вакуумного потоку. Розроблені в останні десятиліття ряд спеціальних конструкцій таких установок дозволяють об'єднати в одному гідравлічному блоці кілька основних технологічних процесів: уловлювання механічних домішок (пісок, мулисті частинки та ін.); згущення пульпи, захист робочих органів насосів від абразивного зносу, відведення осаду і очищеної води. Невеликі габарити, висока питома продуктивність таких апаратів дозволяє компактно і раціонально об'єднувати і розміщувати їх в надфільтровому і підфільтровому просторі фільтрів, у відстійниках, прояснювачах різних конструкцій, в приймальних відділеннях берегових водозбірних колодязів.

При тангенціальному вводі рідини в конічний корпус напірного гідроциклона, змонтованого на нагнітальній чи всмоктуючій лінії насоса, через наявність моменту кількості вхідної маси рідини відносно осі камери лоток набуває обертальний рух з утворенням повітряного «шнура» уздовж своєї осі (рис. 5.4). За рахунок утворення останнього відбувається зменшення живого перерізу потоку. У загальному випадку, в напірних циклонах цей коефіцієнт залежить від значення напорів води на вході, в зливні і в пісковому отворі, а також геометричних розмірів апарату (діаметрів циклону, зливу, піскового отвору, висоти циклону), гідравлічних параметрів потоку (витрати через злив, через пісковий отвір, висоти піщаного завалу) і фізико-хімічних властивостей рідини.

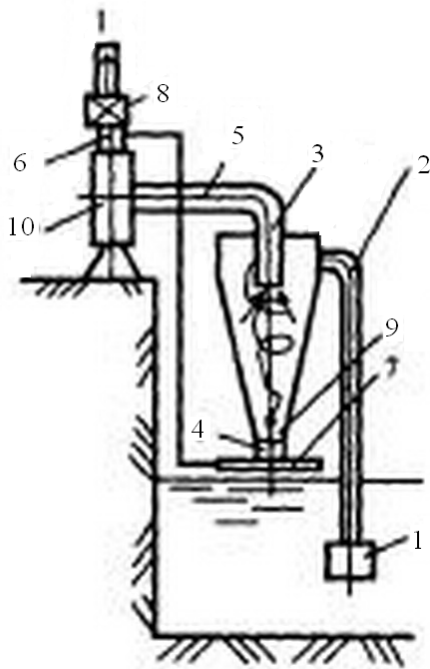


Рисунок 5.4 – Схема гідроциклонної установки на всмоктувальній лінії насоса:  
 1 – гідроциклонна приймальна камера на всмоктувальній лінії насоса; 2 – вхідний патрубок циклонної камери; 3 – зливний патрубок циклонної камери;  
 4 – пісковий отвір циклонної камери;  
 5 – всмоктувальний патрубок насоса;  
 6 – нагнітальний патрубок насоса;  
 7 – гідроелеватор; 8 – зворотний клапан;  
 9 – камера згущення; 10 – насос відцентровий

У наш час найчастіше за все для відділення твердих частинок використовують гідроциклони високого і низького тиску, які встановлюють на нагнітальній лінії насоса. Перші з них здатні відокремлювати частинки мінерального походження дуже малих розмірів. Другі, що працюють під тиском 0,4–2,0 м вод. ст. на вході, вловлюють частинки діаметром 0,05 мм і більше.

Гідроциклони низького тиску являють собою напірну металеву циліндричну ємність з тангенціально розташованим патрубком для подачі вихідної води. Внаслідок того, що використовувані при роботі таких гідроциклонів напори значно нижче, ніж у гідроциклонів високого тиску, їх питома матеріаломісткість значно нижча.

Різновидом гідроциклонів високого тиску є двокамерні гідроциклони. Слід зазначити, що паралельне підключення гідроциклонів, також як і інших технічних засобів очищення води, широко застосовується в практиці водоочистки, оскільки дозволяє зменшити кількість запірно-регулюючої арматури і спростити експлуатацію.

Ефективність очищення води на гідроциклонах визначається багатьма факторами, зокрема дисперсністю суспензії, яку видаляють з води, її щільністю, конструктивними розмірами елементів гідроциклона, величиною створюваного на ньому перепаду тиску та ін.

#### **4 Фільтрування води крізь сітки та тканини**

При русі води через сітки, тканини, пористі матеріали досягається витяг з неї завислих речовин.

Процес здійснюють або на поверхні, або в глибині фільтруючого матеріалу. Поверхнєве фільтрування відбувається при русі води через:

– об'ємні елементи з пористих матеріалів значної товщини (патронні фільтри і фільтри з пористої кераміки);

– сітчасті або тканинні перегородки (фільтрування під тиском або під вакуумом, мікрофільтрування);

– жорсткі проникні каркаси з попередньо нанесеним фільтруючим шаром (намивні фільтри трубчастої, рамної або барабанної конструкції).

Залежно від властивостей застосовуваних фільтруючих основ і домішок процес фільтрування складається з наступних трьох явищ: відкладення, фіксації і відриву.

Механізм відкладення буває двох видів: механічне затримання видобутих домішок і відкладення завислих часток в порах.

При механічному проціджуванні з води витягуються всі частинки, що перевищують розміри пор фільтруючої основи або пір, формованих затриманими частинками, які самі утворюють фільтруючий шар. При цьому чим менше розміри пор фільтруючої основи, тим більш високим буде ефект очищення.

Відкладення завислих речовин в порах фільтруючої основи (об'ємне фільтрування) відбувається, якщо їх розмір менше розміру пір і траєкторія руху частинок призводить до їх контакту з поверхнею порових каналів. Цьому сприяють: дифузія за рахунок броунівського руху; пряме зіткнення; інерція частинок; прилипання за рахунок вандерваальсової сил; осадження під дією гравітаційних сил; обертальний рух під дією гідродинамічних сил.

Фіксування частинок домішок води на поверхні і в порах фільтруючого матеріалу обумовлено малими швидкостями руху рідини, силами когезії та адсорбції.

При вилученні з води домішок води фільтруванням відбувається зменшення порового простору фільтруючого матеріалу внаслідок осадження частинок. Це тягне за собою збільшення швидкості потоку і зміну його режиму від ламінарного до турбулентного. У цьому випадку затримані частинки домішок будуть частково відриватися і переміщатися потоком глибше в пори фільтруючого матеріалу і навіть виноситися з фільтратом.

Вибір поверхневого або об'ємного фільтрування обумовлений необхідною якістю фільтрату, властивостями води та її забруднень, а також економічними міркуваннями. Той чи інший вид фільтрування пов'язаний з певними капітальними і експлуатаційними витратами, які, у свою чергу, визначаються попередньою обробкою води, способами промивки апаратів, ступенем автоматизації процесу і способів контролю за ним.

Прощідування води через сітки з різних матеріалів застосовують для вилучення з води грубих домішок у вигляді річкових наносів з піску, мулу, листя, прутів, тріски, кори дерев і чагарників, фіто- і зоопланктону. Основними спорудами, використовуваними для цих цілей, в водозабірних вузлах є плоскі й оберткові сітки з розміром осередків в плані зазвичай 1 мм × 1 мм або 2 мм × 2 мм. Барабанні сітки і мікрофільтри монтують у вхідних спорудах станцій водоочищення. Розмір осередків у сітках останніх становить зазвичай від 20 мкм до 60 мкм.

У практиці очищення води використовують сітчасті фільтри, конструкції яких відрізняють:

- за застосовуваною технологічною схемою – одно- або багатоступенева з фільтруванням через сітки із розмірами вічок, які зменшуються по ходу руху води;

- за розташуванням сітчастого полотна – горизонтальні і вертикальні;

- за способом промивання – прямоточна, зворотна чи спеціальні види промивок;

- за здійсненням процесу промивки – ручна з витяганням сітки з корпусу фільтра, з ручним або автоматичним відкриттям запірних органів;

- за розміром осередків сітки – від 0,01 до 3,0 мм;

- за матеріалом корпусу фільтра – полімерний, сталевий, з нержавіючої сталі, з легких сплавів, комбінований;

- за матеріалом сітки – нержавіюча сталь, полімерне полотно.

Сітки, застосовувані в системах водопостачання, повинні:

- 1) очищати воду до необхідних показників і якісно регенеруватися;

- 2) мати мінімальні значення втрат напору;

- 3) володіти необхідними механічною міцністю, хімічною, електрохімічною та біологічною стійкістю;

- 4) бути довговічними і економічними.

Фільтрування через сітчасті перегородки здійснюють на відкритих або напірних апаратах (фільтрах). При цьому розрізняють три види фільтрування:

- 1) макрофільтрування, при якому витягують з води частки крупністю більше 150 мкм;

- 2) мікрофільтрування – витягують частинки розміром 1–150 мкм;

- 3) ультрафільтрування – витягують частинки розміром 0,004–0,4 мкм.

### ***5 Мікрофільтрування***

У системах підготовки води для господарсько-питних і технічних цілей рекомендується використовувати мікрофільтри або барабанні сітки.

Основна мета мікрофільтрування – видалення планктону, що міститься в поверхневих водах. При цьому, звичайно, видаляються завислі частинки великого розміру і частинки рослинного, тваринного походження, що містяться у воді.

Залежно від зміни витрат води і здатності частинок, що містяться в ній, забивати фільтрувальні сітки використовують різні пристрої для регулювання швидкості обертання барабана і один або кілька рядів промивних форсунок.

Оптимальні результати ефективності мікрофільтрування досягають шляхом підтримання більш-менш постійних втрат напору, обумовлених частковим забиванням сіток затриманими частинками. Ефективність роботи установки обмежена декількома факторами:

- промита фільтрувальна сітка не забезпечує належного затримання на початку фільтроциклу і ступінь очищення при цьому визначається тільки розмірами вічок;

- планктон ніколи не видаляється повністю. Він може знову розмножуватися, особливо, якщо підвищиться температура води;
- яйця деяких нижчих ракоподібних можуть легко проходити через фільтрувальну сітку і розвиватися, в результаті чого в наступних резервуарах можуть бути виявлені видимі неозброєним оком організми;
- через небезпеку корозії фільтрувальної сітки або її підкладки не можна застосовувати попереднє хлорування води перед мікрофільтрами;
- поверхня мікрофільтрів повинна бути досить велика, щоб забезпечити видалення великої кількості планктону, що розвивається в певні періоди року. Якщо вона мала, то в періоди інтенсивного розвитку планктону і під час паводків продуктивність водоочисного комплексу може значно знизитися.

Металеві або пластмасові фільтрувальні сітки в більшості випадків мають розміри осередків від 20 мкм до 40 мкм і у виняткових випадках 10 мкм. Чим менше розмір осередків, тим більше повинна бути площа поверхні мікрофільтра.

Ефективність зниження вмісту завислих речовин в результаті мікрофільтрування становить 50–80 %, в середньому близько 65 %.

Мікрофільтри (далі – МФ) конструктивно нічим не відрізняються від барабанних сит), за винятком розмірів сітки, натягнутої за твірною барабана. Швидкість обертання барабана МФ приймається 0,1–0,5 м/с. Барабани МФ занурюють у воду на 2/3 діаметра в камеру, яка призначена для збору фільтрату.

Мікрофільтри доцільно використовувати при вмісті фітопланктону більше 1 000 клітин в 1 см<sup>3</sup> вихідної води.

Втрати напору на мікросітках складають до 0,2 м вод. ст., а загальні втрати напору на установці досягають 0,5 м вод. ст.

Установку мікрофільтрів слід передбачати в камерах. Допускається розміщення в одній камері двох агрегатів, якщо число робочих агрегатів понад 5.

За кордоном для глибокого прояснення води широко використовують механічні напірні фільтри; циклонні, обертові зі знімними фільтрувальними елементами з порцеляни або сталі (розмір отворів 0,1–1,6 мм), і автоматичні фільтри с безліччю фільтрувальних трубок з отворами 125 мкм та більш і обертовими промивним пристроєм.

При нормальному обслуговуванні і калібруванні сітчасті фільтри досить дієві для видалення завислих часток з води, але вони мають обмежену пропускну здатність. Для підвищення такої здатності зазвичай збільшують загальну поверхню фільтрування, хоча практично і цьому є межа. Для подолання цього обмеження рядом зарубіжних розробників були сконструйовані і виготовлені промивні пристрої, що працюють за принципом поперечного напірного потоку струменя води, за допомогою якого скупчення речовин на сітці вимивалося потоком рідини і забезпечувало самопромивання без розбирання обладнання.

Мікрофільтрування під тиском зазвичай здійснюють на фільтрах трьох видів: дискових, каркасно-навитих і патронних.



Дискові фільтри, в яких фільтрування відбувається в просторі між дисками, зібраними в пакети, особливо чутливі до наявності у воді водоростей і волокнистих матеріалів, здатних необоротно забивати зазори між дисками. При видаленні частинок крупністю 150 мкм продуктивність одного фільтра може досягати 250 м<sup>3</sup>/год.

Каркасно-навиті фільтри з використанням лоткових, трубчастих, кошикових або інших типів несучих елементів покривають:

- металевою сіткою, плоскою або профільованою, для збільшення площі поверхні фільтрування;
- металевою або полімерної дротом, навитим на рами;
- дротяними профілями особливого перетину, навитими на спеціальні стояки.

Фільтри з патронними елементами або тонкими фільтруючими пластинами, виготовлені з гофрованого або плоского картону, целюлози або синтетичних волокон (вони можуть викидатися після використання), часто використовують як фільтри тонкого очищення, коли воду необхідно ретельно очистити від завислих часток, які проскочили на попередніх стадіях обробки (наприклад, при приготуванні пива, газованої води та ін.). На фільтрах цього типу можуть бути видалені дуже дрібні частинки порядку декількох мікрон і навіть деякі бактерії. Однак, на такі фільтри не можна подавати воду з відносно високим вмістом завислих речовин, оскільки фільтруючі елементи негайно заб'ються.

### ***Контрольні питання***

1. Для чого застосовують водозабірно-очисні споруди та пристрої?
2. Назвіть приклади водозабірно-очисних споруди та пристроїв.
3. Принцип дії фільтруючих водоприймачів.
4. Застосування водоприймальних ковшів та підвідних каналів від головного джерела водопостачання до очисної станції.
5. Назвіть види ковшевих водоприймачів.
6. Влаштування прибережних (наливних) водосховищ.
7. Використання гідроциклонних установок для попереднього очищення води.
8. Гідроциклони низького та високого тиску.
9. Фільтрування води крізь сітки та тканини.
10. Конструктивне оформлення поверхневого фільтрування.
11. Проціджування води через сітки з різних матеріалів.
12. За якими параметрами характеризують сітчасті фільтри?
13. Які вимоги ставлять до сіток, застосовуваних в системах водопостачання?
14. Назвіть види фільтрування через сітчасті перегородки.
15. Яка основна мета мікрофільтрування?
16. Які фактори забезпечують ефективність мікрофільтрування?
17. Якої досягають ефективності зниження вмісту завислих речовин в результаті мікрофільтрування?
18. Опишіть конструкцію мікрофільтру.

## ЗМ 2 ПРОЦЕСИ ТА СПОРУДИ ДЛЯ ПРОЯСНЕННЯ, ЗНЕБАРВЛЕННЯ ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ

### ТЕМА 6 ЗМІШУВАННЯ РЕАГЕНТІВ З ВОДОЮ

1. *Технологія змішування реагентів з водою. Класифікація змішувальних пристроїв.*
2. *Гідравлічні змішувачі.*
3. *Механічні змішувачі.*

#### *1 Технологія змішування реагентів з водою. Класифікація змішувальних пристроїв*

Під час введення реагентів в очищувану воду, особливо коагулянтів і флокулянтів, їх швидко перемішують для забезпечення рівномірно розподілу в усьому об'ємі та максимального контактування забрудників з дрібнодисперсними продуктами гідролізу, що утворилися під час перікінетичної коагуляції. Слід зазначити, що неефективне змішування призводить до перевитрати коагулянту та незадовільного процесу коагуляції. Тому в змішувачах потрібно забезпечити сприятливий режим перемішування.

Інтенсивність перемішування води характеризують критерієм Кемпа  $Gt$  та градієнтом швидкості  $G$ , який визначають за формулою:

$$G = \left[ \frac{E}{\tau V \eta} \right]^{0,5},$$

де  $E$  – енергія, яку витрачають на змішування, Дж;  
 $\tau$  – тривалість змішування, с;  
 $V$  – об'єм води у змішувачі, м<sup>3</sup>;  
 $\eta$  – динамічна в'язкість води, Па·с.

Ефективність дії коагулянтів зростає зі збільшенням інтенсивності змішування до  $G = 250\text{--}300 \text{ с}^{-1}$ . За цих умов доза реагенту і тривалість, потрібна для їх повного розподілу у воді, зменшуються збільшенням градієнта швидкості. За оптимального режиму перемішування досягають зменшення не тільки експлуатаційних витрат, а й питомих капіталовкладень.

Для рівномірного і швидкого змішування реагентів з водою їх вводять у зони найбільшої турбулентності потоку в кількох точках його перетину. Для цього застосовують спеціальні пристрої для швидкого й рівномірного розподілу реагентів та змішувачі. Розподільники реагентів виготовляють у вигляді перфорованих трубчастих систем або вставок у трубопровід. Втрата напору в трубопроводі при встановленні цих пристроїв має відповідно становити 0,1–0,2 м і 0,2–0,3 м.

Коагулянти доцільно вводити у воду у вигляді розчину невеликої концентрації (до 1 %). У разі застосування вискоефективних змішувачів вплив концентрації коагулянту на процес змішування не має вирішального значення.

Реагенти змішують з очищуваною водою у *змішувальних пристроях* типу сопла Вентурі, діафрагмах і трубчастих змішувачах тощо. Вони мають

упродовж 1–3 хв забезпечити повне змішування реагентів з очищеною водою. Для цього використовують гідравлічні й механічні змішувачі.

**Гідравлічні змішувачі** бувають коридорного типу з вертикальним або горизонтальним переміщенням води, з перегородками і розподілом потоку, діркові та вихрові. Вибір типу змішувача визначається їх продуктивністю, способом оброблення води, конструктивними й технологічними вимогами.

Найкращого ефекту змішування домішок досягають у високошвидкісних **механічних змішувачах** турбінного або пропелерного типу, в яких відбувається миттєвий розподіл реагенту в усьому об'ємі води.

## 2 Гідравлічні змішувачі

На практиці широко застосовують гідравлічні змішувачі з перегородками та розподілом потоку лоткового типу (рис. 6.1). Залізобетонний лоток з трьома щільними перегородками зображено на рисунку 6.1, а.

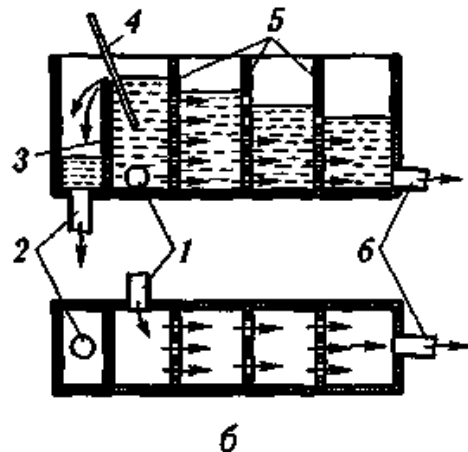
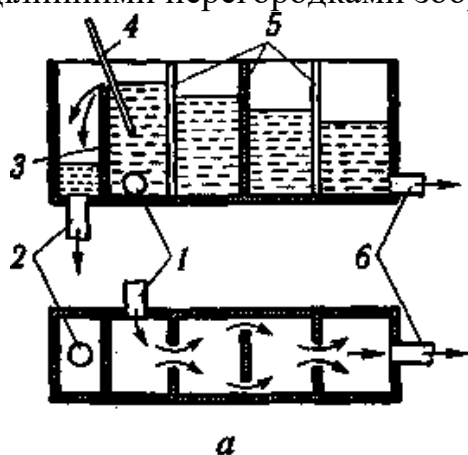


Рисунок 6.1 – Змішувачі лоткового типу:  
1,6 – відповідно подавання і відведення води; 2 – скидання зайвої води; 3 – водозлив;  
4 – подавання реагенту; 5 – перегородки

Швидкість руху води в щілинах становить 1 м/с. Відстань між перегородками дорівнює подвійній ширині лотка.

Дірчастий змішувач (рис. 6.1, б) – це лоток з перегородками, в яких є отвори.

Перегородки розміщені перпендикулярно до руху води. Під час руху води крізь отвори зі швидкістю 1 м/с відбувається її завихрення, що сприяє доброму перемішуванню реагентів з водою. Діаметр отворів – від 20 до 100 мм. Верхній ряд отворів занурюють у воду на глибину 0,1–0,5 м для уникнення підсмоктування повітря.

На водоочисних спорудах з прояснювачами застосовують *вертикальні (вихрові) змішувачі* у вигляді циліндричного або квадратного в плані резервуару (рис. 6.2) з конусною нижньою частиною. Кут нахилу становить  $45^\circ$ . До низу конуса підводиться вода зі швидкістю 1,2–1,5 м/с. З протилежного боку вводять розчини реагентів. Швидкість підняття води в циліндричній частині змішувача, яка має висоту 1–1,5 м, досягає 30–40 мм/с. Вода відводиться із змішувача периферійним лотком із швидкістю 0,6 м/с.

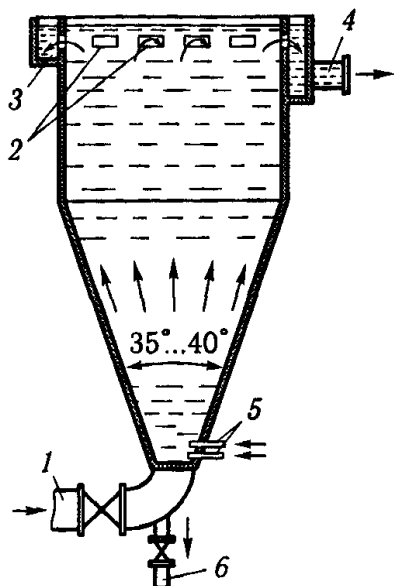


Рисунок 6.2 – Схема вихрового змішувача:  
1, 4 – відповідно подавання і відведення води; 2 – водозливні вікна; 3 – кільцевий збірний лоток; 5 – введення реагентів; 6 – спорожнення камери

На потужних водоочисних комплексах застосовують *перегородкові змішувачі коридорного типу* (рис. 6.3). Вода в них рухається вертикально або горизонтально зі швидкістю 0,6–0,9 м/с. Тривалість перебування води в них становить 3–5 хв. Число поворотів води на  $180^\circ$  становить 9–10.

Для невеликих водоочисних установок застосовують *трубчасті змішувачі* (рис. 6.4). Для них характерна велика втрата напору, що не дає змоги використовувати їх на потужних водоочисних спорудах.

Недоліками змішувачів гідравлічного типу є неможливість регулювання турбулізації потоку й тривалості перебування води у змішувачі залежно від її витрати та якості.

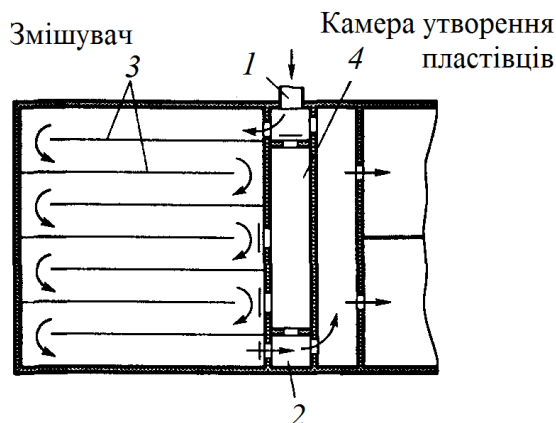


Рисунок 6.3 – Схема перегородкового змішувача:  
1, 2 – відповідно подавання і відведення води; 3 – перегородки; 4 – обвідний канал

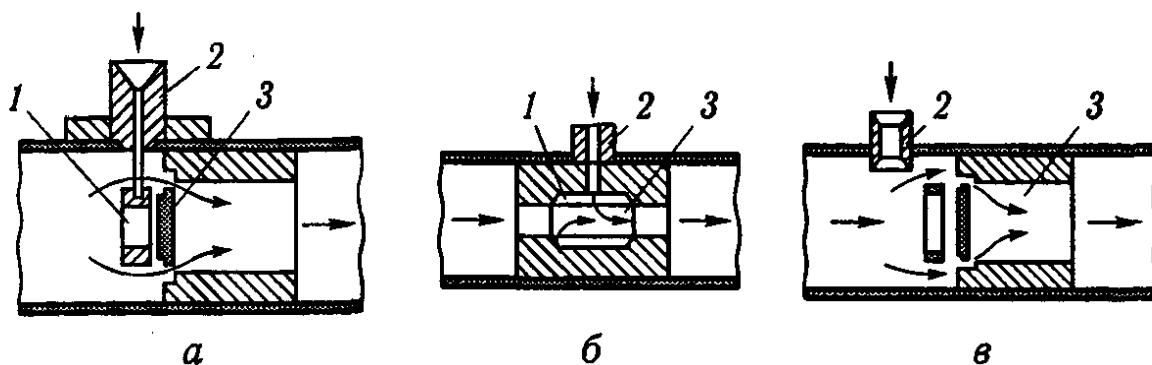


Рисунок 6.4 – Трубчасті змішувачі:

1 – розподільник реагенту; 2 – введення реагенту; 3 – звужувальний пристрій

### 3 Механічні змішувачі

Найкращого ефекту змішування домішок досягають у високошвидкісних механічних змішувачах турбінного або пропелерного типу, в яких відбувається миттєвий розподіл реагенту в усьому об'ємі води.

В цих змішувачах скорочується тривалість коагуляції, збільшується щільність пластивців та зменшується витрата коагулянту.

Механічні змішувачі – це круглі або квадратні у плані резервуари, в яких відношення висоти до ширини (діаметра) становить 2:1 (рис. 6.5). Вони мають плоске або конусне днище. Для перемішування використовують пропелерні, турбінні чи лопатеві мішалки з вертикальною віссю. Число мішалок залежить від глибини камери. Їх швидкість обертання варіює і зазвичай не перевищує  $80 \text{ хв}^{-1}$  для турбінних мішалок з максимальною лінійною швидкістю на кінці лопаті до  $5 \text{ м/с}$  і до  $1750 \text{ хв}^{-1}$  – для пропелерних.

Тривалість перебування води у змішувачі становить  $0,5\text{--}3 \text{ хв}$ .

Застосування механічних змішувачів дає змогу зменшити витрати коагулянтів до  $25\%$  та тривалість перебування води у відстійниках і прояснювачах із завислим осадом, регулювати параметри змішування залежно від кількості та якості очищуваної води, а також зменшити питомі капітальні витрати.

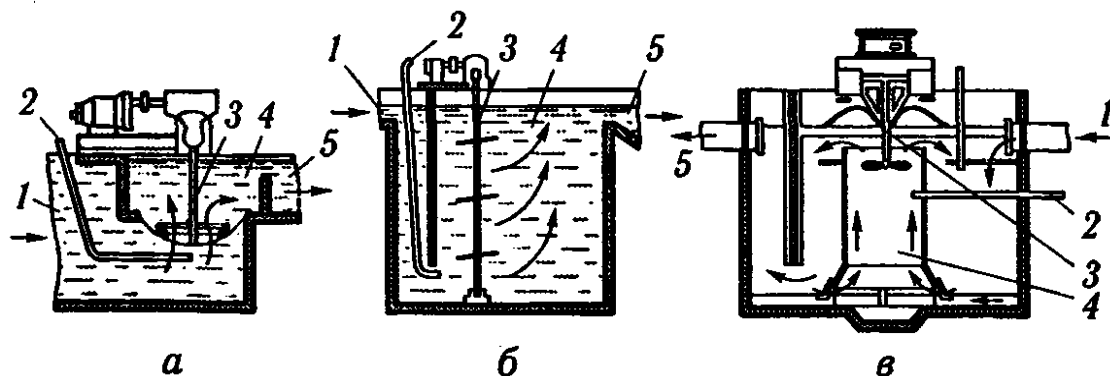


Рисунок 6.5 – Конструкція механічних змішувачів турбінного (а), лопатевого (б), пропелерного (в) типів:

1,5 – відповідно подавання і відведення води; 2 – введення реагенту; 3 – вісь мішалки; 4 – камера змішування

### **Контрольні питання**

1. Опишіть загальні принципи технології змішування реагентів з водою.
2. Як впливає неефективне змішування на процес очистки води?
3. Як забезпечити рівномірне і швидке змішування реагентів з водою?
4. Загальний принцип дії гідравлічних змішувачів.
5. Опишіть гідравлічний змішувач з перегородками.
6. Опишіть дірчастий гідравлічний змішувач.
7. Конструкція та принцип дії вертикальних (вихрових) змішувачів.
8. Опишіть принцип дії перегородкових змішувачів коридорного типу.
9. Конструкція та принцип дії трубчастих змішувачів.
10. Назвіть переваги механічних змішувачів.

## **ТЕМА 7 ПРОЦЕСИ, ЗАСТОСОВУВАНІ НА ПЕРШОМУ СТУПЕНІ ПРОЯСНЕННЯ ВОДИ**

### **7.1 КАМЕРИ УТВОРЕННЯ ПЛАСТІВЦІВ**

1. *Сутність процесу утворення пластівців.*
2. *Камери утворення пластівців гідравлічного типу.*
3. *Флокулятори та аерофлокулятори.*

#### **1 Сутність процесу утворення пластівців**

Процес коагуляційного очищення природних і стічних вод завершується формуванням пластівців певної структури та їх відокремленням від очищеної води відстоюванням у відстійниках.

Для того, щоб сформовані пластівці швидко осідали під дією сил гравітації, вони мають бути щільними і достатньо великих розмірів. З цією метою застосовують *камери утворення пластівців*.

На розміри пластівців, які утворюються в процесі повільного перемішування очищеної води, впливають інтенсивність і тривалість перемішування, а також сольовий склад води, природа домішок та величина сил адгезії, за допомогою яких окремі агрегати з'єднуються у великі пластівці. Формування їх триває впродовж 6–30 хв і більше.

Структура пластівців гідроксиду заліза щільніша, ніж гідроксиду алюмінію. Формуванню міцних пластівців сприяє збільшення у воді концентрації гідрокарбонатів і хлоридів, тоді як збільшення концентрації сульфатів, навпаки, зменшує їх міцність.

На процес утворення пластівців істотно впливає інтенсивність і тривалість перемішування очищеної води в камерах утворення пластівців. Визначальною є інтенсивність перемішування, яка є сприятливою за градієнта швидкості  $G$ , що дорівнює  $50\text{--}60\text{ с}^{-1}$ . Останній залежить від конструктивного оформлення і типу

Інтенсивність перемішування води в камерах має бути такою, щоб не відбувалося руйнування сформованих пластівців. За низьких температур очищеної води, коли коагуляція протікає мляво з утворенням незадовільної

структури пластівців, інтенсивність перемішування і його тривалість збільшуються. У разі очищення малокаламутних кольорових вод прискорення процесу утворення пластівців досягають додаванням каламутників (глини або осадів з відстійників) та проведенням коагуляції за допомогою одночасного застосування коагулянтів і флокулянтів.

За принципом дії камери утворення пластівців поділяють на гідравлічні та механічні (флокулятори). На практиці із гідравлічних камер найбільше застосовують водоворотні (вихрові) з перегородками та зашамленого типу. Всі типи камер, крім камер з перегородками, встановлюють у відстійниках.

## ***2 Камери утворення пластівців гідравлічного типу***

Вихрова камера утворення пластівців (рис. 7.1, а) – це залізобетонний конус або пірамідальний резервуар, вершина в якого обернена донизу. Кут конусності становить 50–70 °.

Тривалість перебування води в камерах залежить від її складу. Так, для каламутних вод вона становить 6 хв, а для кольорових – 12 хв. Швидкість руху води від камери до відстійника не має перевищувати 0,1 м/с для каламутних і 0,05 м/с для кольорових вод.

Камеру утворення пластівців зашамленого типу (рис. 7.1, б) з вертикальними перегородками застосовують для очищення води каламутністю до 1 500 мг/дм<sup>3</sup>. Її розміщують на початку коридора відстійника або впритул до нього у вигляді залізобетонного або пірамідального резервуара з кутом конусності близько 45 °. В основі перевернутих пірамід розміщують перфоровані водорозподільні трубки на відстані в осях 2 м одна від одної. Отвори діаметром не менше ніж 25 мм спрямовані вниз під кутом 45 °. Їх сумарна площа має становити 30–40 % площі перетину розподільної труби. Швидкість руху води у розподільних трубах досягає 0,5–0,6 м/с.

Тривалість перебування води в камерах – близько 20 хв. Для вод каламутністю 50–1 500 мг/дм<sup>3</sup> утворюють завислий осад заввишки менше ніж 3 м, що дає змогу збільшити розрахункову швидкість осідання зависей на 15–20 %.

Водоворотна камера утворення пластівців (рис. 7.2) поєднується з вертикальним відстійником. Воду подають у верхню частину камери соплом, розміщеним на відстані 0,2 діаметра камери від стінки на глибині 0,5 м від поверхні води. Вода виходить із сопла зі швидкістю 2–3 м/с. Висота камери становить 3,5–4 м, тривалість перебування води в ній – 15–20 хв.

На практиці при очищенні малокаламутних кольорових вод добре зарекомендувала себе камера утворення пластівців з рециркуляторами (рис. 7.3). В ній відбувається безперервна циркуляція завислого осаду. В кожній секції очищувана вода, рухаючись із камери в камеру, надходить у відстійник. Тривалість перебування води в камері утворення пластівців становить 30 хв.

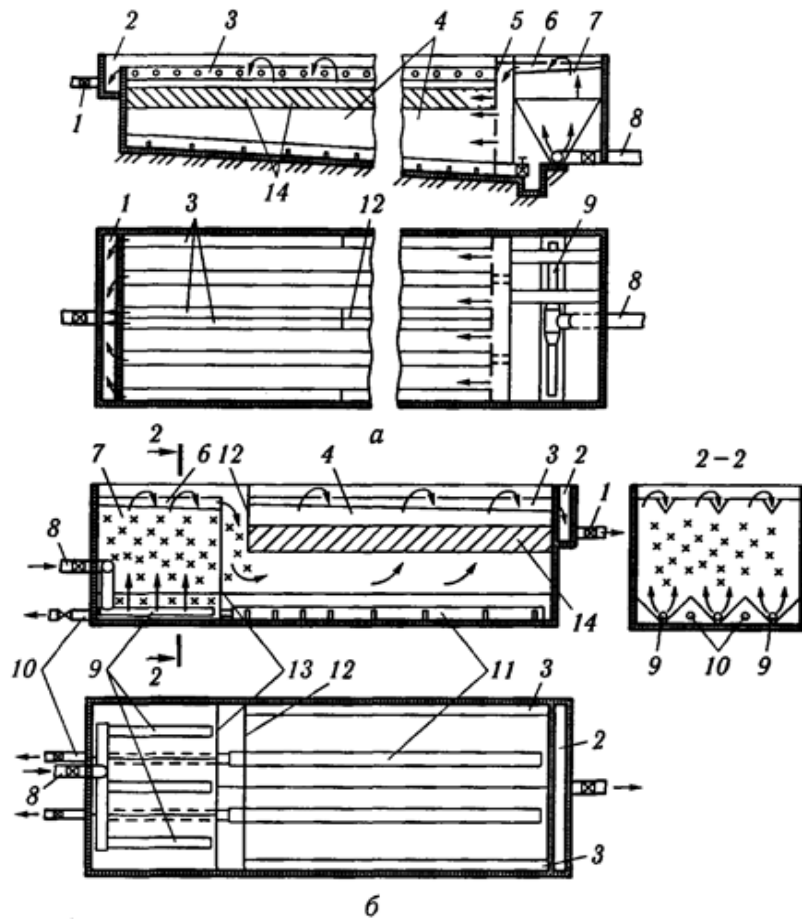


Рисунок 7.1 – Камери утворення пластівців вихрового (а) і зашамленого (б) типів, вмонтовані у горизонтальний відстійник:

1,8 – відповідно відведення проясненої і подавання вхідної води; 2 – бічний водозбірний канал; 3 – лотки децентралізованого відбирання проясненої води; 4 – зона і прояснення води; 5 – дірчаста перегородка; 6 – лотки для збирання і відведення води; 7 – камера утворення пластівців; 9 – перфоровані водорозподільні труби; 10 – скидання осаду з відстійника; 11 – перфоровані коробки для збирання і видалення осаду з відстійника; 12 – струмененапрямна перегородка; 13 – затоплений водозлив, що відокремлює камеру утворення пластівців від відстійника; 14 тонкошарові модулі



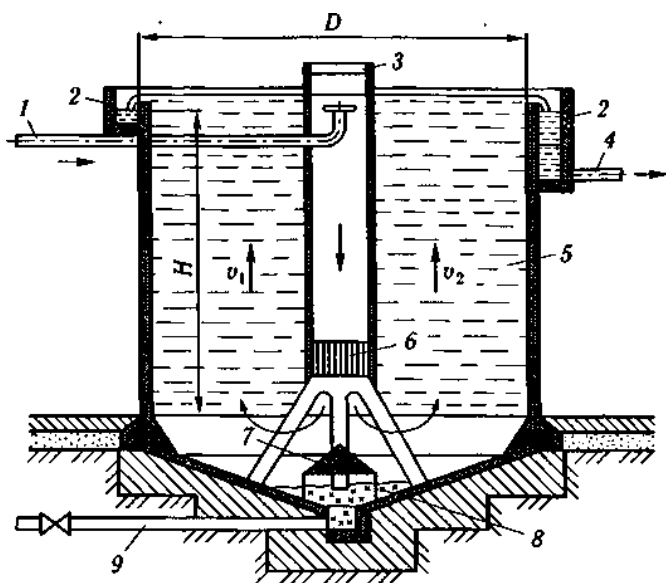


Рисунок 7.2 – Водоворотна камера утворення пластівців, вмонтована у вертикальний відстійник:

- 1,4 – відповідно подавання і відведення води; 2 – кільцевий водозбірний лоток; 3 – водоворотна камера утворення пластівців; 5 – зона прояснення води; 6 – гасник; 7 – конус-відбійник; 8 – зона накопичення та ущільнення осаду; 9 – скидання осаду

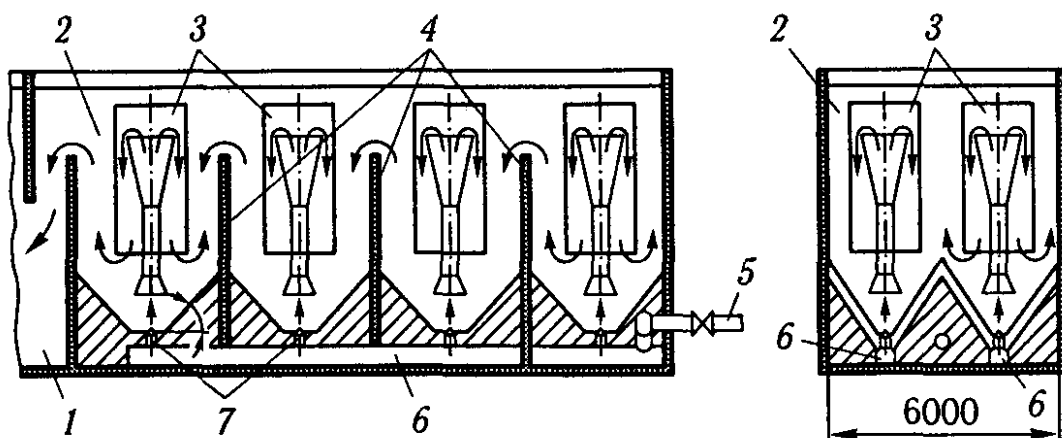


Рисунок 7.3 – Камера утворення пластівців з рециркуляторами:

- 1 – відстійник; 2 – камера утворення пластівців; 3 – рециркулятори завислого осаду; 4 – перегородки для розділення об'єму камери на паралельно працюючі секції; 5 – подавання вхідної води в камеру; 6 – розподільна труба; 7 – сопла

### 3 Флокулятори та аерофлокулятори

Механічні камери утворення пластівців – флокулятори (рис. 7.4) – застосовують для очищення каламутних вод на великих водоочисних комплексах.

Перемішування води в них здійснюють механічними пропелерами або лопатевими мішалками, встановленими на горизонтальних або вертикальних осях.

Флокулятори зазвичай вмонтовують у горизонтальні відстійники. Тривалість перебування води в них – 30–40 хв, а в разі реагентного зм'якшення – близько 60 хв. Кількість мішалок – 3–5. Швидкість обертання мішалок – 0,3–0,55 м/с залежно від якості вихідної води, а швидкість переміщення води зменшується за ходом потоку від 0,5 м/с до 0,1 м/с.

Перевагами флокуляторів порівняно з камерами гідравлічного типу є невеликі втрати напору, конструктивна простота, оптимізація процесу утворення пластівців адекватно якості оброблюваної води.

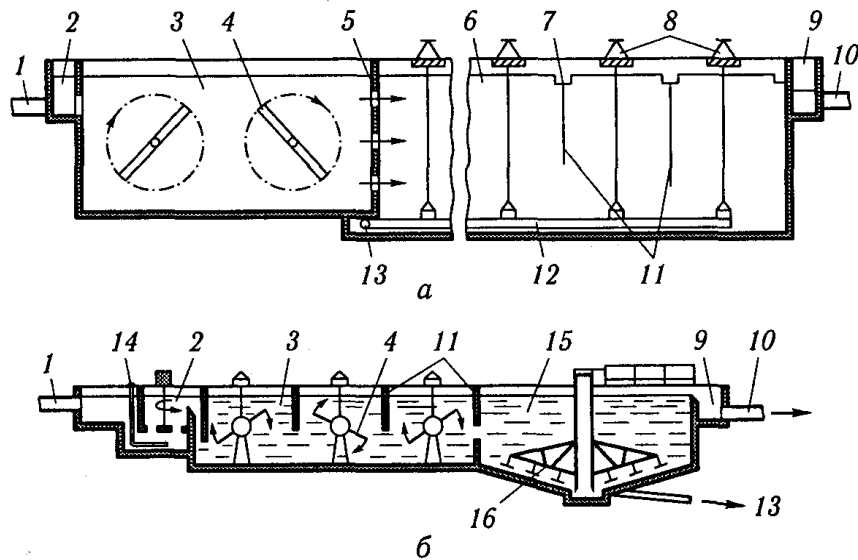


Рисунок 7.4 – Флокулятор, суміщений із секційним горизонтальним (а) і радіальним (б) відстійниками:

- 1,10 – відповідно подавання і відведення води; 2 – механічний змішувач;  
 3 – камера флокулятора; 4 – мішалка на горизонтальній осі; 5 – дірчаста перегородка; 6 – секційний горизонтальний відстійник; 7 – поперечні збірні жолоби; 8 – штурвали керування донними клапанами; 9 – бічний збірний канал;  
 11 – вертикальні перегородки для розділення об'єму відстійника на секції;  
 12 – гідравлічна система скидання і видалення осаду; 13 – видалення осаду;  
 14 – введення реагенту; 15 – радіальний відстійник; 16 – обертова ферма зі шкребками для видалення осаду

До недоліків флокуляторів варто віднести додаткову витрату електроенергії, наявність у воді деталей, до матеріалів на виготовлення яких пред'являють високі вимоги, що здорожує споруди в цілому.

Добре утворення пластівців досягається барботуванням оброблюваної води стисненим повітрям. При цьому одночасно з утворенням пластівців відбувається насичення води киснем повітря і видалення оксиду вуглецю.

Рівномірний розподіл повітря в масі оброблюваної води досягається або системою з пористих або перфорованих труб, або фальшивим дном з пористих плит.

Глибину шару води приймають в межах 2,5–4,5 м, інтенсивність подачі повітря варіюють в межах 0,05–0,06 л/(с·м<sup>2</sup>), тиск повітря в трубопроводі, який його подає, повинен бути порядку 5 МПа.

Повітророзподільні труби, розташовувані поперек камери з кроком 0,2–0,3 м на відстані 1,0 м від дна, мають по нижньої твірної отвори діаметром 2 мм при кроці 0,125–0,15 м.

Переваги аерофлокуляторів полягають у гнучкості регулювання процесу утворення пластівців адекватно якості оброблюваної води, низькій вартості та простоті пристрою. До числа недоліків слід віднести додаткову витрату електроенергії на компресію повітря.

### ***Контрольні питання***

1. Поясніть сутність процесу утворення пластівців.
2. Які фактори впливають на властивості пластівців та процес їх утворення?
3. Яка тривалість формування пластівців?
4. Яка повинна бути інтенсивність перемішування води в камерах утворення пластівців?
5. Як впливає температура води на інтенсивність її перемішування в камерах утворення пластівців?
6. Назвіть типи камер утворення пластівців.
7. Охарактеризуйте камери утворення пластівців гідравлічного типу.
8. Конструкція та принцип роботи вихрової камери утворення пластівців.
9. Конструкція та принцип роботи камери утворення пластівців зашламленого типу.
10. Конструкція та принцип роботи водоворотної камери утворення пластівців.
11. Конструкція та принцип роботи камер утворення пластівців з рециркуляторами.
12. Переваги флокуляторів та аерофлокуляторів.

## **7.2 ОСАДЖЕННЯ ДОМІШОК ВОДИ**

- 1. Основи процесу осадження.***
- 2. Типи відстійників.***
- 3. Тонкошарове відстоювання.***

### ***1 Основи процесу осадження***

Прояснення природних і стічних вод відстоюванням здійснюється внаслідок осадження завислих часточок під дією сили гравітації.

Під час відстоювання неоднорідних систем, якими є суспензії природних вод, спостерігається поступове збільшення концентрації дисперсної фази в апараті в напрямі згори вниз.

В результаті осідання завислих часточок дисперсної фази утворюється прояснений шар дисперсійного середовища (рис. 7.5, зона 1), за яким знаходиться зона вільного осідання часточок (рис. 7.5, зона 2) – зона згущеного шару. В міру осідання часточок концентрація їх у згущеному шарі підвищується, внаслідок чого утворюється зона згущеної суспензії (рис. 7.5, зона 3) і на дно відстійника осідає шар осаду – шлам (рис. 7.5, зона 4), який періодично або безперервно видаляється з відстійника (згущувача).

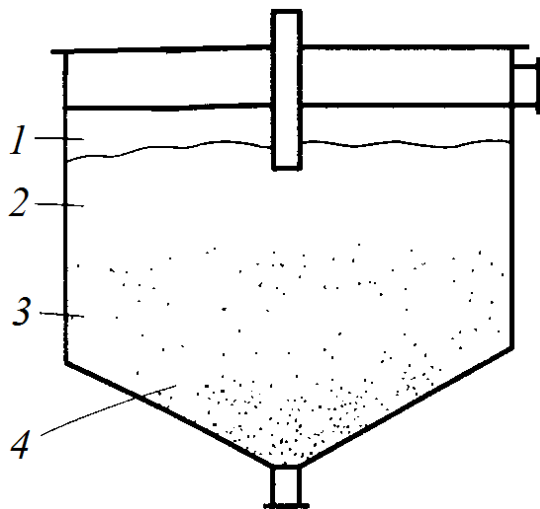


Рисунок 7.5 – Схема процесу відстоювання  
1 – прояснена вода; 2 – зона вільного осідання домішок; 3 – зона згущеної суспензії; 4 – шар осаду

В зоні вільного осідання концентрація дисперсної фази відносно невелика і часточки осідають під дією сили гравітації, не впливаючи одна на одну. Спочатку, в перші хвилини осадження, на ділянці *ab* (рис. 7.6) відбувається збільшення швидкості руху часточок в результаті прискорення вільного падіння під дією сили гравітації. Під час руху тіла в рідині виникає опір, величина якого залежить від режиму руху і форми часточки.

При осіданні часточок у рідкому середовищі в певний моменті настає рівновага, тобто сила гравітації дорівнює силі опору середовища. З цього моменту на ділянці *bc* (рис. 7.6) часточки починають рухатися рівномірно зі сталою швидкістю, яку називають *швидкістю осадження*. Сила, під дією якої осідають часточки, визначається різницею між її вагою і виштовхувальною силою Архімеда, що дорівнює масі рідини в об'ємі часточки.

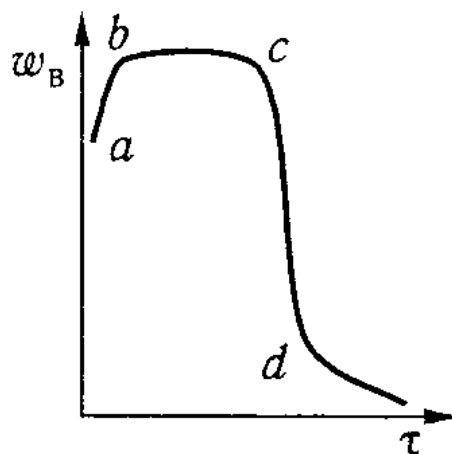


Рисунок 7.6 – Залежність швидкості відстоювання  $\omega_v$  від часу  $\tau$

Швидкість осадження несферичних часточок менша, ніж кулястих.

В багатьох практичних випадках за значної концентрації осаджуваних часточок у рідкому середовищі відбувається стиснуте осадження (рис. 7.6, зона 3), швидкість якого нижча від вільного внаслідок тертя і зіткнення часточок. Тому відбувається наближення швидкостей осадження часточок різних розмірів –колективне, або солідарне, осадження часточок з близькими швидкостями в кожному перерізі апарата, але різними за висотою. У процесі безперервної зміни концентрації часточок у різних перерізах апарата

відбувається безперервна зміна швидкості осадження (рис. 7.6, ділянка *cd*) внаслідок зростаючого впливу часточок одна на одну. В результаті осадження утворюється шар осаду (4) (рис. 7.5), який потім видаляють з апарата.

Отже, швидкість руху часточок у рідкому середовищі під дією сили гравітації залежить від розміру часточок, їх густини і форми, а також від властивостей дисперсійного середовища, його в'язкості та від режиму руху часточок. Густина дисперсної фази залежить також від хімічної природи речовини, її хімічного й мінералогічного складу і змінюється в досить широких межах.

Для збільшення швидкості осадження завислих часточок слід прагнути до збільшення їх розміру і густини, а також до зменшення в'язкості та густини дисперсійного середовища (води і водних розчинів). Досягти збільшення розміру завислих часточок та їх густини можна коагуляцією за допомогою коагулянтів, внаслідок чого утворюються пластівці з більшою густиною. Зменшення густини і в'язкості водної суспензії досягають її розбавленням. Що більше розбавлений водний розчин у суспензії, то менші його густина і в'язкість. Проте безмежно розбавляти суспензії недоцільно, оскільки знижується продуктивність згущувачів та збільшується об'єм очищуваних вод, що створює певні ускладнення в організації циклу замкненого обігу (в разі очищення промислових стічних вод).

Більшість завислих часточок, що містяться в очищуваних водах й утворюються в процесі водоочищення, неоднорідні за розмірами, формою і масою. Тому характер процесу осадження визначають експериментально.

## **2 Типи відстійників**

Вибір типу відстійників у кожному випадку визначають після порівняння кількох варіантів і вибирають найраціональніший із техніко-економічного погляду. Число відстійників має бути не менше ніж два; прагнуть будувати великогабаритні відстійники, оскільки їх вартість менша.

Для розрахунку кількості відстійників використовують такі дані:

1. Кількість очищеної води за максимального припливу.
2. Концентрація завислих речовин важких і легких (масла і нафтопродукти) домішок.
3. Бажаний ступінь очищення або допустимий вміст завислих речовин у проясненій воді.
4. Гідравлічна крупність завислих часточок, які треба видалити з очищеної води для забезпечення потрібного ефекту очищення, що становить 50–98 %.
5. Гідравлічну крупність завислих часточок, яку отримують у лабораторії в статичних умовах, визначають згідно з кінетикою відстоювання.

*Горизонтальні відстійники* – це прямокутні резервуари, зазвичай виготовлені із залізобетону (рис. 7.7). Їх обладнують пристроями для водозабору та водорозподілу, а також для видалення осаду. Продуктивність відстійників становить 30–50 тис. м<sup>3</sup>/добу у разі прояснення води від

коагульованих часточок і будь-яку продуктивність у разі видалення некоагульованих завислих часточок.

Горизонтальні відстійники застосовують на станціях для очищення природних, побутових і близьких до них за складом виробничих стічних вод. Вони призначені для видалення завислих речовин із води, яка пройшла крізь решітки та піскоуловлювачі. Відстійники виготовляють завширшки 9 м, завдовжки 24 м і 30 м з глибиною зони відстоювання 3–4 м і мають 4, 6 або 8 відділень.

Прямокутні відстійники мають переваги перед круглими. Якщо відстійників більше ніж два, вони мають спільну стінку. Слід зазначити, що із них швидше видаляється осад і вони потребують меншу площу земельної ділянки під забудову.

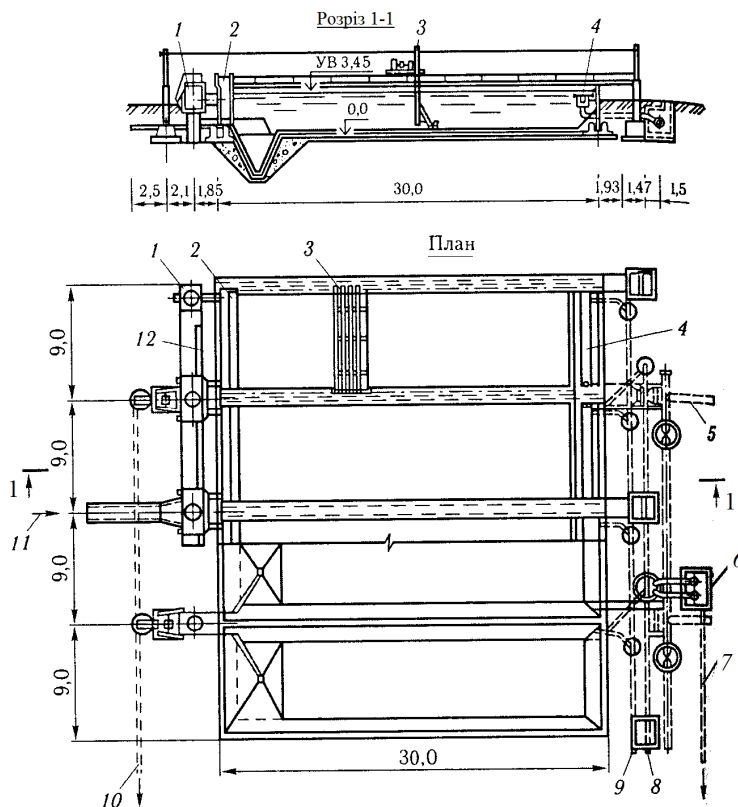


Рисунок 7.7 – Горизонтальний відстійник:

- 1,2 – відповідно розподільний і подавальний лотки;
- 3 – скребковий механізм;
- 4 – збірний лоток;
- 5 – відвідний трубопровід;
- 6 – камера насосів для відведення домішок, що спливають;
- 7 – патрубок аварійного скидання;
- 8 – трубопровід для подавання активного мулу для розбавлення домішок, що спливли;
- 9 – трубопровід для спорожнення відстійників;
- 10 – трубопровід для відведення сирого осаду;
- 11 – подавання води на очищення;
- 12 – повітропровід

*Вертикальні відстійники* застосовують під час реагентного способу очищення води продуктивністю 3000 м<sup>3</sup>/добу і каламутності вихідної вихідної води не більш як 2500 мг/дм<sup>3</sup>. Це круглі або квадратні в перерізі залізобетонні резервуари з центральною циліндричною трубою і конічною або пірамідальною нижньою частиною (рис. 7.8).

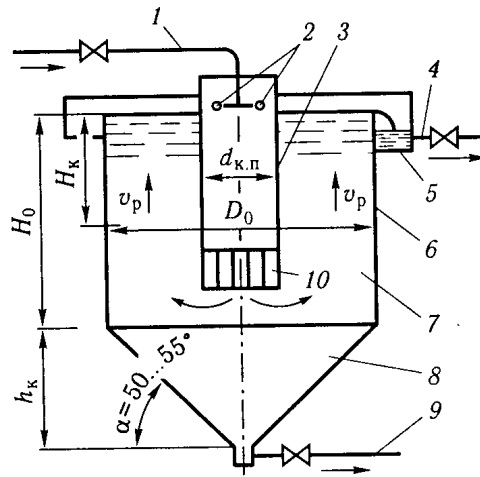


Рисунок 7.8 – Схема вертикального відстійника:

- 1 – труба для підведення проясненої води від змішувача; 2 – сопла;  
 3 – водоворотна камера утворення пластівців; 4 – труба для відведення води з відстійника; 5 – кільцевий периферійний жолоб; 6 – корпус відстійника;  
 7 – зона осадження осаду; 8 – зона для накопичення та ущільнення осаду;  
 9 – скидальна труба; 10 – гасник

Вода зі змішувачів надходить через центральну трубу і гаситель, виконаний у вигляді ґратки з комірками. У відстійнику вода рухається знизу вгору зі швидкістю 0,5–0,6 мм/с, а завислі речовини осідають під дією сили гравітації.

Площа перерізу вертикального відстійника дорівнює сумі площ камери утворення пластівців і зони осадження.

Відношення діаметра відстійника до висоти зони осадження має становити 1–1,5.

Розроблені типові проекти для вертикальних відстійників діаметром 4, 5, 6 і 9 м зі збірного та монолітного залізобетону, пропускна здатність відповідно 43, 87 і 196 м<sup>3</sup>/добу.

*Радіальні відстійники* є різновидом горизонтальних і їх використовують для прояснення води, що містить понад 2 г/дм<sup>3</sup> завислих речовин. Радіальні відстійники об'єднують в групи.

Це круглі резервуари, обладнані трубопроводами, що підводять і відводять воду, водозбірними і водорозподільними пристроями та обертовими фермами зі скребками для видалення осаду (рис. 7.9). До складу комплексу входять також насосна станція, розподілу чаша і два жирозбірники.

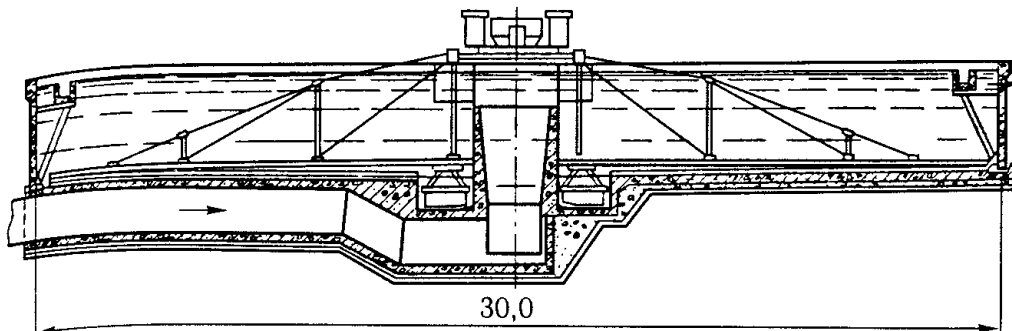


Рисунок 7.9 – Радіальний відстійник (розріз)

Вода для прояснення підводиться знизу в центр і виливається через лійку, повернену широким кінцем догори. Навколо лійки розміщений циліндр-заспокоювач радіусом 1,5–2,5 м з глухим дном і стінкою з отворами діаметром 40–50 мм. Наявність циліндра сприяє рівномірному розподілу води по робочій висоті відстійника. Вода рухається від центру до периферії і виливається в периферійний жолоб із затопленими отворами.

Прояснену воду відбирають рівномірно з кільцевого периферійного жолоба, в стінках якого на глибині 120–150 мм від поверхні знаходяться отвори діаметром 25–30 мм або трикутні водозливи заввишки 40–60 мм. Загальну площу отворів визначають за швидкістю руху води в них 0,7 м/с. Швидкість руху води в жолобі становить 0,5–0,6 м/с.

Видалення осаду здійснюють за допомогою металевої ферми з гребками, яка згрібає осад до центру відстійника. Ферма опирається одним кінцем на опору в центрі відстійника, а іншим – на візок, який рухається по стіні відстійника. Ферма повільно обертається зі швидкістю 1,5 об/год. Осад згрібається упрямок, а з нього періодично відкачується спеціальними насосами.

Радіальні відстійники діаметром від 2,5 м до 18 м виконують з центральним приводом, від 18 м до 100 м – з периферійним. Глибина відстійників залежно від продуктивності коливається від 1,5–2 м біля периферії до 3,5 м – біля центру.

### ***3 Тонкошарове відстоювання***


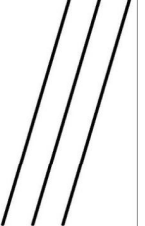
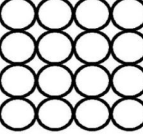
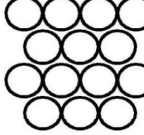
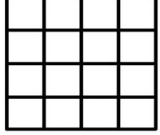

Робота відстійників тонкошарового прояснення ґрунтується на осадженні завислих часточок у малому шарі води, який утворюється облаштуванням нахилених елементів. Останні забезпечують швидке виділення завислих часточок та їх сповзання на нахилені поверхні елементів у зону утворення пластівців та ущільнення осаду. Зменшення висоти потоку знижує питоме навантаження на площу відстоювання, що зумовлює зменшення кількості руху рідини, яка переноситься часточками, підвищує стабільність гідродинамічної структури. Стабілізація протікання можлива, якщо енергія руху часточок води превалює над силою гравітації.

Оскільки турбулентність підвищує транспортувальну здатність потоку, режим протікання у відстійнику має бути ламінарним.

Тонкошарові елементи та блоки виготовляють із м'яких чи жорстких плівок, сполучених у вигляді стільникової конструкції, або із жорстких листових матеріалів у вигляді окремих полиць (табл. 7.10). Розміри в плані окремих блоків для зручності монтажу мають бути в межах від 1 м × 1 м до 1,5 м × 1,5 м. Висота поперечного перетину тонкошарового комірчастого елемента становить 0,03–0,05 м. Їх довжину визначають, зробивши спеціальні розрахунки, в межах 0,6–1,5 м.



Таблиця 7.1 – Характеристика тонкошарових модулів

Тип тонкошарового модуля відстійника	Плоскі пластини	Плоскі пластини	Трубки круглого перетину, які укладені в ряд	Трубки круглого перетину, які укладені в шаховому порядку	Трубки квадратного перетину	Трубки шестигранного перетину
Еквівалентний гідравлічний діаметр, мм	80мм (40мм між пластинами)	160мм (80мм між пластинами)	80мм	80мм	80мм	80мм
Конфігурація						
Еквівалентна площа відстоювання	16,2	8,1	6,4	7,4	8,1	10,8

Прояснену воду збирають жолобами із затопленими отворами або відкритими водозливами. Розрахунок конструкцій тонкошарових відстійників полягає у визначенні геометричних розмірів – довжини, ширини і висоти каналу при заданих навантаженні, початковому та кінцевому вмісті завислих речовин та їх характеристики (дисперсність і щільність). Обов'язковою умовою стабільної роботи апарата є ламінарний режим протікання і стійкість потоку в тонкошаровому елементі.

### **Контрольні питання**

1. Основи процесу осадження домішок.
2. Охарактеризуйте схему процесу відстоювання.
3. Охарактеризуйте стиснуте осадження.
4. Які фактори враховують при розрахунку кількості відстійників.
5. Конструкція та принцип дії горизонтальних відстійників.
6. Конструкція та принцип дії вертикальних відстійників.
7. Конструкція та принцип дії радіальних відстійників.
8. Для чого використовують тонкошарове відстоювання.
9. Охарактеризуйте використовувані тонкошарові елементи та блоки.

## 7.3 ПРОЯСНЕННЯ ВОДИ В ШАРІ ЗАВИСЛОГО ОСАДУ

1. *Основи процесу прояснення води в шарі завислого осаду.*
2. *Властивості завислого контактного середовища.*
3. *Типи прояснювачів із завислим осадом.*

### *1 Основи процесу прояснення води в шарі завислого осаду*

Прояснювачі із завислим осадом, застосовувані як споруди першого ступеня водопідготовки, можуть успішно працювати тільки за умови попередньої обробки домішок води коагулянтном або флокулянтном. Прояснювачі забезпечують більш високий ефект прояснення води і мають більш високу продуктивність, ніж відстійники. Втім, конструкція прояснювачів із завислим осадом та їх експлуатація складніші.

Принцип роботи прояснювачів із завислим осадом такий. Оброблювана вода, змішана з реагентами, вводиться в прояснювач знизу і рівномірно розподіляється площею робочих коридорів. Далі вода рухається знизу вгору і проходить через шар раніше сформованого завислого осаду, що складається з маси завислих у висхідному потоці пластівців, які безперервно хаотично рухаються, але весь шар в цілому нерухомий. Він знаходиться в стані динамічної рівноваги, обумовленої рівністю швидкості висхідного потоку води і середньої швидкості осадження пластівців. Слід зазначити, що середня швидкість осадження пластівців у завислому шарі відмінна від їхньої гідравлічної крупності. Це пояснюється так званим обмеженим осадженням частинок, на якому заснована робота прояснювачів. Проходячи через шар завислого осаду, вода прояснюється в результаті контактної коагуляції.

Величина пластівців завислого осаду постійно змінюється внаслідок злипання завислих часток, що витягають із води, і руйнування утворених агрегатів під впливом гідродинамічного впливу потоку. Отже, шар завислого осаду являє собою полідисперсну середу. Однак, середній розмір пластівців у всій масі завислого осаду при незмінних умовах роботи прояснювача (склад і властивості оброблюваної води, доза коагулянту, швидкість висхідного потоку) залишається незмінним, оскільки він визначається співвідношенням між внутрішніми силами зчеплення частинок, що утворюють структуру пластівців, і зовнішніми силами тертя, що діють на поверхні пластівців при їх обтіканні потоком води. Внаслідок безперервного хаотичного руху і циркуляції пластівці різного розміру досить рівномірно розподілені по всій висоті завислого шару.

При пропуску води через завислий шар витягнуті з неї домішки залишаються в ньому, при цьому об'єм шару повинен безперервно збільшуватися, але цього не відбувається, так як передбачається безперервне видалення надлишкового осаду із завислого шару в осадощільнювач, де він ущільнюється і скидається у водостік. Прояснена вода, що пройшла через шар завислого осаду, збирається за допомогою збірних жолобів або труб і відводиться для подальшої обробки на фільтри.

У завислому контактному середовищі відстань між частинками, які його утворюють, незрівнянно більше порівняно із розмірами домішок, що видаляють

з води і мають або колоїдну, або іонну ступінь дисперсності. Їх видалення з подібної гетерофазної системи відбувається в результаті адгезії та сорбції. При проходженні через завислий шар домішки води зближуються з раніше сформованими пластівцями (сорбентом) і під дією молекулярних сил прилипають до їх поверхні або раніше адсорбованих на них часток домішок.

Шар завислого осаду або контактне середовище (далі – КС) істотно впливає на процеси водообробки, які відбуваються в ньому, що можна сформулювати так:

1. КС має велику розвинену поверхню частинок, які утворюють його, надаючи сприятливу дію на процеси коагулювання, сорбції, адгезії й кристалізації продуктів процесу водообробки;

2. КС сприяє більш рівномірному розподілу оброблюваної води по перетину прояснювача і справляє позитивний вплив на гідравлічний режим та параметри потоку (збільшується коефіцієнт об'ємного використання, гідравлічний радіус і змочений периметр).

3. КС різко покращує гідравлічну характеристику суспензії. Швидкість її осадження зростає в 2–3 рази порівняно зі швидкістю осадження у відстійнику за рахунок збільшення розмірів пластівців та їх щільності.

4. КС значно підвищує ефект очищення води (знижує залишковий вміст домішок) за рахунок більш повного використання застосовуваних реагентів і властивостей контактної суспензії.

Стабільна робота прояснювачів досягається при сталості витрати та температури оброблюваної води. Спонтанні коливання витрати води викликають розмив завислого шару і винесення пластівців в зону прояснення. Коливання температури води, особливо надходження теплішої, ніж знаходиться в прояснювачі, тягне за собою виникнення конвективних потоків, що приводять до порушення завислого шару і замутнення проясненої води. Щоб забезпечити нормальну роботу прояснювача, допускаються протягом години коливання температури води в межах  $\pm 1$  °С.

При седиментації концентрованої маси пластівців спостерігається явище стиснутого осадження. Її характерна особливість в тому, що швидкість осадження, яка завжди менше швидкості вільного падіння, тобто гідравлічної крупності частинок, залежить не тільки від їх розмірів і маси, а й значною мірою від їх концентрації. Так, при об'ємній концентрації, яка дорівнює 10 %, швидкість осадження маси частинок удвічі менша порівняно з їх гідравлічною крупністю, при концентрації 25 % – у 6 разів. Завислий у висхідному потоці шар пластівців знаходиться в стані стиснутого осадження причому швидкість осадження дорівнює швидкості висхідного потоку, тому частки не виносяться з потоком в зону прояснення і не декантують.

## ***2 Властивості завислого контактного середовища***

Контактне середовище в прояснювачі являє собою завислий висхідним потоком води шар частинок, що складаються з продуктів процесу водообробки. Зазвичай ці частинки мають вигляд пластівців з сітчастою структурою, скелет (каркас) якої утворений твердою речовиною, а осередки містять велику

кількість води. Пластівці утворюються в результаті зчеплення між собою частинок твердої речовини під дією молекулярних сил. Зчеплення відбувається в місцях найбільшої концентрації названих сил: у виступаючих точках поверхні частинок; при ниткоподібній формі частинки зчіплюються своїми кінцями, а при іншій, також зазвичай несиметричній, формі – гострими кутами і ребрами. Ця обставина і обумовлює вказану сітчасту будову пластівців. Речовину з такою будовою називають структурованою системою.

Пластівці суспензії являють собою окремі самостійні структуровані системи в дисперсійному середовищі. При великій об'ємній концентрації пластівців вони можуть з'єднатися і утворити спільну структуровану систему, що заповнює простір, всередині якого не залишається вільного, тобто не укладеного в осередки структурної сітки, дисперсійного середовища.

У контактному середовищі суспензія зазвичай знаходиться у вигляді не пов'язаних між собою пластівців. При обтіканні їх висхідним потоком води живі перетини і швидкості місцевих складових потоку змінюються. Це викликає пульсації тисків у потоці і безладні відхилення концентрації частинок від середнього її значення в даному елементарному об'ємі контактного середовища. Подібні відхилення називають флуктуаціями. Точно також виявляються неоднаковими в даний момент часу концентрації суспензії в сусідніх зонах середовища. У силу цих обставин в останній безперервно відбувається дифузія суспензії, тобто переміщення останньої із зон з великими в зони з меншими концентраціями.

Внаслідок дифузії частинки суспензії в контактному середовищі перебувають у стані безперервної циркуляції, а саме середовище – в стані динамічної рівноваги, при якому в ньому зберігається (за даних умов роботи прояснювача) сталість середнього значення концентрації суспензії, а циркулюючі частинки рухаються в межах кордонів завислого їх шару. Через те саме явище дифузії суспензія рухається з контактного середовища прояснювача в систему шламовидалення і безперервно компенсує зміну концентрації контактного середовища по висоті її але горизонтальному перерізі, пов'язану з відведенням з прояснювача надлишкової суспензії я з надходженням нової суспензії.

У технології роботи прояснювача велике значення мають фізичні властивості і параметри суспензії контактного середовища: сили взаємного тяжіння і зчеплення суспензії, об'ємна і масова її концентрація, щільність, діаметр і гідравлічна крупність частинок суспензії і міцність осаду на стиск. Вони впливають на процес очищення води, на концентраційну дифузію в межах і за межами контактного середовища, на процес видалення надлишку суспензії з робочої камери прояснювача, на ущільнення осаду і втрати води, пов'язані з його видаленням, і на продуктивність прояснювача.

Контактне середовище покращує ефект і скорочує час обробки води, так як більша поверхня утворених її твердих частинок створює сприятливі умови для інтенсифікації явищ каталізу, сорбції та адгезії, що складають основу процесу очищення води. Крім того, позитивний вплив на цей процес надають циркуляція і дифузія суспензії в контактному середовищі, що збільшують

ймовірність зіткнення механічних домішок, які видаляють з води, з частинками контактного середовища, і інтенсивність дифузії розчинених домішок до поверхні цих частинок.

Домішки, які видаляють з води, відкладаються на поверхні частинок контактного середовища, а також утворюють нові зародки цих частинок. Завдяки малому розміру пір контактного середовища ці процеси відбуваються швидше і з більшою ймовірністю видалення з води всіх домішок, ніж при взаємному з'єднанні, укрупненні й осадженні суспензії у вільному обсязі відстійника. Розміри частинок, щільність і швидкість осадження суспензії в першому випадку виходять також більшими, ніж у другому, внаслідок чого пропускна спроможність на одиницю площі у прояснювача вище, ніж у відстійника.

Ефективність впливу контактного середовища на процес обробки води в прояснювачі залежить від фізичних параметрів середовища: об'ємної концентрації, розмірів частинок, сил зчеплення і гідравлічної характеристики суспензії, що утворює середовище. Крім того, для роботи прояснювача велике значення мають міцність на стиск і об'ємна вага суспензії і ступінь зі структурно-механічної гідратації. Під останньою розуміється відношення кількості води, укладеної в осередку структури пластівців, до кількості утворених пластівці твердої речовини.

Безпосередній вплив на фізико-хімічні процеси очищення води надають об'ємна концентрація, розмір часток і сили зчеплення суспензії контактного середовища. Перші два параметри визначають площу твердій поверхні, з якою контактує оброблювана вода і пов'язані явища каталізу, сорбції та адгезії, а третій параметр визначає активність цієї поверхні відносно адгезії. Крім того, від об'ємної концентрації залежить інтенсивність явищ циркуляції і дифузії суспензії, що впливають, як було зазначено вище, на фізико-хімічні процеси очищення води і обумовлюють динамічну рівновагу контактного середовища і процес видалення з неї надлишкової суспензії.

Гідравлічна характеристика визначає швидкість осадження і ступінь, однорідності суспензії. Від неї залежить швидкість руху води в прояснювачі і, отже, його пропускна спроможність. При заданій швидкості руху води в прояснювачі від гідравлічної характеристики залежать об'ємна концентрація суспензії і залишковий вміст механічних домішок у проясненій воді, Швидкість осадження суспензії визначається розмірами н об'ємною вагою її частинок.

Від об'ємної ваги суспензії і об'ємної її концентрації залежать також гідравлічний ухил в контактному середовищі і втрати напору при даній висоті останнього. Чим більше величина цих втрат, тим краще розподіл швидкостей руху води по перетину прояснювача. Величина об'ємної ваги суспензії пов'язана з процесом так званого старіння суспензії, в результаті якого вона втрачає свою активність щодо сорбції та адгезії. Таким чином, об'ємна вага може служити непрямою характеристикою цього старіння.

Міцність на стиск впливає на, процес ущільнення і зневоднення суспензії при відстоюванні її в шламоущільнювачі. Результати цього процесу характеризуються співвідношенням величин структурно-механічної гідратації

суспензії при вступі її з прояснювача в шламоущільнювач і після відстоювання в останньому. Від величини гідратації, одержуваної після відстоювання, залежить витрата води на продукту шламоущільнювача.

### ***3 Типи прояснювачів із завислим осадом***

Практика експлуатації прояснювачів показала, що підтримання завислого шару осаду на заданому рівні та забезпечення тим самим стійкої роботи апарату можливо тільки при наявності регульованого безперервного примусового видалення надлишкового осаду із завислого шару в осадощільнювач.

Прояснювачі з шаром завислого осаду класифікують:

- за способом видалення надлишку осаду – з природним відбором (рис. 7.11) і з примусовим відсмоктуванням;
- за робочим тиском – на напірні (рис. 7.12) й відкриті;
- за розташуванням осадощільнювача – з вертикальним, піддонним (рис. 7.13) та виносним (рис. 7.12).

Основоположними умовами надійної роботи прояснювачів є рівномірний розподіл оброблюваної води площею зони завислого осаду і рівномірний збір та відведення проясненої води, а також раціональна організація безперервного відведення надлишку осаду в осадощільнювач.

Принцип дії прояснювачів із завислим шаром полягає в тому, що очищувана вода, змішана з реагентами (коагулянт, флокулянт), надходить у прояснювач знизу і рівномірно розподіляється на площі коридорів. Рухаючись знизу вгору, вона проходить крізь шар раніше сформованого завислого осаду, який складається з маси завислих у потоці пластівців, що перебувають у безперервному русі, проте весь шар загалом залишається нерухомим. Проходячи крізь шар завислого осаду, вода прояснюється в результаті контактної коагуляції. Забруднення сорбується шаром завислого осаду, надлишок якого безперервно видаляється в осадощільнювач, після чого скидається у водостік. Прояснена вода збирається за допомогою жолобів і відводиться для подальшого прояснення на фільтрах.

Днища прояснювачів каламутних вод мають певний нахил. Прямокутна форма їх забезпечує простоту компонування. В схемах очищення малокаламутних і забарвлених природних вод процес утворення пластівців в коридорних прояснювачах здійснюється малоефективно. Тому для інтенсифікації процесу доцільно нижню конусну частину прояснювачів завантажувати гравієм або щебенем на висоту 0,7 м. Крупність гравію або щебеню становить 20–50 мм. У цьому випадку збільшується продуктивність апарата на 15–25 % і зменшується витрата коагулянту на 15–20 %.

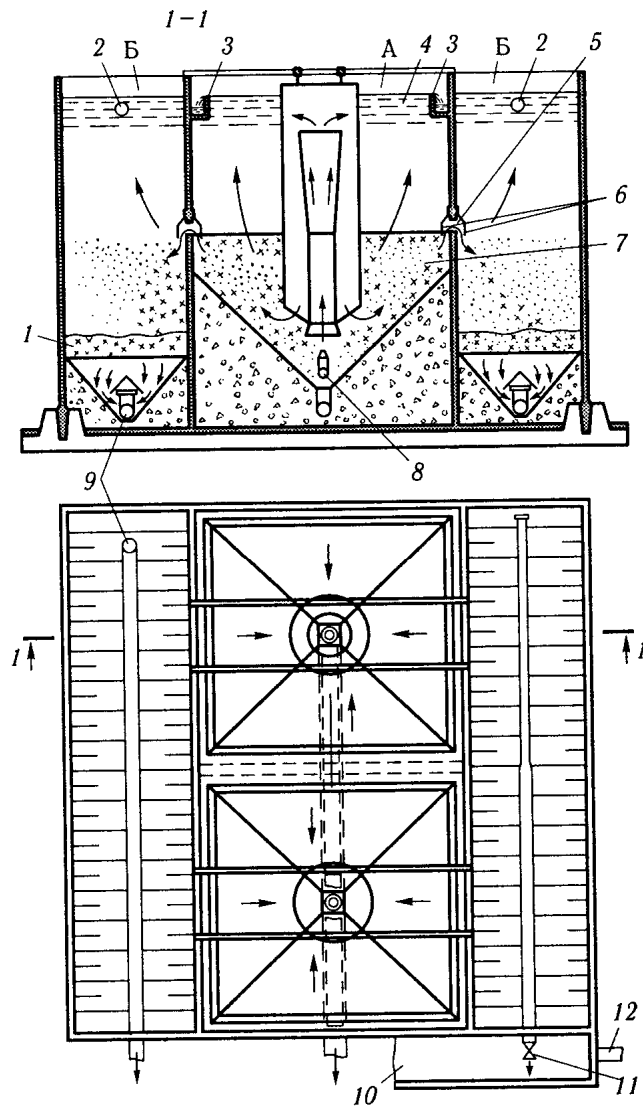


Рисунок 7.11 – Прояснювач із рециркуляцією осаду коридорного типу:  
 А – робочий коридор прояснювача; Б – вертикальні осадоущільнювачі;  
 1 – шар ущільненого осаду; 2 – перфоровані труби для збирання проясненої  
 води; 3 – водозбірні жолоби; 4 – зона прояснення води; 5 – шламовідвідні вікна;  
 6 – захисні козирки; 7 – шар завислого осаду; 8 – перфоровані телескопічні  
 водорозподільні труби; 9 – труби скидання осаду; 10 – збірна бічна кишеня;  
 11 – засувки регулювання примусового відсмоктування осаду; 12 – відведення  
 води на фільтри

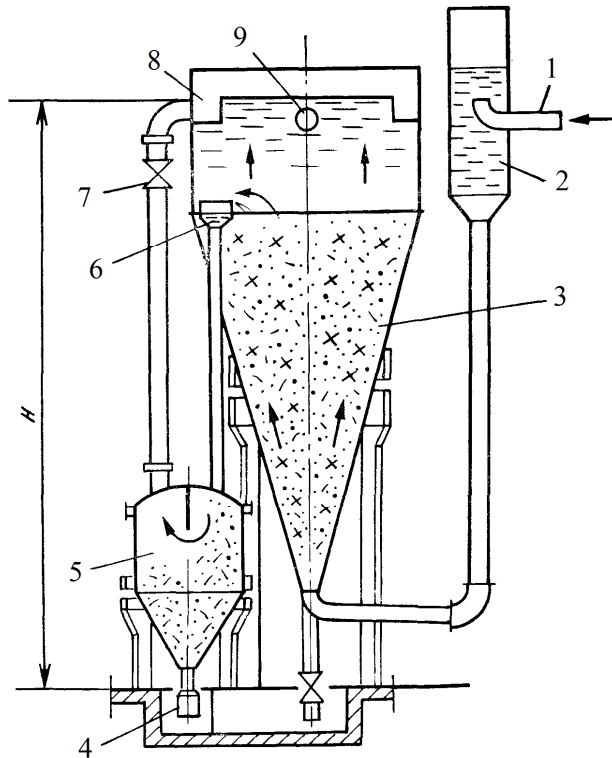


Рисунок 7.12 – Напірний прояснювач з виносним осадощільнювачем:

- 1,9 – відповідно подача оброблюваної і відведення проясненої води;  
 2 – повітровідділювач; 3 – зона коагуляції і утворення пластівців; 4 – видалення осаду;  
 5 – осадощільнювач; 6 – воронка для збору і відводу надлишку осаду;  
 7 – засувка, яка регулює відведення осаду; 8 – збір проясненої води

Із цією самою метою у прояснювачі з вертикальними осадощільнювачами при обробленні малокаламутних забарвлених вод вносять контактну масу із зерен кварцового піску або подрібненого керамзиту крупністю 0,1–0,15 мм у кількості 10–12 кг на 1 м<sup>2</sup> площі завислого шару. Вона є центром коагуляції домішок води, яка інтенсифікує процес і дає змогу збільшити продуктивність апарата на 15–20 %.

Розрахунок і проектування прояснювачів проводять з урахуванням річних коливань кількості очищуваної води. При цьому орієнтуються на два характерних періоди: мінімальної каламутності за мінімальної зимової витрати води й найбільшої каламутності літньої витрати води. Основними розрахунковими параметрами прояснювачів із завислим шаром є швидкість висхідного руху води в зоні прояснення, яка визначається технологічними дослідженнями, і коефіцієнт розподілу води між зоною прояснення і зоною відокремлення осаду.

У разі розташування в зоні прояснення, відокремлення та ущільнення осаду тонкошарових модулів площу зони прояснення визначають за питомим навантаженням, віднесеним до площі дзеркала води, яка зайняти тонкошаровими блоками. Висоту шару завислого осаду приймають 2–2,5 м, втрату опору в ньому визначають із розрахунку 1–2 см на 1 м його висоти, а висоту зони прояснення – 2–2,5 м.



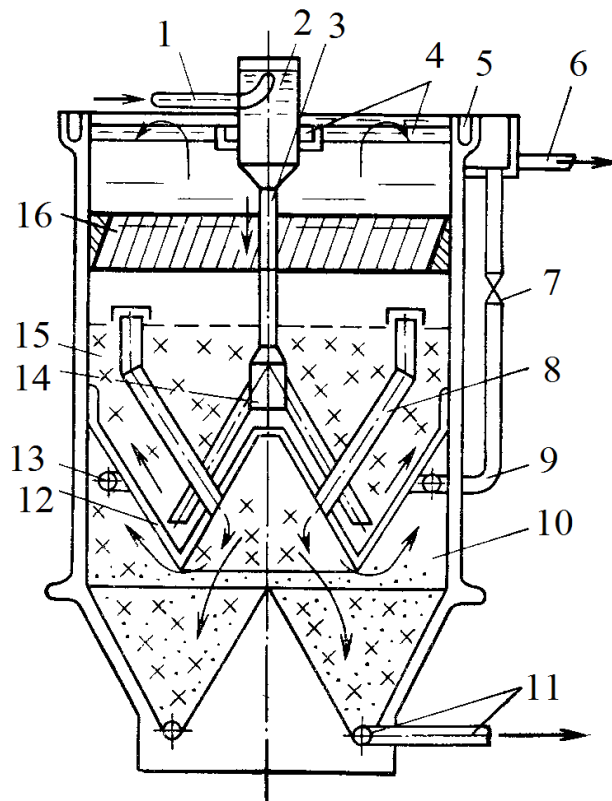


Рисунок 7.13 – Прояснювач з піддонним осадоущільнювачем:

- 1,6 – відповідно подача і відведення води; 2 – повітровідділювач; 3 – стояк, що подає; 4 – радіальні жолоби; 5 – кільцевий периферійний збірний жолоб; 7 – засувка, яка регулює відсмоктування осаду; 8 – осадовідвідні труби чи коробки; 9 – відведення проясненої води з осадоущільнювача; 10 – осадоущільнювач; 11 – скидання осаду; 12 – герметичне «фальшиве дно»; 13 – кільцевий перфорований збірний трубопровід; 14 – розподільний циліндр з перфорованими трубами; 15 – шар завислого осаду; 16 – тонкошарові модулі

Ущільнення триває 2–3 год за наявності згущувачів і не більше 6 год – за їх відсутності. Скидання осаду з осадоущільнювача періодично здійснюють перфорованими трубками.

За кількості прояснювачів менше шести передбачають один резервний.

Більшість закордонних конструкцій прояснювачів (рис. 7.14, 7.15) характеризують великими площами апаратів в плані, відсутністю пристроїв для примусового відсмоктування осаду із завислого шару в осадоущільнювач, складністю конструктивного оформлення, визначеними експлуатаційними труднощами.

Сучасні вітчизняні конструкції прояснювачів значно простіші й надійніші за своїм устроєм та експлуатацією, а тому економічніші при будівництві. Пристрій систем примусового відсмоктування осаду у вітчизняних конструкціях прояснювачів забезпечує їх стабільну роботу, проста і раціональна конструкція апаратів дозволяє отримати високий ефект прояснення води при мінімальних експлуатаційних витратах.

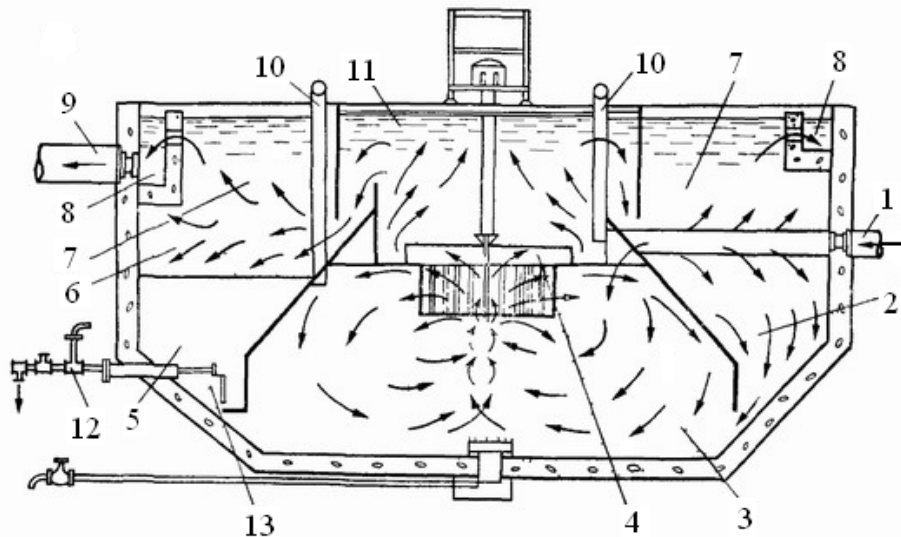


Рисунок 7.14 – Схема акселератора:

1 – подача вихідної води; 2 – зона зворотного потоку; 3 – зона первинного коагулювання; 4 – турбіна; 5 – зона накопичення та ущільнення осаду; 6 – шар завислого осаду; 7 – зона прояснення води; 8 – кільцевої збірний жолоб; 9 – відведення проясненої води; 10 – система подачі реагентів; 11 – зона вторинного коагулювання; 12 – скидання осаду; 13 – прийомок для осаду

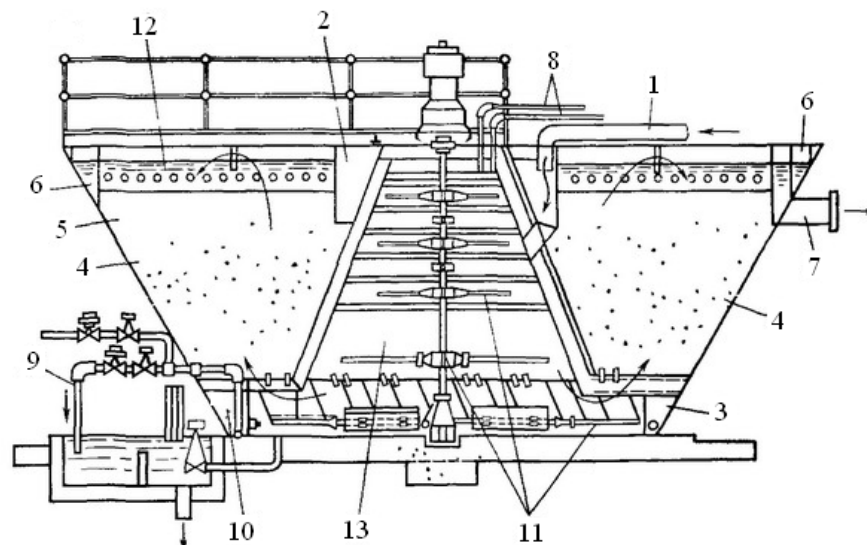


Рисунок 7.15 – Схема пресіпінатора:

1 – подача вихідної води; 2 – зона первинного коагулювання; 3 – зона накопичення та ущільнення осаду; 4 – шар завислого осаду; 5 – зона прояснення води; 6 – кільцевий збірний жолоб; 7 – відведення проясненої води; 8 – система подачі реагентів; 9 – скидання осаду; 10 – прийомок для осаду; 11 – мішалка; 12 – радіальні жолоби; 13 – флокулятор

### **Контрольні питання**

1. Основи процесу прояснення води в шарі завислого осаду.
2. Переваги та недоліки прояснювачів із завислим осадом.

3. Опишіть принцип роботи прояснювачів із завислим осадом.
4. Охарактеризуйте вплив контактного середовища на процес водообробки.
5. За умови дотримання яких параметрів досягається стабільна робота прояснювачів?
6. Особливості стиснутого осадження.
7. Охарактеризуйте властивості завислого контактного середовища.
8. Які фактори впливають на властивості завислого контактного середовища?
9. Назвіть основні типи прояснювачів із завислим осадом.
10. Назвіть умови надійної роботи прояснювачів із завислим осадом.
11. Принцип роботи прояснювачів з вертикальними осадощільнювачами.
12. Розташування в зоні прояснення, відокремлення та ущільнення осаду прояснювачів із завислим осадом тонкошарових модулів.
13. Опишіть конструкцію та принцип дії акселератору.
14. Опишіть конструкцію та принцип дії пресіпінатору.

## **ТЕМА 8 ФІЛЬТРУВАННЯ ВОДИ**

- 1. Фільтрування через зернисті матеріали.**
- 2. Типи фільтрів.**
- 3. Контактні прояснювачі та контактні фільтри.**
- 4. Покращення роботи фільтрів.**

### ***1 Фільтрування через зернисті матеріали***

Фільтруванням називають процес розділення неоднорідних систем (суспензій) за допомогою пористих перегородок, які затримують одну (тверду) фазу цих систем і пропускають іншу (рідку). На практиці під час очищення стічних вод доводиться мати справу із розділенням суспензій на рідку фазу і вологий осад.

Апарат, в якому здійснюється цей процес, називають фільтром. У найпростішому вигляді фільтр – це посудина, розділена фільтрувальною перегородкою. По різні боки перегородки створюють різницю тисків, під дією якої здійснюється транспортування рідини крізь перегородку і затримування на ній осаду. Цей процес розділення суспензії називають *фільтруванням із затриманням осаду*. Якщо тверді часточки проникають у пори фільтрувальної перегородки, затримуються у них і не утворюють осаду, процес називають *фільтруванням із закупорюванням пор*.

Залежно від способу створення різниці тисків по обидва боки фільтрувальної перегородки розрізняють процеси фільтрування за сталої різниці тисків, сталої швидкості та змінних різниці тисків і швидкості. Слід віддавати перевагу фільтруванню з утворенням осаду, що практично виключає закупорювання пор перегородки і відповідно не призводить до збільшення її

опору. Такий спосіб фільтрування спостерігається за достатньо високої концентрації твердої фази в суспензії (понад 1 % об'єму).

У разі фільтрування із закупорюванням пор перегородки ускладнюється її регенерація, і тому цей спосіб використовують рідко. Такий спосіб фільтрування називають *проясненням* і застосовують за концентрації твердих часточок у суспензії менш ніж 0,1 % об'єму. Під час фільтрування суспензій з невеликою концентрацією тонкодисперсної твердої фази часто використовують фільтрувальні допоміжні речовини (діатоміт, азбест, перліт, целюлозу, активоване вугілля, деревне борошно), які перешкоджають проникненню твердих часточок у пори фільтрувальної перегородки.

Осади, що утворюються на фільтрувальній перегородці, бувають нестисливі та стисливі. *Нестисливими* називають осади, в яких пористість (відношення об'єму пор до об'єму осаду) не зменшується за збільшення різниці тисків. До практично нестисливих належать осади неорганічних речовин із розміром часточок понад 100 мкм (пісок, карбонат кальцію тощо). *Стисливими* називають осади, пористість яких зменшується, а опір рідини зростає за збільшення різниці тисків у процесі фільтрування. До дуже стисливих належать осади гідроксидів металів (міді, алюмінію, заліза тощо), які складаються з агрегатів, що легко деформуються.

У зв'язку з малим розміром пор у фільтрувальній перегородці та в шарі осаду, а також невелику швидкість руху рідкої фази в порах фільтрування відбувається в ламінарній зоні. При цьому швидкість процесу прямо пропорційна різниці тисків й обернено пропорційна загальному гідравлічному опору шару осаду з фільтрувальною перегородкою та в'язкості рідкої фази.

*Залежно від фільтрувального шару розрізняють фільтри:*

- із зернистим завантаженням (фільтрувальний шар – кварцовий пісок, керамзит, мармур, аглопорит, мелений антрацит, шунгізит, магноаса, пінополістирол та ін.);
- сітчасті (фільтрування крізь сітку з розміром комірок 40 мкм);
- тканинні (фільтрування крізь бавовняні, сукняні, льняні, скляні або капронові тканини);
- наливні (фільтрувальний шар – деревне борошно, азбестове кришиво, діатоміт тощо).

Зернисті фільтри застосовують для відокремлення грубодисперсних часточок, тканинні – тонко-дисперсних, наливні – для очищення тонкодисперсних часточок малокаламутних вод.

*Залежно від швидкості фільтрування зернисті фільтри* поділяють на:

- повільні (0,1–0,2 м/год);
- швидкі (5,5–15 м/год);
- надшвидкі (понад 25 м/год).

*За величиною зерен фільтрувального завантаження розрізняють фільтри:*

- дрібнозернисті (повільні фільтри з розміром зерен верхнього шару піску 0,3–1 мм);
- середньозернисті (швидкі фільтри з розміром зерен верхнього шару піску 0,5–0,8);

– великозернисті (попередні фільтри з розміром зерен верхнього шару піску 1–2 мм).

Фільтри, завантажені однорідним шаром фільтрувального завантаження, називають *одношаровими*, а фільтри, завантажені неоднорідним за щільністю і розміром зерен завантаженням, – *багатошаровими*.

Зерна фільтрувального завантаження характеризують ефективним діаметром зерен і коефіцієнтом неоднорідності. Ефективний діаметр зерен для піску відповідає калібру сита, крізь яке проходить 10 % піску. Коефіцієнтом неоднорідності називають відношення 80 %-го калібру піску до 10 %-го. Цей коефіцієнт зазвичай приймають таким, що дорівнює 1,5–2,2.

Механічну міцність фільтрувальних матеріалів характеризують стиранням і подрібненням.

Хімічна стійкість зернистих матеріалів визначається поведінкою їх у нейтральному (водний розчин хлориду натрію), лужному (водний розчин гідроксиду натрію) і кислотному (водний розчин хлоридної кислоти) середовищах.

Фільтрувальні завантаження розміщують на підтримувальних шарах гравію або щебеню, товщина якого залежно від будови фільтра та умов фільтрування змінюється в межах від 2–4 мм до 16–32 мм. Фільтри виготовляють *відкритими* і *напірними* з подаванням очищеної води *згори вниз, знизу вгору* чи *одночасно в обох напрямках* зі *сталією* або *змінною швидкістю*.

Під час фільтрування зернисте завантаження поступово забруднюється, що призводить до зростання втрати напору. Фільтрувальну здатність фільтра відновлюють *промиванням*. Проміжок часу між двома промиваннями називають *фільтроциклом*, який залежить від кількості та властивостей часточок, що забруднюють воду, розміру зерен та пористості фільтрувального завантаження, а також швидкості фільтрування. Кількість забруднень, затриманих упродовж фільтроциклу, називають *грязеємністю фільтра*.

## 2 Типи фільтрів

*Мікрофільтри й барабанні сітки* застосовують для грубого прояснення (проціджування) води. Швидкість фільтрування приймають із розрахунку 10–25 л/(с·м<sup>2</sup>). Втрати напору на мікросітці становлять 0,2 м, а загальні втрати на установці – близько 0,5 м. Лінійна швидкість обертання барабана 0,1–0,5 м/с. Сітку промивають водою під напором 0,15–0,20 МПа.

Залежно від потрібної глибини очищення та умов застосування сітчасті барабанні фільтри оснащують сітчастим полотном з різною величиною комірок. У зв'язку з цим їх умовно поділяють на мікрофільтри модернізовані (далі – МФМ) і барабанні сітки (далі – БС). Мікрофільтри затримують грубодисперсні часточки на 40–60 %, що дає змогу в деяких випадках замінити ними первинні відстійники. Вміст завислих речовин у вихідній воді не повинен перевищувати 300 мг/дм<sup>3</sup>.

Барабанні сітки затримують грубодисперсні домішки за відсутності в очищуваній воді в'язких речовин, зменшують вміст завислих речовин (за

концентрації їх в очищуваній воді не більше ніж  $250 \text{ мг/дм}^3$ ) на 25–40 %. Їх здебільшого встановлюють перед зернистими фільтрами.

Схема установки БС зображена на рисунку 8.1.

Для запобігання біологічному обростанню сіток передбачається опромінення поверхні барабана бактерицидними лампами. Швидкість фільтрування досягає 30–50 м/год.

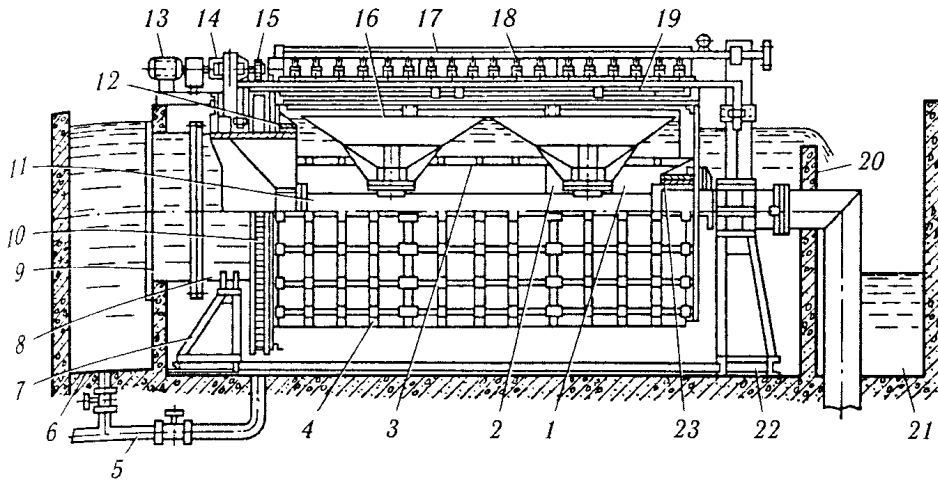


Рисунок 8.1 – Схема установки сітчастого барабанного фільтра:

1 – барабан; 2 – поперечні зв'язки; 3 – поздовжні зв'язки; 4 – ребра жорсткості; 5 – труби спорожнення; 6 – вхідний канал; 7 – передня рама; 8 – вхідна труба; 9 – закладний патрубок; 10 – цівкове колесо; 11 – випускна труба; 12 – передній підшипник; 13 – електродвигун; 14 – редуктор; 15 – шестірня; 16 – бункер; 17 – трубопровід промивної води; 18 – розбризкувач; 19 – бактерицидні лампи; 20 – водозлив; 21 – канал фільтрату; 22 – задня рама; 23 – задній підшипник

Повільні фільтри (рис. 8.2) – це залізобетонні або цегляні резервуари прямокутної чи круглої форми, заповнені кварцовим піском і підтримувальним шаром щебню. Висота шару кварцового піску залежно від розмірів його зерен (мм) приймається такою, що дорівнює: 0,3–1 мм – 800 мм; 1–2 мм – 500 мм; гравію або щебню: 2–20 мм – 100 мм; 20–40 – 150 мм. Висота шару всього завантаження має становити 1 300 мм. Швидкість фільтрування на повільних фільтрах залежить від вмісту завислих речовин у прояснюваній воді та дорівнює 0,2–0,1 м/год. (за вмісту завислих речовин  $25 \text{ мг/дм}^3$  і менше). Грязеємність залежить від властивостей завислих речовин, тому фільтри зазвичай чистять один раз на 10–30 діб.

Глибина води над фільтрувальним шаром становить 1,2–1,5 м. Днище фільтра має уклон  $0,01^\circ$  до лотка. За вмісту завислих речовин у воді до  $25 \text{ мг/дм}^3$  швидкість фільтрування на повільних фільтрах приймають 0,2–0,3 м/год, за вмісту завислих речовин  $25\text{--}30 \text{ мг/дм}^3$  – 0,1–0,2 м/год. Недоліком повільних фільтрів є їх велика будівельна вартість та велика площа, яку вони займають. До переваг належить простота обслуговування.

Очищення малокаламутних (каламутність до  $40 \text{ мг/дм}^3$ ) і мало забарвлених вод (забарвленість до 30 град.) можна здійснювати фільтруванням крізь *намивний шар спеціального фільтрувального порошку* (діатоміт, целюлоза, азбест, деревне борошно, бентоніт, тирса тощо). При фільтруванні води через намивні фільтри вміст органічних речовин зменшується приблизно вдвічі й забезпечується видалення заліза, мангану, масел і бактерій. Намивні фільтри працюють зазвичай за напірною схемою, рідше як гравітаційні та вакуумні. Швидкість фільтрування на намивних фільтрах становить 1–50 м/год, тривалість фільтроциклу – 36–60 год, втрати напору – до 15–20 м, витрати води на промивання – 0,5–0,7 %, тривалість промивання – 15 хв.

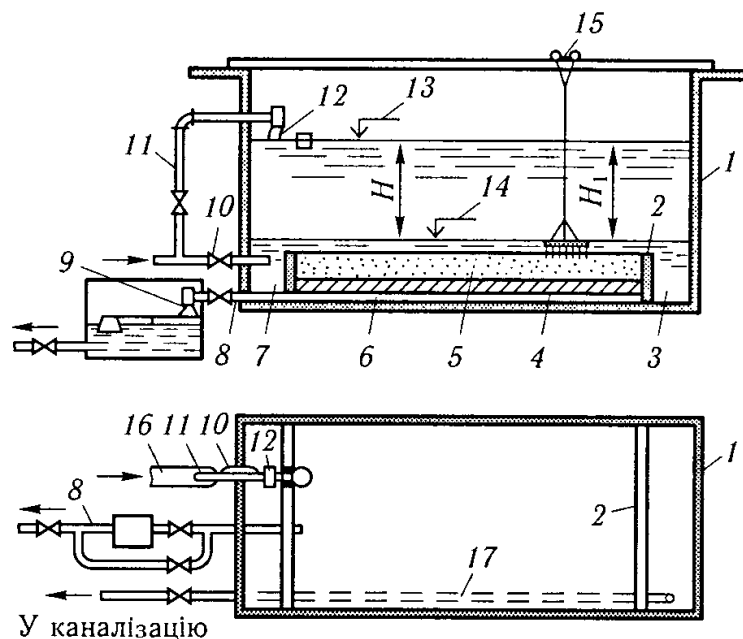


Рисунок 8.2 – Повільний фільтр конструкції В. С. Оводова:

- 1 – корпус фільтра; 2 – водонепроникні стінки, що відділяють промивний карман; 3 – нижній карман; 4 – пориста бетонна плита; 5 – піщаний фільтрувальний шар; 6 – дренаж; 7 – верхній карман; 8 – трубопровід для фільтрованої води; 9 – поплавковий клапан регулятора швидкості фільтрування; 10 – трубопровід для подавання промивної води; 11 – трубопровід для подавання у корпус фільтра прояснюваної води; 12 – поплавковий клапан; 13 – позначка рівня води у фільтрах під час фільтрування; 14 – мітка рівня води у фільтрі під час змивання забруднення; 15 – каретка розпушувача, що переміщується по монорейці; 16 – трубопровід для подавання води; 17 – каналізаційна труба для відведення промивної води

*Попередні фільтри* використовують для прояснення води каламутністю понад  $50 \text{ мг/дм}^3$  перед подаванням на повільні фільтри. Швидкість фільтрування 3–5 м/год. За каламутності води  $100 \text{ мг/дм}^3$  швидкість фільтрування приймають такою, що дорівнює 5 м/год. Крупність зерен

завантаження попередніх фільтрів становить від 1–2 мм при висоті шару 700 мм до 20–40 мм при висоті шару 150 мм.

Шар води над поверхнею фільтрувального завантаження приймають 1,5 м. Завантаження промивають потоком води, спрямованим знизу вгору. Інтенсивність промивання становить 12–14 л/(с·м<sup>2</sup>) упродовж 6–7 хв. Відведення води здійснюють за допомогою навісних жолобів, верхній край яких розміщений на 40–50 см вище фільтрувального шару.

*Великозернисті фільтри* завантажують кварцовим піском або іншими матеріалами. За розміру зерен піску 1–2 мм висота шару завантаження знаходиться в межах 1,5–2 м і швидкість фільтрування досягає 10–12 м/год, а за 1,6–2,5 мм – відповідно 2,5–3 м і 13–15 м/год. У разі збільшення швидкості фільтрування від 5 м/год до 50 м/год тривалість фільтроциклу зменшується від 15–20 год до 45–60 хв.

*Швидкі фільтри* використовують для прояснення води каламутністю 8–12 мг/дм<sup>3</sup>. Вони мають швидкість фільтрування 5,5–15 м/год. Їх поділяють на безнапірні та напірні, що працюють під тиском, якій створює насос. Висоту шару завантаження встановлюють залежно від діаметра його зерен. За розмірів зерен завантаження 0,50–1,25 мм висота шару становить 700 мм; за 0,7–1,6 – 1 200–1 300 мм; за 0,8–2,0 – 1 800–2 000 мм. Швидкість води у підвідних трубопроводах і каналах досягає 0,8–1,2 м/с. Висота шару завантаження має становити не менше ніж 2 м.

Залежно від способу створення напору, потрібного для подолання опору фільтрувального шару, розрізняють відкриті самопливні фільтри (*безнапірні*), в яких перепад тиску створюється за рахунок різниці рівнів води у фільтрі та в резервуарі чистої води, і *напірні*, які працюють під тиском, створюваним насосом. За напрямом руху води їх поділяють на одно- та двопотокові. В *однопотокових* фільтрах воду фільтрують зверху вниз, а в *двопотокових* – одночасно зверху вниз і знизу вгору.

Конструкція відкритого швидкого фільтра площею до 30 м<sup>2</sup> зображена на рисунку 8.3. Коагульована і попередньо очищена вода надходить у бічну кишеню, а з неї – в резервуар фільтра. Висота шару води над поверхнею завантаження має бути не менше ніж 2 м. Очищена вода після фільтра надходить у резервуар чистої води. Максимальна втрата напору в завантаженні допускається 3–3,5 м. Тривалість фільтрування – 5–7 хв. Фільтр промивають, подаючи воду знизу вгору. Дійшовши до верхнього краю промивних жолобів, промивна вода разом із забрудненнями відводиться до споруд обертання промивної води. Тому інтенсивність промивання 12–18 л/(с·м<sup>2</sup>) приймають залежно від крупності зерен фільтрувального завантаження (0,5–2 мм). Під час розрахунку швидких фільтрів передбачається визначення їх площі та числа, кількості й розмірів промивних жолобів, підбір фільтрувального завантаження, визначення розмірів елементів розподільної системи, бічної кишені або центрального каналу і трубопроводів обв'язки. Фільтри та їх комунікації розраховують на роботу за нормального або форсованого режиму.

Конструкцію сучасного напірного швидкого фільтра зображено на рисунку 8.4, а. Подавання прояснюваної і відведення промивної води



здійснюють через центрально розміщену лійку. Фільтрувальний матеріал безпосередньо розміщений на ковпачковому або щілинному дренажі, у фільтрі передбачено водоповітряне промивання, для чого в апарат підводиться стиснене повітря.

Фільтр із завантаженням зі спіненого полістиролу показано на рисунку 8.4, б. Висота фільтрувального завантаження фільтрів усіх розмірів становить 1,2 м. Найбільший діаметр становить 3,4 м, фільтрувальна площа – 7,1 м<sup>2</sup>. В горизонтальних напірних фільтрах площа фільтрування досягає 28–30 м<sup>2</sup>.

Розроблено конструкції вертикальних та горизонтальних напірних фільтрів АКХ. Горизонтальні фільтри мають діаметр приблизно 3 м, висота нижнього шару – 1,08 м, верхнього – 0,5 м, довжина – 10–16 м, площа фільтрування – близько 30 м<sup>2</sup>. В цих фільтрах значно підвищується гряземістність фільтрувального завантаження, але конструкція їх складніша.

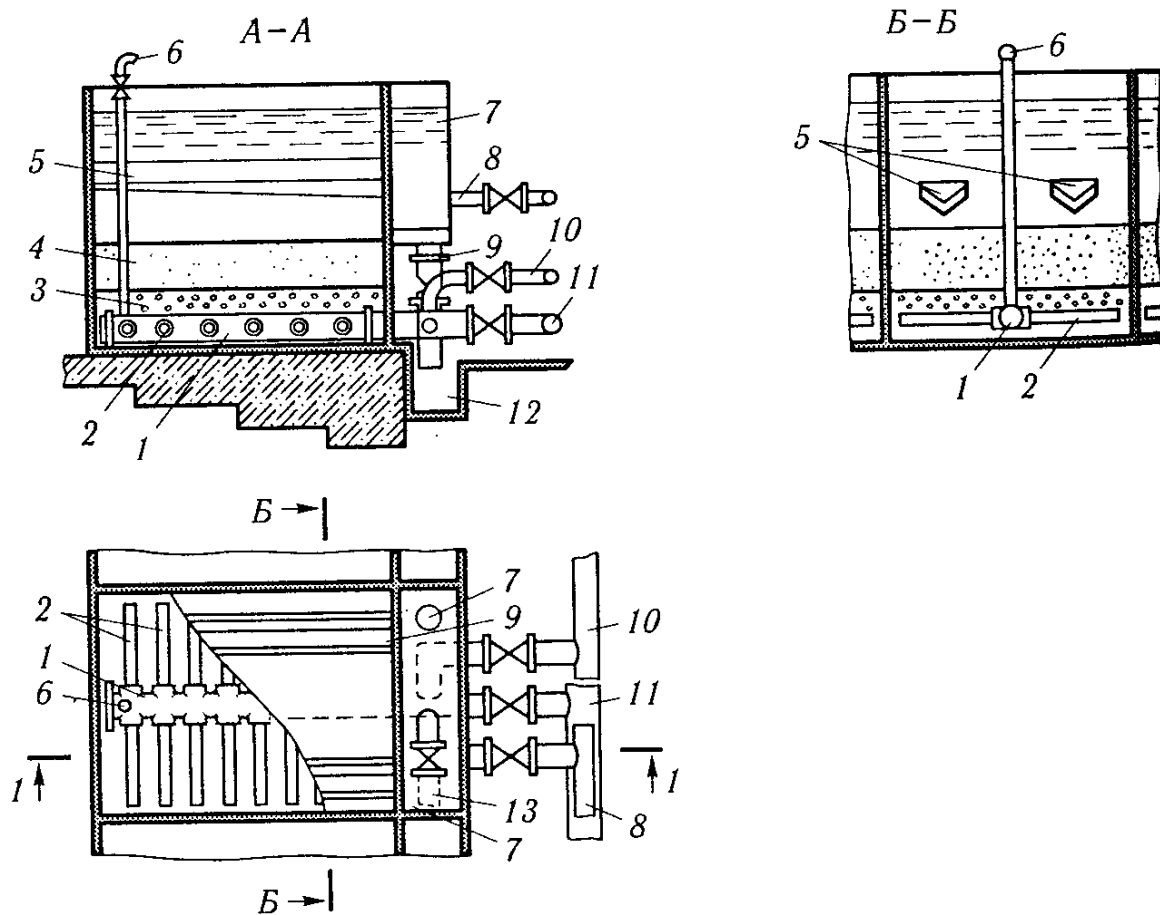


Рисунок 8.3 – Схема відкритого швидкого фільтра з бічною кишенею:

- 1 – магістральні труби; 2 – відгалуження розподільної системи;
- 3 – підтримувальний шар гравію; 4 – кварцовий пісок; 5 – водозбірні жолоби;
- 6 – повітряний клапан; 7 – бічна кишеня; 8 – подавання вхідної води;
- 9, 10 – подавання і відведення промивної води; 11 – відведення фільтрату;
- 12 – водостік; 13 – скидання першого фільтрату

Конструктивно простішими є *двошарові фільтри*, які застосовують для очищення вод з підвищеним вмістом фітопланктону під час цвітіння водойм. Конструкція двошарових фільтрів подібна до конструкції звичайних швидких фільтрів з одношаровим завантаженням. Особливістю їх конструкції є формування окремих шарів піску і подрібненого антрациту. В деяких випадках замість піску застосовують активоване вугілля. При цьому в фільтрі крім прояснення відбувається знебарвлення і дехлорування води.

У практику очищення води запроваджують напірні фільтри з плаваючим завантаженням (далі – ФПЗ). Запропоновані схеми фільтрування із застосуванням багатоярусних або багатшарових фільтрів; фільтрів з великою грязеємністю у разі фільтрування води зверху вниз; з горизонтальним напрямом фільтрування з безперервною регенерацією завантаження.

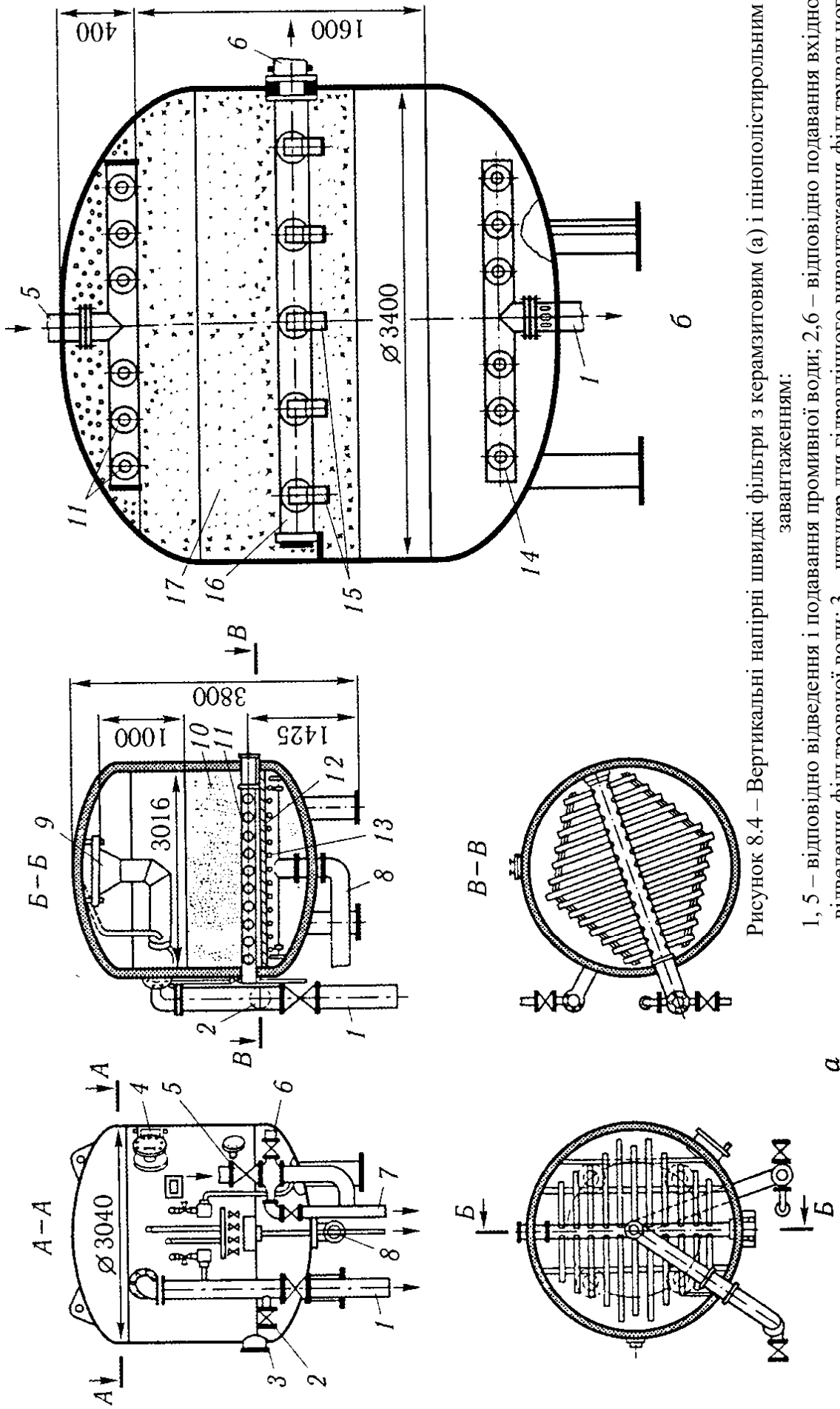


Рисунок 8.4 – Вертикальні напірні швидкі фільтри з керамзитовим (а) і пінополістирольним (б) завантаженням:

- 1, 5 – відповідно відведення і подання промивної води; 2, 6 – відповідно подання вхідної і відведення фільтрованої води; 3 – штуцер для гідравлічного вивантаження фільтрувального матеріалу; 4 – люк для завантаження фільтра;
- 7 – очищення фільтра; 8 – подання повітря; 9 – водозбірна лійка; 10 – шар фільтрувального завантаження; 11 – розподільна система; 12 – підтримувальний шар гравію; 13 – повітряна розподільна система; 14 – система збирання промивної води; 15 – сітчасті елементи дренажної системи; 16 – дренаж; 17 – завантаження зі спіненого полістиролу

Для розділення суспензій фільтруванням у промисловості використовують велику кількість різних конструкцій фільтрів періодичної та безперервної дії з використанням вакууму або тиску: нутч-фільтри періодичної дії, що працюють під вакуумом, та фільтрпреси, що працюють під тиском, автоматизовані фільтрпреси з горизонтальними камерами (ФПАКМ), листові й патронні фільтри, стрічкові й барабанні вакуум-фільтри різних модифікацій.

### ***3 Контактні прояснювачі та контактні фільтри***

Контактне коагулювання домішок води полягає в тому, що на поверхні зерен завантаження фільтра під час руху води, обробленої коагулянтном, відбувається сорбція колоїдно-дисперсних часточок.

Контактні прояснювачі є різновидом швидких безнапірних фільтрів, які працюють за принципом проходження оброблюваної води з додаванням коагулянту крізь шар зернистого завантаження знизу вгору. В такому самому напрямі зменшується крупність зерен у шарі. Відстійників перед контактними прояснювачами не встановлюють.

Контактні прояснювачі доцільно використовувати в одноступеневих схемах очищення малокаламутних кольорових вод, якщо вміст завислих речовин не перевищує 150 мг/л за максимальної забарвленості 120 °. При цьому в 4–5 разів зменшується об'єм очисних споруд порівняно з двоступеневою схемою очищення води та на 15–20 % і зменшується витрата коагулянтів.

Коагулянт подають в очищену воду безпосередньо перед її надходженням у завантаження прояснювачів. За невеликий проміжок часу від початку введення коагулянту до початку фільтрування у воді утворюються лише мікроагрегати з коагульованих часточок. Подальша коагуляція домішок відбувається на зернах завантаження контактних прояснювачів. Часточки забруднень сорбуються на поверхні зерен разом з аквагідроксокомплексами коагулянту й утворюють характерні для гелю сітчасті структури. Таким чином, відбувається контактна коагуляція.

Із практики використання контактних прояснювачів відомо, що контактна коагуляція відбувається повніше і в багато разів швидше, ніж звичайна коагуляція в об'ємі очищуваної води. За контактного коагулювання на процес прояснення майже не впливають температура оброблюваної води, її аніонний склад, наявність грубодисперсних домішок та лужність. Відпадає потреба у перемішуванні води для забезпечення проведення ортокінетичної фази коагулювання. Проте має велике значення швидкість змішування і рівномірність розподілу коагулянту в очищуваній воді. На водоочисних станціях з контактними прояснювачами застосовують барабанні фільтри та вхідну камеру для повітровідокремлення й змішування реагентів з водою. Об'єм камери розраховують на п'ятихвилинне перебування в ній воді. Зазвичай камери складаються з двох секцій. Швидкість руху води в камерах становить 5 мм/с. Мікрофільтри або барабанні сита переважно встановлюють над вхідною камерою.

Контактні прояснювачі використовують без підтримувальних шарів у разі промивання водою і з підтримувальними шарами у разі водоповітряного промивання.

Контактний прояснювач КО-1 – це резервуар, заповнений завантаженням піску і гравію (рисунок 8.5, а). Середній діаметр зерен піску становить 0,9–1,1 мм ( $d_e=1-1,3$ ), товщина шару піску – близько 2 м.

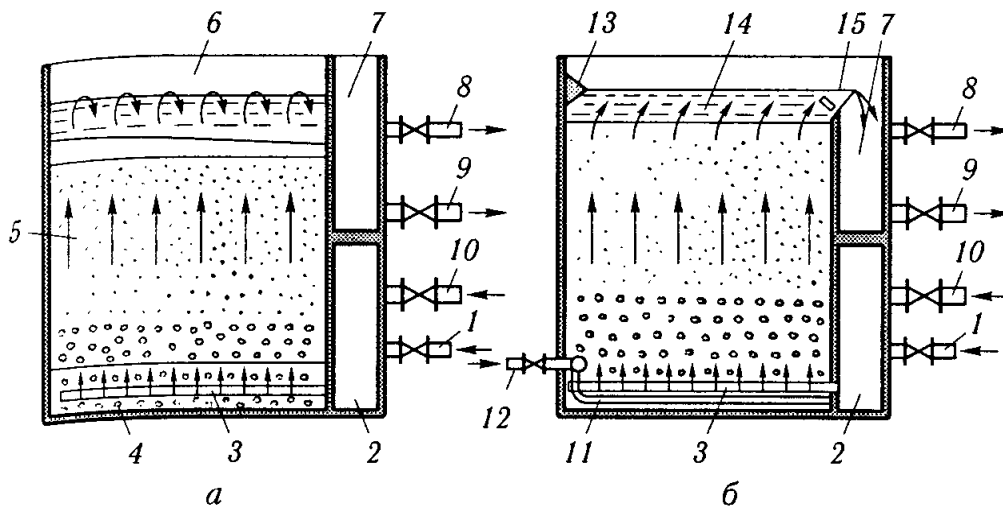


Рисунок 8.5 – Контактні прояснювачі КО-1 (а) і КО-3 (б):

1, 9 – відповідно подавання і відведення промивної води; 2, 7 – нижнє і верхнє відділення бічної кишені; 3 – розподільна система; 4 – шар гравію; 5 – шар піску; 6 – водозбірний жолоб; 8, 10 – відповідно відведення фільтрату і подавання входної води; 11 – повітророзподільна система; 12 – подавання повітря на промивання; 13 – струменеспрямовувальний виступ; 14 – шар води над завантаженням; 15 – пісковловлювальний жолоб

Розрахункову швидкість фільтрування приймають 4,0–5,5 м/год. Очищувану воду, попередньо змішану з коагулянтном, подають через розподільну систему дірчастих труб, розміщених на дні в шарі дрібного гравію. Розподільна система використовується також і для подавання промивної води. Промивання триває 7–8 хв з інтенсивністю 15–18 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·с). Прояснена вода, як і промивна, відводиться за допомогою жолоба, розташованого над піском. Для промивання потрібно застосовувати очищену воду. Допускається застосування неочищеної води з каламутністю не більше ніж 10 мг/дм<sup>3</sup>, колі-індекс – до 1000 од./л із попереднім обробленням води на барабанних ситах або мікрофільтрах і знезараженням. Видалення забруднень з промивною водою здійснюють за допомогою системи горизонтального відведення води.

Водоповітряне промивання контактних прояснювачів здійснюють за таким режимом:

- розпушування завантаження повітрям з інтенсивністю подавання 18–20 л/(с·м<sup>2</sup>) упродовж 1–2 хв;
- водоповітряне промивання при подаванні води 3–3,5 л/(с·м<sup>2</sup>) і повітря 18–20 л/(с·м<sup>2</sup>) упродовж 6–7 хв;

– додаткове промивання водою з інтенсивністю її подавання 6–7 л/(с·м<sup>2</sup>) упродовж 5–7 хв.

Контактні прояснювачі КО-1 (рис. 8.5, а) із безгравійним завантаженням застосовують для очищення води з помірними забарвленістю і каламутністю за невеликого вмісту планктону, а в інших випадках – контактні прояснювачі КО-3 (рис. 8.5, б) з гравійно-піщаним завантаженням.

У практиці промислового і комунального водопостачання застосовують прямотечійний відкритий *контактний фільтр* КФ-5 (рис. 8.6) з тришаровим (0,5 м кожний шар) фільтрувальним завантаженням. Верхній шар (керамзит, аглопорит, полімери) має крупність зерен 2,3–3,3 мм; середній (антрацит, керамзит, горілі породи) – 1,25–2,3 мм, нижній (кварцовий пісок, горілі породи) – 0,08–1,25 мм. Швидкість фільтрування близько 20 м/год, інтенсивність промивання – 15 л/(с·м<sup>2</sup>), тривалість – 6–8 хв.

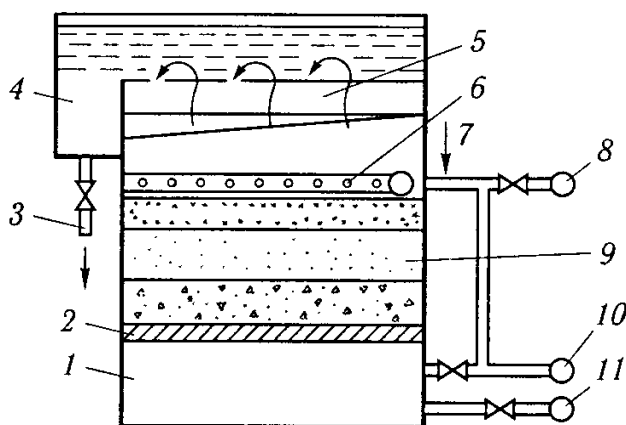


Рисунок 8.6 – Контактний фільтр КФ-5:

1 – піддон; 2 – розподільний пристрій з пористого бетону; 3, 10 – відповідно відведення і подавання промивної води; 4 – бічна кишеня; 5 – водозбірні жолоби; 6 – водорозподільна система з перфорованих труб; 7 – введення реагентів; 8, 11 – відповідно подавання вхідної і відведення фільтрованої води; 9 – три шари фільтрувального завантаження

#### 4 Покращення роботи фільтрів

*Принципи і способи підвищення грязеємності зернистого завантаження*

1) фільтрування в напрямі убування крупності зерен. При цьому осад не накопичується переважно в перших прошарках з дрібними порами, а проникає вглиб завантаження. У вилученні забруднень беруть участь середні й нижні шари – грязеємність завантаження підвищується.

Фільтрування в напрямку убування крупності зерен досягається наступними технічними прийомами:

- багатошарове фільтрування;
- висхідне фільтрування;
- багатоступінчасте фільтрування;
- збільшення крупності зерен завантаження з одночасним збільшенням товщини фільтруючого шару;

2) збільшення щільності та міцності осаду в порах завантаження. Так можна збільшити масу забруднень у фільтрі та зменшити питомий опір. Ущільнення і зміцнення осаду можна досягти наступними прийомами:

- обробка води коагулянтном безпосередньо перед завантаженням;
- обробка води катіонними флокулянтами (КФ);
- обробка води коагулянтами спільно з флокулянтами;
- переривчасте коагулювання;
- безреагентне фільтрування;

3) застосування фільтруючих матеріалів з високою пористістю і розвиненою питомою поверхнею (керамзит, вулканічні туфи, шлаки тощо);

4) використання принципу убування швидкості фільтрування шляхом фільтраційного потоку – фільтрування води від центру циліндричного завантаження до периферії в радіальних фільтрах або застосування фільтрів змінного перерізу (форма трапеції). При цьому збільшені швидкості в перших прошарках просувають забруднення углиб, де вони затримуються через ослаблення гідродинамічних сил потоку;

5) напірне фільтрування – подовження фільтроциклу за рахунок збільшення тривалості досягнення граничних втрат напору збільшенням граничних втрат напору. Великі значення втрат напору характерні для напірних фільтрів.

*При реконструкції швидких фільтрів на водопровідних станціях для поліпшення їх роботи необхідно:*

– відновити проектну висоту і гранулометричний склад фільтруючого завантаження на всіх фільтрах, так як в результаті багаторічної експлуатації досить часто швидкі фільтри мають недостатню висоту зернистого фільтруючого шару, що складається із зерен підвищеної крупності;

– підвищити однорідність зерен фільтруючого завантаження;

– використовувати для завантаження фільтрів різні фільтруючі матеріали, дозволені до застосування МОЗ, з більш розвиненою, ніж у піску, поверхнею: подрібнений керамзит, шунгізіт, вулканічні шлаки тощо;

– з метою виключення зміщення гравійних шарів і перемішування з піщаним завантаженням, що зазвичай призводить до порушення стабільної експлуатації фільтрів, слід використовувати різні конструкції безгравійних дренажних систем;

– забезпечення необхідної інтенсивності промивки фільтрів;

– з метою підвищення ефективності та умов роботи швидких фільтрів доцільно здійснити їх реконструкцію і переобладнання на фільтри з водоповітряним промиванням. Крім економії води це дозволяє підвищити надійність роботи фільтрувальних споруд, збільшити висоту фільтруючого завантаження і підвищити якість очищеної води.

### ***Контрольні питання***

1. Охарактеризуйте процес фільтрування води.
2. Охарактеризуйте осади, які утворюються на фільтрувальній перегородці.

3. Які типи фільтрів виділяють залежно від фільтрувального шару?
4. Які типи фільтрів виділяють залежно від швидкості фільтрування?
5. Які типи фільтрів виділяють залежно від величини зерен фільтрувального завантаження?
6. Як характеризують зерна фільтрувального завантаження?
7. Що таке «фільтроцикл»? Від чого залежить його тривалість?
8. Що таке «грязеємність» фільтру?
9. Назвіть типи фільтрів та область їх застосування.
10. Конструкція та принцип дії повільних фільтрів.
11. Конструкція та принцип фільтрування крізь намівний шар спеціального фільтрувального порошку.
12. Застосування попередніх фільтрів.
13. Застосування великозернистих фільтрів.
14. Конструкція та принцип дії швидких фільтрів.
15. Конструкція та принцип дії фільтру із завантаженням зі спіненого полістиролу.
16. Контактне коагулювання домішок води.
17. Принцип роботи контактних прояснювачів.
18. Промивання контактних прояснювачів.
19. Принцип роботи контактних фільтрів.
20. Назвіть принципи і способи підвищення грязеємності зернистого завантаження.
21. Основні напрями реконструкції швидких фільтрів.

## **ТЕМА 9 ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ**

- 1. Методи знезараження води.**
- 2. Роль окисників у процесах водопідготовки.**
- 3. Електролізні установки для знезараження води.**
- 4. Знезараження води бактерицидним опроміненням.**
- 5. Інші методи знезараження води.**

### **1 Методи знезараження води**

Під час коагуляційного прояснення і знебарвлення води з наступною дезодорацією видаляється не більше ніж 95 % бактерій. Серед решти мікроорганізмів можуть бути патогенні бактерії та віруси. Таку воду вживати для пиття небезпечно, а тому перед подаванням споживачеві її обов'язково знезаражують. **Знезараження** води, яке застосовують у технології водопідготовки, можна здійснювати:

- із застосуванням окисників (хлор і його сполуки, озон, перманганат калію тощо);
- термічним способом;
- олігодинамією (дія іонів благородних металів, зокрема аргентуму);
- фізичними способами (за допомогою ультрафіолетового та іонізуючого випромінювання, ультразвуку і фільтрування).



Отже, всі способи знезараження води поділяють на *реагентні* (із застосуванням окисників) та *безреагентні* (фізичні).

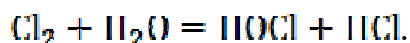
Вибір способу знезараження води залежить від витрат і якості води, ефективності й надійності процесу, умов постачання та зберігання реагентів, можливості механізації складних робіт, автоматизації процесу та техно-еколого-економічного обґрунтування. Найчастіше знезараження води здійснюють із застосуванням таких окисників, як хлор, озон, гіпохлорит натрію.

Зазвичай знезараження води проводять після коагуляційного прояснення і знебарвлення в шарі завислого осаду, відстоювання і фільтрування. Попереднє видалення переважної кількості грубо- та колоїдно-дисперсних домішок води сприяє значному зменшенню витрат реагентів на окиснення і забезпечує надійність дезінфекції води, оскільки при цьому видаляється більшість домішок, які могли бути захисним бар'єром для хвороботворних організмів.

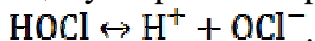
## 2 Роль окисників у процесах водопідготовки

Для *хлорування* води на очисних станціях систем водопостачання використовують рідкий хлор і хлорне вапно. Хлорне вапно використовують для станцій малої продуктивності.

*Хлорування води рідким хлором.* При введенні хлору у воду утворюються хлорноватиста і соляна кислоти:



Далі відбувається дисоціація утвореної хлорноватистої кислоти:



Отримувані внаслідок дисоціації HOCl гіпохлоритні іони OCl<sup>-</sup> мають поряд з недисоційованими молекулами HOCl бактерицидну властивість.

Суму Cl<sub>2</sub>+HOCl+OCl<sup>-</sup> називають *вільним активним хлором*.

Призначення дози хлору є виключно важливим: недостатня доза хлору призводить до того, що він не справляє належної бактерицидної дії; зайва доза хлору погіршує смакові якості води.

Розрахункова доза хлору при проектуванні знезаражувальної установки повинна прийматися виходячи з необхідності очищення води в період її максимального забруднення (наприклад, в період паводків).

Показником достатності прийнятої дози хлору служить наявність у воді *залишкового хлору* (що залишається у воді від введеної дози після окислення речовин, які знаходяться у воді). Згідно вимогам [1], концентрація залишкового хлору у воді перед надходженням її в мережу не повинна перебільшувати 0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

За розрахункову дозу необхідно приймати ту, яка забезпечить вказану кількість залишкового хлору.

Для проясненої річкової води доза хлору зазвичай становить 1,5–3 мг/дм<sup>3</sup>, а при хлоруванні підземних вод доза хлору зазвичай не перевищує 1–1,5 мг/дм<sup>3</sup>.

При введенні хлору у воду необхідно організувати гарне змішування його з водою. До подачі хлорованої води споживачеві має передувати час контакту

хлору з водою (не менше 30 хв). Це відбувається зазвичай в резервуарі чистої води.

Іноді застосовують хлорування перед надходженням води на відстійники (попереднє хлорування), що сприяє процесу коагуляції і зниженню витрати коагулянту на самих очисних установках, а також підтримці хорошого санітарного стану на них.

Хлор надходить на станцію в металевих балонах в зрідженому стані. З балонів хлор подається у воду через спеціальні прилади – *хлоратори*, в яких здійснюється його дозування і змішування з водою. Одержувана «хлорна вода» надходить в оброблювану воду.

Існують хлоратори різних типів. За часом функціонування розрізняють:

- хлоратори безперервної дії, розраховані на безперервну подачу певних кількостей газу в одиницю часу;
- хлоратори порційні, які подають через деякий проміжок часу певну порцію газу.

Існують хлоратори, які автоматично змінюють кількість подаваного хлору при зміні витрати оброблюваної води.

Крім того, розрізняють хлоратори напірні й вакуумні.

Недоліком напірних хлораторів є можливість витоку з них хлору, що є отруйною речовиною, що являє собою небезпеку для обслуговуючого персоналу. Ця небезпека відсутня у вакуумних хлораторах, які й рекомендуються для практичного використання в установках зі знезараження води.

При проектуванні й експлуатації хлораторних установок необхідно враховувати вимоги, що забезпечують безпеку обслуговуючого персоналу від шкідливого впливу хлору.

Приміщення хлораторної повинно бути розташоване на першому поверсі фільтрувальної або насосної станції, або примикати до них, або знаходитися в окремій будівлі.

У приміщенні хлораторної, що примикає до будівлі фільтрувальної станції, повинно бути двоє дверей: одна – в приміщення станції, інша – назовні. Двері повинні герметично закриватися. У приміщенні хлораторної необхідно передбачити систему штучної витяжної вентиляції.

При витрачанні установкою більше трьох балонів рідкого хлору на добу при хлораторній необхідно влаштувати склад балонів, розрахований на зберігання трьохдобового запасу хлору.

Знезараження води за допомогою *озону* отримує в даний час широке поширення.

Озонування здійснюють пропуском через воду озонованого повітря, тобто повітря, в якому кисень частково переведений в триатомну форму (O<sub>3</sub>).

Озон забезпечує надійне знезараження води. Він має ряд переваг порівняно з хлором:

- 1) його отримують безпосередньо на станції очищення води;
- 2) не погіршує смакових якостей води;
- 3) не призводить до виникнення в ній запахів.

Озон токсичний – гранично-допустимий вміст його в повітрі приміщень, де перебувають люди  $0,000\ 01\ \text{мг/дм}^3$ . Отже, озоніві установки не повинні пропускати озон в приміщення.

Доза озону для знезараження води коливається в межах від  $0,6\ \text{мг/дм}^3$  до  $3,5\ \text{мг/дм}^3$  залежно від властивостей оброблюваної води.

Озон отримують в *озонаторах* (генераторах озону) в результаті тихого електричного розряду в підготовленому повітрі. Генератори озону різних систем серійно виготовляються промисловістю.

Для змішування води з озоном служать змішувачі, туди озон подається разом з повітрям через розподільну систему. Контакт води з найдрібнішими бульбашками озону відбувається в умовах протитечії.

Досвід використання озону показує можливість використання його для боротьби з вірусом, озонування успішно використовують також для знебарвлення води, боротьби з запахами і присмаками. Нарешті, озонування може використовуватися для видалення з води солей заліза і марганцю.

### ***3 Електролізні установки для знезараження води***

Небезпека використання рідкого (II класу небезпеки) хлору, а також неможливість дотримання водоканалами ряду положень і правил з виробництва, транспортування, зберігання та споживання хлору викликало необхідність пошуку альтернативних шляхів щодо забезпечення промислової безпеки та антитерористичної стійкості систем водопостачання.

Реальним вирішенням проблеми є відмова від небезпечного реагенту і застосування інших засобів знезараження, що поєднують позитивні якості хлорування і відсутність їх недоліків. Менш небезпечним (III клас небезпеки) є технічний (товарний) висококонцентрований розчин гіпохлориту натрію марки А з високим значенням рН і вмістом активного хлору 14–18 %, вироблений на хімічних заводах і доставлений до об'єкта спеціальним транспортом. На місці споживання він розбавляється водою до стану найменшої швидкості розкладання (до 10 %-ної концентрації) і з тією ж метою зберігається в приміщенні за підтримуваної температури повітря  $10 \pm 5\ ^\circ\text{C}$  в резервуарах, що забезпечують його 15-добовий запас. Найбільш же безпечним, (IV клас небезпеки) малотоксичним для людини і більш простим в експлуатації хлорвміщуючим реагентом визнаний низькоконцентрований гіпохлорит натрію, одержуваний безпосередньо на місці споживання при проходженні електричного струму через розчин кухонної харчової солі.

Електролізери рекомендується встановлювати в окремому приміщенні. Допускається спільне розташування в одному приміщенні електролізера і бака-накопичувача гіпохлориту натрію. Розчин гіпохлориту натрію повинен надходити в бак-накопичувач самопливом, для чого перепад висот між зливним патрубком електролізера і баком-накопичувачем повинен бути не менше 0,1–0,2 м.

Електролізна установка складається з бака концентрованого розчину солі (растворного бака), електролізної ванни (електролізера), бака-накопичувача розчину гіпохлориту, випрямляча і блоку управління. Розчинних баків повинно

бути не менше двох, їх сумарний обсяг повинен забезпечити безперервну роботу установки протягом 24 год. При мокрому зберіганні солі об'єм розчинних баків приймається з розрахунку 1,5 м<sup>3</sup> на 1 т солі. Допускається зберігання солі на складі в сухому вигляді, причому товщина шару солі не повинна перевищувати 2 м.

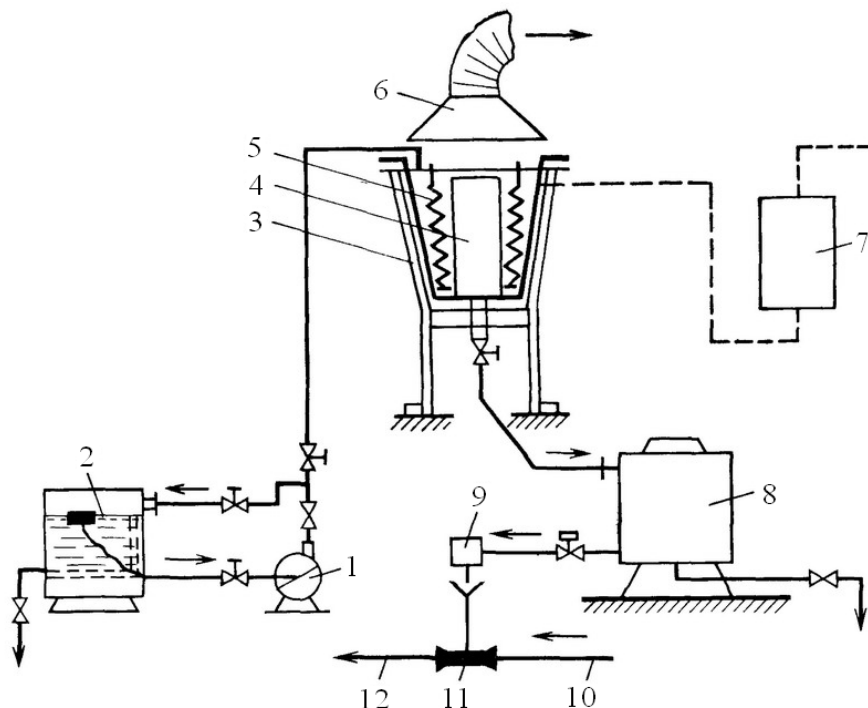
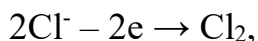


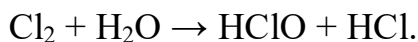
Рисунок 9.1 – Електролізна установка непроточного типу ЕН-1:

- 1 – насос; 2 – розчинний бак солі; 3 – електролізер; 4 – касета з графітовими електродами; 5 – трубки холодильників; 6 – парасолька витяжної вентиляції; 7 – блок автоматики; 8 – бак-накопичувач гіпохлориту натрію; 9 – дозатор; 10 – подача води до ежектора; 11 – ежектор; 12 – відведення води від ежектора

У розчинному баку виготовляється розчин, близький до насиченого – 200–310 г/л. Для перемішування застосовують механічні пристрої та циркуляційні насоси. Електролізери можуть бути проточного або непроточного типу. Найбільш широко використовують останні. Вони являють собою ванну з встановленим там пакетом пластинчастих електродів. Електроди, як правило графіт, приєднують в мережу постійного струму. У електролізній ванні відбувається дисоціація солі, а також води. При включенні електролізера в мережу на аноді відбуватиметься окислення хлоридів:



потім їх гідроліз:



На катоді виділяється газ Н<sub>2</sub>, утворюється їдкий натр. В результаті реакції NaOH с HClO утворюється гіпохлорит.

У міжелектродному просторі електролізера непроточного типу щільність електроліту в результаті його насичення бульбашками газу буде менше, ніж у решті об'єму ванни, тому буде відбуватися циркуляція розчину – між

електродами висхідний, в решті ванні спадний рух електроліту. Циркуляція триватиме до повного електролізу всього розчину кухонної солі. Потім електролізна ванна спорожняється і заповнюється новою порцією розчину NaCl.

При роботі електролізера необхідно звести до мінімуму розпад утвореного NaClO. Для цього слід процес електролізу проводити при низькій температурі і великої щільності струму на аноді, утримуючись від перемішування електроліту у ванні.

Технологічно отримання хлорвмісних розчинів електролізом можливо двома шляхами: з діафрагмовим мембранним поділом міжелектродного простору і без мембрани.

У першому випадку виробляється молекулярний хлор і кисень (в анодній камері), каустик (їдкий натр) і водень (в катодній камері), у другому – гіпохлорит натрію і водень.

Технологічна схема та експлуатація електролізного обладнання значно спрощується при бездіафрагменному способі отримання хлорвмісних розчинів, при якому електроліз хлоридних розчинів проводять без поділу електродних продуктів. Відсутність мембранного поділу дозволяє створювати багатоелектродні з біполярним підключенням компактні високопродуктивні апарати.

Електролізні установки для отримання низькоконцентрованого гіпохлориту натрію без поділу електродних продуктів позбавлені недоліків, притаманних діафрагмовому електролізу, зокрема: відсутність етапу виділення газоподібного хлору і утворення побічного продукту – луку і, відповідно, проблем, пов'язаних із забезпеченням хлорбезпеки та утилізацією каустику.

#### ***4 Знезараження води бактерицидним опроміненням***

Бактерицидна дія ультрафіолетових (далі – УФ) променів, широко відома і неодноразово доведена в експериментах. Ультрафіолетові бактерицидні промені мають довжину хвилі 200–295 нм (за іншими даними, до 320 нм), але максимум бактерицидної дії припадає на 260 нм. УФ промені проникають через 25 см шар прозорою і безбарвною води.

Під впливом УФ випромінювання в клітинах мікроорганізмів, що знаходяться у воді, відбуваються незворотні процеси, які викликають порушення молекулярних і міжмолекулярних зв'язків. Це призводить до денатурації (руйнування) білків клітин протоплазми, зокрема, до пошкодження ДНК, РНК, клітинних мембран, і як наслідок, до загибелі мікроорганізмів.

Метод УФ знезараження не змінює хімічного складу та органолептичних якостей води. Перевагою методу є також швидкість знезараження (кілька секунд) і відсутність запаху і присмаку при використанні ультрафіолетових променів. Промені згубно впливають не тільки на вегетативні форми патогенних бактерій, які гинуть після опромінення на протязі 1–2 хв, але також на стійкі до хлору спори, віруси і яйця гельмінтів. Численні дослідження показали відсутність шкідливих ефектів навіть при таких дозах УФ

опромінення, які набагато перевищують необхідні. Отже, на відміну від технології хлорування і озонування, принципово відсутня небезпека передозування УФ опромінення. У той же час є відомості про те, що якщо доза УФ випромінювання обрана правильно, активація мікроорганізмів не спостерігається, що дозволяє застосовувати УФ знезараження без подальшого введення консервуючих доз хлору.

Технологія знезараження води УФ опроміненням є найбільш простою у реалізації і обслуговуванні. Максимальна робоча напруга, яку використовують при експлуатації обладнання, – 380/220 В. Для знезараження води УФ опроміненням характерні незначні витрати електроенергії (в 3–5 разів нижче, ніж при озонуванні) і відсутність потреби в дорогих реактивах.

Ультрафіолетова установка складається з ультрафіолетових ламп, захищених кварцовими чохлами. Установка змонтована таким чином, щоб знезаражують вода омивала лампи тонким шаром.

Як джерело бактерицидного випромінювання використовують переважно ртутно-кварцові лампи високого тиску та ртутно-аргонові лампи низького тиску. Невелика потужність ртутно-аргонових ламп дає змогу застосовувати їх в установках малої продуктивності. Ртутно-кварцові лампи високого тиску застосовують у високопродуктивних установках з відносно невеликим бактеріальним забрудненням. У цьому разі знезараження води доцільно проводити із застосуванням хлору. Особливо ефективно застосовувати бактерицидне знезараження УФ випромінюванням на водогонях, які використовують підземні, джерельні або підруслові води. Таке знезараження води у 2–3 рази дешевше порівняно із хлоруванням. Витрати електричної енергії на знезараження води з підземних джерел водопостачання опроміненням не перевищують 10–15, а з поверхневих джерел – 30 Втгод/м<sup>3</sup>.

Кількість бактерицидних установок розраховують на основі експериментального визначення коефіцієнта поглинання бактерицидного випромінювання води, яку обробляють. За відсутності цих даних рекомендують такі значення: для безбарвних, які не потребують знезалізнення, підземних вод, отриманих з глибоких горизонтів, – 0,1 см<sup>-1</sup>, Для ґрунтових, джерельних, підруслових та інфільтраційних вод – 0,15 см<sup>-1</sup>, для води поверхневих джерел після очищення – 0,2–0,3 см<sup>-1</sup>.

Бактерицидну установку ОВ-ЗП-РКС, яку застосовують для оброблення води з поверхневих джерел, зображено на рисунку 9.2. Для знезараження великої кількості води вмикають паралельно кілька апаратів. Така установка розрахована для знезараження води 3 000 м<sup>3</sup>/год і більше. У ній застосовують лампи ртутно-кварцові лампи, змонтовані по кілька в касети. Установка розміщується в каналі у вигляді рам-касет, на яких закріплені блоки з лампами. Останні розміщують у шаховому порядку. Канал зверху закривають кришками. Недоліком знезараження води випромінюванням є відсутність оперативного контролю за ефектом процесу. Крім того, цей спосіб не придатний для знезараження каламутних вод.

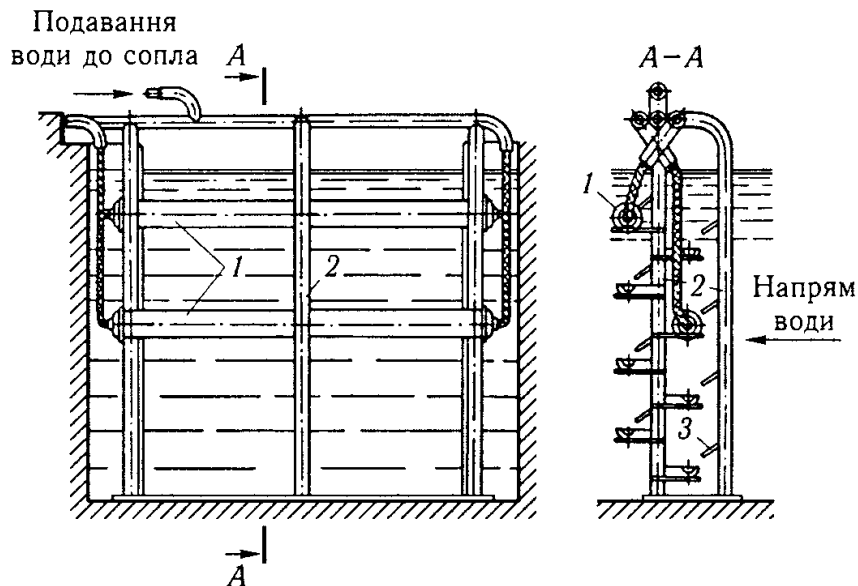


Рисунок 9.2 – Бактерицидна установка великої продуктивності типу ОВ-ЗК-РКС:

- 1 – блок з бактерицидними лампами; 2 – подавання води під тиском 1,5 МПа;  
3 – сопла, що подають воду на турбінки для очищення чохлаів

### 5 Інші методи знезараження води

Бактерицидний ефект має також **ультразвук**. Проте єдиної теорії пояснення цього явища не існує. Більшість учених зазначають, що під дією ультразвуку відбувається механічне руйнування бактерій у результаті ультразвукової кавітації. Ультразвук на 95 % убиває дизентерійні палички, сипно-тифозний вірус та інші через 1–2 хв після оброблення. Ефективність дії ультразвукових коливань залежить від природи мікроорганізмів, частоти ультразвукових коливань, тривалості та інтенсивності оброблення ультразвуком. Під дією ультразвуку гинуть як грамозитивні, так і грамнегативні аеробні бактерії, паличкоподібні, кокові та інші форми мікроорганізмів. Особливо чутливі нитчасті форми мікроорганізмів, а найменше – кулясті. Основна маса бактерій гине під дією ультразвукових коливань частотою 20–30 кГц упродовж 2–5 с.

Бактерицидний ефект ультразвуку не залежить від каламутності (до 50 мг/дм<sup>3</sup>) і забарвленості води, яку обробляють. Ультразвукові коливання однаково впливають на вегетативні й спорові форми мікроорганізмів. Для знезараження води до санітарних норм застосовують ультразвук із частотою коливань 46 кГц за інтенсивності 2 Вт/см<sup>2</sup>.

У літературних джерелах трапляються відомості про можливість знезараження води **рентгенівським і радіоактивним випромінюванням** та **електричним струмом високої частоти**. Проте ці методи знезараження води поки що вивчені недостатньо, а тому не знайшли практично., застосування.

До інших способів знезараження води належать **термічний** та оброблення **іонами аргентуму (срібла)**.

Термічний спосіб зазвичай використовують для знезараження невеликої кількості води переважно в лікарнях, санаторіях, транспорті тощо. Під час кип'ятіння впродовж 5–10 хв гинуть практично всі патогенні бактерії. Однак під час кип'ятіння витрачається велика кількість енергії, тому на водогонах цей спосіб не застосовують.

Оброблення води, в якій міститься 0,05–0,2 мг/дм<sup>3</sup> срібла впродовж 30–60 хв дає змогу досягти санітарних норм. Для розчинення срібла у воді використовують способи контактування води з розвиненою поверхнею металу, розчиненням солей аргентуму або електролітичним розчиненням металічного срібла. Найбільшого поширення набув останній спосіб, що ґрунтується на анодному розчиненні срібла. З цією метою промисловість виготовляє два типи іонаторів: перший призначений для індивідуального користування в побутових умовах, другий – для знезараження води на невеликих господарсько-питних водогонах, на підприємствах харчової промисловості та громадського харчування, під час розливання мінеральних вод; у плавальних басейнах тощо.

У іонаторі першого типу можна розчинити до 10 г/год срібла, якого вистачає для знезараження води від 50 м<sup>3</sup>/год до 200 м<sup>3</sup>/год. Необхідну кількість іонаторів розраховують, виходячи з продуктивності водоочисної станції та дози срібла. Остання визначається експериментально під час лабораторних досліджень.

Для знезараження води підвищеними дозами срібла до складу установки входять сорбційні фільтри, завантажені силуміном, які мають продуктивність 3 м<sup>3</sup>/год. У процесі знезараження промислових вод замість срібла можна використовувати мідь.

У багатьох випадках найбільш ефективним виявляється **комплексне застосування реагентних і безреагентних методів** знезараження води.

Поєднання УФ-знезараження з наступним хлоруванням малими дозами забезпечує як найвищу ступінь очищення, так і відсутність вторинного біоураження води. Так, обробкою води басейнів УФ-опроміненням у сполученні з хлоруванням досягається не тільки висока ступінь знезараження, зниження порогової концентрації хлору у воді, але і, як наслідок, суттєва економія коштів на витраті хлору і поліпшення обстановки в самому басейні.

Аналогічно поширюється використання озонування, при якому знищується мікрофлора і частина органічних забруднень, з подальшим щадним хлоруванням, що забезпечує відсутність вторинного біоураження води. При цьому різко скорочується утворення токсичних хлорорганічних речовин.

У вітчизняній і світовій практиці все частіше використовують поєднання різних методів знезараження і обробки води, що дозволяє знизити негативні властивості одних і посилити переваги інших.

### **Контрольні питання**

1. Якими методами можна здійснювати знезараження води?
2. Як здійснюють вибір способу знезараження води?
3. Охарактеризуйте роль окиснювачів в процесах водопідготовки.
4. Які процеси відбуваються при хлоруванні води рідким хлором?



5. Що таке «вільний активний хлор»?
6. Що таке «зв'язаний хлор»?
7. Роль залишкового хлору.
8. Який повинен бути час контакту хлору з водою.
9. Які розрізняють типи хлораторів?
10. Як розміщують приміщення хлораторної?
11. Знезараження води за допомогою озону. Переваги озонування.
12. Застосування електролізних установок для знезараження води.
13. Технологічні схеми та експлуатація електролізного обладнання.
14. Знезараження води бактерицидним опроміненням.
15. Опишіть технологію знезараження води УФ опроміненням.
16. Назвіть переваги та недоліки знезараження води випромінюванням.
17. На чому базується бактерицидний ефект ультразвуку?
18. Охарактеризуйте комплексне застосування реагентних і безреагентних методів для знезараження води.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. – Затверджено МОЗ України 12.05.2010. – Київ, 2010. – 25 с.
2. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. – Чинний від 2014–10-23. – Київ, 2015. – 56 с.
3. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013 . – 115 с.
4. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 674 с.
5. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та ін. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.
6. Тугай А. М. Водопостачання / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Рівне : РДТУ, 2001. – 429 с.
7. Григорьева Л. С. Физико-химическая оценка качества и водоподготовка природных вод / Л. С. Григорьева. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. – 152 с.
8. Орлов В. О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою / В. О. Орлов. – Рівне : НУВГП, 2005. – 163 с.
9. Орлов В. О. Технологія підготовки питної води : навч. посібник / В. О. Орлов, А. М. Орлова, В. О. Зошук. – Рівне : НУВГП, 2010. – 176 с.
10. Миклашевский Н. В. Чистая вода. Системы очистки и бытовые фильтры / Н. В. Миклашевский, С. В. Королькова. – С-Пб. : ВНУ-Санкт-Петербург, изд. группа «Арлит», 2000. – 240 с.
11. Аюкаев Р. Н. Производство и применение фильтрующих материалов для очистки воды / Р. Н. Аюкаев, В. З. Мельцер. – Л. : Стройиздат, 1985. – 120 с.
12. Запольский А. К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды / А. К. Запольский, А. А. Баран. – Л. : Химия, 1987. – 204 с.
13. Яковлев С. В. Технология электрохимической очистки воды / С. В. Яковлев, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогов. – Л. : Стройиздат, 1987. – 312 с.
14. Журба М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : в 3х т. / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова – М. : АСВ, 2004. – т. 2. – 496 с.
15. Цифровий репозиторій ХНУМГ ім. О.М. Бекетова [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eprints.kname.edu.ua>.

*Навчальне видання*

**СОРОКІНА Катерина Борисівна**

## **ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів вищої освіти всіх форм навчання  
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні  
технології)*

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *К. Б. Сорокіна*

План 2021, поз. 66 Л

---

Підп. до друку 24.09.2021. Формат 60 × 84/16.

Електронний документ. Ум. друк. арк. 5,1.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: [office@kname.edu.ua](mailto:office@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.