

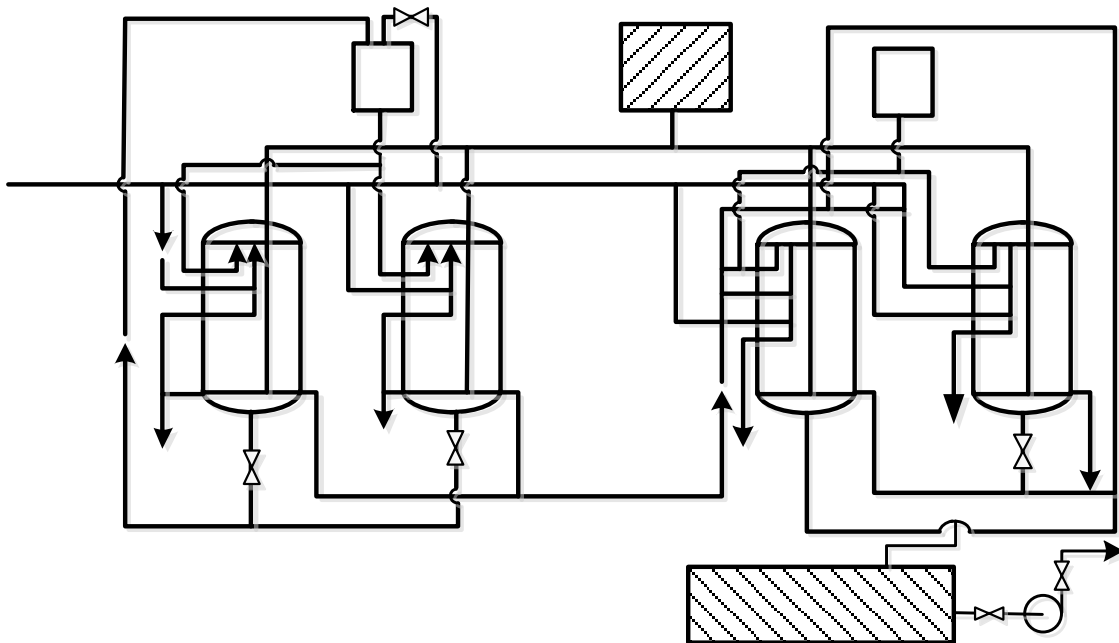
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

К. Б. Сорокіна

"СПЕЦКУРС З ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД"

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

*(для студентів 1–2 курсів денної і заочної форм навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2019

УДК 628.16

Сорокіна К. Б. Спецкурс з очистки природних вод : конспект лекцій для студентів 1–2 курсів денної і заочної форм навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 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, 2019. – 111 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. К. Б. Сорокіна

Рецензенти:

В. Я. Кобилянський, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

В. О. Ткачов, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2019.

Конспект лекцій складено з метою допомогти студентам будівельних, екологічних спеціальностей закладів вищої освіти під час підготовки до занять та екзаменів із дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод».

© К. Б. Сорокіна, 2019

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СКЛАД ГОМОФАЗНИХ ДОМШОК ПРИРОДНИХ ВОД.....	5
ЗМ 1.1 СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ.....	7
Тема 1 Зм'якшення води.....	7
Тема 2 Застосування іонного обміну для очистки води.....	16
Тема 3 Корекція вмісту фтору в питній воді.....	25
Тема 4 Знезалізнення та деманганація води.....	36
Тема 5 Видалення з води газів, специфічних та токсичних домішок.....	47
ЗМ 1.2 ОПРІСНЕННЯ Й ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ.....	67
Тема 6 Опріснення й знесолення води.....	67
ЗМ 1.3 КОНДИЦІОНУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ.....	84
Тема 7 Кондиціонування якості води.....	84
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Спецкурс з очистки природних вод» належить до циклу нормативних дисциплін із спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія, спеціалізації (освітні програми) «Водопостачання та водовідведення» та «Раціональне використання і охорона водних ресурсів».

Предметом вивчення дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» є методи, способи та технологічне оформлення процесів видалення з природних й стічних вод речовин, які знаходяться у розчиненому стані, та регулювання показників якості води.

Метою вивчення дисципліни є формування у майбутніх фахівців знань, пов'язаних з вирішенням питань регулювання вмісту у воді розчинених домішок для доведення якості природної води до показників питної, підготовки глибокоочищеної води, а також обробки стічних вод з метою виділення з них цінних речовин, організації безстічного водопостачання та зменшення шкідливого впливу стічних вод на навколишнє середовище.

Основними завданнями, що мають бути вирішені в процесі викладення дисципліни, є теоретична і практична підготовка студентів з таких питань:

- основні положення та вимоги державних стандартів до якості води, використовуваної для питного та технічного водопостачання;
- класифікації домішок природних вод та процесів підготовки води відповідно до фазово-дисперсного стану домішок;
- основні процеси, які можуть бути застосовані для видалення з води розчинених домішок;
- конструктивні особливості технологічного оформлення видалення з води розчинених домішок;
- основні принципи розрахунку установок для видалення з води розчинених домішок

Дане видання покликане допомогти студентам у вивченні дисципліни і для цього містить теоретичний матеріал з усіх змістових модулів, контрольні питання і рекомендовану літературу.

Під час роботи з поданою інформацією слід звертати увагу на визначення, класифікації, тези, виділені *курсивом* і **жирним** шрифтом.

Уважне вивчення приведеної інформації і схем, опрацювання контрольних питань допоможуть студентам успішно справлятися із завданнями поточного і підсумкового контролю.

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО СКЛАД ГОМОФАЗНИХ ДОМІШОК ПРИРОДНИХ ВОД

Природна вода є багатокомпонентною динамічною системою, до складу якої входять гази, мінеральні й органічні речовини, що знаходяться в істинно розчиненому, колоїдному і завислому станах, а також мікроорганізми. У вигляді іонів, недисоційованих молекул, колоїдів і суспензій у природних водах міститься понад 50 елементів, проте тільки деякі з них, найбільш важливі, зустрічаються у значних кількостях.

З *розчинених газів* у природних джерелах найчастіше присутні кисень, азот, вуглекислий газ, рідше – сірководень та ін. Кількісний вміст газів у воді багато в чому залежить від їх природи, парціального тиску, температури, складу водного середовища та інших чинників.

З речовин, дисоціюючих у водних розчинах на іони, у воді розчиняються більшість мінеральних солей, кислот і гідроксидів. Найбільш поширені в природних водах гідрокарбонати, хлориди і сульфати лужноземельних і лужних металів, у меншій мірі – їх нітрати, нітрити, силікати, фториди, фосфати.

Найзначнішими постачальниками *органічних речовин* у природну воду є ґрунтовий і торф'яний гумус, продукти життєдіяльності й розкладання рослинних і тваринних організмів, стічні води побутових і промислових підприємств. Для технології очищення води найбільший інтерес представляють гумусові речовини, що розділяються на гумінові, ульмінові, кренові, апокренові (фульвокислоти) та інші кислоти, а також їх розчинні у воді солі.

Гумінові й апокренові кислоти можуть знаходитися в ґрунті у вільному стані, у вигляді солей з катіонами лужних і лужноземельних металів, комплексних і внутрішньокмлексних сполук із залізом, алюмінієм, марганцем, міддю і, нарешті, у вигляді адсорбційних органомінеральних сполук.

Наземна рослинність, вищі водні рослини, актиноміцети і фітопланктон виділяють безколірні або забарвлені, без запаху або із запахом речовини, частина з яких перетворюється на гумусові сполуки.

Для водоймищ особливу небезпеку становлять стічні води, у складі яких є білки, жири, вуглеводи, органічні кислоти, ефіри, спирти, феноли, нафта та ін.

Взимку кількість органічних речовин мінімальна, проте в період повені й паводків, а також влітку в період масового розвитку водоростей – «цвітіння» водоймищ – вона підвищується.

Наявність у воді органічних речовин різко погіршує органолептичні показники води, підвищує кольоровість, спінюваність, негативно діє на організм людини і тварин.

У більшості випадків *іонний склад* природних вод визначається катіонами Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} і аніонами HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Катіони H^+ , NH_4^+ , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Al^{3+} та ін. і аніони OH^- , CO_3^{2-} , NO_2^- , NO_3^- , F^- , I^- , HPO_4^{2-} , HSO_4^- , HSiO_3^- , HS^- та ін. у природній воді містяться в незначній кількості, проте їх вплив на властивості і якість води іноді також дуже великий.

З урахуванням ступеня мінералізації природні води ділять на *прісні, мінералізовані, з морською солоністю і розсоли* – що відповідно містять до 1, від 1 до 25, від 25 до 50 і понад 50 г/дм³ солей.

Катіони Ca^{2+} і Mg^{2+} присутні у всіх мінералізованих водах. Їх джерелом є природні поклади вапняків, гіпсу і доломіту. У маломінералізованих водах більше всього катіонів Ca^{2+} . Із збільшенням ступеня мінералізації води вміст іонів Ca^{2+} швидко падає і рідко перевищує 1 г/дм³. Вміст же катіонів Mg^{2+} в мінералізованих водах може досягати декількох грамів, а в солоних озерах – декількох десятків грамів на 1 дм³ води.

Катіони Fe^{2+} , Fe^{3+} , 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, у поверхневих – у вигляді органічних комплексних сполук (наприклад, гуміновокислих) або у вигляді тонкодисперсної суспензії.

Вміст аніонів Cl^- і SO_4^{2-} в природних водах коливається в широких межах (від долей міліграма до декількох грамів на літр) і обумовлений вимиванням солевмісних порід або скиданням у водоймища промислових і побутових стічних вод. Наявність у воді більше 500 мг/дм³ сульфатів або 350 мг/дм³ хлоридів надає їй солоноватий присмак і призводить до порушення діяльності шлунково-кишкового тракту людей. Вода з великим вмістом хлоридних і іонів сульфату має також підвищену корозійну активність, вищу некарбонатну твердість, руйнує залізобетонні конструкції.

Сполуки азоту зустрічаються в природній воді у вигляді катіонів амонію NH_4^+ , нітритних NO_2^- і нітратних NO_3^- аніонів. Поява цих іонів у природних водах пов'язана з розкладанням різних складних органічних речовин тваринного й рослинного походження, а також білкових речовин, які потрапляють у водойми з побутовими стічними водами.

У природних водах в дуже малих кількостях містяться іони F^- , Br^- , I^- і ін., що значно впливають на здоров'я людини. Так, нестача або надлишок фтору в питній воді викликає руйнування зубів і зміни в скелеті, відсутність або нестача йоду призводить до захворювання людей ендемічним зобом і т.д.

До складу природних вод можуть входити також іони радіоактивних елементів, що поступають у воду в результаті вимивання радіоактивних мінералів або випробувань атомної зброї і скидання відпрацьованих вод атомних реакторів.

Катіони Pb^{2+} , Cu^{2+} , Sr^{2+} , Zn^{2+} , Se^{6+} , As^{3+} , As^{5+} та ін., що відносяться до отруйних, у природних водах зустрічаються, як правило, в незначних кількостях і потрапляють в них у великих об'ємах в результаті скидання неочищених стічних вод. Наявність у воді декількох мг/дм³ отруйних речовин робить шкідливий вплив на організм людини і теплокровних тварин, а також згубну дію на рибу і їх кормові ресурси.

ЗМ 1.1 СПЕЦІАЛЬНІ СПОСОБИ ПІДГОТОВКИ ВОДИ

ТЕМА 1 ЗМ'ЯКШЕННЯ ВОДИ

1. Основи процесів і класифікація методів зм'якшення води.
2. Термічний метод зм'якшення води.
3. Реагентні методи зм'якшення води.
4. Термохімічний метод зм'якшення води. Регенерація вапна з осаду водозм'якшувальних установок.

1 Основи процесів і класифікація методів зм'якшення води

Зм'якшенням води називається процес видалення з води *катіонів твердості*, тобто Ca^{2+} і Mg^{2+} .

Відповідно до вимог ДержСанПіН [1] твердість води, призначеної для господарсько-побутових цілей, не повинна перевищувати 7 мг-екв/дм³. За узгодженням з органами санітарно-епідеміологічної служби ця норма може бути збільшена 10 мг-екв/дм³.

У більшості випадків використовувані вододжерела мають твердість, що відповідає нормі для господарсько-побутових вод, і зм'якшення не потребують. Зм'якшення води проводиться в основному при її підготовці для технічних цілей. Наприклад, твердість води, використовуваної для барабанних котлів, не повинна перевищувати 0,005 мг-екв/дм³.

Загальна твердість води є сумою *карбонатної* (тимчасової) і *некарбонатної* (постійної) *твердості*. *Карбонатна твердість* обумовлена присутністю у воді в основному гідрокарбонатів Ca^{2+} і Mg^{2+} . *Некарбонатна твердість* обумовлена присутністю кальцієвих і магнієвих солей сірчаної, соляної і азотної кислот.

Для зм'якшення води застосовують наступні *методи*:

- *термічні*, засновані на нагріванні води, її дистиляції або виморожуванні;
- *реагентні*, при яких іони Ca^{2+} і Mg^{2+} , що знаходяться у воді, зв'язуються різними реагентами в практично нерозчинні сполуки;
- *іонного обміну*, засновані на фільтруванні зм'якшуваної води через спеціальні матеріали, що обмінюють вхідні в їх склад іони Na^+ , H^+ на іони Ca^{2+} або Mg^{2+} , що містяться у воді;
- *комбіновані* – різні поєднання перерахованих методів.

Вибір того або іншого методу зниження твердості визначається якістю вихідної води, необхідною глибиною зм'якшення і техніко-економічними міркуваннями.

Відповідно до вимог [3] під час зм'якшення підземних вод слід застосовувати іонообмінні методи; під час зм'якшення поверхневих вод, коли одночасно потрібне і освітлення води, – вапняний або вапняно-содовий метод, а при необхідності глибокого зм'якшення води – подальше катіонування.

Під час отримання води, придатної для господарсько-питних потреб, звичайно зм'якшують тільки частину води з подальшим змішанням її з вихідною водою.

2 Термічний метод зм'якшення води

Термічне зм'якшення води застосовують під час використання карбонатних вод, які надходять для живлення котлів низького тиску, а також під час використання реагентних способів зм'якшення. Цей спосіб ґрунтується на зміщенні **карбонатної рівноваги** після нагрівання води в бік утворення карбонату кальцію:

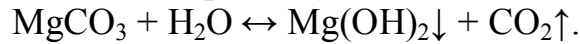


Рівновага зміщується за рахунок зниження розчинності оксиду вуглецю (IV), що викликається підвищенням температури і тиску. Кип'ячінням можна повністю видалити оксид вуглецю (IV) і тим самим набагато знизити карбонатну кальцієву твердість. Проте повністю усунути вказану твердість не вдається, оскільки карбонат кальцію, хоч і трохи (13 мг/дм^3 при 18°C), але все таки розчиняється у воді.

За наявності у воді гідрокарбонату магнію процес його осадження відбувається таким чином: спочатку утворюється порівняно добре розчинний (110 мг/дм^3 при 18°C) карбонат магнію:



Ця сіль під час тривалого кип'ятіння гідролізує, внаслідок чого випадає осад малорозчинного ($8,4 \text{ мг/дм}^3$) гідроксиду магнію:



Таким чином, під час кип'ятіння води твердість, обумовлена наявністю гідрокарбонатів кальцію і магнію, значно знижується.

Кип'ячінням частково усувається також твердість, обумовлена наявністю сульфату кальцію, розчинність якого падає до $0,65 \text{ г/дм}^3$ при температурі 100°C .

Для нагріву води застосовують **підігрівачі змішуючого або каскадного типу**. Підігрівач **змішуючого типу** (рис. 1.1) – металева ємкість з

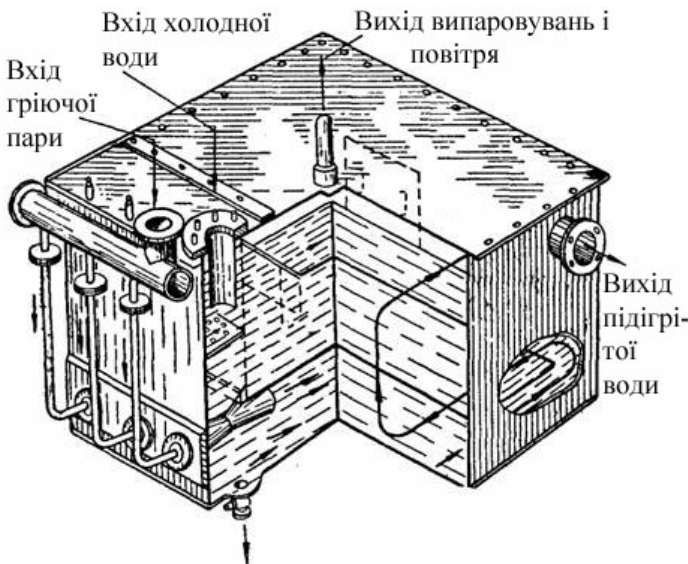


Рисунок 1.1 – Схема підігрівача змішуючого типу

перегородками, до якої підводиться оброблювана вода і пара, що гріє. Змішання води з парою відбувається за допомогою пароструминних сопел. **Каскадний підігрівач** (рис. 1.2) виготовляється у вигляді колонки з дірчастими перегородками-тарілками, якими назустріч один одному рухаються зм'якшувана вода і пара, що гріє.

Термозм'якшувач системи Коп'єва (рис. 1.3) складається з плівкового змішуючого підігрівача освітлювача із завислим осадом і похилих сепараційних перегородок. Заздалегідь підігріта в апараті об-

роблювана вода поступає через ежектор на розетку плівкового підігрівача і розбризкується над вертикально розташованими трубами, стікаючи по ним назустріч гарячій парі. Далі вода центральною трубою через дірчасте днище надхо-

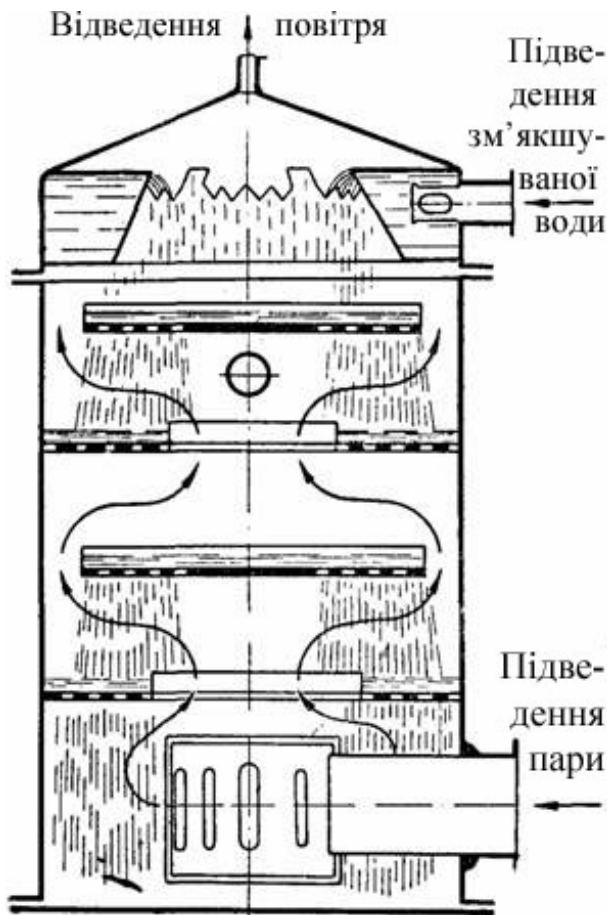


Рисунок 1.2 – Схема каскадного підігрівача

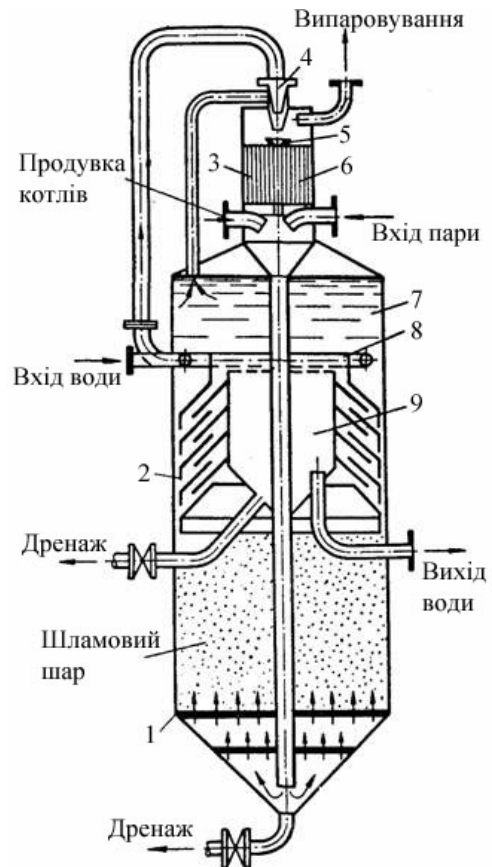


Рисунок 1.3 – Схема термозм'якшувача системи Коп'єва:

- 1 – дірчасте днище; 2 – сепаруючі перегородки; 3 – плівковий підігрівач;
- 4 – ежектор; 5 – розпилююча розетка;
- 6 – концентричні труби; 7 – освітлювач;
- 8 – кільцева охолоджуюча труба;
- 9 – камера освітленої води

дить в освітлювач, в шарі завислого осаду якого затримуються солі кальцію і магнію, що утворюються під час нагрівання води. Вуглекислота і кисень, що виділяються разом з надлишком пари, виводяться з апарату. Час перебування води в термозм'якшувачі – 30-45 хв.

3 Реагентні методи зм'якшення води

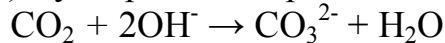
Зм'якшення води реагентними методами засноване на обробці її такими реагентами, аніони яких утворюють з катіонами Ca^{2+} і Mg^{2+} малорозчинні сполуки: CaCO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ та інші з подальшим їх відділенням в освітлювачах і освітлювальних фільтрах. Як **реагенти для зм'якшення води** застосовують вапно, кальциновану соду, гідроксиди натрію і барію та інші речовини.

Зм'якшення води **вапнуванням** застосовують при високій карбонатній і низькій некарбонатній твердості води, а також у разі, коли не потрібно видаляти з води солі некарбонатної твердості. Як реагент використовують вапно, яке вводять у вигляді розчину або суспензії (молока) в заздалегідь підігріту оброблювану воду.

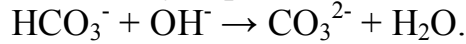
Розчиняючись, вапно збагачує воду іонами OH^- і Ca^{2+}

$$\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-.$$

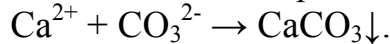
Збагачення води іонами OH^- призводить до зв'язування розчиненого у воді вільного оксиду вуглецю (IV) з утворенням карбонатних іонів



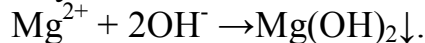
і до переходу гідрокарбонатних іонів у карбонатні



Підвищення концентрації іонів CO_3^{2-} в оброблюваній воді і наявність в ній іонів Ca^{2+} , що містяться у вихідній воді і введених з вапном, призводить до підвищення добутку розчинності і осадженню малорозчинного CaCO_3 :



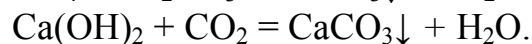
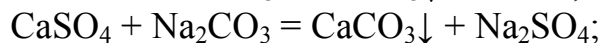
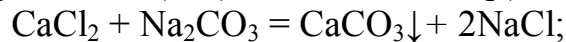
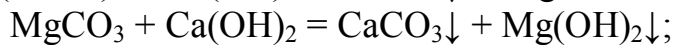
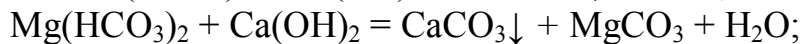
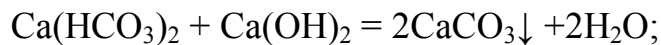
Під час додавання надлишку вапна в осад випадає і гідроксид магнію:



Для поліпшення видалення грубодисперсних і колоїдних домішок і зниження лужності води одночасно з вапнуванням застосовують коагуляцію цих домішок. Як коагулянт звичайно використовують сульфат заліза (II) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Залишкова твердість зм'якшеної води під час декарбонізації може бути одержана на 0,4-0,8 мг-екв/дм³ більше некарбонатної твердості, а лужність 0,8-1,2 мг-екв/дм³.

Сутність **вапняно-содового** методу зм'якшення води зводиться до наступних основних процесів:



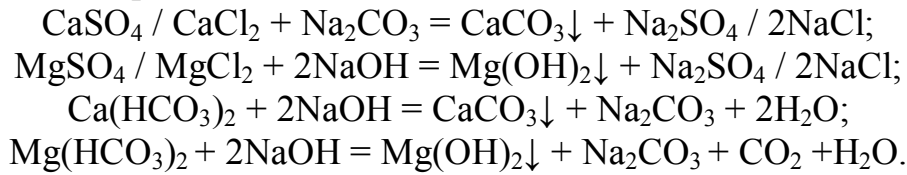
Цим методом залишкова твердість може бути доведена 0,5-1, лужність - до 0,8-1,2 мг-екв/дм³.

При вапняно-содовому методі зм'якшення води утворювані CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$ можуть пересичувати розчини і довго залишатися в колоїдно-дисперсному стані. Перехід їх у грубодисперсний шлам тривалий, особливо при низьких температурах і наявності у воді органічних домішок. Останні діють як захисні колоїди і при великій їх кількості твердість води при реагентном методі зм'якшення може знижуватися всього на 15-20 %. У подібних випадках перед зм'якшенням або в процесі зм'якшення з води видаляють органічні домішки коагулянтами.

При вапняно-содовому методі часто процес проводять в дві стадії. Спочатку видаляють з води органічні домішки і велику частину карбонатної твердості, застосовуючи солі алюмінію або заліза з вапном, створюючи при цьому оптимальні умови для протікання процесу коагуляції. Потім, вводячи соду і решту вапна, дозм'якшують воду. Якщо видалення органічних домішок проводиться спільно із зм'якшенням води, то як коагулянти застосовують виключно солі за-

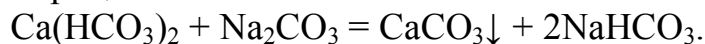
ліза, оскільки при високому значенні рН води, необхідному для видалення магнезної твердості, солі алюмінію не утворюють сорбційно-активного гідроксиду.

Під час зм'якшення води *содово-натрієвим* методом воду обробляють содою і гідроксидом натрію:



З огляду на те, що сода утворюється при реакції гідроксиду натрію з гідрокарбонатом, потрібна для добавки у воду доза її значно зменшується. При високій концентрації гідрокарбонатів у воді і низькій некарбонатній твердості надлишок Na_2CO_3 може залишатися в зм'якшеній воді. Тому даний метод застосовується лише з урахуванням співвідношень між карбонатною і некарбонатною твердістю. Якщо карбонатна твердість приблизно рівна некарбонатній, соду можна зовсім не додавати, оскільки необхідна кількість її для зм'якшення такої води утворюється в результаті взаємодії гідрокарбонатів з NaOH . Доза кальцинованої соди збільшується у міру підвищення некарбонатної твердості води.

Для зм'якшення води, що вживається для живлення парових котлів низького тиску, може використовуватися *содо-регенеративний метод*, заснований на відновленні соди в процесі зм'якшення:

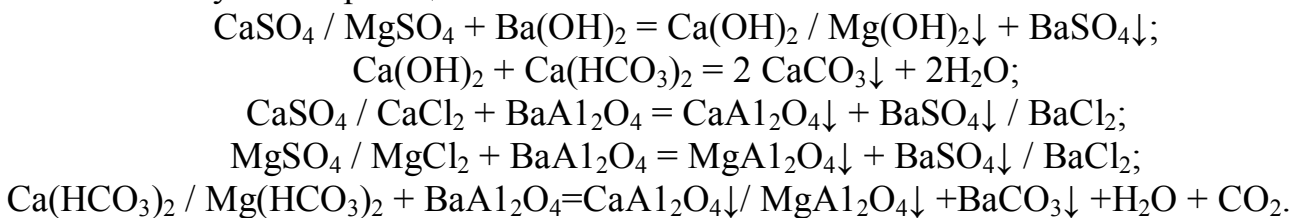


Гідрокарбонат натрію, потрапляючи в котел із зм'якшеною водою, розкладається під впливом високої температури:



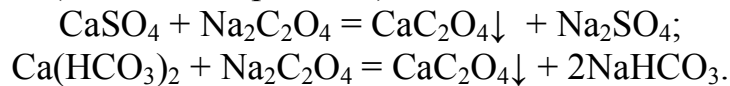
Сода, що утворюється під час розкладання гідрокарбонату натрію, разом з надмірною содою, введеною спочатку у водозм'якшувач, тут же в котлі гідролізує з утворенням гідроксиду натрію і оксиду вуглецю (IV). Останній з продувочною водою поступає у водозм'якшувач, де використовується для видалення із зм'якшуваної води гідрокарбонатів кальцію і магнію. Недолік цього методу полягає в тому, що накопичення великої кількості CO_2 в процесі зм'якшення призводить до корозії металу і підвищення вмісту сухого залишку в котельній воді.

Барієвий метод зм'якшення води застосовують в поєднанні з іншими методами. Спочатку вводять барійвміщуючі реагенти у воду (BaCO_3 , Ba(OH)_2 , BaAl_2O_4) для усунення сульфатної твердості, потім після освітлення води її обробляють вапном і содою для подальшого зм'якшення. Хімізм процесу можна описати наступними реакціями:



Барієвий метод застосовують дуже рідко через високу вартість барієвих реагентів. Для підготовки питної води внаслідок токсичності барієвих реагентів він не придатний. Крім того, сульфат барію, що утворюється, осідає дуже повільно, що вимагає відстійників великих розмірів.

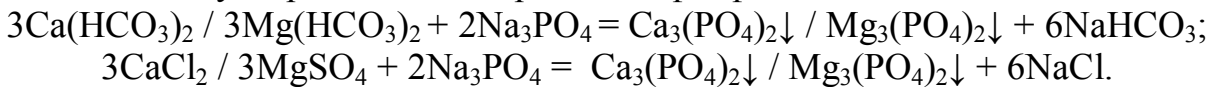
Оксалатний метод зм'якшення води заснований на малій розчинності у воді оксалата кальцію (6,8 мг/дм³ при 18°C):



Метод відрізняється простотою технологічного і апаратурного оформлення, проте застосовується для зм'якшення невеликих кількостей води через високу вартість реагенту.

Фосфатний метод зм'якшення води як самостійний не застосовують у зв'язку з високою вартістю реагентів. Фосфати застосовують для дозм'якшення води після її обробки іншими реагентами, наприклад вапном і содою.

Як реагенти використовують три- або дінатрійфосфат. При додаванні цих реагентів до води утворюються малорозчинні фосфати кальцію і магнію:



Процес фосфатного дозм'якшення води проводять звичайно при температурі вище за 100°C. Залишкова твердість при цьому досягається 0,04-0,05 мг-екв/дм³.

У технологічних схемах реагентного зм'якшення води, як і в схемах освітлення і знебарвлення, використовується наступне обладнання: апаратура для приготування і дозування реагентів, змішувачі, відстійники або освітлювачі, фільтри і пристрої для стабілізаційної обробки води.

На рисунку 1.4 показана схема водозм'якшувальної установки, що включає найбільш компактний пристрій для зм'якшення води вапняним або вапняно-содовим методами – вихровий реактор (спирактор).

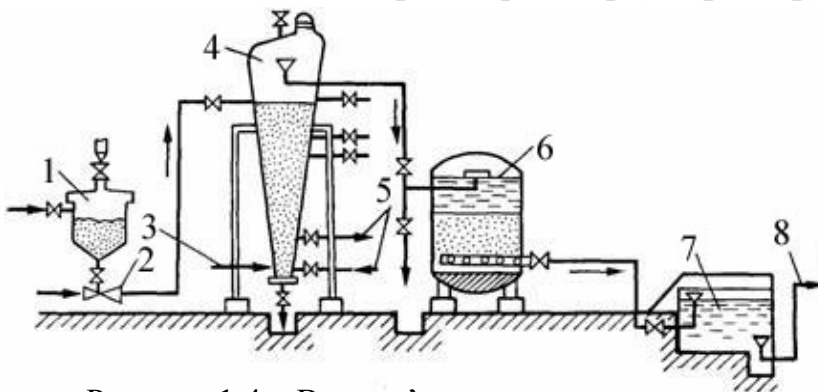


Рисунок 1.4 – Водозм'якшувальна установка з вихровим реактором:

1 – бункер з контактною масою; 2 – ежектор; 3 – подача вихідної води; 4 – вихровий реактор; 5 – введення реагентів; 6 – освітлювальний фільтр; 7 – резервуар зм'якшеної води; 8 – відведення зм'якшеної води

або сталевий корпус, звужений донизу і наповнений приблизно до половини висоти контактною масою. Як контактну масу застосовують кварцевий пісок або мармурову крихту з розміром зерен 0,2-0,3 мм з розрахунку 10 кг на 1 м³ об'єму реактора. Вода поступає в нижню, звужену частину вихрового реактора через патрубків, приварений по

дотичній до корпусу. Завдяки цьому в реакторі виходить гвинтовий висхідний потік рідини. Контактна маса зважується у висхідному потоці води, піщинки стикаються одна з одною і на їх поверхні інтенсивно кристалізується CaCO₃; поступово піщинки перетворюються на кульки правильної форми. Коли діаметр кульок збільшується до 1,5-2 мм, крупну, найбільш важку контактну масу випускають з нижньої частини реактора і довантажують свіжу. Вихрові реакто-

ри не затримують осаду гідроксиду магнію, тому їх слід застосовувати спільно зі встановленими за ними фільтрами

У технологічних схемах реагентного зм'якшення води з освітлювачами замість вихрових реакторів застосовують змішувачі, краще всього вертикальні (вихрові). У освітлювачах необхідно підтримувати постійну температуру, не допускаючи коливань більш 1°C протягом години, оскільки виникають конвекційні струми, взмучення осаду і його винесення.

Швидкість руху води в нижній вузькій частині вихрового реактора рівна 0,8-1 м/с; кут конусності 15-20°; швидкість висхідного потоку у верхній частині на рівні водовідвідних пристроїв – 4-6 мм/с. Їх виконують напірними або відкритими. Гідравлічний опір контактної маси складає 0,3 м на 1 м висоти.

При невеликих витратах зм'якшуваної води може бути застосована водоочисна установка типу «Струмінь». Оброблювана вода ділиться на три струмені. Перший, основний струмінь, поступає в підігрівач, а потім - в жолоб змішувача йоржистого типу, де до неї додаються реагенти. Другий струмінь прямує в двохлапний сатуратор, де насичується вапном; третій - в дозатори-змішувачі, що подають в жолоб змішувача розчин соди або, в разі потреби, розчин коагулянта. Вода з доданими до неї реагентами поступає у вертикальний відстійник, потім на фільтри. Час перебування води у відстійнику складає 2-4 год. залежно від температури води.

4 Термохімічний метод зм'якшення води. Регенерація вапна з осаду водозм'якшувальних установок

Для економії реагентів і зниження твердості до 0,5 мг-екв/дм³ комбінують реагентний і термічний методи зм'якшення. Таке зм'якшення води проводять звичайно при температурі води вище за 100 °С. Інтенсивнішому зм'якшеванню води при її підігріві сприяє: утворення важких і крупних пластівців осаду, якнайшвидше його осадження внаслідок зниження в'язкості води при нагріванні; скорочується також витрата вапна, оскільки вільний оксид вуглецю (IV) видаляється під час підігріву до введення реагентів.

Термохімічний метод може застосовуватися з додаванням і без додавання коагулянта, оскільки велика щільність осаду виключає необхідність в його обваженні й осадженні.

Застосовують термохімічне зм'якшення виключно під час підготовки води для парових котлів, оскільки в цьому випадку найраціональніше використовується теплота, витрачена на підігрів води.

Як реагенти при цьому методі зм'якшення застосовують в основному вапно і соду, рідше – гідроксид натрію й соду. Застосування гідроксиду натрію замість вапна декілька спрощує конструкцію установок для приготування і дозування реагентів, проте економічно така заміна не виправдана у зв'язку з високою вартістю реагенту.

Для забезпечення видалення некарбонатної твердості води соду додають з надлишком.

Для реалізації термохімічного зм'якшення може бути використана схема, показана на рисунку 1.5. Спочатку вода підігрівається до 100-105°C, внаслідок чого відбувається її часткове зм'якшення. У нижню частину підігрівача дода-

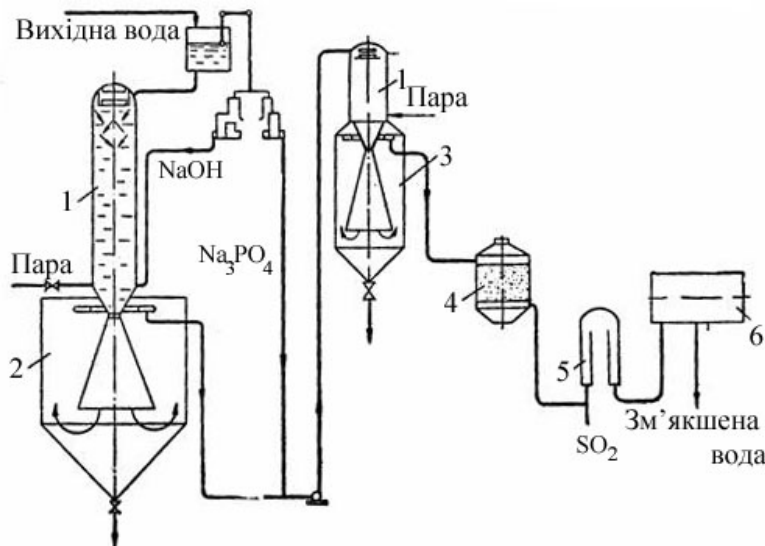


Рисунок 1.5 – Схема термохімічної установки з фосфатним дозмікшенням:

1 – каскадний підігрівач; 2 – освітлювач; 3 – реактор-дозмікшувач; 4 – фільтр; 5 – пристрій для нейтралізації за допомогою SO_2 ; 6 – збірний бак

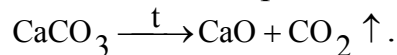
ють реагенти (сода і вапно або гідроксид натрію) і в освітлювачі протягом 1-1,5 години протікає друга фаза зм'якшення води. Далі при необхідності глибокого зм'якшення вода поступає в другий підігрівач, де нагрівається до $130-150^\circ\text{C}$; туди ж додають розчин фосфатів і вода дозм'якшується протягом 30 хв. Далі зм'якшена вода освітлюється фільтруванням і стабілізується з метою регулювання рН.

Осад водозм'якшувальних установок при вапняному і вапняно-содовому методі зм'якшення складається в основному з CaCO_3 і $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

Кількість перехідного в осад CaCO_3 за еквівалентними співвідношеннями приблизно в 3,5 рази більше вживаного для обробки води CaO . Фактично у зв'язку з винесенням частини осаду з водою і втратами при транспортуванні можна розраховувати на отримання в осаді CaO приблизно в 1,5 раза більше кількості, витраченого для обробки води. За наявності кальцієвої некарбонатної твердості ця кількість збільшується за рахунок CaCO_3 , що осаджується содою.

Таким чином, при **регенерації CaO з осаду водозм'якшувальних установок** одержувана кількість не тільки могла б забезпечити власні потреби установок, але і використання частини продукту в інших цілях.

Найдоцільніше одержувати CaO із зернистого осаду вихрових реакторів. Цей осад є майже чистим CaO . При випуску з вихрових реакторів він має вологість близько 50 % і легко віддає частину вологи при підсушуванні на повітрі, після чого його можна піддавати випаленню при 1100°C для отримання CaO



$\text{Mg}(\text{OH})_2$, що міститься в осаді, при випаленні переходить в MgO . При великій кількості магнію з часом регенований осад все більше буде їм забруднюватися з одночасним зниженням вмісту кальцію. У цьому випадку до регенованого осаду необхідне додавання свіжого вапна для підтримки необхідної активності реагенту.

Процес регенерації може протікати за наступною схемою (рис. 1.6). Вологість осаду знижується до 35 %, після чого відбувається його випалення в роторній печі, що обертається із швидкістю 1 об./хв. і має ухил $i = 0,04$ для полегшення переміщення підсушеного осаду у напрямі входу в піч гріючої пари. Осад, що виходить, охолоджується в повітряній сорочці і прямує в бункер. В установці передбачені пристрої для знепилювання газів, що відходять.

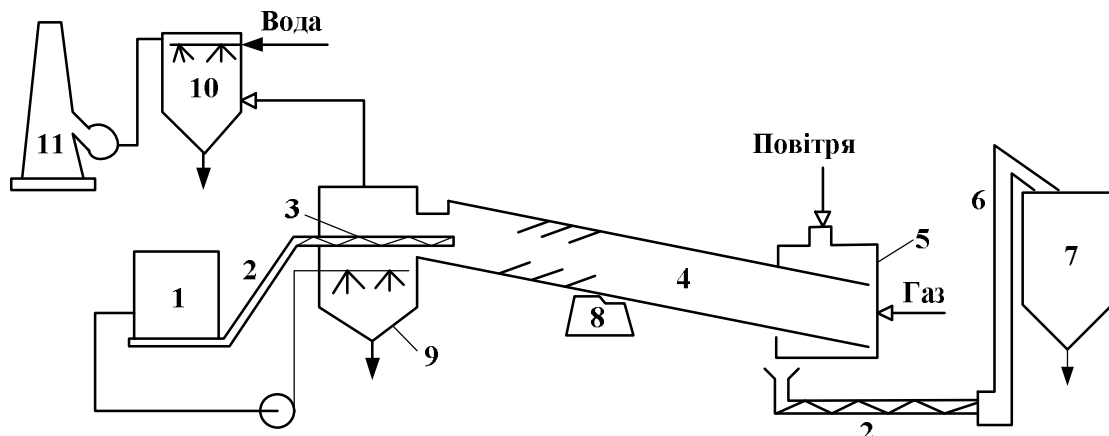


Рисунок 1.6 – Схема установки для регенерації осаду з відстійників або освітлювачів водозм'якшувальних установок:

- 1 – центрифуга; 2 – транспортер; 3 – шнековий живильник; 4 – роторна піч;
 5 – охолоджувальна сорочка; 6 – елеватор; 7 – бункер для регенованого продукту;
 8 – привід печі; 9 – скруббер 1 ступеня для знепилювання газів, що відходять;
 10 – скруббер 2 ступеня; 11 – димар

Контрольні запитання

1. З якою метою здійснюють зм'якшення води?
2. Які види твердості вам відомі?
3. Які є способи зм'якшення води?
4. Що впливає на вибір способу зм'якшення води?
5. Як здійснюється термічний, термохімічний та іонообмінний способи зм'якшення води?
6. У чому полягає суть термічного способу зм'якшення води?
7. Запишіть та поясніть рівняння вуглекислотної рівноваги.
8. Які апарати використовують для термічного зм'якшення води?
9. Поясніть схему каскадного підігрівача.
10. Поясніть схему термозм'якшувача системи Коп'єва.
11. У чому полягає суть реагентних способів зм'якшення води?
12. Які процеси протікають при вапняковому зм'якшенні води?
13. Які особливості вапнякового зм'якшення води?
14. Які процеси протікають при вапняково-содовому зм'якшенні води?
15. Які процеси протікають при содово-натрієвому зм'якшенні води?
16. Які особливості содово-натрієвого зм'якшення води?
17. Які процеси протікають при фосфатному зм'якшенні води?
18. Які процеси протікають при барієвому зм'якшенні води?
19. Реагентне зм'якшення води із застосуванням вихрових реакторів.
20. У чому полягає суть термохімічного зм'якшення води?
21. Поясніть схему термохімічної установки з фосфатним дозм'якшенням.
22. Термохімічне зм'якшення води в установках типу «Струя».
23. Регенерація вапна з осаду водозм'якшувальних установок.

ТЕМА 2 ЗАСТОСУВАННЯ ІОННОГО ОБМІНУ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДИ

1. Суть іонного обміну. Характеристика іонітів. Регенерація іонітів. Апаратурне оформлення іонообмінного очищення води.

2. Зм'якшення води катіонуванням.

3. Знезалізнення води катіонуванням.

4. Опріснення і знесолення води іонним обміном.

1 Суть іонного обміну. Характеристика іонітів. Регенерація іонітів. Апаратурне оформлення іонообмінного очищення води

Суть іонного обміну заснована на здатності *іонообмінних матеріалів* або *іонітів* поглинати з розчину електроліту позитивно і негативно заряджені іони в обмін на еквівалентну кількість однойменно заряджених іонів іоніту.

Здатність іонітів до іонного обміну пояснюється їх специфічною структурою, що складається з твердої нерозчинної у воді *молекулярної сітки (матриці)*, до окремих місць якої на поверхні і всередині її маси приєднані хімічно активні *функціональні групи* атомів іоніту, що мають електричний заряд. Цей заряд компенсується протилежним за знаком зарядом рухомого *протиіона*, здатного переміщуватися усередині гранули іоніту і обмінюватися з іншими іонами в розчині. Фіксовані іони з протиіонами утворюють *іоногенні*, або *активні групи*.

Іоніти з одностипними функціональними групами називаються *монофункціональними*, а що мають різні функціональні групи – *поліфункціональними*.

З електрохімічної точки зору кожна молекула є своєрідним твердим електролітом. У результаті електролітичної дисоціації іоніту навколо нерозчинного у воді ядра утворюється іонна атмосфера, обмежений навколо молекули іоніту простір, в якому знаходяться рухомі й здатні до обміну іони.

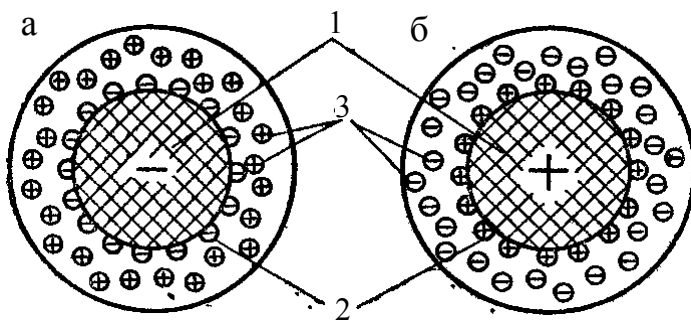


Рисунок 2.1 – Схема структури молекули іоніту:

1 – твердий багатоатомний каркас іоніту;
2 – пов'язані з каркасом нерухомі іони активних груп; 3 – обмежено рухомі іони активних груп, здатні до обміну

На рисунку 2.1 у спрощеному вигляді зображена схема структури молекули іоніту. Залежно від характеру активних функціональних груп іоніту його рухомі, здатні до обміну іони можуть мати або позитивні заряди (рис. 2.1, а), тоді такий іоніт називають *катіонітом*, або негативні заряди (рис. 2.1, б), тоді такий іоніт називають *аніонітом*.

Процес обробки води методом іонного обміну, в результаті якого відбувається обмін катіонів,

називається *катіонуванням*. Процес обробки води методом іонного обміну, в результаті якого відбувається обмін аніонів, називається *аніонуванням*.

Катіоніти за складом розділяють на *мінеральні* й *органічні*, які, в свою чергу, розділяються на катіоніти *природного* і *штучного походження*. Мінера-

льні катіоніти природного походження характеризуються відносно малою обмінною здатністю і недостатньою стійкістю, що призвело до їх поступової заміни штучними катіонітами. У практиці водопідготовки з катіонітів природного походження іноді застосовують глауконітовий пісок і гумусове вугілля. Мінеральні катіоніти штучного походження готують змішанням розчину сульфату алюмінію з розчинами соди і рідкого скла.

Частіше за інших в технології підготовки води застосовують органічні катіоніти штучного походження. Вони можуть містити такі *функціональні групи*: сильнокислотні сульфогрупи (SO_3^-) або фосфорні групи (PO_3^-), слабокислотні карбоксильні групи (COO^-) та ін. Відповідно катіоніти підрозділяють на *сильнокислотні*, які обмінюють іони в будь-якому середовищі, і *слабокислотні*, які обмінюють іони тільки в лужному середовищі.

Як *обмінні іони* в катіонітах можуть бути присутні катіони H^+ , Na^+ , NH_4^+ .

Фізичні властивості катіонітів залежать від їх фракційного складу, механічної міцності й насипної щільності. Фракційний (або гранулометричний) склад характеризує експлуатаційні властивості катіонітів і визначається ситовим аналізом. При цьому враховуються: середній розмір зерен, ступінь однорідності й кількість пилоподібних частинок, не придатних до використання.

Енергія входження різних катіонів у катіоніт за величиною їх динамічної активності може бути охарактеризована для однакових умов наступним рядом: $\text{Na}^+ < \text{NH}_4^+ < \text{K}^+ < \text{Ba}^{2+} < \text{Mg}^{2+} < \text{Ca}^{2+} < \text{Al}^{3+} < \text{Fe}^{3+}$, тобто чим більший заряд катіонів, тим більша їх енергія входження в катіоніт. Для катіонів однакової валентності енергія входження залежить від ступеня їх гідратації.

Аніоніти містять наступні хімічно активні *функціональні групи*: слабоосновні первинні ($-\text{NH}_2$), вторинні ($=\text{NH}$), третинні ($-\text{N}$) аміногрупи, сильноосновні четвертинні амонієві групи ($-\text{N}^+\text{R}_3$). Залежно від хімічного складу аніоніти діляться на *слаbasisосновні*, здатні до обміну аніонів тільки в кислому середовищі, і *сильноосновні*, що обмінюють іони в будь-яких середовищах.

До складу аніонітів можуть бути введені різні обмінні аніони. У практиці водопідготовки такими *обмінними аніонами* є OH^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- .

Якість аніонітів визначається тими ж показниками, що і катіонітів. З них основним показником є робоча обмінна ємкість. На протвагу катіонітам, робоча обмінна ємкість яких підвищується із збільшенням рН фільтрованої води, робоча обмінна ємкість аніонітів тим більше, чим нижча величина рН, тобто чим вище кислотність фільтрованої води.

Слаbasisосновні аніоніти характеризуються неоднаковою здатністю до поглинання різних аніонів; для більшості з них справедливим є такий ряд: $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$, в якому кожен попередній аніон поглинається активніше і в більшій кількості, ніж наступний. Аніони слабких кислот (HSiO_3^- , HCO_3^-) не вступають в обмінні реакції із слаbasisосновними аніонітами. Сильноосновні аніоніти здатні витягувати з води аніони як сильних, так і слабких кислот, що містяться в ній. Проте сильноосновні аніоніти значно дорожче слаbasisосновних, тому вони застосовуються в основному для поглинання аніонів кремнієвої кислоти в установках для повного хімічного знесолення і знекремнювання води.

У воді всі іоніти розбухають, збільшуючись в об'ємі. Відношення об'ємів однакових мас іонітів у набряклому і повітряно-сухому станах називається **коєфіцієнтом набухання**. Він виражається відношенням насипної щільності повітряно-сухого і набряклого іонітів.

Кожен іоніт володіє певною **обмінною ємкістю**, що виражається кількістю іонів, які іоніт може обміняти протягом циклу фільтрування.

У практиці водопідготовки обмінну ємкість іоніту виражають у грам-еквівалентах затриманих катіонів на 1 м³ катіоніту, що знаходиться в набряклому стані після перебування у воді, тобто в такому стані, в якому іоніт знаходиться у фільтрі.

Розрізняють такі **види обмінної ємкості**:

1) **статичну обмінну ємкість** (СОЄ) – визначається шляхом контакту в колбі певної кількості іоніту і розчину солей протягом 24-48 годин;

2) **динамічну (робочу) обмінну ємкість** (ДОЄ, РОЄ) іоніту, яка характеризується кількістю іонів, яка поглинається 1 м³ іоніту, до досягнення у фільтраті допустимої концентрації іону, що видаляється, (тобто до «проскакування»);

3) **повну обмінну ємкість** (ПОЄ) іоніту, що характеризується тією кількістю іонів, яка може поглинути даний іоніт до його повного виснаження, коли концентрація солей у фільтраті стане рівною концентрації їх в розчині.

Робоча обмінна ємкість визначає об'єм іоніту, необхідного для завантаження фільтрів за заданих умов їх експлуатації. РОЄ залежить від виду витягваних з оброблюваної води катіонів або аніонів, співвідношення різних іонів у вихідному розчині, швидкості фільтрування води, що знесолюється, через іоніт, висоти шару іоніту, значення рН води, режиму експлуатації фільтру по проскакуванню іонів, що допускається, у фільтрат і питомої витрати регенеруючої речовини. Окрім цього, робоча обмінна ємкість катіоніту або аніоніту в значній мірі залежить від їх якостей, які характеризуються гранулометричним складом, розміром зерен, коефіцієнтом неоднорідності, об'ємом міжзернового простору, механічною міцністю, хімічною і термічною стійкістю, а також гідравлічними характеристиками іоніту.

Після заміни обмінних іонів іоніту іонами розчинених у воді електролітів іоніт виснажується і втрачає здатність обмінювати іони. **Регенерація іонітів**, тобто відновлення їх обмінної ємкості, досягається фільтруванням через шар виснажених іонітів регенераційних розчинів, в якості яких застосовують:

при Na-катіонуванні – NaCl;

при NH₄- катіонуванні – NH₄Cl;

при H-катіонуванні – HCl, розбавлений розчин H₂SO₄;

при OH-аніонуванні – NaOH, NH₄OH;

при CO₃-аніонуванні - Na₂CO₃, NaHCO₃.

Найчастіше іоніти завантажуються у стандартні напірні фільтри, які звичайно застосовуються на станціях хімводоочистки.

Регенерація іоніту проводиться в три послідовних етапи:

1 – розпушування завантаження іонообмінного фільтру при подачі розпушуючої води зверху вниз;

2 – пропуск регенераційного розчину (власне регенерація). Залежно від того, як пропускається через фільтр регенераційний розчин, фільтри можуть бути:

- *паралельноточні*, в яких оброблювана вода і регенераційний розчин пропускаються через фільтр в одному напрямі;
- *протиточні*, в яких вода і регенераційний розчин пропускаються через фільтр у протилежних напрямках;

3 – відмивання завантаження фільтру від регенераційного розчину і продуктів регенерації.

Іонообмінні фільтри за принципом дії підрозділяють на чотири типи:

- катіонітні;
- аніонітні;
- змішаної дії;
- безперервної дії.

Фільтри змішаної дії підрозділяються, в свою чергу, на насипні з внутрішньою і зовнішньою регенерацією і намивні.

Крім того, розрізняють фільтри першого, другого і третього ступеня.

За конструктивним оформленням розрізняють одноповерхові й двоповерхові іонітні фільтри. В останніх в одному корпусі об'єднуються два фільтри, що мають роздільне керування.

Окрім вертикальних іонітних фільтрів іноді застосовують горизонтальні іонітні фільтри.

Можуть застосовуватися фільтри для безперервного протиточного процесу іонного обміну з виносною регенерацією іонітів. Процес здійснюється в послідовно включених колонах (робочій, регенераційній, відмивній). У робочих і регенераційних колонах використовується компактний рухомий шар іоніту, а в відмивних – псевдозріджений. На цих установках автоматично підтримуються на заданому рівні витрати вихідної води, регенераційного розчину, відмивної води, а циркуляція іоніту регулюється шляхом зміни інтервалу часу, протягом якого спорожнюється бункер відмивної колони. При зміні складу вихідної води відповідно змінюється швидкість введення реагенту, регенераційного розчину і швидкість циркуляції іоніту. Транспортування іоніту здійснюється гідравлічним способом. Кожна колона розраховується відповідно до характеристик здійснюваного в ній процесу. Колони оснащені пристроями для розподілу потоків рідини в шарі іоніту.

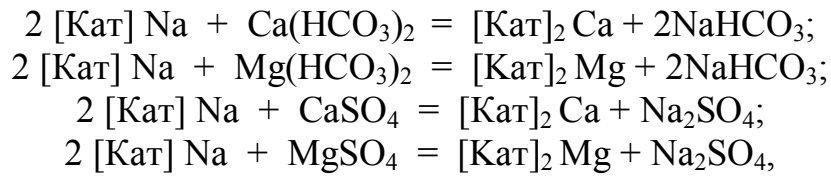
2 Зм'якшення води катіонуванням

Вибір методу катіонування води визначається вимогами, що ставляться до обробленої води, складом домішок, розчинених у вихідній воді, і техніко-економічними міркуваннями.

Натрій-катіонітовий метод зм'якшення води (Na-катіонітовий) застосовують для зм'якшення підземних і поверхневих вод із вмістом завислих речовин не більше 5-8 мг/дм³ і кольоровістю не більше 30 град.

Твердість води може бути знижена при одноступінчастому Na-катіонуванні до 0,03-0,05, при двоступінчастому - до 0,01 мг-екв/дм³.

Під час фільтрування води через шар Na-катіоніту відбуваються наступні реакції обміну:



де [Кат] - нерозчинна матриця полімеру.

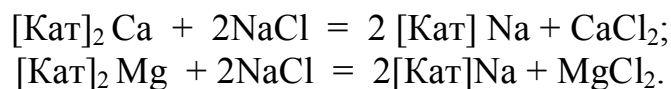
Після виснаження робочої обмінної ємкості катіоніту він втрачає здатність зм'якшувати воду.

Процес обробки води на катіонітових фільтрах складається з наступних послідовних операцій:

- 1) фільтрування води через шар катіоніту до моменту досягнення твердості, що гранично допускається, у фільтраті (швидкість фільтрування в межах 10-25 м/год.);
- 2) розпушування шару катіоніту висхідним потоком незм'якшеної води, відпрацьованого регенерата або відмивних вод (інтенсивність потоку 3-4 л/с м²);
- 3) спуску водяної подушки, щоб уникнути розбавлення регенеруючого розчину;
- 4) регенерації катіоніту за допомогою фільтрування відповідного розчину (швидкість фільтрування 3-5 м/год.);
- 5) відмивання катіоніту незм'якшеною водою (швидкість фільтрування 8-10 м/год.).

На регенерацію звичайно витрачають близько 2 год., з них на розпушування – 10-15 хв., на фільтрування регенеруючого розчину – 15-30, на відмивання – 30-60 хв.

Регенерація виснаженого Na-катіоніту досягається фільтруванням через нього розчину куховарської солі. У процесі регенерації відбуваються наступні реакції:



Куховарська сіль застосовується для регенерації завдяки її доступності, а також внаслідок утворення добре розчинних солей CaCl₂ і MgCl₂, які легко видаляються з регенераційним розчином і відмивною водою.

Найбільш простою є схема одноступінчатої катіонітової установки (рис. 2.2). Вода, минувши Na-катіонітові фільтри, збирається в бак, з якого подається споживачу. У складі установки передбачено устаткування для проведення розпушування завантаження фільтрів, пропуску регенераційного розчину і відмивання завантаження. За схемою, показаною на рисунку 2.3, можна досягти глибшого зм'якшення води за рахунок двоступінчастої обробки води. У цьому випадку у фільтрах 1 ступеня вода піддається зм'якшенню до залишкової твердості 0,1-0,2 мг-екв/дм³. Потім на фільтрах 2 ступеня твердість заздалегідь зм'якшеної води знижується до 0,02-0,01 мг-екв/дм³.

Одноступінчаста схема Na-катіонування має недоліки, що обмежують її застосування: неможливість глибокого зм'якшення води; відносно питома витрата солі на регенерацію; неповне використання ємкості поглинання фільтру.

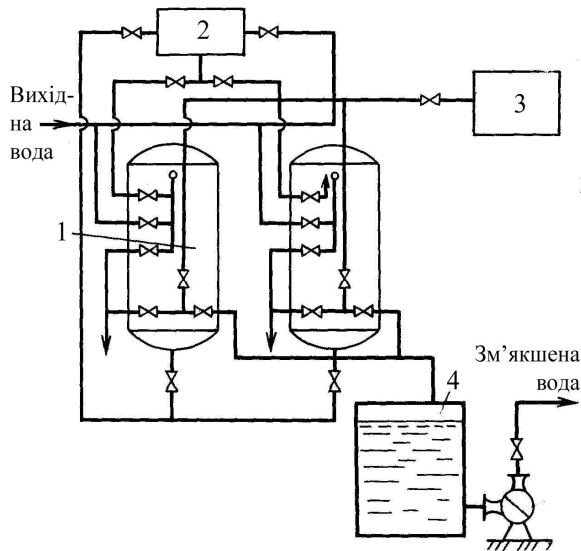


Рисунок 2.2 – Схема одноступінчастого Na-катіонування води:

1 – Na-катіонітовий фільтр; 2 – бак з розчином кухварської солі; 3 – бак з частково зм'якшеною водою для розпушування катіоніту; 4 – резервуар зм'якшеної води

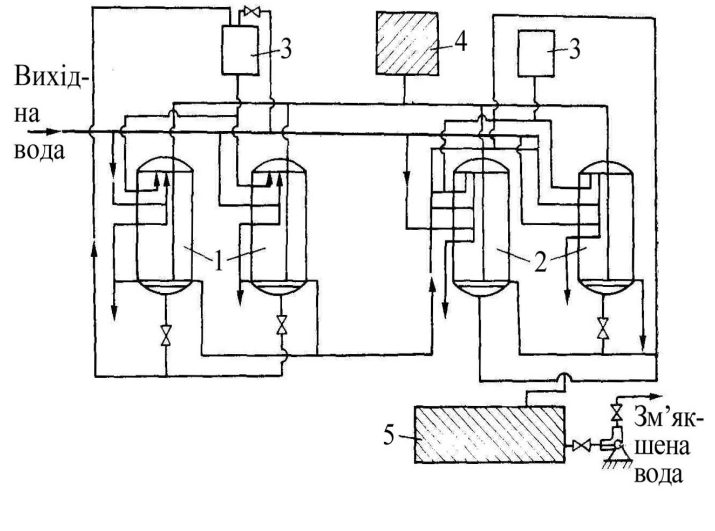


Рисунок 2.3 – Схема двоступінчастого Na-катіонітового зм'якшення води:

1 – Na-катіонітові фільтри 1 ступеня; 2 – Na-катіонітові фільтри 2 ступеня; 3 – баки з розчином солі; 4 – бак з водою для розпушування; 5 – резервуар зм'якшеної води

Фільтри 2 ступеня створюють свого роду бар'єр, перешкоджаючи проскакуванню іонів, що видаляються, при випадкових відхиленнях в роботі фільтрів 1 ступеня; тому фільтри 2 ступеня називають *бар'єрними*. При їх наявності спрощується експлуатація установки, оскільки катіонітові фільтри першого ступеня відключаються на регенерацію не за проскакуванням іонів Ca^{2+} і Mg^{2+} , що вимагає ретельного контролю твердості води після цих фільтрів, а за кількістю води, пропущеної через них. Невелике підвищення кількості солей твердості після фільтрів першого ступеня не небезпечно, оскільки вони будуть затримані бар'єрними фільтрами. Ємкість поглинання на фільтрах і термін їх корисної роботи при двоступінчастому катіонуванні збільшуються. У зв'язку з тим, що фільтри другого ступеня несуть невелике навантаження по зниженню твердості води, термін їх роботи до регенерації досягає 150-200 год.

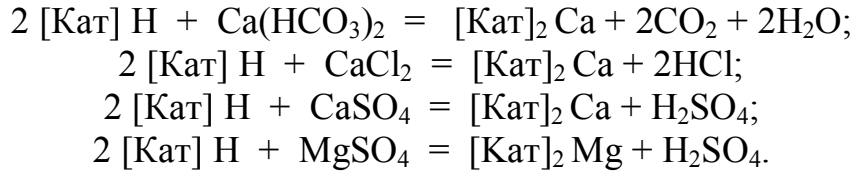
Слід мати на увазі, що при пропуску регенераційного розчину (у даному випадку NaCl) зверху вниз у процесі регенерації повний обмін Na^+ на Ca^{2+} і Mg^{2+} , що містяться в катіоніті, відбувається у верхніх шарах завантаження фільтру. При пропусканні розчину NaCl зверху вниз в ньому зростає концентрація катіонів Ca^{2+} , що витісняються з катіонітів, і Mg^{2+} і знижується концентрація катіонів Na^+ .

Збільшення концентрації протиіонів (у даному разі Ca^{2+} і Mg^{2+}) в регенераційному розчині пригнічує дисоціацію виснаженого катіоніту і ослабляє процес іонного обміну. Виникаючий при цьому *протиіонний ефект* гальмує реакцію

регенерації, внаслідок чого в міру руху регенеруючого розчину в нижні шари катіоніту регенерація останнього відбувається менш повно і деяка кількість катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} залишається невитісненими з нижніх шарів катіоніту. Для усунення цього явища необхідно одночасно пропускати через катіоніт свіжі порції розчину реагенту і відводити продукти регенерації.

Водень-натрій-катіонітовий метод зм'якшення води.

Обробка води водень-катіонуванням (Н-катіонуванням) заснована на фільтруванні її через шар катіоніту, що містить як обмінні іони катіони водню:



При Н-катіонуванні води значно знижується її рН через кислоти, що утворюються у фільтраті.

Оксид вуглецю (IV), що виділяється при Н-катіонуванні, можна видалити дегазацією і в розчині залишаться мінеральні кислоти в кількостях, еквівалентних вмісту сульфатів і хлоридів у вихідній воді.

З наведених раніше реакцій для Na-катіонітового методу зм'якшення води видно, що лужність води у процесі іонного обміну не змінюється. Таким чином, змішуючи кислий фільтрат після Н-катіонітових фільтрів з лужним фільтратом після Na-катіонітових фільтрів можна одержати зм'якшену воду з різною лужністю. У цьому полягає перевага Н-Na-катіонітового методу зм'якшення води.

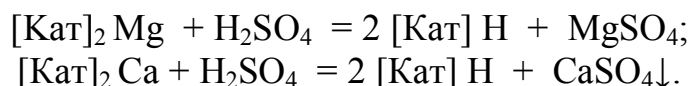
Н-Na-катіонітовий метод застосовують для обробки підземних і поверхневих вод із вмістом завислих речовин не більше 5-8 мг/дм³. Застосовуються паралельне, послідовне і змішане Н-Na-катіонування.

При *паралельному Н-Na-катіонуванні* одна частина води пропускається через Na-катіонітовий фільтр, інша - через Н-катіонітовий фільтр, а потім обидва потоки змішуються.

При *послідовному Н-Na-катіонуванні* частину води пропускають через Н-катіонітові фільтри, потім змішують з рештою води, одержану суміш пропускають через спеціальний дегазатор для видалення оксиду вуглецю (IV), а потім всю воду подають на Na-катіонітові фільтри. При підвищених вимогах до зм'якшення води схема доповнюється Na-катіонітовими фільтрами другого ступеня. До недоліку схеми слід віднести велику витрату електроенергії, що витрачається на прощтовхування води через послідовно включені фільтри

Сумісне Н-Na-катіонування проводиться в одному фільтрі, верхнім шаром завантаження якого є Н-катіоніт, а нижнім - Na-катіоніт. Перевагою даної схеми є відсутність кислих стоків, недоліком - складність регенерації для отримання верхнього шару Н-катіоніту і нижнього шару Na-катіоніту.

При регенерації Н-катіонітових фільтрів сірчаною кислотою протікають наступні реакції:



Щоб уникнути забруднення завантаження фільтру гіпсом, регенерацію спочатку проводять 1-1,5 %-ним розчином сірчаної кислоти, а потім (при необ-

хідності), коли основна маса Ca^{2+} витіснена, - 5 %-ним розчином. Швидкість пропуску регенераційного розчину сірчаної кислоти через шар катіоніту приймають не менше 10 м/год. з подальшим відмиванням катіоніту незм'якшеною водою, що пропускається через шар катіоніту зверху вниз із швидкістю 10 м/год.

Натрій-хлор-іонітний метод зм'якшення води

Натрій-хлор-іонітний (Na-Cl-іонітний) метод заснований на зм'якшуванні води з одночасним зниженням лужності, здійснюється послідовним фільтруванням оброблюваної води через Na-катіонітовий фільтр першого ступеня, Cl-аніонітовий фільтр і потім Na-катіонітовий фільтр другого ступеня. Другий ступінь Na-катіонування раціонально суміщати в одному фільтрі з Cl-аніонуванням, при цьому знизу завантажується катіоніт, а зверху - сильноосновний аніоніт.

Іоніти регенерують 5 %-ним розчином куховарської солі, внаслідок чого катіоніт переводиться в Na-форму, а аніоніт - в Cl-форму. У натрій-катіонітовому фільтрі відбувається заміщення катіонів Ca^{2+} і Mg^{2+} на Na^+ .

У суміщеному натрій-хлор-іонітному фільтрі в шарі аніоніту аніони SO_4^{2-} , NO_3^- , NO^- , HCO_3^- , що містяться в оброблюваній воді, обмінюються на іони хлору, а в шарі катіоніту - катіони твердості, що «проскочили», обмінюються на катіони Na^+ .

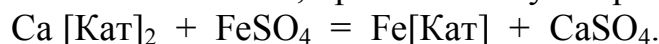
Твердість зм'якшеної води складає 0,01 мг-екв/дм³, лужність - 0,2 мг-екв/дм³. На установках продуктивністю від 5 до 50 м³/год. натрій-хлор-іонітний метод зм'якшення води має ряд переваг у порівнянні з водень-натрій-катіонітовим методом: витрачається тільки один реагент - куховарська сіль, відпадає необхідність в кислотному господарстві, не потрібний антикорозійний захист устаткування, трубопроводів і спеціальної арматури. Зменшується кількість устаткування, спрощується контроль за роботою і експлуатацією водозм'якшувальної установки.

З незалізнення води катіонуванням

Проводити незалізнення води з використанням іонного обміну доцільно лише в тих випадках, коли одночасно із незалізненням потрібне глибоке зм'якшення води, при цьому за допомогою іонного обміну може бути витягнуто тільки залізо, що знаходиться у воді в іонному вигляді. При цьому оброблювана вода по дорозі до катіонітового фільтру не повинна збагачуватися повітрям.

Як катіоніти для незалізнення води часто використовують **катіоніт у натрієвій формі**, який регенерується розчином куховарської солі.

Са-катіонування можна застосовувати тільки в тих випадках, коли одночасне зм'якшення води не потрібне, оскільки при обміні іонів заліза з іонами катіоніту концентрація Са в очищуваній воді збільшується. При використанні фільтрів, завантажених Са-катіонітом, протікає наступна реакція:



Регенерують катіоніт хлоридом кальцію.

При застосуванні іонообмінного методу для незалізнення води не потрібен її контакт з повітрям, оскільки при цьому залізо (II) окислюється в залізо

(III), і, отже, утворюється осад $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Внаслідок цього швидкість катіонного обміну у фільтрі зменшується.

Метод застосовується при вмісті заліза до 10 мг/дм^3 . При більшому вмісті заліза воно може видалятися з води аерацією і фільтруванням до катіонування.

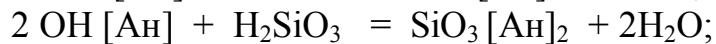
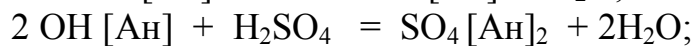
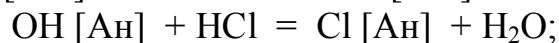
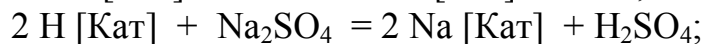
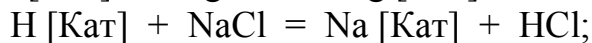
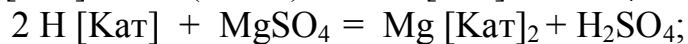
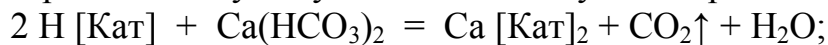
4 Опріснення і знесолення води іонним обміном

Опріснення і знесолення води іонообмінним методом рекомендується при вмісті у вихідній воді: солей до $1500-200$, хлоридів і сульфатів – не більше 5 мг/дм^3 , завислих речовин – не більше 8 мг/дм^3 , кольоровості – не вище 30 град., перманганатної окислюваності – не більше $7 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$.

Принцип іонообмінного знесолення полягає в послідовному пропусканні солоної води через два роди фільтрів, завантажених відповідно катіоно- і аніонообмінними смолам, з періодичною їх регенерацією кислотою і лугом.

У фільтрі, завантаженому Н-катіонітом, відбувається обмін катіонів, що містяться у вихідній воді, на катіони водню. Одержана Н-катіонована вода проходить через фільтр, завантажений аніонітом у гидроксильній (OH^-) або гідрокарбонатній (HCO_3^-) формі. У цьому фільтрі відбувається процес обміну аніонів кислот, що містяться у Н-катіонованій воді, на аніони OH^- або HCO_3^- , які, вступаючи далі у вторинний процес взаємодії з катіонами водню, призводять до деіонізації (знесолення) води. Після виснаження іонообмінної здатності смоли піддають регенерації. Катіоніт регенерується кислотою (H_2SO_4 або HCl), а аніоніт - лугом або содою (NaOH або Na_2CO_3).

Протікаючі реакції можуть бути описані наступними рівняннями:



Оксид вуглецю (IV), що виділяється у процесі розкладання гідрокарбонатів, видаляється в дегазаторі продуванням через воду повітря або розбрикуванням води в градирні.

Процес регенерації катіонітових фільтрів у схемі опріснювальних іонообмінних установок складається з чотирьох послідовних операцій:

1) розпушування іоніту вихідною або частково знесоленою мінералізованою водою від низу до верху з інтенсивністю $3-5 \text{ л/с}$ на 1 м^2 протягом 20 хв. для усунення спресованості іоніту;

2) переведення катіонітового матеріалу, виснаженого по кальцію, в натрійформу шляхом обробки його нейтральними водами регенерації аніонітових фільтрів;

3) власне регенерація – пропуск через шар іоніту розчину сірчаної або соляної кислоти з концентрацією від 5% до 10% . Іони водню, що містяться в розчині кислот, заміщують сорбовані катіонітом з води катіони, які переходять в

розчин, і обмінна здатність катіоніту відновлюється;

4) відмивання катіоніту вихідною або частково знесоленою після аніонітових фільтрів водою від продуктів регенерації, що складаються в основному з сульфатів натрію, і від невитраченого регенераційного розчину. Відмивання звичайно проводиться пропусканням води зверху вниз. В результаті регенерації катіоніту кислотами велика частина іоногенних груп катіоніту переводиться в Н-форму.

Процес регенерації аніонітових фільтрів складається з трьох операцій:

1) розпушування аніонітових фільтрів зм'якшеною Н-катіонуванням або відмивною водою;

2) власне регенерація – пропуск розчину їдкого натра або кальцинованої соди з концентрацією 4-5 %. При цьому залежно від вживаного реагенту відбувається заміщення затриманих при фільтруванні аніонів аніонами OH^- , CO_3^{2-} або HCO_3^- і обмінна здатність аніоніту відновлюється;

3) відмивання аніонітових фільтрів від продуктів регенерації.

Контрольні запитання

1. У чому полягає суть іонообмінного способу очищення води?
2. Які основні галузі застосування іонообмінних процесів у технології водопідготовки?
3. Принцип дії катіонітів.
4. Принцип дії аніонітів.
5. Сформулюйте визначення повної, статичної і динамічної обмінної ємкості іонітів. Чим вони різняться?
6. Як класифікують іоніти?
7. Які основні властивості іонітів?
8. Чим відрізняються природні мінеральні іоніти від неорганічних та синтетичних полімерних?
9. Як здійснюється процес регенерації іонітів?
10. Які є способи регенерації іонітів?
11. Які реагенти використовуються як регенераційні розчини для іонітів?
12. Як запобігти виникненню протийонному ефекту при регенерації іонітів?
13. Які особливості регенерації Н-катіонітів сірчаною кислотою при зм'якшенні води?
14. Поясніть принцип дії іонітових фільтрів і фільтрів змішаної дії.
15. Як здійснюється іонообмінне зм'якшення води?
16. Як здійснюється іонообмінне знезалізнення води?
17. Як здійснюється іонообмінне знесолення води?

Тема 3 КОРЕКЦІЯ ВМІСТУ ФТОРУ В ПИТНІЙ ВОДІ

- 1. Умови, що визначають необхідність фторування або дефторування води.**
- 2. Технологія фторування води. Вживані реагенти.**
- 3. Фтораторні установки.**
- 4. Класифікація методів дефторування води і їх санітарно-гігієнічна оцінка.**

5. Сорбційні методи дефторування води.

6. Іонообмінні методи дефторування води.

1 Умови, що визначають необхідність фторування або дефторування води

Інтерес до фтору почав виявлятися з 1931 р., коли ряд учених незалежно один від одного довели, що причиною захворювань флюорозом є підвищений вміст іонів фториду в питній воді. Одночасно було встановлено, що і нестача іонів фториду в питній воді, тобто його вміст нижче $0,1-0,2 \text{ мг/дм}^3$, призводить до захворювання карієсом. Ці дані дозволили поставити питання про доцільність штучного збагачення господарсько-питної води фтором при його нестачі і дефторування води у випадках, коли його вміст перевищує допустимі норми.

Виходячи з даних експериментальних досліджень і матеріалів, одержаних при вивченні впливу води з різною концентрацією іонів фториду, проф. Р.Д.Габовіч в 1952 р. запропонував користуватися наступною **класифікацією якості питної води за вмістом іонів фториду**:

1) до $0,3 \text{ мг/дм}^3$ – дуже низька концентрація іонів фториду; ураженість населення карієсом в 3-4 рази вище, ніж при оптимальній концентрації, флюороз в слабкій формі спостерігається у 1-3 % жителів; першочерговий профілактичний захід – фторування води;

2) $0,3-0,7 \text{ мг/дм}^3$ – низька концентрація іонів фториду; ураженість населення карієсом спостерігається в 1-3 рази частіше, ніж у населення, що вживає воду з оптимальною концентрацією іонів фториду; флюороз у слабкій формі буває у 3-5 % населення; необхідне фторування води;

3) $0,7-1,1 \text{ мг/дм}^3$ – оптимальна концентрація іонів фториду; ураженість населення карієсом близька до мінімальної; розвиток зубів і щелеп оптимальний; флюороз у слабкій формі спостерігається не більше ніж у 3-10 % жителів; захворюваність серцево-судинними і алергічними захворюваннями нижче за середню; ця концентрація рекомендується як норма при фторуванні води;

4) $1,1-1,5 \text{ мг/дм}^3$ – підвищена, але допустима концентрація іонів фториду за відсутності інших джерел водопостачання; ураження населення карієсом мінімальна, проте відсоток людей з флюорозом зростає до 15-20 %; така концентрація допустима в умовах помірного клімату;

5) $1,5-2 \text{ мг/дм}^3$ – концентрація фторид-іонів вище гранично допустимої; захворюваність населення флюорозом зубів може досягати 30-40 %; ураженість населення карієсом дещо вищий за мінімальну; воду слід дефторувати;

6) $2-6 \text{ мг/дм}^3$ – висока концентрація іонів фториду; кількість населення, ураженого флюорозом, складає 30-100 %, спостерігаються важкі форми; захворюваність населення карієсом дещо більше за мінімальну; обов'язково дефторування води;

7) $6-15 \text{ мг/дм}^3$ – дуже висока концентрація іонів фториду; ураженість населення карієсом значно більше мінімальної; до 80-100 % населення уражено флюорозом з превалюванням важких форм; обов'язково дефторування води.

Доцільність фторування води у кожному конкретному випадку встановлюється органами санітарно-епідеміологічної служби. Свідченням до фторування води є низький вміст іонів фториду у водопровідній воді і значна ураженість

населення карієсом. У першу чергу фторування вводять на водопроводах, в яких вода містить менш 0,3- 0,5 мг/дм³ іонів фториду

2 Технологія фторування води. Вживані реагенти

Фторування води здійснюється шляхом обробки її фторвміщуючими реагентами: кремнефториста кислота H_2SiF_6 , кремнефтористий натрій Na_2SiF_6 , кремнефтористий калій K_2SiF_6 , кремнефтористий амоній $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$, кремнефтористий магній MgSiF_6 , кремнефтористий алюміній $\text{Al}_2(\text{SiF}_6)_3$, фтористоводнева кислота HF , фторид натрію NaF , фторид кальцію CaF_2 , фторид алюмінію AlF_3 .

Можна застосовувати два способи фторування води:

- 1) цілорічний однією дозою;
- 2) посезонний: зимовою і літньою дозою.

У першому випадку у воду протягом року додають постійну дозу фтору, відповідну кліматичному району, в якому розташований населений пункт. При змінній за сезонами дозі в теплий час можна фторувати воду меншою дозою, ніж в холодний. Посезонний метод фторування води прийнятніший.

Згідно з гігієнічними і техніко-економічними вимогами фторвміщуючий реагент, призначений для фторування питної води, повинен володіти такими властивостями:

- 1) високою протикарієсною дією при можливо меншій потенційній токсичності при передозуванні;
- 2) не містити отруйних домішок (солей важких металів, миш'яку та ін.);
- 3) мати велику розчинність при температурі від 0 до 25°C;
- 4) бути безпечним для персоналу (не утворювати пил, не мати вираженої місцевої дії);
- 5) не робити негативного впливу на інші процеси обробки води;
- 6) мати можливо менші кородуючі властивості, не відкладатися на стінках трубопроводів і апаратури;
- 7) бути доступним і недорогим.

Фторвміщуючий реагент для фторування води вибирають залежно від конкретних умов, оскільки практично немає реагенту, що перевершує інші за всіма перерахованими властивостями.

Дозу реагентів D_ϕ визначають за формулою

$$D_\phi = 10^4 \cdot \frac{(m_\phi \cdot a_\phi - \Phi)}{K_\phi \cdot C_\phi}, \text{ г/дм}^3,$$

де m_ϕ – коефіцієнт, що залежить від місця введення фтору в оброблювану воду (при введенні фтору після очисних споруд приймається рівним 1, при введенні фтору перед фільтрами або контактними освітлювачами - 1,1);

a_ϕ – необхідний вміст фтору в оброблюваній воді залежно від кліматичних і сезонних умов (приймається рівним 0,7-1,2 г/м³, менші значення для літнього сезону і жаркого клімату);

Φ – вміст іонів фториду у вихідній воді, г/м³;

$K_{\text{ф}}$ – вміст фтору в чистому реагенті, що приймається для кремнефториду натрію 60 %, для фториду натрію - 45, для кремнефториду амонія – 64 %;

$C_{\text{ф}}$ – вміст чистого реагенту в технічному продукті %.

Фторування води вимагає високої точності дозування реагенту - ± 5 %.

Незалежно від способу дозування фторвміщуючі реагенти подаються в оброблювану воду у вигляді розчину.

На водопроводах, в яких вода не обробляється коагулянтами, наприклад на артезіанських, реагент може бути введений у всмоктуючу трубу відцентрових насосів, а також в резервуар для зберігання води в тому місці, де в нього поступає вода. На річкових водопроводах переважно вводять фторвміщуючі реагенти у воду, що пройшла коагуляцію, відстоювання і фільтрування, у трубопроводі, що поєднують фільтр і резервуар чистої води, або безпосередньо в резервуар. Якщо фторвміщуючі реагенти містять підвищені кількості нерозчинних домішок, які слід видалити з фторованої води, реагент можна вносити і до фільтрації. Якщо умови змушують вносити реагент в оброблювану воду до або спільно з коагулянтном (для поліпшення розчинності реагенту), необхідно, враховуючи втрати, додавати надлишок фторидів. У всіх випадках зм'якшення або знезараження фториду повинні вноситися у воду після завершення цих процесів. Фторвміщуючі реагенти, що не містять амонія, на знезараження води хлором негативного впливу не мають.

3 Фтораторні установки.

Всі фтораторні установки за технологією приготування розчинів фторвміщуючих реагентів можна класифікувати таким чином:

- фтораторні установки сатураторного типу;
- з баками для розчинення;
- з баками для розчинення та затворення;

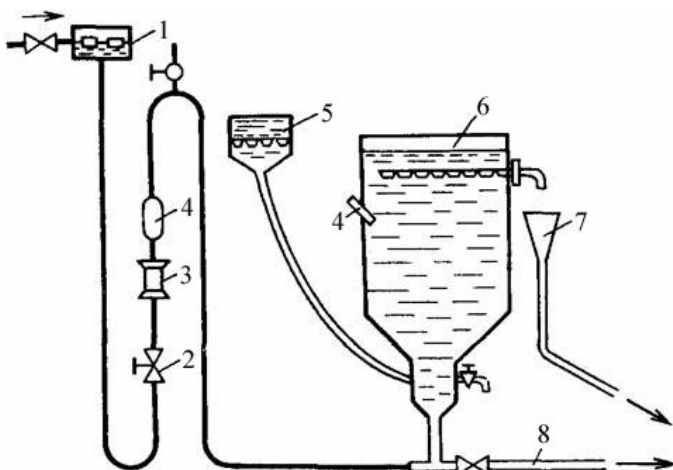


Рисунок 3.1 – Схема фтораторної установки сатураторного типу:

- 1 – бак постійного рівня; 2 – регулюючий вентиль; 3 – ротаметр; 4 – термометр;
- 5 – воронка прийому реагенту; 6 – сатуратор;
- 7 – прийом і відведення розчину реагенту;
- 8 – скидання в каналізацію

- із застосуванням кремнефтористоводневої кислоти.

Вибір схеми фторування води визначається в основному продуктивністю водопровідної станції, властивостями вживаного фторвміщуючого реагенту, економічними міркуваннями.

Схема **фтораторної установки сатураторного типу** представлена на рисунку 3.1. Нею користуються у разі застосування малорозчинного кремнефториду натрію. Вода подається в сатуратор і проходить через шар реагенту, що тут знаходиться. Пневмотранспортом під вакуумом реагент періодично завантажується в

сатуратор. Вакуумна система складається з вакуум-бункера, фільтра, вакуум-насоса і трубопроводів для подачі реагенту і випуску повітря. Порошок в бункері вакууму осідає вниз. Для запобігання винесенню частинок порошку в атмосферу при роботі пневмотранспорту передбачається фільтр. Реагент з вакуум-бункера через секторний живильник завантажується в сатуратор, де готується насичений розчин кремнефториду натрію. Від системи внутрішнього водопроводу вода через регулюючий вентиль потрапляє в нижню частину сатуратора і витісняє близький до насиченого розчин, що утворився в ньому. Для стабілізації витрати вода поступає в сатуратор через бачок постійного рівня. Регулюючий вентиль автоматично підтримує кількість води, що подається в сатуратор. Насичений розчин через збірну систему з перфорованих труб підводиться до місця дозування. Відведення насиченого розчину з сатуратора і кількість поступаючої в сатуратор води контролюються ротаметром.

При визначенні об'єму сатураторів час перебування в них розчину приймається не менше 5 год., швидкість висхідного потоку води в сатураторі – не більше 0,1 мм/с.

Будівництво фтораторних установок сатураторного типу доцільно для станцій продуктивністю до 50 тис. м³/доб., оскільки вони порівняно компактні й дозволяють забезпечити дозування навіть без засобів автоматизації.

На крупних станціях застосовують схеми з приготуванням фторвміщуючого реагенту в баках для розчинення, оскільки в сатураторі неможливо приготувати велику кількість розчину реагенту.

Фтораторні установки з баками для розчинення (рис. 3.2) найбільш універсальні і можуть працювати на будь-якому фторвміщуючому реагенті. Для кращого розчинення реагенту баки обладнують або механічною мішалкою, або повітряною системою перемішування. Час перемішування – близько 2 год. Після перемішування розчин відстоюється і потім насосом подається в напірний фільтр для освітлення, після чого його транспортують до місця введення. Для повнішого змішення води з розчином реагенту останній вводять перед резервуаром чистої води або у всмоктуючий трубопровід насосів другого підйому.

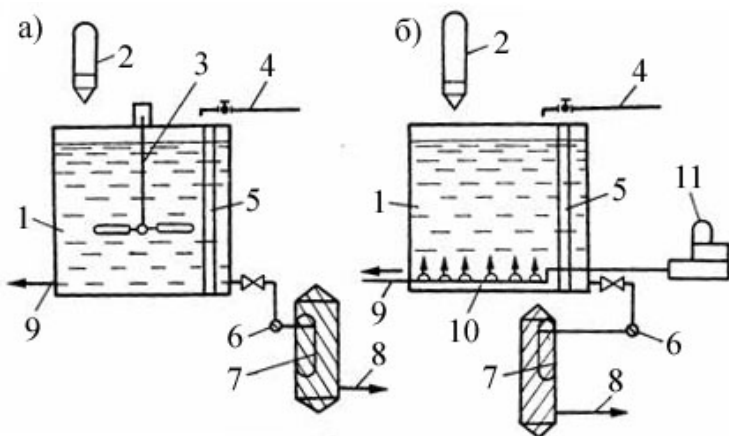


Рисунок 3.2 – Фтораторная установка з баком для розчинення з механічним перемішуванням (а) і з барботуванням (б):

- 1 – бак для розчинення; 2 – бункер з дозуючим пристроєм; 3 – механічна мішалка; 4 – подача води; 5 – поплавковий пристрій; 6 – насос;
- 7 – фільтр; 8 – фторопровід; 9 – скидання осаду;
- 10 – повітродувальна система;
- 11 – повітродувка

Концентрацію розчину реагенту при приготуванні ненасичених розчинів у витратних баках приймають: для кремнефториду натрію – 0,25 % при температурі розчину 0°С і до 0,5 %

при 25°C; для фториду натрію – 2,5 % при 0°C; для кремнефториду амонія – 7 % при 0°C.

Інтенсивність подачі повітря для перемішування розчину приймають рівною 8–10 л/(с·м²). Розчини фторвміщуючих реагентів відстоюють протягом 2 год.

При використанні кремнефторидів натрію і амонію слід передбачити заходи проти корозії баків, трубопроводів і дозаторів.

До складу **фтораторних установок з баками для розчинення та затворення** входять затворні баки і баки для розчинів (витратні), обладнані мішалками або системою для подачі повітря і бачком дозування. Як реагент найчастіше застосовують фтористий натрій, розчинення якого краще всього відбувається при 75–80°C, для чого в затворний бак вмонтований електронагрівач. Концентрований розчин переливають у витратний бак, заздалегідь на 1/3 наповнений водою; далі бак доповнюють водою до потрібної відмітки і розчин ретельно перемішують. Після визначення вмісту іона фториду в розчині фторвміщуючий реагент подають в дозуючий бачок і потім в резервуар чистої води.

Деякі станції застосовують **готовий розчин** фторвміщуючого **реагенту**, наприклад, кремнефтористоводневу кислоту, концентрацію якої доводять лише до розрахункової (рис. 3.3). Кислота з автоцистерни самопливом поступає в баки-сховища. Концентрація різних партій кислоти може бути неоднаковою, тому передбачена можливість розбавлення до 10 %-ної концентрації і перемішування реагенту за допомогою барботажу стислим повітрям від повітродувки. Насос-дозатор, стійкий до кислоти, дозує її з баків-сховищ пропорційно витраті оброблюваної води. Реагент транспортується до місця введення поліетиленовими трубами.

При великих продуктивностях відповідно збільшується число і ємкість баків-сховищ, кількість насосів-дозаторів і т.д. У порівнянні з технологією фторування води твердими сполуками фтору при обробці води кремнефтористоводневою кислотою не вимагається дороге устаткування, необхідне для розчинення фторвміщуючих сполук; крім того, відпадає необхідність в установках, призначених для боротьби з токсичним пилом, неминучим при використанні порошкоподібних реагентів.

Чинником, що обмежує застосування цієї кислоти, є висока вартість її транспортування від заводу-постачальника до місця споживання (для її транспортування потрібні гумовані цистерни).

Трубопроводи і арматуру виконують з фторопласту, поліетилену, вініласту та інших матеріалів, стійких до кислот.

Дозування фторвміщуючих реагентів може проводитися не тільки **в рідкому вигляді** (готових розчинів дозаторами для розчинів), але і **в сухому вигляді** – безпосередньо порошком сухими дозаторами через камеру для розчинення. Рідинне дозування застосовують на станціях малої продуктивності, сухе – на станціях великої продуктивності.

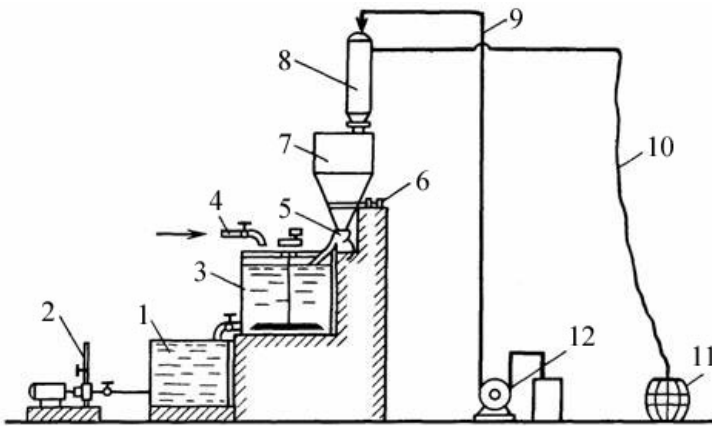


Рисунок 3.4 – Фтораторная установка сухого дозування:

- 1 – витратний бак; 2 – насос-дозатор; 3 – бак розчину; 4 – водопровід; 5 – живильник; 6 – перетрушувач; 7 – бункер для зберігання реагенту; 8 – вакуум-бункер; 9 – вакуум-лінія; 10 – трубопровід всмоктування сухого реагенту; 11 – бочка з реагентом; 12 – вакуум-насос

Дозатори сухих реагентів бувають двох видів: об'ємні й масові. *Об'ємні* дозатори (рис. 3.4) подають певний об'єм речовини за розрахунковий проміжок часу, *масові* – масову кількість речовини. Об'ємні дозатори простіші конструктивно, мають меншу вартість, але мають точність дозування 3–5 %, на відміну від точності масових – 1 %. Крім того, масові дозатори простіше обладнати записуючими пристроями. За процесом фторування води потрібний постійний суворий контроль. Перш за все контролюється якість фторвміщуючих реагентів. З метою запобігання надходженню в питну воду надлишку іонів фториду слід здійснювати ретельний контроль за точністю дозування реагенту (за концентрацією і витратою фторвміщуючих реагентів і за концентрацією іонів фториду в обробленій воді).

Вода з розподільної мережі аналізується 2–4 рази на добу. Проби відбирають в різних місцях, у різний час доби. Обов'язковою умовою є зміна місць відбору і аналіз хоч би однієї проби, відібраної в ранню годину.

4 Класифікація методів дефторування води і їх санітарно-гігієнічна оцінка

Як вже наголошувалося, тривале вживання населенням питної води із вмістом іонів фториду, що перевищує $1,5 \text{ мг/дм}^3$, викликає флюороз. При вмісті у воді іонів фториду більше $3\text{--}5 \text{ мг/дм}^3$, окрім флюорозу, спостерігаються зміни в кістках скелета, а у дітей – недокрів'я і рахіт. Є дані про несприятливий вплив підвищених концентрацій іонів фториду на функціональний стан серцево-судинної системи і загальний фізичний стан.

З викладеного виходить, що оптимальною дозою іонів фториду у воді слід вважати $0,7\text{--}1,2 \text{ мг/дм}^3$. При вмісті у воді більше $1,5 \text{ мг/дм}^3$ іонів фториду необхідно дефторувати воду, хоча це і досить складне завдання. Дотепер не розроблені прості і дешеві методи видалення з води надлишку іонів фториду.

Звичайні методи осадження іонів фториду у вигляді осадів малорозчинних фторидів для дефторування питної води не можуть бути застосовані внаслідок того, що розчинність найменше розчинних фторидів у багато разів перевищує допустиму концентрацію іона фториду в питній воді.

Вживані *методи дефторування* можна об'єднати в дві групи:

1. *Метод сорбції (осадження)* фтору осадом гідроксиду алюмінію або магнію, а також фосфату кальцію. Цей метод доцільно застосовувати при обробці поверхневих вод, коли окрім знефторення потрібні ще освітлення і знебарвлення. Разом з цим даний метод може знайти застосування і для обробки підзе-

мних вод при необхідності їх одночасного зм'якшення (реагентним методом) і знефторення.

2. **Метод фільтрування (іонообмінний)** води через *фторселективні матеріали*. Заснований на обмінній адсорбції іонів, при якій фтор видаляється в процесі пропуску оброблюваної води через сорбент (активованій оксид алюмінію, гідроксилапатит, сильноосновні аніоніти, а також магnezійні реагенти і активоване вугілля). Цей метод найбільш ефективний при знефторенні підземних вод, що, як правило, не потребують інших видів кондиціонування, або в тих випадках, коли одночасно зі знефторенням проводять ще і опріснення.

5 Сорбційні методи дефторування води

Фториди з води можна видаляти сорбцією свіжоосажденим *гідроксидом магнію* при необхідності одночасного зм'якшення води.

Сорбція фторидів свіжоосажденим гідроксидом магнію протікає швидко і практично не залежить від температури. Наприклад, при вмісті фторидів у воді 4–5 мг/дм³ оптимальні значення досягаються при тривалості процесу 8–10 хв.

Фторид магнію, що виходить в результаті взаємодії, при надлишку магнію утворює випадаючий в осад оксифторид магнію.

Дефторовану воду рекомендується пропускати через освітлювач з шаром завислого контактного середовища, що утворюється гідроксидом магнію. Його витрата складає близько 2 мг-екв/мг іонів фториду, що видаляються з води.

При невеликому вмісті у воді солей магнію для видалення фторидів даним методом разом з вапном слід вводити сульфат або хлорид магнію.

Схема установки для дефторування води свіжоосажденим гідроксидом магнію (II) наступна (рис. 3.5, а): з вихрового реактора, де вихідна вода змішується з вапняним молоком, вона прямує в освітлювач, перед яким вводиться розчин хлориду або сульфату магнію (II). Осад гідроксиду магнію відводиться в осадкоушільнювач, а потім скидається у водостік. Освітлена вода проходить через фільтри в резервуари чистої води і подається насосами споживачеві.

З метою запобігання накопиченню відкладень карбонату кальцію в освітлювачах при видаленні іонів фториду з води осадженням гідроксидом магнію, їх рекомендується влаштовувати з конічними або пірамідальними днищами, а розподіл води проводити опускними трубами. Висоту шару осаду приймають рівною не менше 2 м, швидкість висхідного потоку води в зоні освітлення – 0,2–0,3 мм/с.

При дефторуванні води *гідроксидом алюмінію* у воду вводять сульфат алюмінію, в результаті гідролізу якого утворюється колоїдний гідроксид $Al(OH)_3$, що сорбує іони фториду.

Сорбція іонів фториду з води гідроксидом алюмінію великою мірою залежить від рН води. Зниження значення рН від 8 до 5 при однаковій дозі введеного у воду сульфату алюмінію підвищує ефект видалення з води іонів фториду. Витрата сульфату алюмінію на зниження вмісту іонів фториду з 5 до 1 мг/дм³ при цих значеннях рН складає 40–50 мг/мг видалених з води іонів фториду.

Внаслідок великих витрат сульфату алюмінію, кислоти і вапна, а також необхідності точного дозування реагентів цей метод дефторування води є складним і не вигідним в експлуатації.

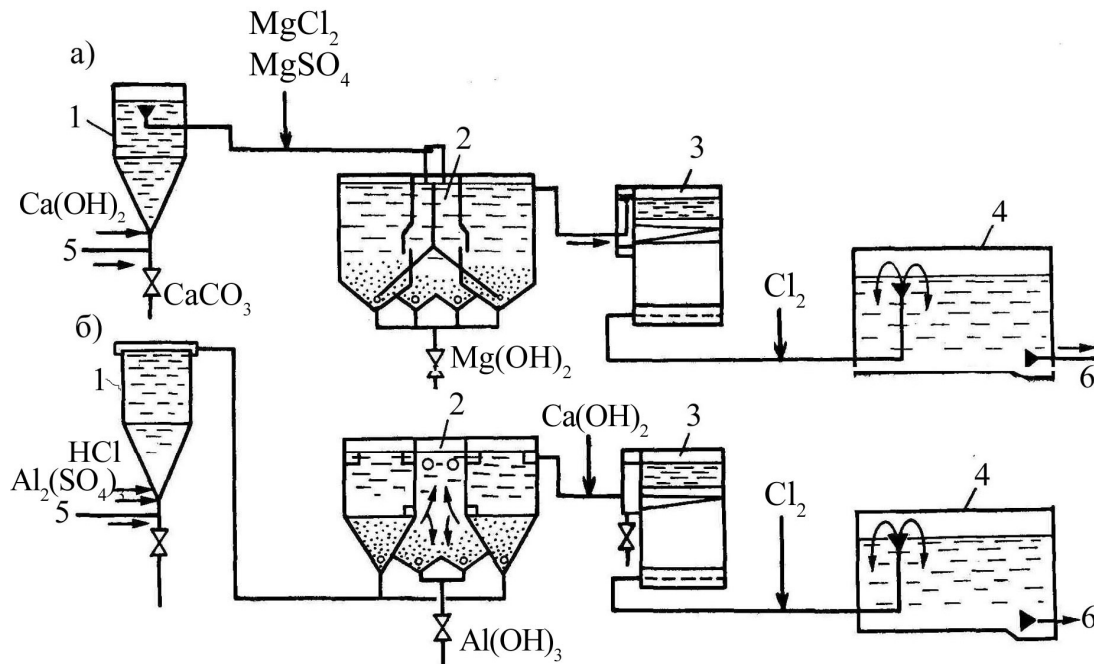


Рисунок 3.5 – Технологічна схема дефторування води свіжоосажденим гідроксидом магнію (а) і алюмінію (б):

1 – змішувач; 2 – освітлювач із завислим осадом; 3 – фільтр;
 4 – РЧВ; 5, 6 – введення вихідної і відведення знефтореної води

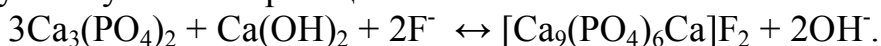
Основними спорудами в технологічній схемі є: вертикальний змішувач, освітлювач з шаром завислого контактного середовища і швидкі фільтри (рис. 5.1, б).

Для дефторування води може застосовуватися основний хлорид алюмінію $\text{Al}_2(\text{O}_2\text{OH})\text{Cl}$, який створює осад основних солей алюмінію в досить широкому діапазоні значень рН і має хороші сорбційні властивості.

Як споруди для обробки води рекомендується застосовувати контактні освітлювачі. Попереднє підкислення води не потрібне.

При введенні $6\text{--}8 \text{ мг/дм}^3$ основного хлориду алюмінію (у перерахунку на Al_2O_3) добре коагулюються домішки води і видаляється від 1 до 2 мг/дм^3 іонів фториду.

Розроблено метод дефторування води свіжоосажденим **трикальційфосфатом**. При введенні у вапняну воду 1 %-го розчину ортофосфорної кислоти іони фториду зв'язуються за реакцією

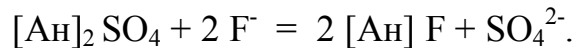


Витрата трикальційфосфату складає 30 мг/мг видалених іонів фториду. Очищення води від іонів фториду із застосуванням трикальційфосфату може бути здійснене за технологічною схемою, що включає змішувач, з якого воду з введеним в неї трикальційфосфатом подають в освітлювач з шаром завислого контактного середовища. Швидкість висхідного потоку води в ньому, щоб уникнути винесення легкого осаду трикальційфосфату, приймають не більше $0,6\text{--}0,7 \text{ мм/с}$. Дрібні пластівці, що виносяться потоком води з освітлювача, затримуються фільтрами.

6 Іонообмінні методи дефторування води

Як сорбенти для витягання фтору з води можуть бути застосовані: сильно-основні катіоніти і аніоніти, магнезійні сорбенти, фосфат кальцію, спеціально оброблене активоване вугілля, активований оксид алюмінію, модифіковані завантаження, клиноптилоліт.

Найефективніше фториди з підземних вод видаляються зернистим **активованим оксидом алюмінію** (сорбентом). Він діє як аніоніт, що обмінює аніони SO_4^{2-} на іони F^- за реакцією



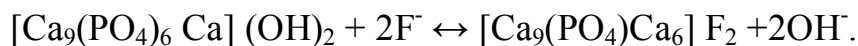
При проектуванні дефторувальних установок слід враховувати, що регенерують активований оксид алюмінію сульфатом алюмінію, і в очищену воду поступає велика кількість сульфатів, вміст яких в питній воді відповідно до [1] не повинен перевищувати 250 мг/дм^3 .

При висоті шару завантаження у фільтрі 2 м і швидкості фільтрування 5 м/год. час фільтроциклу складає 8 діб. Вміст фторидів у воді знижується з 3,1 до $0,2 \text{ мг/дм}^3$ і тільки на восьму добу зростає до $1,5 \text{ мг/дм}^3$. Робоча ємкість поглинання складає $1,95 \text{ кг F}^-/\text{т}$ активованого оксиду алюмінію.

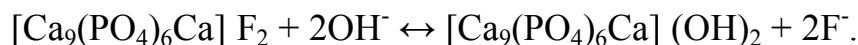
Для дефторування води можна використовувати фільтри (відкриті або напірні) з трубчастим дренажем і нарізними щілинами, виконаними з корозійностійких матеріалів (нержавіюча сталь, вініпласт та ін.) або з дренажем з щілистих ковпачків, наприклад з фарфорових. Висоту шару активованого оксиду алюмінію приймають: 2 м в напірних і відкритих фільтрах при вмісті фторидів у вихідній воді до 5 мг/дм^3 і відповідно 3 і $2,5 \text{ м}$ при вмісті фторидів $8\text{--}10 \text{ мг/дм}^3$. Внутрішню поверхню напірних фільтрів для запобігання корозії покривають лаком.

Дефторидують воду також **фосфатними сполуками**: гідроксилапатитом, трикальційфосфатом, гранульованим суперфосфатом та ін. Якнайповніше досліджений метод очищення фторвміщуючих вод гідроксилапатитом.

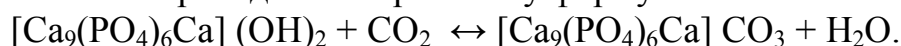
Гідроксилапатит діє як аніоніт, гідроксильні іони якого заміщаються в процесі аніонного обміну іонами фтору з утворенням малорозчинного фторапатиту:



Регенерацію гідроксилапатиту проводять 1 %-ним розчином гідроксиду натрію



При регенерації цього аніоніту спочатку їдким натром, а потім вугільною кислотою його обмінна здатність підвищується. Припускають, що при такій обробці гідроксилапатит переходить в карбонатну форму:



Процес іонообміну при фільтруванні води через цей матеріал протікає таким чином:



Обмінна здатність апатиту в карбонатній формі більша, ніж гідроксилапатиту.

Рекомендується для дефторування води застосовувати гранульований гідроксилапатит з крупністю зерен 1–2 мм при висоті шару завантаження у фільтрі 2–3 м. Швидкість фільтрування і швидкість пропускання регенераційного розчину повинні складати 5 м/год. Витрата гідроксилапатиту при регенерації 1%-м розчином NaOH складає 100 кг/кг поглиненого фтору. Відмивання сорбенту після регенерації проводять струмом води від низу до верху з інтенсивністю 7–8 л/(с·м²) протягом 30–45 хв.

Вивчення можливості дефторування води сильно- і слабоосновними **аніонітами** Ан-2Ф, ЕДЕ-10П, Амберлайт та ін. показало, що дефторування води із застосуванням аніонітів не може бути рекомендовано як самостійний метод з економічних міркувань. Аніоніти можуть бути використані для видалення фторидів тільки при одночасному знесолюванні води.

Дефторування води **активованим вугіллям** марок БАУ, КАД, СКТ дає позитивний ефект тільки при підкисленні води до рН=3–3,5. Істотним недоліком методу є неможливість повного відновлення сорбційної здатності вугілля при регенерації.

Магнійоксихлоридні й магнійсилікатні сорбенти, тобто оксид магнію, зцементований оксихлоридом або силікатом магнію, задовільно видаляють фториди з води. Наприклад, ємкість поглинання магнійоксихлоридного сорбенту складає 0,9 мгF₂/г сорбенту. Проте сорбційна ємкість сорбентів при регенерації повністю не відновлюється. Сорбент після вичерпання його сорбційної здатності повинен замінюватися свіжим, що значно здорожує процес дефторування. Одноразове застосування магnezійних сорбентів неекономічне, що обмежує широке застосування даного методу в технології очищення води.

Контрольні запитання

1. Для чого проводять корекцію вмісту фтору в питній воді?
2. Які групи питної води за вмістом в ній фторид-іонів розрізняє класифікація проф. Р.Д.Габовича?
3. Як здійснюють фторування води?
4. Які реагенти використовують для фторування води?
5. Як визначити дозу фторвміщуючого реагенту?
6. Поясніть схему роботи фторувальної установки сатураторного типу.
7. Поясніть схему роботи фторувальної установки з баками для розчинення з механічним перемішуванням.
8. Поясніть схему роботи фторувальної установки з баками для розчинення з барботуванням.
9. Поясніть схему роботи фторувальної установки з баками для розчинення та затворення.
10. Поясніть схему роботи фторувальної установки із використанням кремнефтористоводневої кислоти.
11. Поясніть схему роботи фторувальної установки сухого дозування.
12. Яка точність дозування фторвміщуючого реагенту? Як здійснюється контроль процесу фторування?
13. Для чого проводять корекцію вмісту фтору в питній воді?
14. Який оптимальний вміст фтору в питній воді за медичинськими дослідженнями та рекомендаціями ДержСанПіН?

15. Як знефторюють питну воду?
16. Охарактеризуйте сорбційні методи дефторування води.
17. Поясніть технологічну схему дефторування води з використанням гідроксиду магнію.
18. Поясніть технологічну схему дефторування води з використанням гідроксиду алюмінію.
19. Поясніть технологічну схему дефторування води з використанням фосфату кальцію.
20. Охарактеризуйте фільтраційні методи дефторування води.
21. Поясніть технологічну схему дефторування води з використанням активованого оксиду алюмінію.
22. Які матеріали використовують для фільтраційного дефторування води?

Тема 4 ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ ТА ДЕМАНГАНАЦІЯ ВОДИ

1. Основи процесу знезалізнення води.
2. Безреагентні методи знезалізнення води.
3. Реагентні методи знезалізнення води.
4. Видалення з води марганцю.

1 Основи процесу знезалізнення води

Залізо в природних водах зустрічається у вигляді дво- і тривалентних іонів, а також органічних і неорганічних сполук, що знаходяться в колоїдному стані або у вигляді тонкодисперсних суспензій (гідроксидів, сульфідів, органічних комплексів і ін.). У поверхневих водах залізо міститься головним чином в органічних комплексах (гумати), а також у вигляді колоїдних і тонкодисперсних суспензій. У підземних водах при відсутності розчиненого кисню воно звичайно знаходиться у вигляді двовалентних іонів.

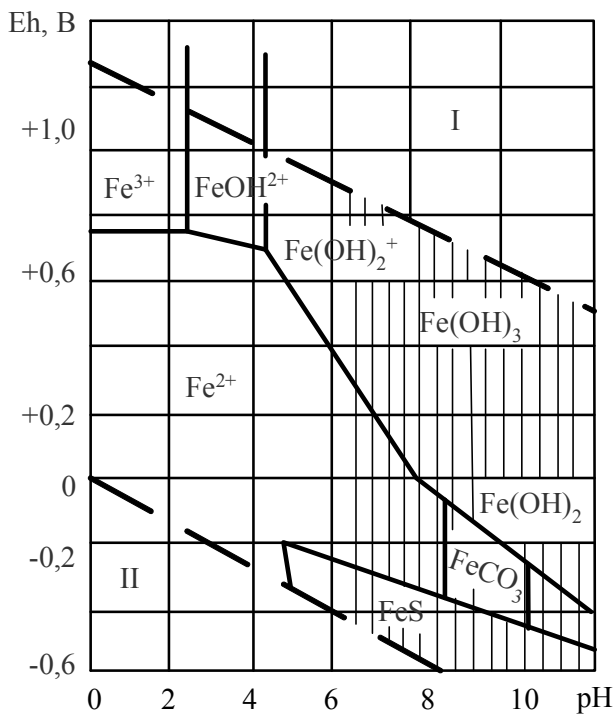


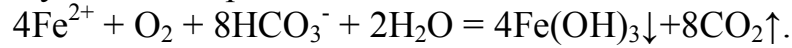
Рисунок 4.1 – Діаграма Пурбе для заліза

На рисунку 4.1 подана діаграма Пурбе, що відображає стан системи залізо – вода в координатах окислювально-відновний потенціал Eh – значення pH. Вертикальними прямими показані значення pH гідратуутворення при рівновазі, що встановлюється в системі.

Як видно з діаграми, при значеннях pH < 4,5 залізо знаходиться у воді у вигляді іонів Fe³⁺, Fe²⁺ і Fe(OH)²⁺. Підвищення значення pH призводить до окислення заліза (II) в залізо (III), яке випадає в осад. У цих же умовах при Eh < -0,2 і наявності у воді сульфідів може виділятися чорний осад FeS. У відновному середовищі у присутності карбонатів і при pH > 8,4 можливо виділення карбонату, а при

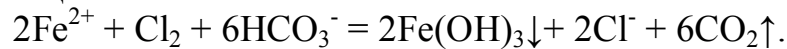
$pH > 10,3$ - гідроксиду заліза (II).

За наявності каталізаторів – розчинених в оброблюваній воді іонів міді, марганцю і іонів фосфату, а також при контакті її з оксидами марганцю або з раніше випавшим гідроксидом заліза (III) швидкість окислення заліза (II) киснем значно зростає. З підвищенням значення pH середовища час, що витрачається на окислення сполук заліза (II), значно скорочується. Окислення заліза (II) киснем повітря відбувається за реакцією



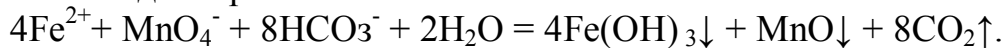
На окислення 1 мг заліза (II) витрачається 0,143 мг розчиненого у воді кисню; лужність води при цьому знижується на 0,036 мг-екв/дм³.

Швидкість окислення сполук заліза (II) значно зростає при хлоруванні води. Сполуки заліза (II) у присутності гідрокарбонатів природних вод повністю гідролізують за реакцією



На окислення 1 мг сполук заліза (II) витрачається 0,64 мг хлору; лужність води при цьому знижується на 0,018 мг-екв/дм³.

При обробці води перманганатом калія реакція окислення і подальшого гідролізу протікає згідно з рівнянням



На окислення 1 мг заліза (II) витрачається 0,71 мг перманганату калію; лужність води при цьому зменшується на 0,036 мг-екв/дм³.

Залізо з природних вод видаляють методами, які можна звести в дві основні групи: *безреагентні* (фізичні) й *реагентні*.

До *вживаних* в даний час ***безреагентних методів*** відносяться:

- спрощена аерація з подальшим фільтруванням;
- аерація з подальшим відстоюванням і фільтруванням;
- «суха» фільтрація;
- фільтрування на каркасних фільтрах;
- електрокоагуляція;
- подвійна аерація, обробка в шарі завислого осаду і фільтрування;
- фільтрування в підземних умовах з попередньою подачею у пласт окисленої води або повітря.

До ***реагентних методів*** відносяться:

- спрощена аерація, окислення, фільтрування;
- напірна флотація з вапнуванням і подальшим фільтруванням;
- вапнування, відстоювання в тонкошаровому відстійнику, фільтрування;
- аерація, окислення, вапнування, коагуляція, флокулювання з подальшим відстоюванням або обробкою в шарі завислого осаду і фільтруванням;
- фільтрування через модифіковане завантаження;
- катіонування.

При знезалізненні підземних вод найчастіше застосовують аерування, поверхневих вод – коагуляцію сульфатом алюмінію з попереднім хлоруванням, вапнуванням і відстоюванням.

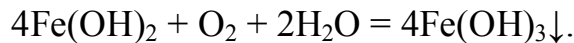
2 Безреагентні методи знезалізнення води.

Метод знезалізнення води *спрощеною аерацією* застосовують для вод, що містять до 10 мг/дм³ загального заліза (зокрема двовалентного не менше 70 %), що мають рН не менше 6,8; вміст сірководня – не більше 2 мг/дм³.

Аеруванням з води видаляється гідрокарбонат заліза, який є неміцною, легко гідролізованою у воді сполукою:



Гідроксид заліза (II), що утворюється, киснем повітря окислюється в гідроксид заліза (III):



Окрім насичення оброблюваної води киснем аерування сприяє видаленню з неї CO₂. Оскільки процес окислення заліза (II) в залізо (III) значно уповільнюється при рН < 7, він може взагалі не закінчитися на очисних спорудах; тому *видалення CO₂ є в ряді випадків необхідним етапом знезалізнення*.

Метод спрощеної аерації заснований на здатності води, що містить двовалентне залізо і розчинений кисень, при фільтруванні через зернистий шар виділяти залізо на поверхні зерен, утворюючи *каталітичну плівку* з іонів і оксидів дво- і тривалентного заліза. Ця плівка активно інтенсифікує процес окислення і виділення заліза з води. При знезалізненні води в завантаженні, покритом плівкою, забезпечується безперервне оновлення плівки як каталізатора безпосередньо при роботі фільтру.

При цьому методі не потрібне окислення двовалентного заліза в тривалентне і переведення його в гідроксид, у зв'язку з чим відпадає необхідність влаштування дорогих аераційних споруд. Спрощена аерація здійснюється за допомогою нескладних пристроїв шляхом виливання води з невеликої висоти в кишеню або центральний канал фільтра, або вдуванням повітря в оброблювану воду. Відсутність спеціальних аераційних пристроїв і контактних ємкостей спрощує аерацію і знижує вартість очищення.

Установки для видалення заліза методом *глибокої аерації* складаються з аераційного пристрою, що забезпечує окислення заліза (II) киснем і видалення вугільної кислоти; контактних резервуарів або заповнених піском контактних фільтрів, де завершується процес окислення; освітлювальних фільтрів для видалення випавшого гідроксиду заліза (III) (аналогічно фільтрам, вживаним для освітлення води).

Видалення з води гідроксиду заліза (III) (при загальному вмісті солей заліза до 10 мг/ дм³) проводиться безпосередньо на освітлювальних фільтрах, при більшому вмісті солей заліза необхідний весь перерахований вище набір споруд.

В установках великої продуктивності, коли бризкаючі установки не можуть забезпечити заданий ступінь видалення вільної вуглекислоти, воду аерують в контактних (при продуктивності установок до 100 м³/год.) і вентиляторних (при більшій продуктивності) градирнях. Навантаження по воді для контактної градирні складає до 20, для вентиляторної – 60 м³/год м². Число шарів насадки в контактній градирні (3–5) визначають залежно від концентрації солей заліза у воді. Товщину шару насадки приймають рівною 0,3–0,4 м; відстань між шарами – не менше 0,6; розмір шматків насадки – 30–50 мм.

У вентиляторі градирні висоту шару завантаження з кілець Рашига, залежно від лужності аерованої води, приймають від 1,5 (2 мг-екв/дм³ загальної лужності) до 3,0 м (6–8 мг-екв/дм³ загальної лужності). Інтенсивність аерування складає 10 м³/м³. Концентрація заліза при аеруванні знижується до 0,1–0,3 мг/дм³.

Після аерування вода поступає в контактний резервуар, розрахований на 30–40-хвилинне перебування в ньому води, або контактні фільтри, завантажені кварцевим піском з розміром зерен 0,5–1,2 мм. Швидкість фільтрування на таких фільтрах приймається рівною 15–20 м/год., інтенсивність промивки – 20 л/(с·м²). Дренажна система, щоб уникнути заростання Fe(OH)₃, повинна мати великі щілини.

Іноді для знезалізнення води використовують напірні установки закритого типу. В цьому випадку видалення оксиду вуглецю (IV) досягається не розбрикуванням, а видуванням повітрям. Повітря в напірний трубопровід можна вводити допоміжним відцентровим або вихровим насосом.

Бажано, щоб у фільтруюче завантаження поступали не пластівці гідроксиду заліза (III), а його позитивно заряджений золь. Це дозволяє збільшити тривалість фільтроциклу, оскільки позитивно заряджений золь гідроксиду заліза (III) добре сорбується негативно зарядженою поверхнею зерен піску.

Знезалізнення підземних вод, що містять до 6 мг/дм³ гідрокарбонату і карбонату заліза (II), досягається методом «сухої» **фільтрації**. Суть методу полягає у фільтруванні водо-повітряної емульсії через «сухе» (незатоплене) зернисте фільтруюче завантаження з утворенням в ній вакууму або нагнітанням великих кількостей повітря з подальшим підсосом з піддонного простору. На зернах фільтруючого завантаження протягом 0,3–2,0 год. формується адсорбційно-каталітична плівка, що підвищує ефективність знезалізнення.

Схема установки для знезалізнення води методом «сухої» фільтрації складається з напірних освітлювальних фільтрів, компресора і ресивера.

Якщо аерація води не забезпечує необхідного ступеня знезалізнення, що звичайно спостерігається при наявності у вихідній воді солей заліза з сильними мінеральними кислотами або гуматов заліза, то станції обробки води доповнюються установками для подачі у воду хлору або перманганату калію, передбачаючи введення їх перед фільтрами в підвідний трубопровід.

Ефективного знезалізнення води можна досягти **каркасними фільтрами** (рис. 4.2). Суть цього методу полягає в тому, що в підземну воду подається повітря, надлишки якого перед фільтром видаляються. Вода, збагачена киснем, поступає на фільтри, де відбуваються процеси окислення і гідролізу заліза (II). При проходженні води через шар гідроксиду заліза (III), заздалегідь сформованого на підтримуючій перегородці (керамічний, сітчастий або щілистий каркас), ці процеси завершуються і залізо витягується з води.

Досвід експлуатації каркасних фільтрів поданій схемі показав, що тривалість фільтроциклу, визначувана граничною втратою натиску 20 м, складає 30–120 діб. Каркаси промивають спочатку зворотним потоком промивної води, а потім 10–20 %-м розчином інгібірованої соляної кислоти із швидкістю 3 м/год. Допускається 3–4 використання каркасів, після чого їх замінюють новими.

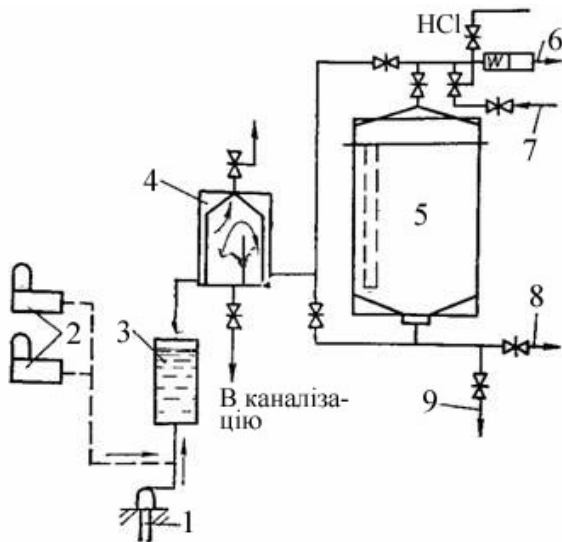


Рисунок 4.2 - Схема установки з контактним патронним (каркасним) фільтром:

- 1 – трубчастий колодязь;
- 2 – компресори з ресиверами;
- 3 – змішувач; 4 – дозатор; 5 – каркасний фільтр; 6 – відведення фільтрату;
- 7 – подача промивної води; 8 – скид в каналізацію; 9 – скид регенераційного розчину

Перевагою каркасних фільтрів є можливість їх експлуатації без промивок протягом 30–120 діб і компактність: габарити каркасного фільтра в три-чотири рази менше габаритів швидкого фільтра такої ж продуктивності.

Знезалізнення води *електрокоагуляцією* засноване на сорбції іонів, колоїдних і диспергованих сполук заліза (II), (III) гідроксидами металів (заліза, алюмінію, магнію і ін.), що утворюються в результаті розчинення електродів. З підвищенням значення рН і температури води, а також кількості високодисперсних частинок, що обумовлюють каламутність, ефект знезалізнення води зростає. Найефективніше процес протікає в електролізерах з алюмінієвим анодом і при неглибокому знезалізненні води, тобто при зниженні концентрації заліза на 60–80 %. У цих випадках при невеликих витратах алюмінію і електроенергії досягається значне зниження вмісту заліза у воді.

При невеликих кількостях оброблюваної води метод електрокоагуляції може використовуватися і для глибокого знезалізнення. Для цього потрібні підвищені витрати алюмінію і електроенергії.

Електрокоагуляція доцільна лише в тому випадку, коли здійснюється комплексне очищення води і видалення з неї не тільки сполук заліза, але й інших забруднень (завислих і органічних речовин, водоростей, сполук кремнію та ін.).

Для вод з окислюваністю більше $15 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ і вмістом сполук заліза більше $10 \text{ мг}/\text{дм}^3$ знезалізнення води може бути досягнуте методом *напірної флоатації*. Суть цього процесу полягає у дії молекулярних сил, сприяючих злипанню частинок гідроксидів заліза (II), заліза (III) та інших домішок води з бульбашками тонкодиспергованого у воді повітря. Це призводить до спливання агрегатів, що утворюються, на поверхню води.

Техніко-економічні розрахунки свідчать, що застосування флотатора як споруди для попереднього освітлення води дозволяє зменшити капітальні витрати на 25–30 %, оскільки в цьому разі не потрібна коагуляція і попереднє хлорування, а достатньо одного вапнування, відпадає необхідність в аеруванні всього об'єму води в градирнях.

Схема знезалізнення води, що включає *подвійну аерацію, обробку в шарі завислого осаду і фільтрування* застосовується при вмісті заліза у воді більше $30 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Схема включає аераційний пристрій (градирня, каскад, бризкаючий басейн), освітлювач з шаром завислого осаду з піддонним осадкоушільнювачем

і тонкошаровими модулями, а також швидкий освітлювальний фільтр, над дзеркалом води якого шляхом виливання здійснюється вторинна аерація.

Запропоновані методи знезалізнення води **фільтруванням в підземних умовах з попередньою подачею в пласт окисленої води або повітря**.

Метод заснований на створенні у водоносному горизонті «зони осадження» із сполук заліза і подальшому проходженні через цей фільтр підземної води. Заздалегідь аерована вода фільтрується у водоносний горизонт (рис. 4.3) або закачується насосом в підземний пласт через одну або декілька свердловин (рис. 4.4). Відбувається як би зарядка водовміщаючої породи, яка зв'язує велику кількість кисню. Після закінчення процесу зарядки починається відкачування знезалізненої води з робочої свердловини або свердловин, розташованих на деякій відстані від нагнітальної свердловини. З часом в результаті виснаження запасів кисню в адсорбційному шарі у відбираній воді зростає вміст сполук заліза. Це служить сигналом для повторення процесу зарядки, за яким знов відбувається робочий цикл і т.д.

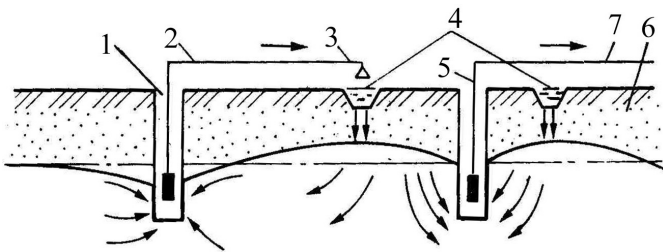


Рисунок 4.3 – Схема знезалізнення підземних вод у пласті:

1 – допоміжна свердловина; 2 – трубопровід; 3 – пристрій для аерації води; 4 – кільцевий інфільтраційний басейн; 5 – експлуатаційна свердловина; 6 – зона аерації; 7 – відведення води споживачу

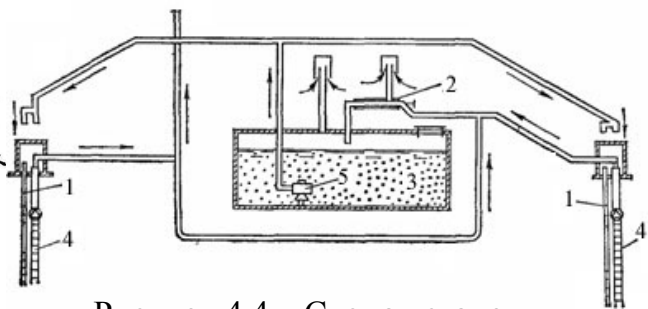


Рисунок 4.4 – Схема установки «Віредокс»:

1 – окислювальні колодязі; 2 – оксигенератор; 3 – резервуар окисленої води; 4 – експлуатаційні колодязі; 5 – насос для подачі окисленої води

Якщо залізо входить до складу складних органічних комплексів, технологія знезалізнення повинна бути доповнена використанням реагентів (хлор, озон, коагулянти, вапно).

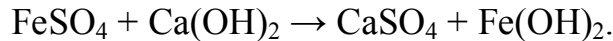
3 Реагентні методи знезалізнення води

Поверхневі води знезалізнюють при одночасному освітленні і знебварвленні. Залізо, що знаходиться у воді у вигляді колоїдів, тонкодисперсних суспензій і комплексних органічних сполук, видаляється обробкою води коагулянтами (сульфатом алюмінію, хлоридом заліза (III), або змішаним коагулянтом). Для руйнування комплексних органічних сполук заліза воду обробляють хлором, озоном або перманганатом калія. При застосуванні залізних коагулянтів забезпечується повніше видалення заліза з води в результаті інтенсивної адсорбції іонів заліза на пластівцях $Fe(OH)_3$. Оптимум адсорбції іонів заліза як у разі застосування алюмінієвих, так і залізних коагулянтів лежить в інтервалі значень рН води 5,7–7,5. Доза коагулянта встановлюється експериментально.

В основі реагентного знезалізнення води лежать наступні процеси:

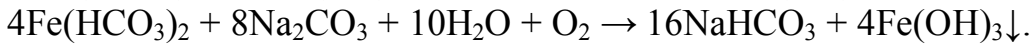
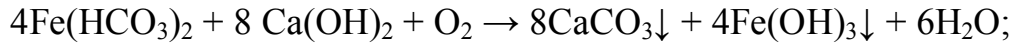
- 1) руйнування комплексних органічних сполук заліза за допомогою окислювачів або при підвищенні рН;
- 2) забезпечення умов для гідролізу солей заліза і утворення пластівців гідроксиду заліза;
- 3) їх укрупнення шляхом коагуляції і флокулювання;
- 4) виділення в осад суспензії, що утворилася, або відділення її від води шляхом фільтрування через зернисті матеріали.

Для видалення сульфату заліза (II) застосовують *вапнування*. Додане вапно реагує спочатку з сульфатом заліза (II):



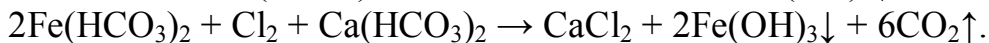
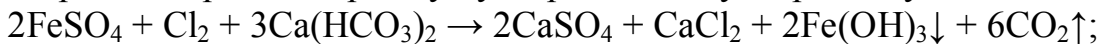
Гідроксид заліза (II), що утворюється, окислюється в Fe(OH)_3 .

При *аерації* води і подальшій обробці *вапном* або *содою* процеси, що відбуваються, описуються наступними реакціями:



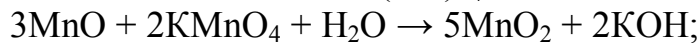
Якщо кількість кисню, що міститься у воді, недостатня для окислення, одночасно з вапнуванням проводять хлорування або аерування води.

При застосуванні *хлору* або *хлорного вапна* вільний хлор окислює залізо (II), потім протікає процес гідролізу і утворення осаду гідроксиду заліза



На окислення 1 мг заліза витрачається 0,64 мг хлору. У звичайних умовах реакція протікає протягом 4–10 хв. У присутності амонійних солей, що зв'язують хлор у хлораміни, швидкість окислення заліза знижується.

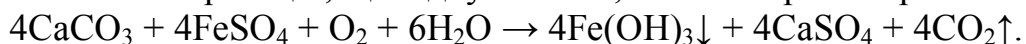
Процес окислення заліза (II) вищими *оксидами марганцю*, які при цьому відновлюються до нижчих ступенів окислення, а потім знов окислюються розчиненим у воді киснем, описується рівнянням



При використанні *перманганату калію* відбувається утворення пластівців осаду гідроксиду марганцю, який каталітично прискорює окислення заліза:



Розроблено метод видалення заліза з води пропусканням її через завислий шар тонкодисперсної крейди і гідроксиду алюмінію. Солі заліза переводяться *крейдою* в карбонат заліза (II), який гідролізується в гідроксид заліза (II) і окислюється до гідроксиду заліза (III). Гідроксид заліза (III) затримується завислим шаром. Весь комплекс реакцій, що відбуваються, можна виразити рівнянням



Оптимальне співвідношення основних компонентів $\text{Al(OH)}_3 / \text{CaCO}_3 = 0,16$. Розрахункова швидкість висхідного потоку через завислий шар крейди досягає 0,48 мм/с. Концентрація крейди в завислому шарі складає 0,02–0,03 г/см³. Цим методом видаляється до 95 % загального заліза, що знаходиться у воді.

Розроблено метод знезалізнення води, що полягає в застосуванні *алюмінату натрію і хлориду заліза (III)*. Таким методом видаляється залізо, що знаходиться у воді у вигляді неорганічних і органічних (гумусових) сполук. Одночасно усувається колоїдна кремнієва кислота, марганець, неорганічна суспензія і органічні речовини. Оптимальне співвідношення FeCl_3 і NaAlO_3 – 1:1.

Можна виділити такі технологічні схеми, вживані для знезалізнення поверхневих вод:

– *спрощена аерація, окислення, фільтрування* можуть бути рекомендовані при окислюваності води до $16 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ і вмісті заліза до $14 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Спочатку видаляється надлишок вуглекислоти і вода збагачується киснем при аеруванні, що сприяє підвищенню її рН і первинному окисленню залізоорганічних сполук. Остаточне руйнування комплексних сполук заліза (II) і часткове його окислення досягаються шляхом введення хлора або перманганату калія при фільтруванні води через зернисте завантаження. Спрощена аерація проводиться або у вхідній камері шляхом влаштування каскаду, або шляхом виливання води з перфорованих труб або лотків. Як фільтрувальні апарати застосовуються фільтри з великою брудоемкістю (контактні).

– *напірна флотація з вапнуванням і подальшим фільтруванням* рекомендується при окислюваності води більше $15 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ і вмісті заліза більше $10 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Суть процесу флотації полягає в дії молекулярних сил, сприяючих злипанню окремих частинок домішок води з бульбашками повітря і спливанню агрегатів, що утворюються при цьому, на поверхню води. Тривалість процесу в 3–4 рази менше в порівнянні з осадженням або обробкою в шарі завислого осаду.

– *вапнування, відстоювання в тонкошаровому відстійнику, фільтрування* рекомендується для видалення сірчаноокислого заліза і в тих випадках, коли вихідна вода містить сірководень, при низькій лужності або високій окислюваності води, при загальному вмісті заліза понад $25 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Спочатку звичайно здійснюється аерування води в градирні, в піддон якої вводиться вапняний розчин, далі – коагуляція і виведення в осад більшої частини сполук заліза у відстійнику, обладнаному тонкошаровими модулями, з подальшим видаленням дрібної суспензії фільтруванням. Попереднє аерування застосовується для збагачення води киснем і видалення з неї частини вільної вуглекислоти, внаслідок чого можуть бути знижені розрахункові дози реагентів.

– *аерація, окислення, вапнування, коагуляція, флокулювання з подальшим відстоюванням або обробкою в шарі завислого осаду і фільтрування (комбінований метод)* застосовуються при вмісті заліза понад $30 \text{ мг}/\text{дм}^3$, високій окислюваності води – більше $20 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ і наявності в ній сірководня в концентрації більше $1 \text{ мг}/\text{дм}^3$. Вказана комбінація ряду методів обробки води передбачає руйнування залізоорганічних сполук і створення сприятливих умов для гідролізу і коагуляції сполук заліза з подальшим відділенням їх від води. Це досягається видаленням вільної вуглекислоти і сірководня при аерації води, під час якої вона збагачується киснем повітря, і зв'язуванням вуглекислоти, що залишилася, вапном. Разом з тим вапнування підвищує лужність і рН води, створюючи сприятливі умови для окислення, гідролізу і коагуляції заліза. Проте, як правило, розчиненого у воді кисню виявляється недостатньо для руйнування

залізоорганічних комплексів і окислення заліза. Тому після аерації у воду вводять сильний окислювач, найчастіше хлор. Для інтенсифікації процесу утворення пластівців гідроксиду заліза воду обробляють сульфатом алюмінію і, при необхідності, флокулянтами. Основна частина пластівців гідроксиду заліза, що утворюються, витягується з води у відстійниках або освітлювачах із завислим осадом. Дрібні пластівці, що залишилися, затримуються в товщі зернистого завантаження при фільтруванні води.

Розглянута технологія складна, громіздка і пов'язана з великими капітальними і експлуатаційними витратами, тому використовується у виняткових випадках.

– **фільтрування через модифіковане завантаження.** У деяких випадках для швидкого окислення заліза (II), навіть при низьких значеннях рН, застосовують каталізатори. Як такі каталізатори звичайно використовують роздроблений піролюзит, «чорний пісок» (пісок, покритий плівкою оксидів марганцю, які утворюються в результаті розкладання 1 %-ного розчину перманганату калію, підлуженого до рН=8,5–9 водним розчином аміаку) і сульфовугілля, покрите плівкою оксидів марганцю. Для отримання останнього сульфовугілля обробляють 10 %-ним розчином $MnCl_2$, а потім через шар Mn-катионіту, що утворився, фільтрують 1 %-ний розчин $KMnO_4$. Калій витісняє марганець, який окислюється і осідає на поверхні вугілля у вигляді плівки оксидів марганцю. У цих випадках для окислення заліза (II) вода повинна фільтруватися із швидкістю 10 м/год. через шар каталізатора завтовшки 1000 мм.

– **катіонування.** Знезалізнення води катіонуванням допускається застосовувати при необхідності одночасного видалення солей заліза і солей, що обумовлюють твердість і коли в оброблюваній воді відсутній кисень (див. ЗМ 1.1).

4 Видалення з води марганцю

Більшість методів деманганізації води заснована на окисленні присутнього у воді іону Mn^{2+} до Mn^{3+} і Mn^{4+} , які утворюють гідроксиди, розчинність яких при рН>7 менше 0,01 мг/дм³.

Видалити з води марганець можна такими **методами**:

- обробкою води перманганатом калію;
- аерацією з підлужуванням;
- фільтруванням через грубозернистий пісок або катионіт;
- окисленням озоном, хлором або оксидом хлора (IV);
- коагуляцією з підлужуванням;
- біохімічним окисленням.

Перманганат калію окислює марганець (II) до оксиду марганцю (IV)



На окислення 1 мг марганцю (II) витрачається 1,88 мг перманганату калію. Дисперсний осад $MnO_2 \cdot 2H_2O$ або $Mn(OH)_4$, що утворюється, характеризується великою питомою поверхнею і є ефективним сорбентом.

Видалення марганцю перманганатом калію з поверхневих вод здійснюють на фільтрувальних станціях спільно з іншими методами обробки води (коагуля-

ція, фільтрування, хлорування та ін.). Розчин перманганату калію вводять у воду в трубопровід НС 1 підйому до коагуляції.

Для видалення марганцю з підземних вод застосовують відкриті напірні (типу катіонітових) фільтри, завантажені на висоту 1,2 м піском з крупністю зерен 1–2 мм. Розчин перманганату калію в цьому випадку подають насосами-дозаторами в трубопровід перед фільтрами, забезпечуючи швидке і повне змішування розчину перманганату калію з водою.

Перманганат калію погано розчиняється в холодній воді, тому її нагрівають до 50–60°C. Розчиняють перманганат калію при перемішуванні механічними мішалками або повітрям протягом 2–3 год. Для обробки води застосовують 3 %-ний робочий розчин

Час фільтроциклу при обробці підземних вод можна продовжити введенням у воду одночасно з перманганатом калію 3–4 г/м³ активованої кремнієвої кислоти, що дозволяє одержати крупніші пластівці, які повільніше проникають у фільтруюче завантаження.

Очистити воду від марганцю перманганатом калію можна на 95–99 %.

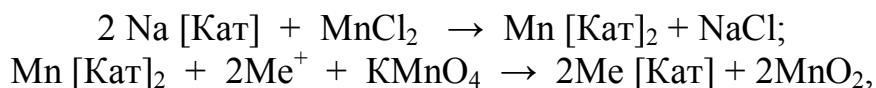
Аерацією з підлужуванням марганець видаляють в основному з підземних вод. Метод заснований на видаленні з води вільної вугільної кислоти і насиченні її киснем. При аеруванні води іони марганцю Mn²⁺ окислюються в іони Mn³⁺ і Mn⁴⁺. Останні виділяються в осад у вигляді гідроксидів. Для забезпечення повноти видалення марганцю воду необхідно підлужувати до рН>9,5–10. Осад, що утворився, виділяється в освітлювачах, відстійниках або фільтрах.

Для видалення марганцю з поверхневих вод їх обробляють сульфатом алюмінію і вапном (**коагуляція з підлужуванням**), доводячи рН до 9,5–10,5. Оскільки частинки гідроксиду марганцю, що поступають на фільтри після відстійників або освітлювачів, можуть проникати на велику глибину, висоту шару піску у фільтрах приймають не менше 1,5 м.

Окислення сполук Mn²⁺ у Mn⁴⁺ різко прискорюється у присутності каталізаторів – вищих оксидів марганцю. Це спостерігається при **фільтруванні аерованої води через контактний фільтр**, завантажений роздробленим піролюзитом MnO₂ · xH₂O або «чорним піском». Утворення плівки каталізатора Mn(OH)₄ на поверхні зерен піску в період його підготовки до роботи прискорюється введенням у воду 1–3 мг/дм³ перманганату калію, що подається на фільтр.

Контакт аерованої води з каталізатором значно підвищує ступінь видалення з води марганцю, особливо при великих значеннях рН. Підлужують воду в тому випадку, якщо одночасно з видаленням марганцю потрібне її зм'якшування вапном або вапном і содою. Залишковий вміст марганцю в очищеній воді не перевищує 0,05–0,10 мг/дм³.

Іони марганцю Mn²⁺ можуть бути видалені з води на **Na-катіонітових фільтрах**. Марганцевий катіоніт одержують обробкою будь-якого катіоніту в натрієвій формі, послідовно пропускаючи розчини хлориду марганцю (II) і перманганату калію:



де Me⁺ – катіон Na⁺ або K⁺.

З рівнянь реакцій видно, що марганець (II) окислюється перманганатом калію до оксиду марганцю (IV), який осідає на поверхні зерен катіоніту у вигляді плівки.

Якнайповніше марганець віддаляється при **озонуванні** води. У результаті окислення утворюється малорозчинний оксид марганцю (IV), який виділяється з води при фільтруванні останньої через зернисті завантаження.

При $\text{pH} > 4$ марганець (II) досить швидко окислюється **хлором**. Якщо у воді присутні аміак і амонійні солі, доза хлору повинна забезпечувати окислення хлорамінів і марганцю. Для повного окислення хлорамінів необхідно вводити близько 6 mgCl_2/mg аміаку, що міститься у воді, і, крім того, 1,3 мг хлора на окислення 1 мг Mn^{2+} у Mn^{3+} .

Оксид хлору (IV) і озон окислюють марганець (II) при pH води рівному 6,5–7,0 протягом 10–15 хв.; витрата оксиду хлору (IV) складає 1,35 мг, озону – 1,45 мг/мг Mn^{2+} .

Марганець видаляють з води також **біохімічним методом**, пропускаючи її через напірні фільтри, завантажені піском з крупністю зерен до 1–3 мм, який засівають невеликою кількістю бактерій, що споживають марганець, типу *Metallogenium personatum*, *Caulococcus manganifer*, *Bacteria manganicus*. Висоту шару завантаження приймають рівною 1,5 м, швидкість фільтрування – 30 м/год. Відмираючі бактерії утворюють на поверхні зерен піску біомасу, що містить оксиди марганцю, які каталізують окислення.

Контрольні запитання

1. З якою метою знезалізнюють питну воду?
2. Які є способи знезалізнення води і в чому їх суть?
3. Охарактеризуйте безреагентні методи знезалізнення води.
4. Суть знезалізнення води методом спрощеної аерації.
5. Суть знезалізнення води методом глибокої аерації.
6. Суть знезалізнення води методом «сухої» фільтрації.
7. Схема знезалізнення води з використанням каркасних фільтрів.
8. Схема знезалізнення підземних вод у пласті.
9. Схема знезалізнення води фільтрування в підземних умовах з попередньою подачею у пласт окислюваної води («Віредокс»).
10. Суть знезалізнення води методом аерації і двоступеневого фільтрування.
11. Суть знезалізнення води методом електрокоагуляції.
12. Схарактеризуйте реагентні методи знезалізнення води.
13. Які процеси відбуваються при реагентному знезалізненні води?
14. Які реагенти застосовують при реагентному знезалізненні води?
15. Суть знезалізнення води методом спрощеної аерації, окислювання та фільтрування.
16. Суть знезалізнення води методом напірної флотації з вапнуванням і фільтруванням.
17. Суть знезалізнення води методом вапнування, відстоювання і фільтрування.
18. Суть знезалізнення води методом фільтрування крізь модифіковане завантаження.
19. Суть знезалізнення води методом озонування і фільтрування.
20. Суть знезалізнення води комбінованим методом.
21. Як може бути здійснена деманганація води?

ТЕМА 5 ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ ГАЗІВ, СПЕЦИФІЧНИХ ТА ТОКСИЧНИХ ДОМІШОК

1. Методи усунення запахів, присмаків і токсичних мікробруднень води.

2. Дегазація води.

3. Очищення води від радіоактивних елементів.

4. Видалення з води силіцієвої кислоти.

1 Методи усунення запахів, присмаків і токсичних мікробруднень води

Вода, використовувана для господарсько-питних потреб, повинна мати високі органолептичні показники (відсутність забарвлення, каламутності, присмаків і запахів, шкідливих мінеральних і органічних домішок і ін.).

Проблема поліпшення смакових показників води набуває особливого значення у зв'язку з необхідністю використання поверхневих джерел водопостачання, оскільки запасів підземних вод не вистачає. Дезодорація такої води надзвичайно ускладнюється через безперервне забруднення річок, озер та інших водоймищ стоками промислових підприємств, що часто містять значні кількості гомофазних домішок.

Знижені смакові показники природних вод звичайно обумовлюються особливостями їх мінерального і органічного складу. Розрізняють запахи і присмаки, що викликаються неорганічними сполуками (мінеральні солі, сірководень та ін.) і органічними речовинами. До останніх відносять органічні речовини як біологічного походження, так і ті, що вносяться із стоками промислових підприємств.

Поява у воді розчинених **органічних речовин біологічного походження** є наслідком перебігу процесів інтенсивного розпаду і подальшої трансформації залишків вищих водних рослин, а також великої кількості планктонних і бентосних організмів, різних грибів і бактерій. Найінтенсивніше збагачується природна вода органічними речовинами в періоди «цвітіння» водоймищ, оскільки в цей час внаслідок масової життєдіяльності водоростей та інших організмів у воду виділяється велика кількість низькомолекулярних спиртів, альдегідів, кетону, карбонових кислот і оксикислот, фенолвміщуючих та інших речовин, що мають сильний запах.

Скидання промислових стічних вод у природні водоймища призводить до забруднення води різними за складом і властивостями органічними сполуками. Серед них найбільш поширені вуглеводні нафти і нафтопродуктів, феноли і поліфеноли, синтетичні аліфатичні спирти і кислоти, поверхнево-активні речовини, пестициди і т.п.

У деяких випадках органолептичні властивості води можуть погіршуватися в результаті **неправильної експлуатації очисних споруд** або при обробці води неправильно підібраними реагентами або неправильно розрахованими їх дозами.

Єдиних, безвідмовно діючих методів для усунення всіх видів запахів і присмаків не існує, проте деякі з них самі по собі або в поєднанні одного з одним забезпечують необхідний ступінь дезодорації.

Вибір методу усунення неприємних запахів і присмаків, що виникають в природних водах, залежить від характеру речовин, які викликають їх появу, і стану, в якому ці речовини перебувають (дійсні розчини, гази, колоїди, суспензії).

– Речовини, що продукують неприємні запахи і присмаки і знаходяться в стані *суспензій і колоїдів*, видаляють з води **коагуляцією**.

– Запахи і присмаки, обумовлені підвищеним вмістом *неорганічних речовин*, що знаходяться в *молекулярному і іонному станах*, можна видаляти **методами коректування мінерального складу води** (знесоленням, знезалізненням, дегазацією та ін.).

– Запахи і присмаки, які викликаються *органічними речовинами* біологічного походження або органічними речовинами, що вносяться промисловими стічними водами, є найбільш стійкими. Видаляють їх в більшості випадків **аеруванням, окисленням або адсорбцією**.

В умовах інтенсивного «цвітіння» водойм або забруднення їх різними інгредієнтами стічних вод дезодорація води повинна здійснюватися поєднанням окислювальних і адсорбційних методів, а також аеруванням, яким можна усунути легколетючі забруднення.

Аеруванням води найлегше видаляються летючі органічні сполуки біологічного походження. Відбувається це, по-перше, за рахунок виділення летючих речовин механічним шляхом, по-друге, – за рахунок окислення розчинених органічних сполук киснем повітря.

На практиці аерування проводять у спеціальних установках – **аераторах барботажного, розбризкуючого і каскадного типів**.

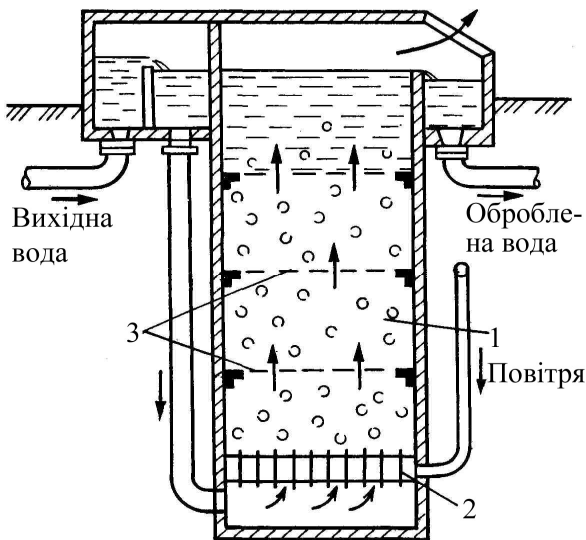


Рисунок 5.1 – Аератор барботажного типу:

- 1 – барботажна камера;
- 2 – розподільник повітря;
- 3 – дірчасті пластини

В аераторах **барботажного** типу (рис. 5.1) повітря, що подається повітродувками, розподіляється у воді дірчастими трубами, підвішеними в резервуарі, або пористими пластинами, розташованими на його дні. Перевага першого способу полягає у простоті монтажу. Розподіл повітря пористими пластинами часто застосовується в аераторах із спіральним рухом води, які використовуються на крупних установках. Глибина шару води в аераторах такого типу коливається від 2,7 до 4,5 м. Дослідження показують, що оскільки рівновага між концентраціями речовин, що мають запах, в рідкій і газоподібній фазах досягається миттєво, висота шару води при барботуванні не відіграє істотної ролі і може бути зменшена до 1–1,5 м. Максимальна

ширина резервуару звичайно в два рази більша, ніж глибина. Площу поверхні вибирають довільно. Час продування повітря, необхідний для завершення про-

цесу дезодорації, як правило, не перевищує 15 хв. Витрата повітря коливається в межах 0,37–0,75 м³/м³ води.

Барботажні установки відкритого типу можуть працювати і при мінусових температурах. Ступінь аерування легко регулюється зміною кількості повітря, що подається. Вартість установок і їх експлуатації невисока.

У **розбризкуючих** аераторах вода розпилюється соплами на дрібні краплі, при цьому збільшується поверхня її контакту з повітрям Основним чинником, що визначає роботу таких аераторів, є форма сопла і його розміри. Час зіткнення води з повітрям, визначуваний початковою швидкістю струменя і її траєкторією, звичайно складає 2 сек. (для вертикального струменя, який викидається під натиском 6 м).

В аераторах **каскадного типу** оброблювана вода падає струменями через декілька послідовно розташованих водозливів. Час контакту в цих аераторах може бути змінений за рахунок збільшення кількості ступенів. Втрати натиску на аераторах каскадного типу коливається від 0,9 до 3 м

В аераторах **змішаного типу** вода одночасно розбризкується і стікає тонким струменем з одного ступеня на інший. Для збільшення площі зіткнення води з повітрям застосовують керамічні кулі або кокс.

Загальним недоліком аераторів, побудованих на принципі контакту плівки води з повітрям, є їх неекономічність через велику площу, неможливість використання в зимовий час, потребу в потужній вентиляції при установці їх в приміщеннях і, нарешті, схильність до обростання.

Недолік аерування полягає в тому, що цим методом не усуваються стійкі присмаки і запахи, викликані забрудненням природної води промисловими стоками. У цьому випадку воно є лише додатковим заходом. Проте, не зважаючи на появу більш довершених методів дезодорації, аерування і до цього дня відіграє важливу роль завдяки своїй простоті.

Окислювальними методами добре віддаляються з води речовини, що мають сильні відновні властивості. До них відносяться: полі- й одноатомні феноли, дубильні речовини і гумусові кислоти, солі заліза (II), сірководень, нітрит і т.п. Стійкіші сполуки, наприклад вуглеводні нафти і нафтопродуктів, деякі карбонільні сполуки і карбонові кислоти, ряд аліфатичних спиртів і т.п. в умовах обробки питної води активним хлором, оксидом хлора (IV), а іноді й озоном окислюються погано. У деяких випадках сильні окислювачі, взаємодіючи з перерахованими речовинами, не тільки не усувають запахи і присмаки у воді, але значно їх підсилюють.

У той же час дія окислювачів на легкоокислювані сполуки призводить або до повного їх розкладання, або до утворення проміжних речовин, що не впливають на органолептичні показники води. У таких випадках окисленням вода повністю дезодорується і її смак поліпшується.

Сильними **окислювачами**, використовуваними в практиці водоочистки, є озон, хлор і оксид хлора (IV), *перманганат калію*.

Озон є найбільш сильним з усіх відомих в даний час окислювачів. Однією з його переваг з гігієнічної точки зору є нездатність на відміну від хлору до реакцій заміщення. Особливістю озону є те, що він швидко розкладається. З одно-

го боку, це викликає деякі технічні труднощі, а з іншого – створює певні переваги, оскільки навіть при деякому передозуванні залишкові кількості його не можуть бути великі і не потрібне його усунення. Вводити надмірно великі дози озону при обробці питної води не рекомендується, оскільки після неї вода може набувати неприємного ароматичного запаху.

Завдяки високому окислювальному потенціалу озон окисляє речовини, що обумовлюють присмаки і запахи, які звичайно не окислюються іншими реагентами. Тривалість контакту озону з водою не перевищує 10–15 хв.; додаткові сполуки при цьому не утворюються. У зв'язку з тим, що озон поступає у воду з великою кількістю повітря, одночасно відбувається і аерування води. В результаті озонування вода набуває освіжаючого присмаку і запаху, характерного для поверхневих або джерельних вод якнайкращої якості.

Озон обмежено розчиняється у воді, його розчинність значно зменшується при підвищенні температури. Тому, не зважаючи на сильні окислювальні властивості, при великому забрудненні води органічними речовинами озон не дає хорошого дезодоруючого ефекту.

Вуглеводні нафти і аліфатичні спирти окислюються озоном у карбонові кислоти *ступінчасто*: як проміжні продукти утворюються альдегіди і кетон, що часто має сильний і неприємний запах і присмак. Високий дезодоруючий ефект можливий лише при окисленні не тільки вихідних речовин, але і проміжних продуктів реакції. Проте за час обробки води озоном це в ряді випадків не досягається. Реакція окислення припиняється на проміжній стадії і оброблювана вода набуває нового неприємного запаху.

Якщо ж вміст альдегідів і кетону у воді незначний, то окислення їх озоном відбувається з більшою повнотою і концентрації проміжних продуктів знижуються нижче гранично допустимих. При цьому з води практично усуваються запахи і присмаки.

Дозу озону приймають відповідно до величини перманганатної окислюваності води.

Перманганат калію є менш сильним окислювачем, ніж озон; він не вступає в реакції заміщення. До недоліків перманганату калію слід віднести його високу вартість, дефіцитність, а також небезпеку появи залишкових концентрацій, оскільки марганець нормується в питній воді до 0,1 мг/дм³.

Дію звичайних доз хлору на речовини, які додають воді присмаки і запахи, можна підсилити додаванням 0,3–0,5 мг/дм³ перманганату калію перед або після введення хлору. У першому випадку перманганат калію руйнує органічні речовини, вступаючи в реакцію з хлором і створюючи хлорпохідні з різким неприємним запахом, в другому – він розкладає утворювані хлорпохідні. Перманганат калію додають до введення хлору за наявності у воді фенолів. Інші реагенти (коагулянт, активоване вугілля) при цьому слід вводити не раніше, чим через 10–15 хв. після додавання перманганату.

Для усунення присмаків і запахів перманганат калію можна застосовувати самостійно. Його дозу в цьому разі визначають за показником перманганатної окислюваності води, що характеризує забруднення органічними речовинами.

Для дезодорації води перманганат калію застосовують у вигляді 0,5–2,0 %-ного розчину (в перерахунку на товарний продукт). Готують такий розчин в сталевих або залізобетонних баках з нахилом стінок дна під кутом 40–45° до горизонталі; перемішують гідравлічним, механічним способом або аеруванням. Витратних баків повинно бути не менше двох. Дозують відстояний розчин у воду дозаторами (наприклад, поплавцями), транспортують до місця його введення сталевими або пластмасовими трубопроводами. При розрахунку об'єму витратних баків тривалість повного розчинення товарного продукту приймають залежно від температури води.

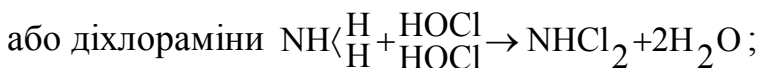
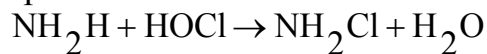
Хлор – найбільш дешевий і поширений з вказаних вище окислювачів, але значно слабкіший. Недоліком хлору є його здатність вступати в реакцію заміщення, внаслідок чого можуть утворюватися канцерогенні галогенорганічні сполуки.

Невеликі дози хлору звичайно підсилюють запахи і присмаки, особливо за наявності у воді фенолів унаслідок утворення моно-, ді- і трихлорфенолів, що мають сильний неприємний запах. Тому в даному випадку або збільшують окислювально-відновний потенціал системи «природна вода - хлор», застосовуючи перехлорування, або знижують його хлоруванням з амонізацією.

Перехлорування води великими дозами хлору (8–14 мг/дм³) обумовлює окислення фенолів до малеїнової і вугільної кислот, що не мають неприємного запаху. Перед подачею такої води споживачу необхідно дехлорувати її хімічними (оксид сірки (IV), гіпосульфїт або сульфїт натрію) або адсорбційним (активоване вугілля) методами. Тривалість контакту води з великими дозами хлору при обробці повинна бути не менше 2–3 год. Хлорувати воду доцільно в ковші або в насосній станції першого підйому, дехлорувати – після РЧВ.

За наявності у воді тільки одноатомних фенолів доцільно обробляти її оксидом хлора (IV), необхідна доза якого для дезодорації в цьому разі приблизно в чотири рази менше, ніж хлору, що пояснюється утворенням не хлорфенолів, а хінонів і хлорованих хінонів.

Для усунення хлорфенольного запаху і присмаку застосовують *хлорування з амонізацією*. Оскільки швидкість взаємодії хлору з аміаком більш ніж в сто разів перевищує швидкість його взаємодії з фенолом, переважно утворюються не хлорфеноли, а монохлораміни:



також можливе утворення трихлорамінів, що небажано, оскільки ці сполуки мають неприємний запах.

Аміак і амонійні солі додають перед введенням у воду хлору з розрахунку 1:4 – 1:10 по відношенню до дози хлору.

Негативною стороною методу є утворення легко випадного в осад карбонату кальцію



тому часто подачу аміаку здійснюють після фільтрів перед постхлоруванням.

Запахи і присмаки, що викликаються наявністю у воді деяких отрутохімікатів, ефективно усуваються **пероксидом водню**. Наприклад, обробка розчинів ептаму початковою концентрацією 19 мг/дм³ дозою пероксида водню 68 мг/дм³ знижує інтенсивність запаху приблизно в п'ять разів. Перешкодою для широкого використання пероксиду водню в технології очищення води служила відсутність дешевого способу його отримання. Впровадження розробленого методу синтезу пероксида водню окисленням вторинних спиртів дозволить значно понизити його вартість і розширити область застосування для очищення води від забруднень.

Існує електрохімічний метод дезодорації води шляхом окисдування її домішок продуктами розкладання води в прианодній зоні електролизера.

Метод обробки води тільки в анодній або тільки в катодній камері діафрагменого електрохімічного реактора називається **електрохімічною активацією**, оскільки вода після такої обробки переходить в метастабільний стан з підвищеною реакційною здатністю, обумовленою не тільки наявністю високоактивних сполук, але також тривало існуючими структурно-енергетичними збудженнями.

У поверхні аноду відбувається окислення домішок води з виділенням кисню, а також утворення газоподібного хлору і таких високоактивних сполук, як Cl₂O, ClO₂, HClO, Cl[•], ClO⁻, OH[•], O[•], NO₂, H₂O₂, O₃. За цих умов біоцидність оксидатних продуктів анодних електрохімічних реакцій досягає максимального значення, що перевищує в 150–300 разів біоцидність гіпохлоритних розчинів з атомарним. киснем, одержуваних в бездіафрагмених електрохімічних реакторах.

Органічні домішки при взаємодії із сполуками активного хлору при високих значеннях Eh і рН=7 піддаються повній окислювальній деструкції і не утворюють стійких форм органічних галогенвміщуючих сполук. Знищення 99,9 % всіх мікроорганізмів, що містяться у воді, досягається під час її потоку в анодній камері, тобто протягом 1,0–1,5 сек.

Повне знищення всіх мікроорганізмів, а також зниження концентрації біоцидних агентів до безпечної норми при негайному споживанні води або до норми, що забезпечує її тривале зберігання, досягається при наступній стадії обробки води – в ємкості, заповненій гранулами вуглецьоксидномарганцевого каталізатора. На поверхні каталізатора відбувається розпад сполук активного хлора.

Для дезодорації води **адсорбційними методами** використовують гранульоване і порошкоподібне активне вугілля, активований антрацит, вуглецеві волокнисті матеріали і невуглецеві адсорбенти (кліноптилолит, цеоліти).

Сорбційний метод дезодорації є значно надійнішим в порівнянні з окислювальним, оскільки він заснований не на трансформації органічних речовин, а на їх витяганні з води. З відомих сорбентів найбільш ефективно **активне вугілля**. Воно добре сорбує феноли, поліциклічні ароматичні вуглеводні, зокрема канцерогенні, більшість нафтопродуктів, хлор- і фосфорорганічні пестициди і багато інших органічних забруднень. Проте і сорбцію на активному вугіллі не можна розглядати як універсальний засіб очищення води від органічних сполук. Так, є речовини, які ними не затримуються (наприклад, органічні аміни) або затримуються погано (наприклад, синтетичні поверхнево-активні речовини).

Активне вугілля виготовляють з вуглецьвміщуючих матеріалів: вугілля, антрациту, деревини, торфу, полімерів, відходів харчової, целюлозно-паперової і інших галузей промисловості.

Розміри частинок *гранульованого* активного вугілля складають 0,7–7,0, *порошкоподібного* - 0,07–0,12 мм. Площа їх поверхні коливається в межах 450–1800 м²/г.

Вугільні фільтри розташовують після освітлювальних. Можливо застосування суміщених освітлювально-сорбційних фільтрів. Сорбційні фільтри періодично промивають водою.

Недоліком застосування вугільних фільтрів є необхідність *регенерації* активного вугілля, яка може проводитися наступними методами: *хімічним, термічним і біологічним*.

Хімічний метод передбачає попередню обробку вугілля гострою парою, а потім лугом. Метод складний, трудомісткий і недостатньо ефективний, оскільки не відновлює сорбційну здатність матеріалу повністю.

Термічний метод полягає у випалюванні адсорбованих органічних сполук

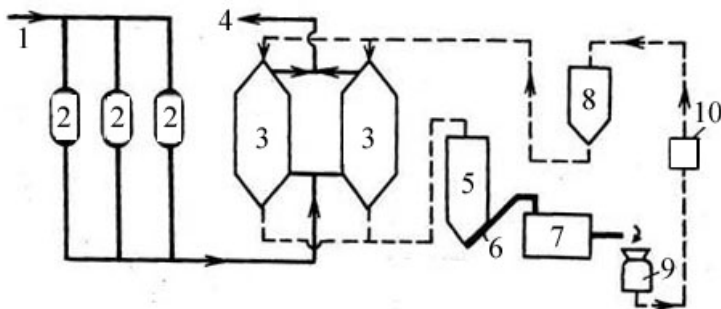


Рисунок 5.2 - Схема фільтрів з псевдозрідженим шаром активного вугілля з безперервною термічною його регенерацією:

- 1, 4 – подача вихідної і відведення очищеної води;
- 2 – фільтри попереднього очищення;
- 3 – вугільні фільтри;
- 5 – бункер для активного вугілля;
- 6 – шнек для видалення води з вугілля;
- 7 – піч для прожарення;
- 8 – проміжний бункер;
- 9 – бак для охолодження вугілля;
- 10 – камера обдування

у спеціальних печах при температурі 800–900 °С. На рисунку 5.2 показана схема організації роботи фільтрів з безперервним випаленням активного вугілля. Описуваний метод регенерації не тільки складний, але пов'язаний з втратами вугілля при випаленні (до 10–12 %).

Біологічний метод регенерації заснований на життєдіяльності бактерій, які мінералізують адсорбовані на вугіллі органічні сполуки; проте цей процес протікає надто повільно.

Міжрегенераційний період роботи гранульованого активного вугілля можна різко збільшити, якщо воду перед фільтруванням через вугілля обробити окислювачем. Встановлено, що при такій обробці води відбувається не просте підсумовування двох процесів, а має місце *ефект окислювально-сорбційної взаємодії*, який полягає в тому, що, з одного боку, вугілля виступає як каталізатор окислення, значно підвищуючи глибину і швидкість цього процесу, а з іншої – багато продуктів окислення краще сорбуються на вугіллі. Крім того, застосування двох методів завжди надійніше і дозволяє значно розширити діапазон органічних забруднень, що видаляються з води. Практика показала, що сумісне застосування окислювачів і активного вугілля має також і економічну перевагу.

Залежно від якості оброблюваної води, складу і типів очисних споруд можуть бути різні технічні рішення використання окислювально-сорбційного методу очищення води. Так, фільтри, завантажені гранульованим активним вугіллям і призначені тільки для очищення води від органічних забруднень, розташовують в технологічній схемі після освітлювальних фільтрів. Але гранульоване вугілля може використовуватися також у фільтрах, що виконують разом з вказаною функцією і функцію освітлення води. Тоді фільтри, як завжди, розташовують після споруд першого ступеня, при цьому завантаження їх може або цілком складатися з активного вугілля, або з вугілля і піску (двошарове завантаження).

У схемі контактного освітлення води можливе також влаштування окремо розташованих вугільних фільтрів після контактних освітлювачів, або контактних освітлювачів з піщано-вугільним завантаженням. У першому випадку, коли здійснюється фільтрування води послідовно через дві фільтрувальні споруди, витрати на будівництво очисних споруд значно зростають, проте вугільне завантаження використовується за своїм прямим призначенням, тобто тільки для видалення хімічних забруднень, і знаходиться в найбільш сприятливих умовах: на вугільний фільтр поступає освітлена вода, тому промивка його проводиться рідко і не призводить до зайвої втрати вугілля на подрібнення і стирання; колюматація пір вугілля суспензією незначна, що покращує умови сорбції хімічних забруднень і збільшує термін служби вугілля як сорбенту.

Місце розташування вугільного завантаження в технологічній схемі залежить від її призначення, а також санітарно-гігієнічних і техніко-економічних показників очищення води. Окислювач у всіх випадках повинен бути введений в оброблювану воду до її надходження на вугільне завантаження. При цьому окислювач у воду може вводитися або на початку технологічної схеми, або перед вугільними фільтрами. Можливо також подвійне введення окислювачів різного типу. Місце введення окислювача залежить від загальних завдань, що покладаються на окислювач, від швидкості його витрачання та інших чинників. Але у всіх випадках треба забезпечити наявність окислювача у воді, що поступає на вугільне завантаження.

Пестициди, які потрапляють у водоймища в основному із стічними водами, представляють велику небезпеку для здоров'я людини, погіршують органолептичні показники води. Як отрутохімікати останніми роками широко застосовуються інсектициди, гербіциди, акарициди, фунгіциди та інші речовини.

У практиці очищення води від отрутохімікатів застосовують *окислювальні, адсорбційні, фізико-хімічні й біологічні* методи.

Як *окислювачі* найбільше розповсюдження одержали хлор і озон. У деяких випадках використовують перманганат калію і пероксид водню.

Як *сорбенти* можуть використовуватися активоване вугілля (доза 15 мг/мг пестициду), коагулянти, іонообмінні смоли.

До *фізико-хімічних* методів видалення отрутохімікатів відносяться електрохімічне очищення, засноване на їх анодному окисленні, термічне окислення, засноване на інтенсивному випаровуванні рідини в топковій камері, окисленні і розкладанні забруднюючих її домішок і ін.

Біологічні методи видалення отрутохімікатів з води ґрунтуються на здатності деяких мікроорганізмів (бактерій активного мулу, бактерій-нітрифікаторів, грибів, простіших та ін.) поглинати отрутохімікати, розкладаючи їх до нешкідливих сполук.

Найбільш перспективним з розглянутих методів є окислювально-адсорбційний, що забезпечує очищення води в широкому діапазоні складу домішок.

2 Дегазація води

У багатьох випадках низька якість продукції і знос устаткування пов'язані з наявністю газів у воді, використовуваний в технологічному процесі. Найчастіше доводиться видаляти з води оксид вуглецю (IV), кисень і сірководень, рідше – метан. Ці гази відносяться до корозійноактивних, вони обумовлюють або підсилюють корозію металів. Крім того, оксид вуглецю (IV) корозійно активний по відношенню до бетону. Деякі гази здатні утворювати з повітрям токсичні або пожежо- і вибухонебезпечні суміші. Зважаючи на вказані властивості цих газів, а також здатність сірководню додавати воді неприємний запах, необхідне по можливості повне видалення їх з води.

Розчинені гази можуть міститися у воді, що забирається з природного джерела, або утворюватися в ній при здійсненні деяких процесів водообробки.

Комплекс заходів, пов'язаних з видаленням з води розчинених в ній газів, називається **дегазацією** води. Існують *фізичні* й *хімічні* методи дегазації води.

Суть **фізичних** методів дегазації полягає в наступному:

- вода, що містить газ, приводиться в зіткнення з повітрям, якщо парціальний тиск цього газу в повітрі близький до нуля;
- створюються умови, при яких розчинність газу у воді стає нікчемно малою.

За допомогою першого прийому (аерація води) звичайно видаляють *вільний оксид вуглецю (IV)* і *сірководень*, оскільки парціальний тиск цих газів в атмосферному повітрі близький до нуля. До другого прийому звичайно вдаються при знекисненні води. У цьому разі через значний парціальний тиск кисню в атмосферному повітрі аерацією води видалити кисень не можна, тому воду доводять до кипіння, тоді розчинність всіх газів в ній падає до нуля. Для цього застосовують або нагрівання води (у термічних деаераторах), або пониження тиску до величини, при якій вода кипить без додаткового підігріву у вакуумних дегазаторах.

Хімічні методи засновані на певних реакціях, в результаті яких відбувається хімічне зв'язування розчинених газів. Реалізуються ці методи шляхом введення в оброблювану воду реагентів або фільтруванням її через спеціальні завантаження.

Для видалення з води розчинених газів **фізичними методами** застосовують декілька типів **дегазаторів**: плівкові з різного роду насадками, що працюють в умовах протитечії дегазованої води і повітря, яке подається вентилятором (рис. 5.3); плівкові, що працюють без примусової подачі повітря; струменево-плівкові (контактні градирні); барботажні; вакуумні.

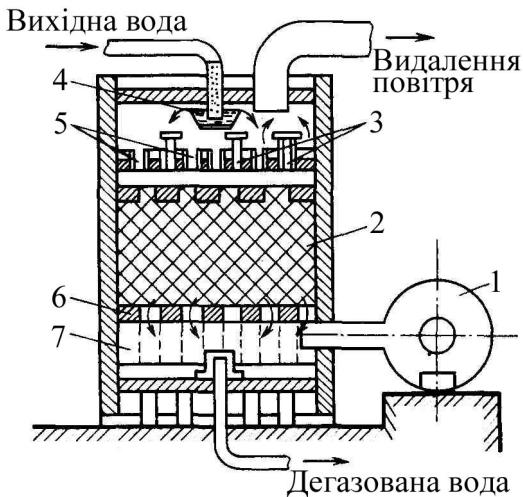


Рисунок 5.3 – Схема плівкового дегазатора:

- 1 – вентилятор; 2 – насадка; 3 – газовідвідний патрубок; 4 – водорозподільна воронка; 5 – зрошувальні патрубки; 6 – дірчасте днище; 7 – піддон

У техніці водопідготовки для видалення газів (окрім кисню) в основному застосовують *плівкові дегазатори*, а для знекиснення води – *вакуумні дегазатори* або *термічні деаератори*. Барботажні дегазатори використовуються лише у виняткових випадках внаслідок їх порівняно високої експлуатаційної вартості (велика витрата електроенергії на компресію повітря).

Найдосконалішим типом дегазатора для глибокого видалення з води вільного оксиду вуглецю (IV) є *плівковий дегазатор*, завантажений кільцями Рашига. Він забезпечує найбільш стійкий ефект дегазації, довговічний, вимагає меншої площі і висоти, а також меншої витрати повітря, ніж дегазатор з

дерев'яною

хордовою насадкою. Будівельна вартість його практично близька до вартості дегазаторів з дерев'яною насадкою, а експлуатаційна вартість нижча, особливо для установок великої продуктивності. На рисунку 8.1 наведена схема плівкового дегазатора з насадкою із кілець Рашига, що розміщується на проміжній дірчастій перегородці, віддаленій від дна на відстані 600 мм. У піддон вентилятором подається повітря. Вода поступає у верхню частину дегазатора і рівномірно розподіляється по перетину плитою, що має 48 патрубків для зливу води в насадку і 8 патрубків з ковпаками для виходу повітря. Вода з піддонного простору відводиться через гідравлічний затвор.

Барботувальні дегазатори (рис. 5.4) використовують для глибокого видалення вуглекислого газу на установках продуктивністю не більше 20 м³/год. При дегазації води барботуванням повітря через шар води також створюється велика поверхня зіткнення рідкої і газоподібної фаз; тим самим прискорюється виділення газу. Повітря подається компресорами звичайно через дірчасті труби або пористі плити.

Залежно від необхідного ступеня дегазації води барботажні дегазатори застосовуються одно- або двосекційні з послідовним пропусканням води.

Різновидом барботажних дегазаторів є *дегазатори пінного типу* (рис. 5.5). Основним конструктивним елементом цих апаратів служить перфорована пластина (грати). Вода тонким шаром протікає уздовж ґрат і під дією поперечного

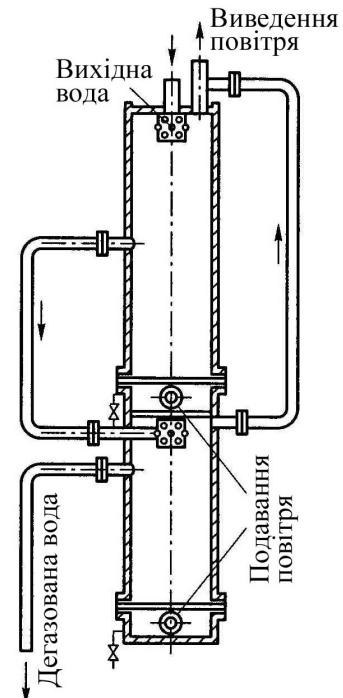


Рисунок 5.4 – Схема барботувального дегазатора

струму повітря, що подається через її отвори, вспінюється. У пінному шарі гази з води десорбуються значно інтенсивніше.

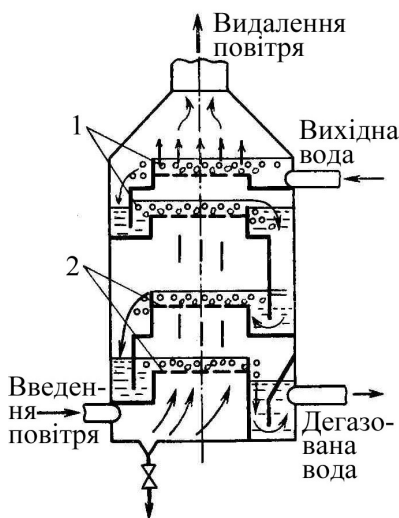


Рисунок 5.5 – Схема дегазатора пінного типу:

- 1 – пінний шар;
- 2 – дірчасте днище

У разі видалення оксиду вуглецю (IV) і при витраті води близько $100 \text{ м}^3/\text{год}$. дегазатори пінного типу найбільш економічні.

При використанні апаратів цього типу ступінь десорбції доцільно обмежити 96–97 % з тим, щоб кількість полиць не перевищувала чотирьох-п'яти. При цьому для подачі повітря можна застосовувати відцентрові вентилятори середнього тиску.

Принцип дії **термічних дегазаторів** ґрунтується на контактуванні очищуваної води з паром. Нагрівання води до температури насичення за певного тиску сприяє зниженню парціального тиску газу над водою до нуля. Підвищення температури очищуваної води інтенсифікує дифузію молекул газу і видалення їх у парову фазу. Одночасно зменшується коефіцієнт абсорбції газу.

Термічні дегезатори можуть бути *вакуумні, атмосферного тиску* (рис. 5.6) й *підвищеного тиску*.

У разі глибокого (за залишкової концентрації $0,01\text{--}0,05 \text{ мг/дм}^3$) або часткового ($0,3\text{--}0,5 \text{ мг/дм}^3$) знекиснення води, а також спільного видалення кисню і вуглекислого газу застосовують **вакуумні дегазатори** з насадкою із кілець Рашига. Вони можуть бути без підігрівання (рис. 5.7, а) і з підігріванням води (рис. 5.7, б). Якнайповніша дегазація досягається розбризкуванням у вакуумі і одночасним підігрівом води.

Вакуумні дегазатори виконують сталевими круглими (у плані), з конусним днищем. Над конусним днищем розташовується дірчастий лист (з отворами діаметром 15–20 мм) або грати, які є опорою для кілець Рашига. Вода всередину дегазатора подається пристроєм, що забезпечує тонке розпилювання і рівномірний розподіл її по поверхні насадки

Для спостереження за рівнем води в дегазаторі встановлюють водомірне скло. Парогазова суміш відводиться з дегазатора вакуумним пристроєм (можуть бути використані вакуум-насос, паро- і водоструминні ежектори).

Вибір типу дегазатора визначається продуктивністю установки, необхідною повнотою дегазації, початковою концентрацією газу, що видаляється, та іншими умовами.

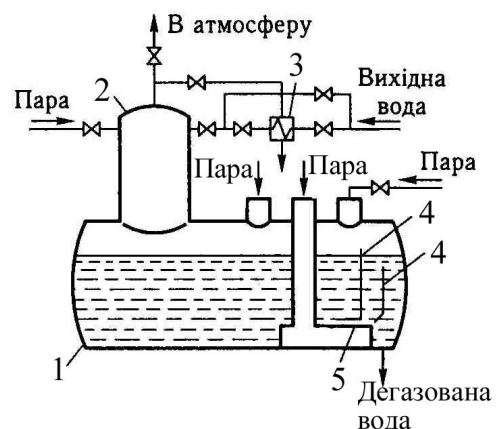


Рисунок 5.6 – Схема термічного двоступінчастого дегазатора атмосферного тиску:

- 1 – бак-акумулятор;
- 2 – деаераційна колонка;
- 3 – охолоджувач випарника;
- 4 – перегородки;
- 5 – дірчастий лист

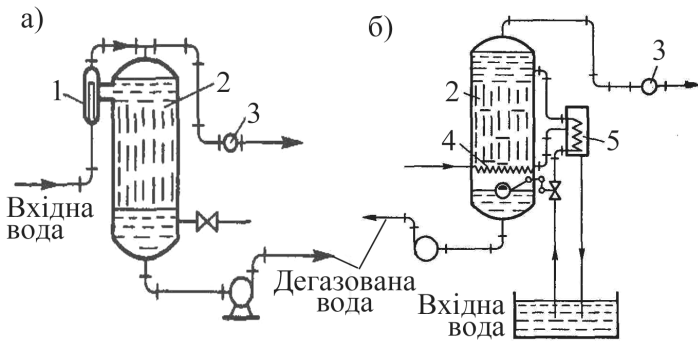


Рисунок 5.7 – Схеми установок дегазації води у вакуумі без підігрівання (а) і з підігріванням (б) води:

1 – повітровіддільник; 2 – котел; 3 – вакуум-насос; 4 – змішувач; 5 – теплообмінник

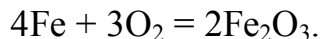
Метод видалення сірководню аеруванням є комбінування аерування з біохімічним окисленням сірководня сіробактеріями. Аератор містить шлакове завантаження. Інтенсивність зрошування при концентрації сірководню 40–42 г/м³ складає 3–4 м³/м²·ч, витрата повітря – 20–30 м³/м³; кінцева концентрація сірководня – 0,3–0,4 мг/дм³. Після аероокислення потрібне фільтрування.

Повне видалення H₂S аеруванням можливо лише при підкисленні води до рН<5. У таких умовах висока концентрація водневих іонів пригнічує дисоціацію сірководня, тому велика частина його знаходиться в молекулярній формі, яка легко віддається аеруванням.

Хімічні методи засновані на реакціях, в результаті яких відбувається хімічне зв'язування розчинених газів.

Для видалення з води **кисню** застосовується фільтрування її через речовини, що легко окислюються, наприклад через сталеві стружки, і обробка сульфідом натрію або оксидом сірки (IV).

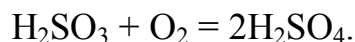
При використанні *сталевих стружок* їх знежирюють і завантажують в спеціальний фільтр. Вміст марганцю в них не повинен перевищувати 0,3 мас. %. У процесі фільтрування залізо, окислюючись, зв'язує кисень:



Оксид заліза (III) і гідроксид заліза (III), що утворилися в результаті корозії стружок, віддаються зворотною промивкою. Тривалість контакту води із стружками залежить від температури і зменшується від 25 до 3 хв. при збільшенні температури від 20 до 80°C.

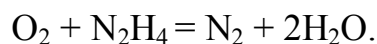
Найчастіше застосовують обробку води *сульфітом натрію* $2\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{O}_2 = 2\text{Na}_2\text{SO}_4$, або оксидом сірки (IV) $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}_2\text{SO}_3$.

Сірчиста кислота, що утворюється, окислюється киснем, який міститься у воді, до сірчаної кислоти:



Як каталізатор застосовують солі міді (II) або кобальту (II) у вигляді 0,01 %-го розчину. Для видалення 1 мг кисню витрачається 4 мг SO₂ або 7,9 міліграм Na₂SO₄.

Крім того, для видалення кисню воду обробляють також *гідразином* N₂H₄, сильним знекиснюючим реагентом:



Ця реакція протікає значно швидше, ніж реакція окислення сульфїту натрію. Каталізаторами в даному випадку є металева мідь, скло і активоване вугілля. Реакція знекиснення води гідразином каталітично прискорюється матеріалом стінок котла.

Видалення розчиненого кисню без підігріву води може бути досягнуте фільтруванням її через *електронообмінні (ЕО) і електроноіонообмінні смоли (продукти конденсації пірогалолу, гідрохінону або пірокатехіну з фенолом і формальдегідом)*. При використанні ЕО смол для знекиснення води висота шару смоли у фільтрі приймається рівною 2 м, швидкість фільтрування – 20 м/год. Регенеруються фільтри 1–2 %-ним розчином сульфату або тіосульфату натрію.

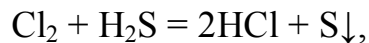
Електроноіонообмінні смоли є катіонітами або аніонітами з введеними в них залізом або міддю. Електроноіонообмінна смола ЕІ-12, що випускається промисловістю, має обмінну здатність по кальцію 500 г-екв/м³ і поглинювальну здатність по кисню 45 кг О₂/м³. Регенерується смола ЕІ-12 так само, як і смоли ЕО.

Ефективне знекиснення води може бути досягнуте в *електролизерах* з розчинними залізними або алюмінієвими електродами. Знекиснення відбувається за рахунок катодної і анодної деполяризації, а також хімічного окислення заліза або алюмінію розчиненим у воді киснем.

Для видалення з води *сірководня* хімічними методами його окисляють киснем повітря або хлором; крім того, може бути використано взаємодію сірководня до гідроксидом заліза (ІІІ).

Для повнішого видалення сірководню *киснем повітря* при аерації воду підкисляють сірчаною або соляною кислотою до рН=5,5. Очищену воду необхідно стабілізувати підлужуванням для усунення корозійних властивостей.

Сірководень окисляють *хлором* до вільної сірки або до сірчаної кислоти (залежно від дози хлору). Малі дози хлору (2,1 мг на 1 мг Н₂С) окисляють сірководень до колоїдної сірки:



яку потім необхідно видаляти. У цьому полягає недолік методу. Великі дози хлора (8,4 мг/мг) окисляють Н₂С до сірчаної кислоти:



Реакція протікає досить повільно і має практичне значення лише при окисленні невеликих кількостей сірководню. Застосовується для видалення залишкового сірководню, наприклад, після аерування.

Велику участь в окисленні сульфідних вод беруть *тіонові бактерії і сіркобактерії*, які зустрічаються в сірчаних джерелах, стоячих водах і взагалі широко поширені в природі. Для масового розвитку цих бактерій необхідні сірководень і кисень. Серобактерії окисляють сірководень до сірки, яка, у свою чергу, окислюється в сірчану кислоту

Для інтенсивної діяльності сіркобактерій необхідно забезпечити нейтралізацію утворюваної Н₂SO₄. Ця умова може бути здійснена за наявності у воді достатньої кількості гідрокарбонатів.

Для глибокого видалення з води сірководню може бути застосовуване *фільтрування через модифіковане завантаження*. Воно полягає в адсорбції іонів сірководневих сполук на зернах фільтрувального завантаження. Модифікація піщаного завантаження полягає в тому, що його послідовно обробляють водними розчинами FeSO₄ і KMnO₄ або NaSO₃ і KMnO₄. після такого оброблення на

поверхні зерен кварцового піску за $pH=6-9$ утворюється плівка, до складу якої входять $Fe(OH)_3$ та MnO_2 , що утворюються за такою схемою:



В основі процесу видалення сірководню лежить явище хемосорбції. При цьому $Fe(OH)_3$ та MnO_2 взаємодіють із сірководнем і гідросульфідом, утворюючи сульфід заліза і сірку.

3 Очищення води від радіоактивних елементів

Потрапляючи в природні води радіоактивні речовини бувають *природного і штучного походження*. Наявність у воді *природних* радіоактивних речовин обумовлено її зіткненням з мінералами, що містять радіоактивні ізотопи ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , а також взаємодією з атмосферою, з якої у воду потрапляють продукти «космічного синтезу» елементів (^{14}C , ^{10}Be , 3H). Ступінь радіоактивного забруднення води в цьому випадку звичайно невеликий. Розвиток ядерної енергетики і розширення області застосування радіоактивних ізотопів в різних галузях промисловості, науки, техніки, медицини пов'язаний з вірогідністю забруднення природних вод радіоактивними відходами. Найбільш небезпечними для людини і тварин є ізотопи: стронцій-90, цезій-137, йод-131. Потрапляючи в організм, вони викликають важкі захворювання. Активність радіоактивних відходів зменшується тільки в результаті природного розпаду, що у разі ізотопів, що володіють тривалим періодом напіврозпаду, пов'язано з необхідністю здійснення контролю над радіоактивними відходами іноді протягом декількох сотень років. Радіоактивно забруднені води відрізняються великою різноманітністю радіоактивних елементів, що містяться в них. Кожний з цих елементів характеризується двома основними величинами: енергією радіоактивного випромінювання α , β , γ -променів і періодом напіврозпаду, тобто проміжком часу, протягом якого розпадається половина початкової кількості атомів. Гранично допустимі концентрації деяких ізотопів у воді відкритих водоймищ показані в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Гранично допустимі концентрації деяких ізотопів у воді відкритих водоймищ

Ізотоп	ГДК, кюрі/дм ³	Ізотоп	ГДК, кюрі/дм ³
Na^{24}	$8 \cdot 10^{-9}$	Ag^{105} , Nb^{95}	$3 \cdot 10^{-8}$
P^{32}	$5 \cdot 10^{-9}$	Ce^{144} , Ca^{45} , Sr^{89} , Ru^{105}	$3 \cdot 10^{-9}$
Ba^{140} , Cl^{36}	$7 \cdot 10^{-9}$	I^{131}	$6 \cdot 10^{-10}$
K^{42}	$6 \cdot 10^{-9}$	Cs^{137}	$1 \cdot 10^{-9}$
Cr^{51}	$5 \cdot 10^{-7}$	Hg^{197}	$9 \cdot 10^{-8}$
Mn^{52}	$9 \cdot 10^{-9}$	Pb^{210}	$1 \cdot 10^{-11}$
Au^{198} , Pr^{143} , Cd^{115} , Fe^{59}	$1 \cdot 10^{-8}$	Po^{210}	$2 \cdot 10^{-11}$
Co^{60} , Mo^{99} , Pm^{147} , Cu^{64}	$6 \cdot 10^{-8}$	Ra^{223}	$2 \cdot 10^{-10}$
U^{235} , Sr^{90}	$3 \cdot 10^{-8}$	Pu^{239}	$5 \cdot 10^{-11}$
Nd^{147} , Sr^{95}	$2 \cdot 10^{-8}$	U^{238}	0,05 мг/л

Способи дезактивації води підрозділяють на:

- фізико-хімічні (дистиляція, осадження, коагуляція, флотація, фільтрування, сорбція, іонообмін, екстрагування, випаровування);
- електролітичні (електроліз, електродіаліз, електроіонізація);
- біологічні;
- поєднання перерахованих способів.

Відстоювання води застосовують як самостійний метод дезактивації, коли радіоактивні речовини завислі у воді або мають малий період напіврозпаду. Необхідний ступінь дезактивації води звичайно досягають при тривалому відстоюванні, рівному 10–20 періодам напіврозпаду радіоактивної речовини. При осадженні радіоактивних ізотопів у воду, що очищається, слід додавати в достатній кількості неактивні ізотопи того ж елемента або інший елемент, що є ізоаморфним з радіоактивними мікрокомпонентами. Так видаляють, наприклад, радіоактивний йод.

Коагуляція, що проводиться на водоочисних комплексах для освітлення і знебарвлення води, дає великий і постійний дезактиваційний ефект при підвищених дозах реагентів, якщо радіоактивні речовини знаходяться в колоїдному стані або адсорбовані на природних грубодисперсних домішках; якщо ж радіоактивні речовини присутні в розчиненому стані, дезактивація води коагуляцією не досягає мети. При дезактивації коагуляцією утворюються і осідають нерозчинні сполуки в результаті взаємодії реагентів з радіоактивними елементами, а також утворюваними пластівцями радіоізотопи витягуються (соосаджуються) з

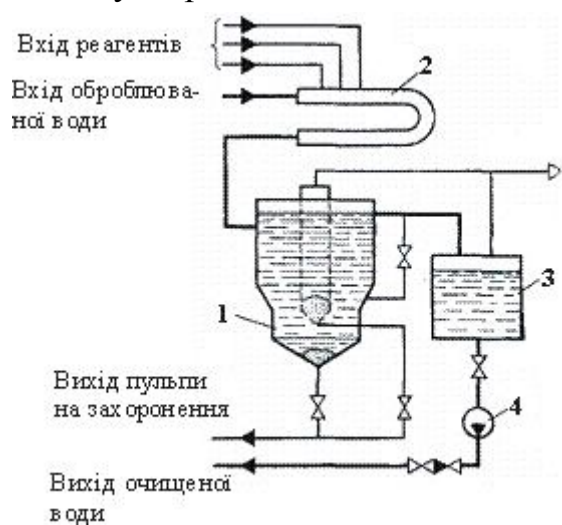


Рисунок 5.8 – Схема очищення води з використанням методу соосадження:

- 1 – освітлювач; 2 – змішувач;
3 – бак; 4 – насос

води через адсорбцію і іонообмін. Ефект дезактиваційного процесу залежить від властивостей радіоактивних ізотопів, їх концентрації, вживаних коагулянтів, їх доз і інших чинників. Для дезактивації води рекомендуються *коагулянти*: сульфат алюмінію, сульфат і хлорид заліза(III), фосфати (трьохзаміщений фосфат натрію і однозаміщений фосфат калія), суміш вапна і соди з силікатом натрію, поліелектроліти.

Можлива схема реагентного очищення води показана на рисунку 5.8. Вихідна вода накопичується в ємкостях і усереднюється, при необхідності нейтралізується додаванням кислоти або лугу і подається в змішувач. Змішувач є зігнутою трубою, усередині якої встановлені перегородки, що створюють високу турбулентність потоку і, отже, добре перемішування води з реагентами. Реагенти дозуються у вхідну частину змішувача. Дозування, як правило, автоматизоване. Склад реагентів визначається прийнятою технологією обробки води. Із змішувача вода поступає в освітлювач, де відбувається її очищення. Осад разом із забрудненнями у вигляді пульпи (суспензії) віддаляється на захо-

нення, а очищена вода зливається в бак, звідки насосом прямує на подальшу обробку.

Фільтрування води через піщані фільтри не є ефективним засобом видалення радіоактивних речовин, оскільки чистий кварцевий пісок володіє малою адсорбційною здатністю. Основна дезактиваційна дія фільтрів полягає у видаленні радіоізотопів, захоплених пластівцями коагулянта, а також адсорбцією пластівцями коагулянта, глиною, органічними речовинами і мікроорганізмами, що відклалися в завантаженні фільтру. При дезактивації води на повільних фільтрах велике значення має поглинання радіоактивних речовин планктоном і мікроорганізмами біологічної плівки, які, як відомо, концентрують в своєму тілі радіоактивні речовини. Ефект видалення радіоактивних речовин фільтруючими матеріалами складає для кварцевого піску 72–89 %, для активованого глинозему – 94, деревного вугілля – 86, активного вугілля – 92 і глауконіту – 83 %.

Вилучення з води радіоізотопів **сорбентами** є одним з найпоширеніших методів її дезактивації; в якості сорбентів використовують природні іонообмінники (глини, клиноптилоліт, гідроліти, бентоніт та інші природні цеоліти і мінерали); штучні неорганічні сорбенти (на основі важкорозчинних солей титану, цирконію, гетерополікислот, синтетичні цеоліти, сілікагель, порошки металів); природні органічні сорбенти (торф, гумусові речовини, деревину, целюлозу, активне вугілля і т. п.).

Спосіб сорбції радіоактивних іонів на завислих речовинах або на активному вугіллі з подальшим їх осадженням є високоефективним: досягається видалення цезію і плутонію до 99 %.

Забруднене активоване вугілля періодично розпушується промивною водою для зниження гідравлічного опору завантаження. Після виснаження сорбційної здатності вугілля видаляють на захоронення. Контролюють установку за вмістом масел до очищення і після нього.

Дезактивація води **коагуляцією, відстоюванням і фільтруванням** забезпечує зниження радіоактивності води на 50–70 %. Ефективність дезактивації води значно підвищується застосуванням великих доз реагентів, оптимізацією коагулянтів, додаванням до води вапна або соди. Багатоступінчасте осадження вапном і содою є вельми ефективним засобом при великих надлишках реагентів.

Для зниження вологовмісту і об'єму осадів, що утворюються при дезактивації води коагуляцією, і тим самим полегшення видалення і захоронення радіоактивних відходів рекомендується **флотація** гідроксидів різними флотоагентами (нафтові бензосульфокислоти, сульфатне мило). При однаковому ступені очищення об'єм осідання гідроксиду і час відділення його від розчину флотацією значно менше, ніж при коагуляції з відстоюванням. Концентрація виділених радіоактивних речовин досягається також застосуванням методу **пінної флотації**. Об'єм піни після її руйнування складає 0,01–0,1 % початкового об'єму розчину. Високий ефект і велика селективність дії флотоагентів, простота експлуатації, концентрація виділених радіоактивних речовин в малому об'ємі роблять метод флотації одним з найбільш переважних при дезактивації великих

об'ємів води, особливо при її малому солемісті. Недоліком методу слід вважати можливу токсичність флоатоагентів.

Спосіб **іонного обміну** є найбільш ефективним методом очищення слабоактивних маломінералізованих вод, заздалегідь звільнених від розчинених органічних речовин. Заснований цей метод на тому, що багато радіонуклідів знаходяться у воді у вигляді іонів або колоїдів, які при зіткненні з іонітом також сорбуються фільтруючим матеріалом. Адсорбція радіоколоїдів на іонообмінних смолах носить фізичний характер; ємкість смол по відношенню до колоїдів набагато нижча, ніж до іонів.

Коефіцієнт очищення збільшується приблизно в 10 разів при використанні іонітів в змішаному шарі (рівномірно перемішані катіоніт і аніоніт), тому останні ступені установок обладнують фільтрами із змішаним завантаженням.

Особливо ефективно сумісне Н-ОН-іонування, але відсутність селективних іонообмінних матеріалів призводить до того, що іонообмін може бути використаний лише для води з невеликим вмістом солей. Висока вартість іонітів складність їх регенерації, велика кількість радіоактивних відходів ускладнюють процес. Тому іонообмін рекомендується застосовувати на невеликих пересувних і індивідуальних установках, а також як завершальний етап дезактивації води як доповнення до вищерозглянутих методів. Фільтруючий матеріал не регенерується, а після виснаження віддаляється на захоронення і замінюється свіжим. При забрудненні фільтр промивається водою.

Дистиляція – один з найбільш надійних методів дезактивації води, коли радіоактивні речовини не летючі. За наявності у воді летючих радіоактивних речовин їх необхідно перед дистиляцією осадити або перевести в зв'язаний стан. Враховуючи, що при дистиляції радіоактивність конденсату зменшується в порівнянні з вихідною водою на чотири-п'ять порядків, сильно забруднену воду перегоняють двічі. Із-за високої вартості і низької продуктивності дистиляторів цей метод застосовний переважно для очищення невеликих кількостей води. При очищенні води від радіоактивних речовин дистиляцією необхідно дотримувати наступні умови: через декілька годин роботи установки видаляти радіоактивний залишок води з котла-випарника; періодично очищати радіоактивний накип, що відкладається на стінках і паропроводах казана, піддавати утворювані відходи захороненню.

Зворотний осмос знаходить найбільше застосування при очищенні вод, що містять велику кількість розчинених солей і домішок в колоїдній формі. При цьому потрібна попередня обробка вод, оскільки мембрани «отруюються» колоїдними домішками.

Установка очищення води з використанням зворотного осмосу складається з окремих блоків, в кожний з яких входять бачок, насос і мембранний апарат. Для збільшення продуктивності установки блоки з'єднуються між собою паралельно, а для збільшення коефіцієнта очищення – послідовно. Число паралельно включених блоків і послідовно включених ступенів буває різним і визначається продуктивністю установки, забрудненістю вихідної води і необхідним ступенем очищення.

Електродіаліз застосовують для витягання з води радіоактивних елементів в іонній формі. Основний недолік електродіалізу – необхідність попередньої коагуляції і фільтрування для видалення колоїдних і псевдоколоїдних форм радіоактивних ізотопів. Не дивлячись на високу вартість, недостатню міцність мембран, великі енергетичні витрати при електродіалізі сильно мінералізованих вод, електродіалізні установки рекомендуються для дезактивації невеликих кількостей прісних і слабо мінералізованих вод.

Установка для очищення води електродіалізом є батареєю електродіалізних апаратів (або груп апаратів), включених паралельно. Кількість апаратів може бути досить великою і визначатися продуктивністю кожного, солевмістом вихідної води і необхідним ступенем очищення.

4 Видалення з води силіцієвої кислоти

Вміст силіцієвої кислоти в підземних водах досягає половини загального аніонного складу. Однак вміст її у воді рівнинних річок зазвичай значно нижчий, ніж у воді гірських рік. Залежно від температури, рН, співвідношення різних домішок силіцієва кислота може перебувати у воді в іонній або колоїдній формах.

У воді, яку використовують для виробництва деяких сортів целюлози, карону, в хімічно-фармацевтичній промисловості, спиртовій, для живлення парових котлів та інших установок, високий вміст силіцієвої кислоти не допускається, оскільки вона є основним компонентом накипу. До складу складних силікатних накипів входить 40–50 % силіцієвої кислоти, 25–30 % оксидів феруму, купруму й алюмінію та 5–10 % оксиду натрію.

Отже, вода, яку використовують у деяких виробництвах, має пройти знесиліціювання.

Існують різні **способи видалення силіцієвої кислоти**:

- осадження;
- сорбційні;
- іонообмінні;
- електрохімічні.

З цією метою використовують такі реагенти, як вапно, солі феруму й алюмінію, гідроксид магнію, випалений доломіт, каустичний магnezит, аніоніти та електролізери з розчинним анодом. Залежно від хімічного складу води в джерелі водопостачання та потрібної глибини видалення силіцію обирають оптимальний спосіб знесиліціювання.

Знесиліціювання води вапном ґрунтується на невеликій розчинності силікату кальцію. За наявності у вихідній воді 10–12 мг/дм³ силіцієвої кислоти залишковий вміст її в очищеній воді становить 6–8 мг/дм³. Із надлишком вапна і підвищенням температури глибина знесиліціювання збільшується. Воду, з якої видаляють силіцієву кислоту, нагрівають у каскадному нагрівнику до температури 80–90°C і насичують її вапном у сатураторі (рис. 5.9). При цьому в осад випадають гідроксид магнію, який сорбує SiO_3^{2-} , силікат і карбонат кальцію, внаслідок чого вода знесиліціюється і частково зм'якшується.

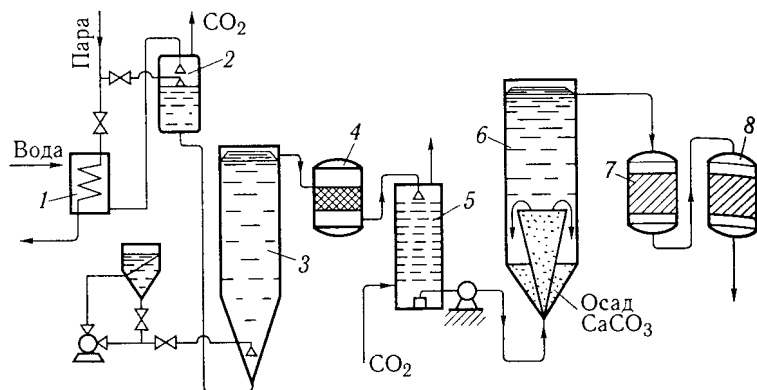


Рисунок 5.9 – Схема установки для знесиліціювання води за методом Копецького - Вондрушки

Прояснюють воду фільтруванням. Надлишок гідроксиду кальцію видаляють декарбонізацією в скруберах, продуваючи крізь воду очищені димові газу.

Утворений осад карбонату кальцію видаляють у прояснювачі. Потім вода надходить на антрацитовий

та Na-катіонітовий фільтри для більш глибокого прояснення і видалення силіцію.

В очищеній воді міститься $0,35\text{--}0,5\text{ мг/дм}^3$ іонів SiO_3^{2-} , солей твердості – не більше $0,01\text{ ммоль/дм}^3$, лужність – до $0,3\text{ ммоль/дм}^3$. З води видаляється карбонатна кислота і відбувається часткове розкладання гідрокарбонату.

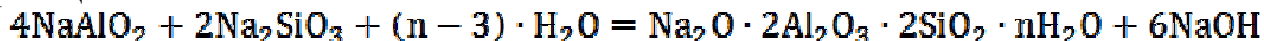
Знесиліціювання води солями феруму ґрунтується на здатності пластівців гідроксиду феруму (II), що утворюються після введення у воду його солей, сорбувати молекулярно- і колоїдно-дисперсну силіцієву кислоту.

Установка для знесиліціювання сульфатом феруму (II) або хлоридом феруму (III) складається зі змішувача, дозаторів реагенту і вапняного молока, вихрової камери для перемішування, прояснювача, фільтра і насоса для циркуляції осаду.

Для зменшення вмісту силіцієвої кислоти із $12\text{--}14$ до 2 мг/дм^3 витрачається $300\text{--}350\text{ мг}$ сульфату феруму (II). Оптимальне значення $\text{pH}=8,5\text{--}9,5$ підтримують, додаючи у воду вапно.

Знесиліціювання води солями алюмінію ґрунтується на здатності солей алюмінію утворювати гідроксид алюмінію з відповідними сорбційними властивостями. З цією метою застосовують сульфат алюмінію та алюмінат натрію.

В разі використання алюмінату натрію в процесі знесиліціювання утворюється малорозчинний натрієвий алюмосилікат на зразок пермутиту за такою реакцією:



При цьому концентрація залишкової силіцієвої кислоти в очищеній воді становить $0,5\text{--}2\text{ мг/дм}^3$. Застосування дешевшого сульфату алюмінію зменшує глибину знесиліціювання і збільшує вміст у воді сульфатів, що негативно впливає на якість води, особливо якщо її використовують для живлення парових котлів.

Знесиліціювання води фільтруванням крізь активоване завантаження здійснюють на фільтрах, завантажених магнезіальними сорбентами (напіввипаленим доломітом та спеціальним сорбентом, який отримують після оброблення подрібненого каустичного магнезиту сояною кислотою), активованим оксидом алюмінію та бокситами.

Якщо висота шару магнезіального сорбенту в фільтрі становить $3,4\text{--}4,0\text{ м}$, температура води – $40\text{--}50^\circ\text{C}$, швидкість фільтрування – 10 м/год , вміст силіціє-

вої кислоти у воді зменшується до $0,1-0,3 \text{ мг/дм}^3$. Один кубічний метр сорбенту поглинає до 90 кг SiO_2 .

Ефективними сорбентами є активований оксид алюмінію та боксити. За швидкості фільтрування $5-6 \text{ м/год}$ крізь шар таких сорбентів завтовшки $1,5 \text{ м}$ вміст силіцієвої кислоти зменшується до $0,1-0,5 \text{ мг/дм}^3$. Фільтр регенерують $0,1 \%$ -м розчином лугу. За один цикл 1 м^3 активованого оксиду алюмінію поглинає із води $10-12 \text{ кг}$ іонів SiO_3^{2-} . Перевагою фільтраційного способу є компактність установок та простота їх обслуговування.

Знесиліціювання води аніонітами із застосуванням у циклі іонітового знесолення сильноосновних аніонітів забезпечує зниження вмісту іонів SiO_3^{2-} до $0,03-0,05 \text{ мг/дм}^3$. Суть цього способу з одночасним знесоленням води полягає в тому, що воду пропускають крізь Н-катіонітові фільтри, де з неї вилучаються катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ . Потім вода проходить крізь фільтри із слабоосновним аніонітом, де вилучаються аніони сильних кислот (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_2^-). Оксид карбону (IV) видаляють з води в дегазаторах, після чого її пропускають крізь фільтри із сильноосновним аніонітом, де видаляється силіцієва кислота. Для отримання води із загальним вмістом силіцієвої кислоти менш як $0,03 \text{ мг/дм}^3$ застосовують тріступінчасті схеми іонування. Недоліком цього способу очищення води є його складність і дороговизна процесу.

Контрольні запитання

1. Назвіть джерела виникнення запахів і присмаків природних вод.
2. Дайте визначення процесу дезодорації води. В яких випадках його застосовують?
3. Які є способи дезодорації води?
4. У чому полягає суть процесів дезодорації води аерацією?
5. Поясніть схему і принцип роботи барботажного аератора.
6. Як працюють аератори розбризкувального і каскадного типів?
7. У чому полягає суть процесів дезодорації води із застосуванням окислювачів?
8. Які окислювачі застосовують для дезодорації води?
9. Які умови для застосування різних окислювачів для дезодорації води?
10. Які переваги й недоліки має застосування озону для дезодорації води?
11. Які переваги й недоліки має застосування перманганату калію для дезодорації води?
12. Які особливості має застосування хлору для дезодорації води?
13. Що таке перехлорування води?
14. Як здійснюється хлорування з амонізацією?
15. Поясніть сутність електрохімічної дезодорації.
16. Як здійснюється дезодорація води активованим вугіллям?
17. Технологічні особливості вуглювання води.
18. Для чого і як проводиться регенерація активованого вугілля?
19. У чому полягає суть окисно-сорбційної дезодорації води?
20. Які переваги має окисно-сорбційна дезодорація води порівняно з іншими способами?
21. Які застосовують методи для видалення з води отрутохімікатів?
22. Як можна видалити із води розчинені гази?

23. Залежно від яких параметрів і як змінюється розчинність газів у воді?
24. У чому полягає суть фізичних і хімічних способів дегазації води?
25. Які є фізичні способи дегазації води і в чому полягає їх суть?
26. Поясніть схему та принцип роботи плівкового дегазатору.
27. Поясніть схему та принцип роботи барботувального дегазатору.
28. Поясніть схему та принцип роботи дегазатору пінного типу.
29. Поясніть схему та принцип роботи термічного дегазатору.
30. Поясніть схему та принцип роботи вакуумного дегазатору.
31. Поясніть схему та принцип роботи вакуумного дегазатору з підігріванням.
32. Які є хімічні способи дегазації води і в чому полягає їх суть?
33. Які реагенти застосовують для видалення залишкового кисню?
34. Які реагенти застосовують для видалення сірководню?
35. Джерела радіаційного забруднення води.
36. Як очищають воду від радіоактивних забруднень?
37. Застосування відстоювання для видалення радіоактивних речовин.
38. Застосування фізико-хімічних методів для видалення радіоактивних речовин.
39. Особливості застосування коагулювання для видалення радіоактивних речовин.
40. Особливості застосування фільтрування для видалення радіоактивних речовин.
41. Особливості застосування сорбентів для видалення радіоактивних речовин.
42. Застосування електролітичних методів.
43. Для чого проводять знесіліціювання води?
44. Методи видалення з води силіцієвої кислоти.
45. Знесіліціювання води вапном.
46. Знесіліціювання води солями феруму та алюмінію.

ЗМ 1.2 ОПРІСНЕННЯ Й ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ

ТЕМА 6 ОПРІСНЕННЯ Й ЗНЕСОЛЕННЯ ВОДИ

- 1. Характеристика методів знесолення і опріснення води.**
- 2. Знесолення води із зміною її агрегатного стану: дистиляція, геліоопріснення, виморожування, газгідратний метод.**
- 3. Методи запобігання утворенню накипу на поверхні нагрівання теплообмінної апаратури.**
- 4. Знесолення води без зміни її агрегатного стану: екстракція, електродіаліз, зворотний осмос.**

1 Характеристика методів знесолення і опріснення води

Процес видалення солей з води залежно від ступеня їх витягання називається *знесоленням* або *опрісненням*. При *знесолюванні* води концентрація розчинених солей знижується до межі, близької до вмісту їх в дистильованій воді; при *опрісненні* – до концентрації, допустимої при використанні води для господарсько-питних цілей.

Методи знесолення і опріснення води розділяють на дві основні групи: *із зміною і без зміни агрегатного стану*.

До *першої групи* методів відносяться:

- дистиляція;
- нагрів води понад критичної температури (350°C);
- заморожування
- газгідратний метод;

до *другої групи*:

- електродіаліз;
- зворотний осмос (гіперфільтрація);
- ультрафільтрація;
- екстракція;
- іонний обмін та ін.

Найбільш поширеними в практиці водоочистки є дистиляція, іонний обмін зворотний осмос і електродіаліз.

Вибір методу обумовлюється якістю води, що очищається, вимогами споживача до якості очищеної води, продуктивністю установки і техніко-економічними міркуваннями.

2 Знесолення води із зміною її агрегатного стану: дистиляція, геліоопріснення, виморожування, газгідратний метод

Метод опріснення і знесолення **дистиляцією** відноситься до найпоширеніших. Він заснований на випаровуванні води з подальшою конденсацією пари. Для випаровування використовують теплоту, що виділяється при згоранні палива, теплоту конденсації пари, енергію сонячних променів, атомних реакторів і т.д.

Дистиляція води здійснюється у випарниках різних конструкцій.

Проста одноступінчаста випарна установка (рис. 6.1) складається з котла,

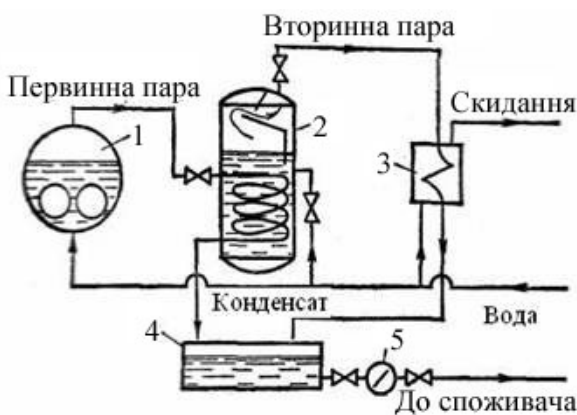


Рисунок 6.1 – Схема одноступінчастої випарної установки:

- 1 – котел; 2 – випарник; 3 - конденса-тор;
- 4 – збірник знесоленої води;
- 5 - насос

де утворюється пара при кип'ячінні води, випарника із змійовиком, конденсатора пари, збірника знесоленої води і насоса для подачі знесоленої води споживачу. Вода в котлі нагрівається до кипіння. Первинна пара з котла поступає в змійовик випарника і конденсується, утворюючи практично знесолену воду.

За рахунок теплоти, відданої первинною парою, що конденсується, утворюється вторинна пара з води, що знесолюється. Вторинна пара, поступаючи в конденсатор випарної установки, конденсується і зливається в загальний збірник знесоленої води, звідки вона насосом подається за призначенням.

Залежно від вимог, що ставляться до оброблюваної води, одержаний дистилят може розбавлятися вихідною водою до досягнення заданого вмісту солей.

Об'єм випарника за висотою розділяється на водяний і паровий об'єми з межею між ними, що називається **дзеркалом випаровування**.

Розрізняють *випарники* з природною і штучною циркуляцією випаровуваної води; вертикальні й горизонтальні (залежно від положення корпусу випарника); випарники, що працюють під тиском пари нижче (вакуумні випарники) і вище за атмосферний. Крім того, є багатоступінчасті випарні установки, великою перевагою яких є те, що на одиницю вихідної первинної пари вдається одержати значно більшу кількість знесоленої води. Для установок, що мають 50–60 ступенів, на 1 т гріючої пари виробляється 15–20 т опрісненої води.

У чотириступінчастій випарній установці (рис. 6.2) гріюча гостра пара поступає в перший ступінь випарної установки, конденсується і у вигляді знесоленої води зливається в збірний бак;

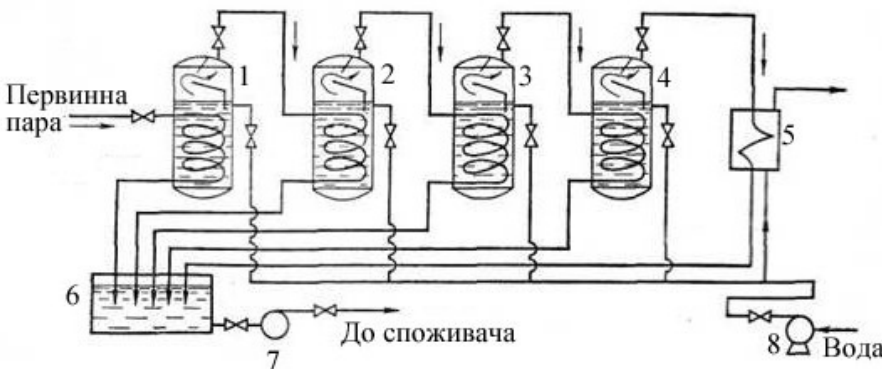


Рисунок 6.2 – Схема чотириступінчастої випарної установки:

1-4 – відповідно перший, другий, третій і четвертий ступені випарної установки; 5 – поверхневий охолоджувач; 6 – бак для збору знесоленої води; 7 – насос для перекачування знесоленої води; 8 – насос для живлення випарників

збірний бак; вторинна пара, що утворилася в першому ступені випарника, є гріючою парою для другого ступеня і, сконденсувавшись, також поступає в збірний бак знесоленої води; пара, що утворюється в другому ступені випарника, є гріючою парою для наступного ступеня і т.д. При цьому температура і тиск пари від ступеня до ступеня знижуються.

Температура і тиск пари, що поступає в греючу секцію першого ступеня випарника, визначаються загальним числом ступенів у випарнику. Температуру пари на виході з останнього ступеня випарника приймають рівною 102–104 °С, а зниження температури на кожному ступені випаровування – 12–13 °С. Отже, температура первинної пари в чотириступінчастій випарній установці повинна бути 165–167 °С.

Економічність випарних установок може бути підвищена застосуванням в їх схемі *термокомпресора* (парокомпресора).

Суть дії термокомпресора (рис. 6.3) полягає в тому, що в нього засмоктується вторинна пара, тиск і температура якої термокомпресором доводяться приблизно до температури і тиску первинної пари. Перетворена таким чином вторинна пара знову поступає на перший ступінь випарника. Термокомпресором вдається знизити витрату гріючої пари на одиницю виходу знесоленої води і тим самим підвищити економічність роботи опріснювальних установок. Сьогодні термокомпресори застосовують в багатоступінчастих схемах випаровування води.

У *випарниках адіабатного типу* (випарниках миттєвого скипання) (рис. 6.4) вода випаровується як з поверхні крапель при їх надходженні в каме-

ру через отвір або сопло, так і з поверхні води, що заповнює нижню частину камери. Тепло через гріючу поверхню труб не передається. Тиск в камері випаровування підтримується нижче за тиск, відповідний температурі насичення генерованої пари.

При опрісненні солоних вод методом дистиляції надто складними є проблеми, пов'язані із запобіганням утворення накипу і корозії на поверхні теплообмінної апаратури, а в зв'язку з цим і питання підвищення коефіцієнта теплопередачі.

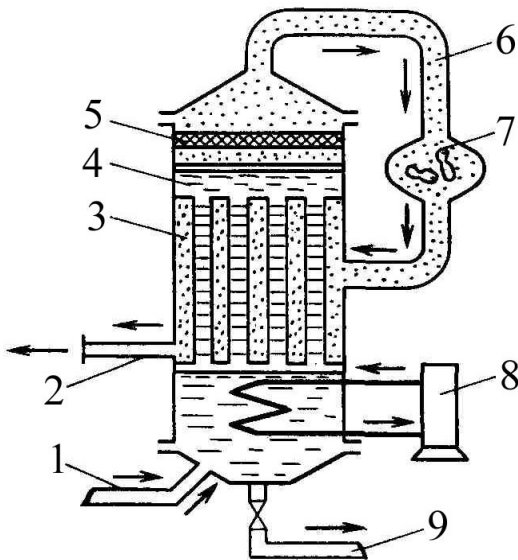


Рисунок 6.3 – Термокомпресійна опріснювальна установка:

- 1 – подача вихідної води; 2 – відведення опрісненої води; 3 – теплообмінник-конденсатор; 4 – випарник; 5 – сепаратор; 6 – вторинна пара; 7 – вакуум-компресор; 8 – пусковий котел; 9 – скид розсолу

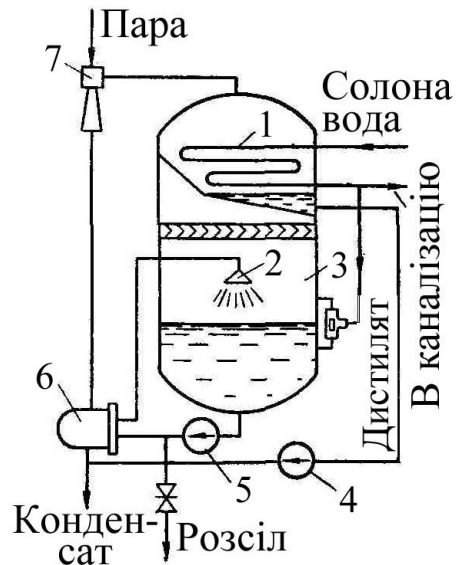


Рисунок 6.4 – Одноступінчастий адиабатний випарник:

- 1 – конденсатор; 2 – сопло; 3 – камера випаровування; 4 – насос; 5 – циркуляційний насос; 6 – підігрівач; 7 - паровий ежектор

Одним із способів вирішення цих питань є вибір безповерхневої системи, в якій теплообмін між гідрофобним (що не змішується з водою) теплоносієм і солоною водою здійснюється в краплинних і струменевих теплообмінниках. Як гідрофобні теплоносії можуть бути використані різні суміші граничних і неграничних вуглеводнів, різні типи парафінів, фторуючі масла.

Гідрофобний теплоносій не повинен розчинятися у воді і добре від неї відділятися, не утворювати емульсії; в нього повинна бути відсутньою сорбційна здатність відносно до розчинених у воді солей; а також теплоносій повинен бути термічно стійкий і володіти значною теплоємністю.

За пропонованою схемою (рис. 6.5, а) в контактний теплообмінник через перфоровану поверхню, розташовану у верхній частині відсіку *al*, вводиться гідрофобний теплоносій, що нагрівається дистилятом другого контура. Тепло дистиляту другого контура передається через звичайний трубчастий теплообмінник *A* теплоносієм першого контура енергетичного джерела.

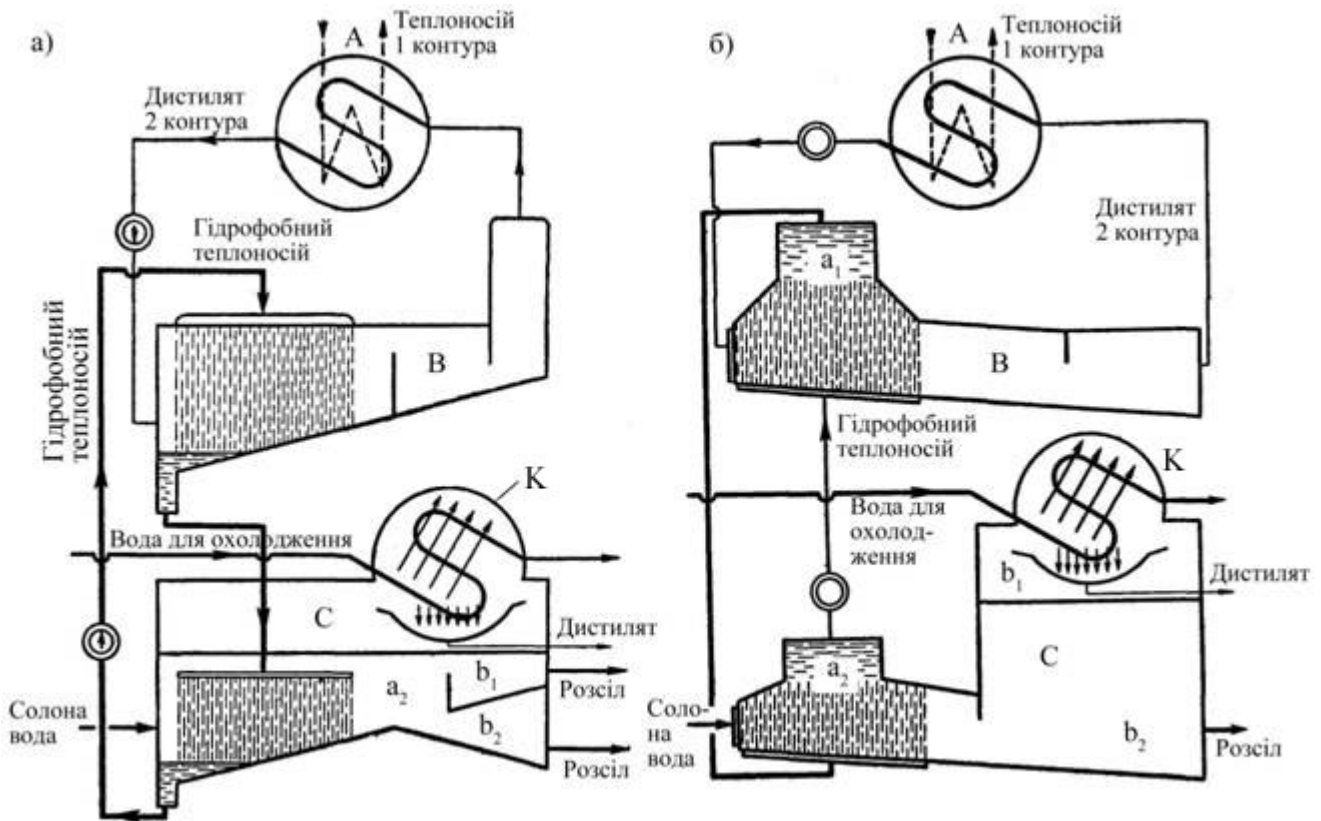


Рисунок 6.5 – Схеми дистиляційних установок з гідрофобним теплоносієм:

а – важче за воду; б – легше за воду;

A – трубчастий теплообмінник; B – контактний теплообмінник; C – вакуумна ємкість

Щоб уникнути винесення гідрофобного теплоносія в трубчастий теплообмінник, напірна ємкість *B* розділена перегородками на відсіки.

З контактного теплообмінника *B* гідрофобний теплоносіє поступає в ємкість, що знаходиться під вакуумом, *C*, куди він вприскується через спеціальну розподільну систему під поверхню рухомого в ємкості потоку солоної води. Краплі або струмені теплоносія, перетинаючи цей потік зверху вниз, віддають тепло солоній воді і збираються в нижній частині відсіку *a₂* ємкості *C*; з цього відсіку гідрофобний теплоносіє насосом подається знову в контактний теплообмінник *B*.

Нагріта в камері *C* солонна вода випаровується під вакуумом, конденсуючись в трубчастому конденсаторі *K*, і відводиться у вигляді товарного дистиляту. Розсіл з камери *C* скидається безперервно або періодично з відсіків *b₁* і *b₂*.

Схема дистиляції з гідрофобним теплоносієм легше за воду аналогічна схемі, розглянутій вище, з тією лише різницею, що нагрітий гідрофобний теплоносіє, спливаючи, перетинає потік морської води від низу до верху (рис. 6.5, б).

Вказаний метод нагріву морської води не має недоліків, властивих трубчастим теплообмінникам, але вимагає ретельного наукового обґрунтування і дослідно-конструкторських розробок.

У районах із жарким кліматом для опріснення води використовують теплоту сонячних променів – *геліодистиляцію*. Для цього застосовують установки парникового типу та установки з концентруванням сонячних променів оптичними методами. *Установки парникового типу* (рис. 6.6) – це ємкості зі світло-

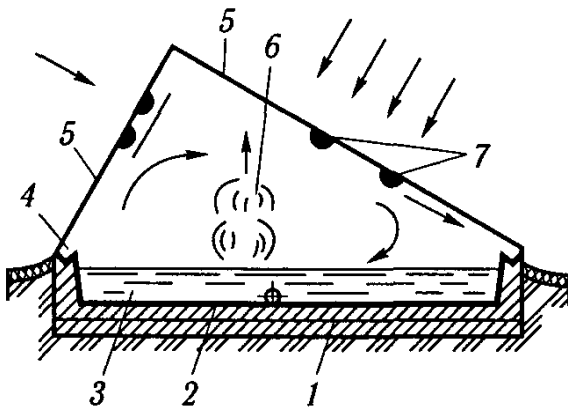


Рисунок 6.6 – Схема сонячного опріснювача парникового типу:
 1 – водонепроникна основа; 2 – «чорне дно»; 3 – шар солоної води; 4 – лоток для збирання дистилату; 5 – застелення;
 6 – пара; 7 – конденсат

мерзнуть в агрегати. Кожен агрегат є групу кристалів прісного льоду, між якими є порожнини, заповнені розсолон. Тому при розтопленні таких агрегатів кристалів льоду виходить лише частково опріснена вода. Проте якщо нагрівати такий лід поступово, замерзлий між кристалами прісного льоду розсіл перейде в рідкий стан і стече раніше, ніж почнуть танути кристали прісного льоду. Розсіл, що розтанув, стікає, лід опріснюється, і при подальшому таненні утворюється прісна вода.

Опріснення води може бути здійснено *природним холодом* (у природних умовах) або *штучним виморожуванням*.

До переваг способу *виморожування у природних умовах* можна віднести простоту технологічної схеми і влаштування конструкцій, відносно низьку вартість будівельних матеріалів, малий відсоток амортизації основних споруд, а також зручність експлуатації за відсутності необхідності в кваліфікованому обслуговуванні.

Але цей спосіб має і безліч недоліків, а саме: низьку питому продуктивність, порівняно високі капітальні витрати на спорудження, обмежені можливості застосування природного виморожування у промислових масштабах і неможливість його використання для будь-якого географічного району з різними кліматичними умовами.

У даний час вважається найбільш доцільним застосування виморожування у природних умовах для водопостачання невеликих селищ. Для міського і промислового водопостачання найбільш прийнятним є *штучне виморожування*.

Морську воду можна охолоджувати *непрямим виморожуванням*, при якому тепло кристалізації віднімається від розчину солі через стінку; *випаровуванням води у вакуумі* і, нарешті, можна використовувати *пряме охолодження солоної води* при безпосередньому контакті її з гідрофобним (що не змішується з водою) холодильним агентом, причому тепло кристалізації віднімається випаровуванням хладагента.

поглинальним дном, які заповнюють водою. Над ними похило розміщують покриття зі скла або прозорої пластмаси. Пара води, яка охолоджується холодним атмосферним повітрям, конденсується на внутрішній поверхні покриття, і краплі стікають у периферійні лотки. Залежно від конструкції та використовуваних матеріалів продуктивність геліоопріснювачів досягає $10 \text{ дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$.

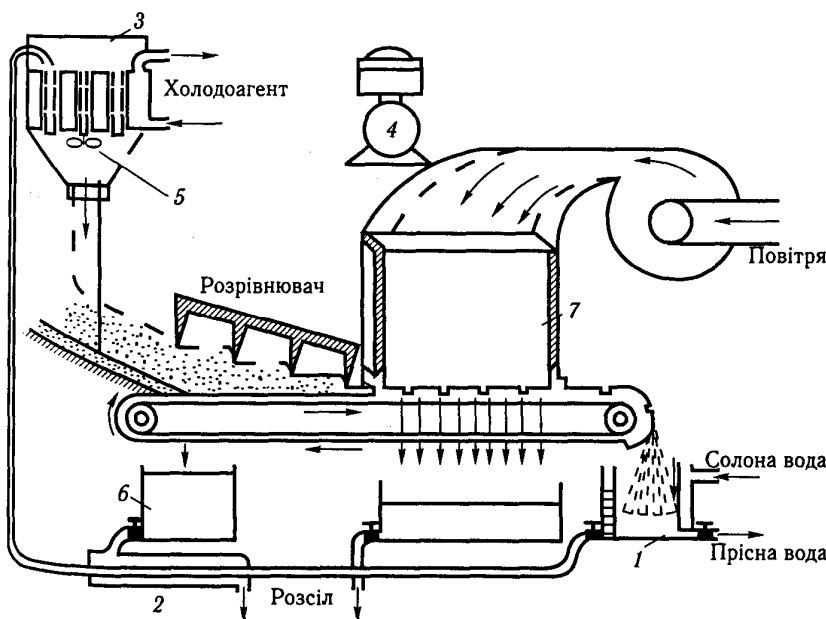
Опріснення води *заморожуванням* засноване на різниці температур замерзання солоної і прісної води: солоня вода замерзає при нижчій температурі, ніж прісна. Тому при повільному охолодженні солоної води нижче за 0°C утворюються кристали прісного льоду, які потім

Найбільш перспективними холодоагентами є бутан, пропан, ізобутан, фреони ФС-318, Ф-12, Ф-142 та інші речовини, що не змішуються з водою і нетоксичні.

Опріснення води виморожуванням складається з трьох операцій: утворення кристалів льоду, відділення їх від розсолу і плавлення льоду.

Хоча при замерзанні води кристали льоду практично не містять солей і є чистою водою у твердій фазі, відділення їх від розсолу представляє значну трудність, оскільки лід і концентрований розсіл, що залишився, майже не відрізняються за щільністю, і автоматичного відділення різнорідних фаз, подібно сепарації пари в процесах дистиляції, не відбувається. Промиті кристали льоду розплавляють шляхом конденсації на них пари охолоджуючого агента, що знаходиться під тиском, або за рахунок тепла енергетичних установок.

При заморожуванні води *охолодженням через теплопередавальну стінку*



вода поступає спочатку в два теплообмінники, де вона заздалегідь охолоджується потоками танучого прісного льоду і холодного розсолу, що відводиться в стік, а потім в льодогенератор, усередині якого частково заморожується.

Лід утворюється за рахунок циркулюючого по змійовику хладагента (використовується розсіл, що охолоджується до температури $-8-10^{\circ}\text{C}$ холодильною машиною). Для інтенсифікації процесу заморожування вода

Рисунок 6.7 – Схема виморожувальної установки з охолодженням води крізь теплопередавальну стінку:

- 1, 2 – теплообмінники; 3 – льодогенератор; 4 – холодильна установка; 5 – мішалка; 6 – приймальний бак;
- 7 – камера плавлення

перемішується мішалками. Цим досягається зниження утворення шару льоду на поверхні теплообміну і збільшення коефіцієнта теплопередачі. Тривалість перебування води в льодогенераторі складає 45–60 хв. За цей час третина поступаючої в нього води встигає замерзнути. З льодогенератора суміш льоду і розсолу поступає на стрічковий транспортер. Незамерзлий розсіл стікає в проміжний збірник, а потім через другий теплообмінник видаляється з системи. Лід, що залишився, переміщується транспортером через плавильну камеру, де стикається з теплим повітрям, що подається повітродувкою, і тане. Частина талої води скидається разом з розсолем, промиваючи кристали льоду, а очищений лід поступово розтоплюється і потрапляє у збірник прісної води, звідки через перший теплообмінник подається споживачу. Установа має продуктивність близько 40 т/доб.

Вихід прісної води на 1 т солоної коливається від 0,2 до 0,3 м³ залежно від її солевмісту.

Спосіб контактного виморожування через теплопередавальну стінку неекономічний і не може, мабуть, розглядатися в застосуванні до крупних промислових установок. Проте він широко використовується в установках малої продуктивності (40 кг/год.).

Заморожування шляхом випаровування солоної води під вакуумом. Відомо, що з пониженням тиску вода починає кипіти при температурі нижче за 100°C. Можна створити такий низький тиск, що вода закипатиме при температурі її замерзання. Так, при тиску 3,3 мм рт. ст. вода кипить при температурі – 3,3 °С, при цьому утворюються водяні пари і лід у відношенні 1:7,5. Таким чином, вода стає хладагентом, її випаровування відбувається при безпосередньому контакті з солоною водою, і це виключає необхідність влаштування теплопередавальної стінки і забезпечує високий коефіцієнт теплопередачі, а значить, і малі температурні перепади. Тому енергетичні витрати, пов'язані з втратами тепла, скорочуються.

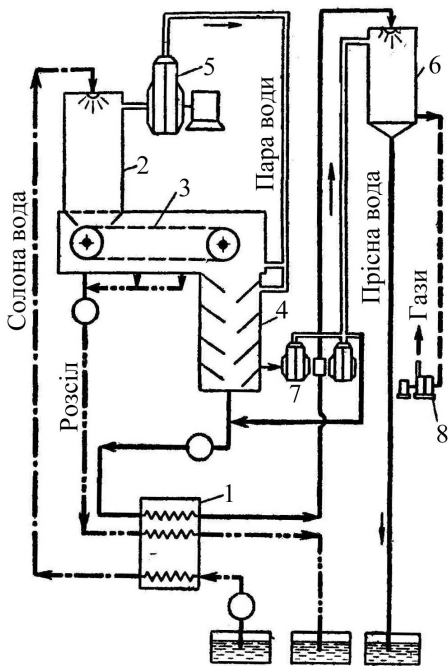


Рисунок 6.8 – Схема процесу опріснення води виморожуванням при випаровуванні її в умовах глибокого вакууму:

- 1 – теплообмінник; 2 – вакуумний заморожувач;
- 3 – стрічковий транспортер;
- 4 – плавильна камера; 5 – компресор;
- 6 – конденсатор;
- 7 – двоступінчастий компресор; 8 – вакуумний насос

Один з принципів опріснення води заморожуванням в умовах глибокого вакууму полягає в наступному (рис. 6.8). Солона вода насосом подається в теплообмінник, де заздалегідь охолоджується до температури -1 °С потоками прісної води і розсолу. Далі вода впорскується у вакуумний заморожувач і там внаслідок низького тиску починає кипіти при температурі <-3,9 °С. Близько 7 % її випаровується, а приблизно половина перетворюється на лід. Відділення і відмивання кристалів льоду від розсолу відбувається на стрічковому транспортері, за допомогою якого чистий лід переміщується в плавильну камеру, тут він розтоплюється при контакті з водяними парами, що відсмоктують з вакуумного заморожувача і стискаються компресором. Розсіл, що відокремився, перекачується насосом через теплообмінник в проміжну ємність, а потім віддається в стік. Прісна вода насосом через теплообмінник подається в барометричний конденсатор, звідки поступає в бак і далі до споживача. Оскільки тепловий баланс в системі «вакуумний заморожувач – камера плавлення льоду» забезпечити вельми важко внаслідок недосконалості конструкції парових компресорів, а також в результаті теплових втрат, у схемі передбачений двоступінчастий компресор. З його допомогою частина пари, що несконденсувалася в плавильній камері, стискається (це підвищує її температуру) і перекачується в конденсатор, де охолоджується потоком прісної води з тепло-

обмінника, перетворюється на дистилат. Гази, що не конденсуються, видаляються із системи вакуумним насосом.

Пряме заморожування солоної води при безпосередньому контакті її з гідрофобними холодоагентами. Роботи, що проводилися за останній час у напрямі зниження вартості опріснення води методом виморожування, привели до створення сучасних схем із застосуванням легкокиплячих холодоагентів, що не змішуються з водою. До таких холодоагентів належать зріджені вуглеводневі гази: бутан, ізобутан, фреони, які практично не розчиняються у воді і киплять при температурі і тиску, близьких до атмосферного. Остання обставина виключає труднощі, пов'язані з необхідністю підтримки глибокого вакууму, а, отже, дозволяє значно скоротити габарити устаткування.

Солона вода, пройшовши спочатку деаератор, де відбувається видалення розчинених в ній газів, а потім фільтр, поступає в теплообмінник (рис. 6.9). Там

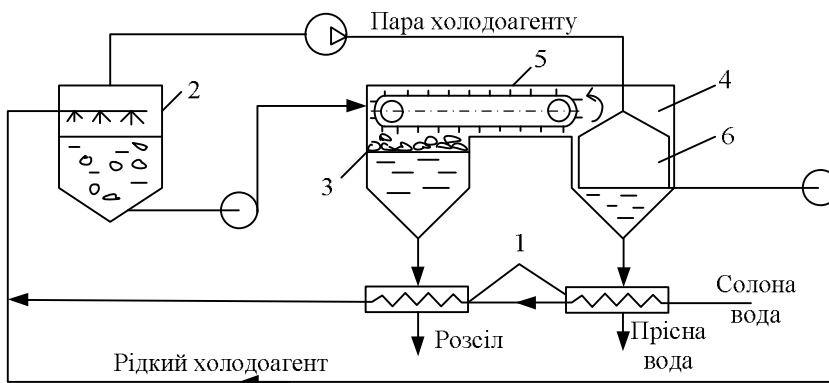


Рисунок 6.9 – Схема опріснення води контактним виморожуванням з використанням гідрофобного холодоагента:

- 1 – теплообмінник; 2 – заморожувач; 3 – сепараційна камера; 4 – конденсатор; 5 – транспортер; 6 – камера плавлення

розділову камеру, де відбувається сепарація і очищення кристалів льоду від солей і розсолу. Очищений лід переміщується транспортером в плавитель, де тане під дією тепла стислої пари бутану. Пройшовши відстійник-роздільник, суміш рідкого бутану і прісної води розшаровується. Бутан повертається в заморожувач, а прісна вода відводиться до споживача.

Газогідратний метод опріснення відноситься до методів з використанням штучного холоду і за апаратурним оформленням подібний виморожуванню з вторинним холодоагентом. Процес полягає в отриманні кристалів контактом солоної води з гідратуотворювальною речовиною, подальшою сепарацією їх від розсолу і плавленням. Для його здійснення установка повинна включати такі основні апарати: реактор-кристалізатор, сепаратор кристалів, конденсатор-плавитель і дегазатори прісної води і розсолу.

Найбільш перспективними для опріснення гідратуотворювачами є пропан, хлор, фреон-40, етилен, фреон-31, циклопропан та ін.

Володіючи всіма достоїнствами прямоконтактного виморожування, газогідратний метод вигідно відрізняється від нього вищою температурою проведення процесу, чим дозволяє скоротити втрати холоду в навколишнє середови-

вона заздалегідь охолоджується до температури $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ і далі перекачується в заморожувач. Одночасно в заморожувач подається рідкий бутан, внаслідок випаровування якого утворюються кристали льоду. Пари бутану відсмоктуються компресором і подаються в конденсатор-плавитель, суміщений з відстійником-роздільником. Суміш кристалів льоду з розсолу прямує в

ще. При використанні газогідратного методу ліквідується один з основних недоліків опріснення виморожуванням – небезпека замерзання промислової води в шарі кристалів льоду.

При певних температурах і тиску в результаті контакту перерахованих газів з водою утворюються тверді кристалогідрати, які можна описати формулою загального виду $mM \cdot nH_2O$, де M – молекула гідратуотворювального газу; m – кількість молекул газу; n – кількість молекул води.

Газгидрати є льдоподібні кристали, що складаються з молекул води і неполярних молекул газів. На кожен молекулу гідратуотворювального газу доводиться від 7 до 18 молекул води. Різні гідратуотворювальні агенти відрізняються за своїми властивостями і вартістю. При порівняно низькій теплоті гідратуотворення пропан володіє здатністю приєднувати найбільше число молекул води, є відносно недорогим і доступним для широкого використання.

Технологічна схема опріснювальної кристалогідратної установки складається з чотирьох процесів, які протікають в наступній послідовності:

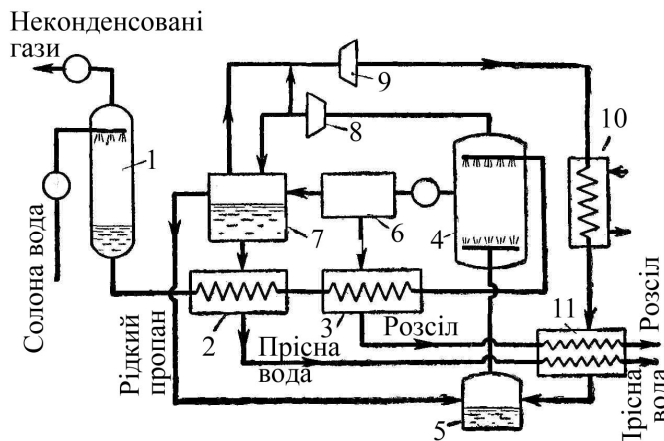


Рисунок 6.10 – Схема газгідратного процесу опріснення води:

- 1 – деаератор; 2, 3, 11 – теплообмінники;
- 4 – реактор; 5 – ресивер; 6 – колона сепарації;
- 7 – плавильник; 8 – компресор;
- 9 – компресор високого тиску;
- 10 – конденсатор

крystalізація, сепарація, очищення і плавлення (рис. 6.10). Утворення кристалогідратів відбувається при змішенні рідкого газу з водою. При цьому частина газу випаровується, охолоджуючи воду, а інша частина, з'єднуючись з нею, утворює кристалогідрати. Процес здійснюється у спеціальному реакторі-кристалізаторі, в який знизу подається газ, а зверху – солонна вода. Для інтенсифікації гідратуотворення застосовуються мішалки, що перемішують суміш.

Сепарацію кристалогідратів від суспензії здійснюють різними методами. Для цих цілей можуть бути застосовані: фільтрування, центрифугування, пресування і, нарешті, відділення кристалогідратів від розсолу під дією гравітаційних сил.

Затримані кристалогідрати промиваються прісною водою, а потім під дією тепла плавляться, утворюючи газ і прісну воду.

3 Методи запобігання утворенню накипу на поверхні нагрівання теплообмінної апаратури

Найбільш складною проблемою в опрісненні і знесоленні сольових вод дистиляцією є запобігання утворення накипу у випарниках.

Обробку солоної води в опріснювальних установках можна розділити на попередню, при якій солі кальцію і магнію виводяться перед системою, і внутрісистемну, коли накипоутворювальні компоненти виділяються на кристалічній приманці, що циркулює в установці і має такий же склад, як накип, або осіда-

ють у вигляді шламу і періодично видаляються під час продування. У зв'язку з цим можливі наступні методи **боротьби з утворенням накипу**:

1. **Реагентні методи**, що підрозділяються на:

а) **фізичні**, при яких присадки (приманки), що вводяться у воду, не вступають в хімічну реакцію з водою; до них слід віднести метод контактної стабілізації (введення приманки), застосування різних присадок у вигляді антинакипінів;

б) **хімічні**, до яких відносяться попереднє підкислення, підлужування, содово-вапняний спосіб, попередня іонообмінна обробка, термохімічна обробка води та інші.

2. **Безреагентні методи**, пов'язані в основному з електрообробкою води. До них відносяться *магнітна, ультразвукова, електророзрядна і електрополяризаційна* обробка води.

Кожний з перерахованих методів має свої переваги і недоліки, залежно від вибраної технології опріснення.

Метод контактної стабілізації полягає в тому, що в нагріту і випаровувану солону воду додають порошкоподібні присадки у вигляді тонкорозмолотих гіпсу, карбонату кальцію (технічної крейди, алебастру), гідроокису магнію, кварцевого піску і ін. Частинки зернистих присадок служать центрами кристалізації речовин, створюючих накип, і завдяки великій питомій поверхні цих частинок створюються умови, при яких велика частина накипоутворювальних сполук кристалізується на поверхні частинок зернистої присадки, а не на елементах, що гріються.

При обробці солоної води **антинакипінами**, поверхнево-активними речовинами уповільнюється процес кристалізації карбонату і сульфату кальцію. Існують антинакипіни, що осаджують накипоутворювачі у вигляді шламу, що видаляється під час продування випарників.

Для **попереднього зм'якшування води** до подачі у випарник необхідна споруда громіздких і дорогих водозм'якшувальних установок реагентного типу, оскільки катіонування води з високим вмістом натрію неекономічне і не забезпечує достатнього зм'якшення води. Може бути використаний метод **попереднього підкислення**, направлений на утворення CO_2 і переведення накипоутворювальних речовин в розчинні сполуки; різні **методи зм'якшування**, в т.ч. термічний і термохімічний; введення хлориду заліза (II), фосфатів та ін. сполук.

Безнакипний режим роботи випарників у сучасних умовах досягається також створенням досить глибокого вакууму у випарниках, що дає можливість знизити температуру випаровуваної води до 50°C і нижче.

До **фізичних методів** боротьби з утворенням накипу відноситься магнітна і ультразвукова обробка, в результаті якої змінюється фізичний стан солей твердості або води і утворюється нерозчинний шлам, що виводиться із системи при продуванні.

4 Знесолення води без зміни її агрегатного стану: екстракція, електродіаліз, зворотний осмос

Екстракція з розчинів є фізичним методом розділення рідких сумішей, заснований на неоднаковому рівноважному розподілі компонентів розчину між

двома фазами, що утворюються при введенні додаткової речовини – екстрагенту.

Процес екстракційного опріснення складається з трьох стадій:

- власне екстракції, що полягає у змішанні вихідної води і екстрагенту з подальшим розділенням водної і органічної фаз;
- сепарації – відділення екстрагованої води і розсолу від розчинника попереднім розшаруванням при зміні температури екстракту і рафінату;
- десорбції – витягання залишків розчинника з опрісненої води і розсолу (спосіб десорбції залежить від властивостей використовуваного екстрагента).

Як екстрагенти, що якнайповніше задовольняють вимогам процесу екстракції води, можуть використовуватися триетиламін, діетилметиламін, діпропиламін і інші рідкі, тверді й газоподібні розчинники.

Принципова схема опріснення води рідкими амінами наведена на рисунку 6.11. Основою її є вузол екстракції – сепарації. Процес протікає в

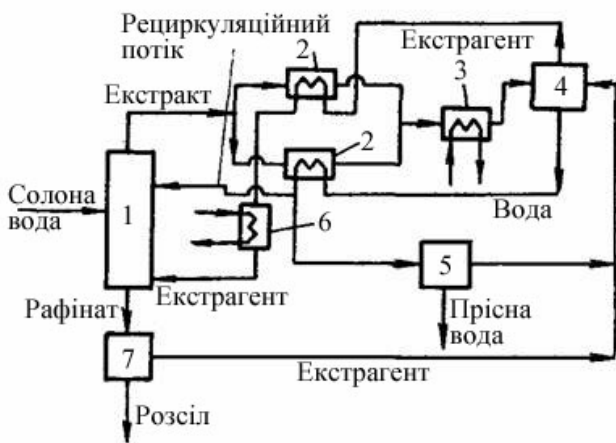


Рисунок 6.11 - Схема опріснення води екстракцією:

- 1 – протиточний екстракційний апарат;
- 2 – теплообмінники; 3 - нагрівач;
- 4 – сепаратор; 5, 6 – десорбційні апарати;
- 7 - холодильник

вихідній воді рекомендується циркуляція частини екстракту, що виділяється в сепараторі проміжним підігрівом.

Застосування методу екстракції найдоцільніше для опріснення малотвердих вод, забруднених органічними домішками. Широкому промислового впровадженню методу перешкоджає відсутність екстрагентів, які достатньо добре розчинюють сіль і не змішуються з водою, що не дозволяє використовувати їх для екстрагування з води сольових розчинів.

Процес опріснення солоних вод методом *електродіалізу* заснований на видаленні іонів солей з розчину під дією поля постійного електричного струму за допомогою селективнопроникних іонітних мембран.

Відділення іонів солей від води можна спостерігати, якщо у ванну з солоною водою помістити катод і анод, сполучені з джерелом постійного струму (рис. 6.12). Під дією різниці потенціалів починається переміщення іонів відпо-

протиточному екстракційному апараті, де солоня вода контактує з розчинником, що переміщується від низу до верху. Екстракт, що містить прісну воду, прямує через систему теплообмінників і нагрівач в сепаратор гравітаційного типу, де в результаті підвищення температури і зміни розчинності відбувається розділення фаз. Відокремлений розчинник через теплообмінник і холодильник повертається в цикл, а опріснена вода і рафінат із залишками розчинника прямують для його витягання в десорбційні апарати. З метою запобігання концентрації солей в екстрагенті при підвищеному вмісті солей у

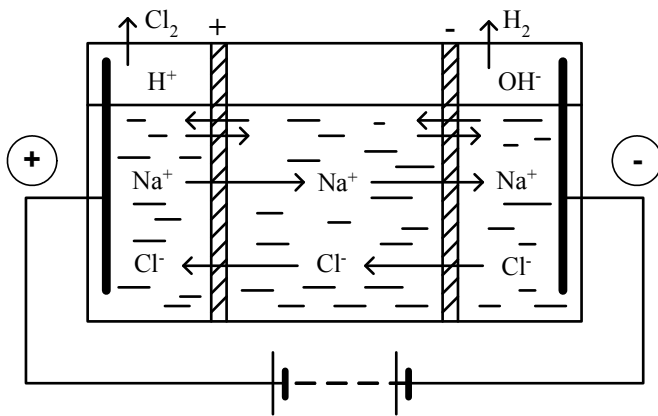


Рисунок 6.12 – Схема трикамерної електродіалізнаї ванни

відно до знаку їх заряду, тобто катіони пересуваються до катода, а аніони – до анода. При розрядці іонів на катодній пластині виділяється натрій, який миттєво розчиняється водою з утворенням луку, і вільний водень у вигляді бульбашок газу. Одночасно на поверхні анодної пластини виділяються кисень і хлор і утворюється соляна кислота в результаті взаємодії атомарного хлору з водою. Поблизу катода і анода вода стає відповідно лужною і кислою.

Якщо розділити ванну іонопроникними мембранами на три камери, то солоня вода, що знаходиться між мембранами, поступово опріснюється. Це відбувається тому, що в електродних камерах накопичуються іони H^+ і OH^- , які беруть участь в перенесенні електрики через центральну камеру, де вони з'єднуються, утворюючи воду. Іони ж Na^+ і Cl^- , що перейшли в електродні камери, видаляються з них разом з кислою і лужною водою.

Проте внаслідок дифузії відбувається одночасно і безладне переміщення іонів H^+ і OH^- , а також іонів солей, внаслідок чого останні знову повертаються з анодної і катодної камер в центральну. Для того, щоб виключити процес дифузії, необхідно, щоб іонопроникні мембрани володіли *селективністю*, тобто здатністю пропускати іони із зарядом одного знаку. Іншими словами, позитивно заряджені мембрани (аніоноактивні) повинні пропускати тільки аніони, а негативно заряджені (катіоноактивні) – тільки катіони.

Був одержаний численний ряд селективно-проникних мембран, що мають великий опір дифузії і високу електропровідність. До їх числа відносяться *гомогенні* (поліконденсаційні, внутрішньополімерні, щеплені, активовані), *гетерогенні* й *просочувальні* іонітні мембрани, що набули широкого поширення в сучасних електродіалізних установках. Іонітні мембрани виготовляють з органічних іонообмінних смол (катіонітів і аніонітів), що практично не розчинні у воді, активні групи яких здатні до обмінних реакцій в розчинах.

Отримання селективних іонопроникних (іонообмінних) мембран визначило можливість застосування багатокамерних електродіалізаторів з багатьма парами катіоно- і аніоноактивних мембран.

Такі установки є ваннами, що складаються звичайно з 100–200 гідравлічних камер, які можуть бути сполучені послідовно або паралельно з горизонтальною або вертикальною циркуляцією води (рис. 6.13). У даний час набули поширення переважно електродіалізні ванни фільтропресного типу. У цих ваннах мембрани, розташовані між катодом і анодом, розділені рамками з діелектрика. Під дією електричного поля іони, що знаходяться в розчині, приходять у впорядкований рух. Катіони рухаються в одному напрямі, а аніони в протилежному. При цьому селективнопроникні мембрани виключають можливість зворотного надходження іонів у знесолону воду. Таким чином, з непарних камер ні аніони,

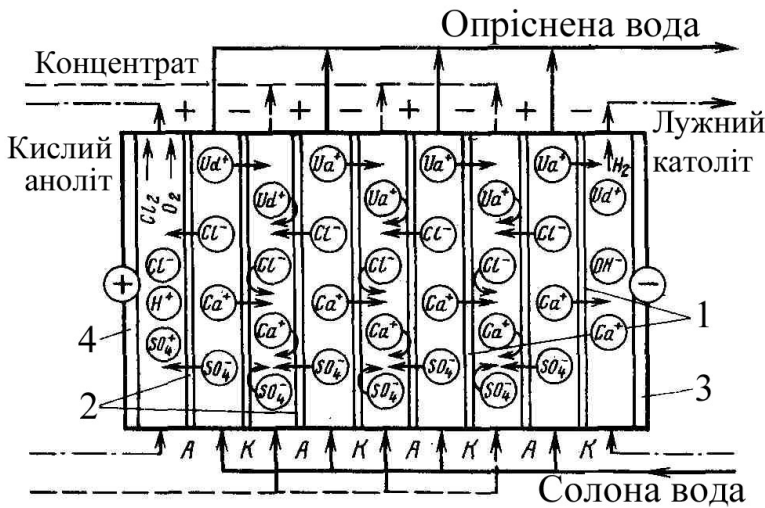


Рисунок 6.13 – Схема багатоканального електродіалітичного апарату:
1, 2 – іоноселективні катіонітві й аніонітві мембрани; 3 – катод; 4 – анод

ні катіони не можуть пройти в сусідні камери внаслідок того, що знак їх заряду співпадає із знаком відповідно катіоноактивних і аніоноактивних мембран. У результаті концентрація солей у воді в одних камерах (парних) починає падати, тобто відбувається процес опріснення, а в непарних, навпаки, концентрація солей зростає, що призводить до утворення розсолу. Одержані знесолена вода (ділюат) і концентрований розчин виводяться з системи.

Зворотний осмос (гіперфільтрація)

Під терміном *осмос* розуміється процес мимовільного перетікання менш концентрованого розчину в більш концентрований через розділяючу їх напівпроникну мембрану.

Якщо в посудині між солоною і прісною водою помістити напівпроникну перегородку, здатну пропускати воду і затримувати гідратовані іони розчинених у воді солей, то можна спостерігати, як прісна вода починає поступати у відсік із солоною водою (рис. 6.14, а).

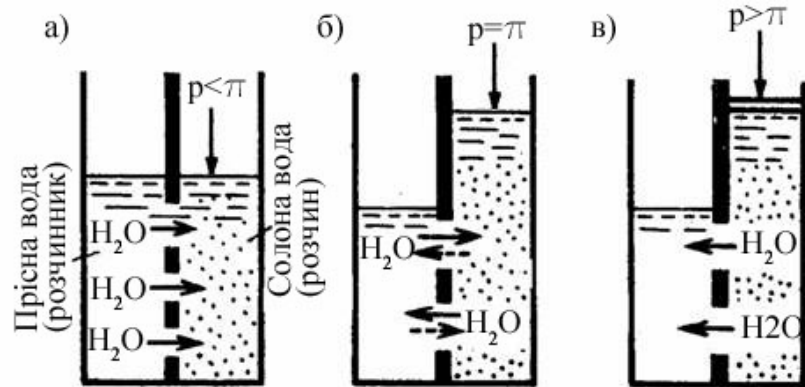


Рисунок 6.15 – Схема виникнення зворотнього осмосу:
а – осмос; б – рівновага; в – зворотній осмос

Перетікання чистої води відбувається внаслідок різниці концентрацій рідини по обох сторонах мембрани. Через якийсь час рівень прісної води стане помітно нижче за рівень солоного розчину. Різниця рівнів у момент сталої *рівноваги* і характеризуватиме осмотичний тиск розчиненої речовини в розчині (рис. 6.14, б).

Величина осмотичного тиску залежить від різниці концентрацій солей в розчинах.

Якщо створити в розчині тиск, що перевищує осмотичний, то виникає міграція молекул води в напрямі, зворотному її природному руху, тобто вода з розчину починає перетікати через мембрану в прісну воду (рис. 6.14, в). Такий процес відомий під назвою *зворотного осмосу*.

Опріснення солоної води методом зворотного осмосу ґрунтується якраз на процесі перетікання солоного потоку при створенні додаткового надмірного ти-

ску, що перевищує осмотичне, в напрямі від розчину до прісної води через розділяючі напівпроникні мембрани.

Явище осмосу може відбуватися без фазових перетворень, коли молекули води мігрують через канали мембрани, дуже вузькі для міграції іонів розчинених речовин. Це явище одержало назву *гіперфільтрації*.

Мембрани виготовляють з полімерних матеріалів, пористого скла, графіту, металевої фольги.

За виглядом мембранних елементів *зворотньоосмотичні апарати* діляться на плоскокамерні (рис. 6.15), рулонні (рис. 6.17), трубчасті (рис. 6.18) і з порожнистими волокнами (рис. 6.19).

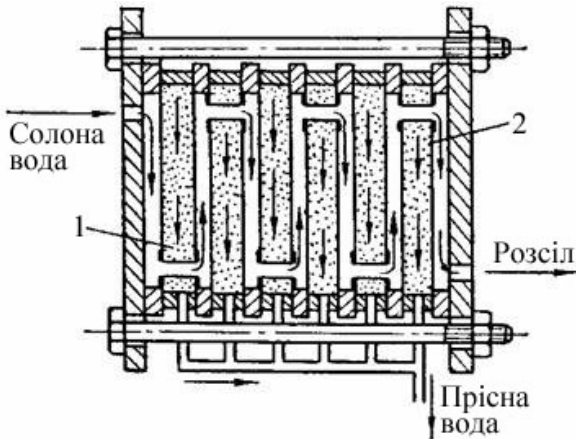


Рисунок 6.15– Схема зворотньоосмотичного апарату з плоскокамерними елементами:

1 – пористі пластини; 2 - мембрани

уздовж створюючих, опріснюється і у вигляді концентрату відводиться. Опріснена вода прямує по спіралевидних каналах до центру фільтруючого елемента і трубою відводиться з апарату. Ущільнюючі кільця перешкоджають попаданню солоня води в зазор між фільтруючими елементами і корпусом апарату.

На рисунку 6.18 наведена схема зворотньоосмотичного *апарату з трубчастими мембранами*, що поміщаються усередині пористих труб із склопластика. Схеми подібних апаратів можуть розрізнятися, якщо мембрани розташовуються зовні пористих труб або всередині і зовні труби.

Перспективним є використання зворотньоосмотичних апаратів з мембранами із порожнистих волокон, що є полімерними трубками діаметром 50–200 мкм (відношення діаметру до товщини дорівнює 4–5); вони здатні витримувати великий тиск. Такі волокна намотуються шарами навколо центральної пористої труби діаметром 120–220 мм і поміщаються в напірний циліндровий контейнер (рис. 6.19). Кінці волокон закріплюються у пробці з епоксидної смоли,

Апарати з плоскокамерними елементами (рис. 6.15) можуть бути виконані з металевих плит, що стягують пакети пластин з пористої бронзи, по обох сторонах яких розташовані мембрани. Солоня вода подається під високим тиском у простір між двома мембранами. Пористі плити, витримуючи величезний гідравлічний тиск, одночасно служать дренажною системою, через яку фільтрується прісна вода.

Солоня вода, яка потрапляє в корпус *апарату рулонного типу* (рис. 6.17), поступає в напірні канали рулонних фільтруючих елементів (рис. 6.16), рухається

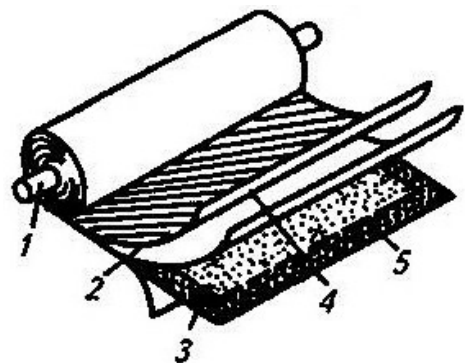


Рисунок 6.16 – Рулонний елемент в розмотаному вигляді:
1 – трубка відведення прісної води; 2 – мембрана; 3 – дренажний шар; 4 – сітка-сепаратор; 5 – область склеювання

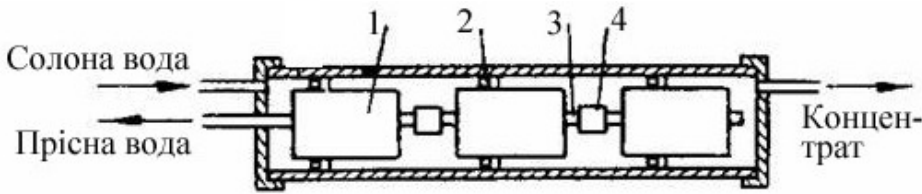


Рисунок 6.17 – Схема зворотньоосмотичного апарату рулонного типу:

1 – рулонний фільтрувальний елемент; 2 – ущільнювальне кільце; 3 – трубка водовідведення; 4 – муфта

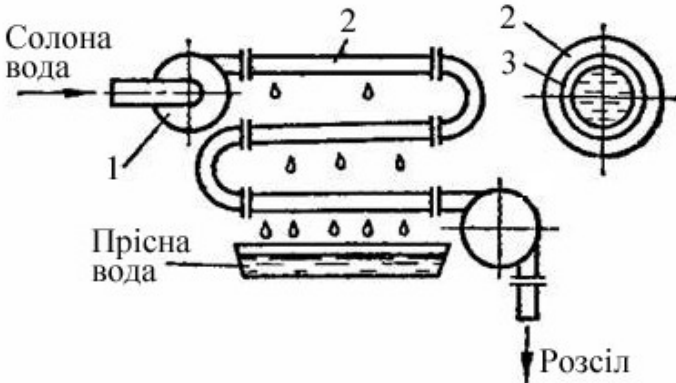


Рисунок 6.18 – Схема зворотньоосмотичного апарату з трубчастими мембранами:

1 – насос; 2 – пориста труба; 3 – мембрана

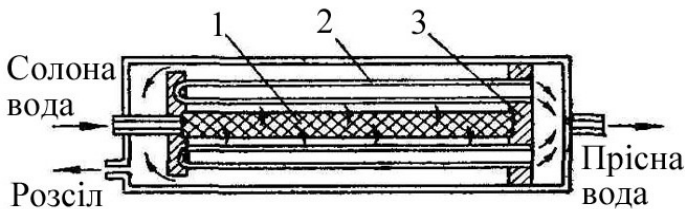


Рисунок 6.19 – Схема зворотньоосмотичного апарату з порожнистими волокнами:

1 – розподільна трубка; 2 – порожнисте волокно; 3 – перегородка камери фільтрату

утворюючи в торці камеру фільтрату, а концентрат солей відводиться з корпусу контейнера.

Застосування методу зворотного осмосу при сучасній конструкції відповідних апаратів обмежене

утворенням на поверхні мембрани соленасиченої плівки, яка значно знижує продуктивність таких апаратів.

Робочий тиск у зворотньоосмотичному процесі значно перевищує осмотичний, оскільки потужність процесу визначається різницею тисків. Так, для опріснення солоної води при вмісті солей 3,5 % робочий тиск у зворотньоосмотичному апараті становить 7–8 МПа, тоді як осмотичний тиск цієї води досягає 2,45 МПа. Потреба застосування високих робочих тисків, які можуть досягати 10–25 МПа для очищення та опріснення концентрованих розчинів, є значним обмеженням використання зворотнього осмосу, незважаючи на низькі питомі витрати енергії (у 8–10 разів менші порівняно з дистиляцією).

До баромембранних процесів

також належить ультра- та нанофільтрування.

Процес **ультрафільтрування** здійснюється під дією різниці тиску 0,05–0,5 МПа з обох боків мембрани. Ультрафільтрування застосовують для розділення систем, в яких молекулярна маса розчинених компонентів набагато більша за молекулярну масу розчинника (води). Для проведення ультрафільтрування використовують менш проникні мембрани, на відміну від зворотного осмосу, але які мають високий ступінь монодисперсності і певний ступінь гідрофільності або заряд поверхні.

З метою оптимізації більшості характеристик мембран є створення композиційних дво- і багатошарових мембран. Кожний із шарів виконує певну функцію. Високу механічну, термічну, хімічну і біологічну стійкість мають плоскі або трубчасті неорганічні (керамічні) мембрани. Ці мембрани можна регенеру-

вати термічними, хімічними або фізико-хімічними способами, але вони характеризуються нижчою продуктивністю і високою вартістю.

Нанofільтрування – процес розділення речовин при робочих тисках 1–2 МПа. У процесі нанofільтрування можуть частково (40–60 %) затримуватися низькомолекулярні електроліти. Солі з двозарядними йонами затримуються на 80–98 % і практично повністю (до 98–99,9 %) – органічні сполуки (спирти, цукри, пестициди, барвники та ін.). Дослідження довели, що цей процес за механізмом є зворотньоосмотичним. Нанofільтрування здійснюється в ультратонкому розділювальному шарі, оскільки нанofільтрувальні мембрани мають пори діаметром 1–3 нм.

Баромембранні установки повинні відповідати таким вимогам: корозійна стійкість, стабільність і герметичність при високому тиску; швидкість і зручність монтажу та демонтажу під час ремонту й транспортування, компактність і простота в обслуговуванні, можливість ефективного промивання та регенерації мембран; високі гідродинамічні характеристики; запобігання процесам відкладання осадів та гелеутворення; регулювання температури очищеної води.

Контрольні запитання

1. Сутність процесів опріснення і знесолення води.
2. У чому різниця термінів «опріснення» і «знесолення»?
3. Охарактеризуйте методи знесолення води без зміни її фазового стану.
4. Охарактеризуйте методи знесолення води, що реалізуються зі зміною її фазового стану.
5. Сутність опріснення води дистиляцією.
6. Принципова схема однокорпусної дистиляційної установки.
7. Принципова схема багатокорпусної дистиляційної установки.
8. Дистиляційна установка з термокомпресором.
9. Схема адиабатного випарника.
10. Геліоопріснення.
11. Методи запобігання утворенню накипу на поверхні нагрівання теплообмінної апаратури опріснювальних установок.
12. Використання гідрофобних. Використання гідрофобних теплоносіїв важче за воду.
13. Сутність опріснення води виморожуванням.
14. Застосування природного холоду для опріснення води.
15. Використання холодильних установок для опріснення води.
16. Опріснення води виморожуванням у вакуумі.
17. Опріснення води із застосуванням гідрофобних холодоагентів.
18. Газгідратний метод опріснення води.
19. У чому сутність екстракційного очищення води?
20. З яких технологічних операцій складається технологія екстракційної водопідготовки?
21. У чому полягає суть електродіалізу?
22. Охарактеризуйте фізико-хімічні властивості іонообмінних мембран?
23. Поясніть схему електродіалізного апарату.
24. Сутність процесу знесолення води зворотним осмосом.
25. Характеристика зворотньоосмотичних мембран.

26. Поясніть схему апарату з використанням листових мембран з плоским фільтруючим елементом.
27. Поясніть схему апарату з використанням листових мембран з рулонним фільтруючим елементом.
28. Поясніть схему апаратів з використанням трубчастих мембран.
29. Поясніть схему апарату з використанням мембран у вигляді порожнистого волокна. теплоносіїв легше за воду.

ЗМ 1.3 КОНДИЦІОНУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ

ТЕМА 7 КОНДИЦІОНУВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ

1. Характеристика якості води, отриманої після очищення різними способами водопідготовки.
2. Вимоги до якості води різних споживачів.
3. Стабілізаційне оброблення води.
4. Коригування мінералізації опрісненої води.
5. Коригування якості води у споживача.

1 Характеристика якості води, отриманої після очищення різними способами водопідготовки

Якість господарсько-питної води, отриманої за «традиційною» технологією. Станції, на яких очищують господарсько-питну воду переважно із поверхневих водних джерел, були спроектовані й побудовані близько 40–50 років тому. Вихідна вода мала підвищені каламутність, кольоровість і незначне бактеріальне забруднення. Тому «традиційна» технологія зазвичай передбачала коагулювання з використанням відстоювання чи фільтрування (інколи відстоювання з наступним фільтруванням на піщаних чи вугільних фільтрах) і знезараження переважно хлоруванням. Ця технологія із незначними удосконаленнями здебільшого застосовується й понині. Проте якість вихідної води із поверхневих джерел останнім часом істотно погіршилася. У ній унаслідок змивання з сільськогосподарських угідь ґрунту значно підвищився вміст біогенних елементів, зокрема нітратів, фосфору і калію, а також пестицидів, важких металів та інших речовин. Тому в більшості випадків після коагулювання та фільтрування з наступним хлоруванням зазначені забрудники не вилучаються до меж, установлених державним стандартом на питну воду.

Крім того, поява багатьох органічних речовин і хлорування води зумовлюють утворення нових, ще токсичніших речовин, наприклад діоксину. Тому потрібне істотне вдосконалення «традиційної» технології із застосуванням спеціальних прийомів – зворотного осмосу, електродіалізу, дистиляції, іонного обміну або комбінування зазначених методів. У деяких випадках слід зменшити вміст фтору, зм'якшити воду, видалити надлишковий вміст заліза, марганцю, радіонуклідів та інших небажаних домішок, що досягається застосуванням **спеціальних способів** оброблення води.

Якщо спостерігається дефіцит прісної води, високомінералізовану воду опріснюють чи знесолюють із застосуванням дистиляції, зворотного осмосу,

електродіалізу, екстракції, виморожування тощо. Опріснення призводить до істотного ускладнення технології водопідготовки, збільшення собівартості питної води та значної зміни її якості. Щоб забезпечити високу якість питної води, потрібно провести *кондиціонування*, тобто забезпечити необхідний її хімічний склад, органолептичні й бактеріологічні властивості. Отже, слід провести стабілізаційне оброблення води перед подаванням її споживачеві.

Якість води, отриманої дистиляцією. Дослідження дистиляційного опріснення високомінералізованої води свідчать, що якість дистиляту значною мірою залежить від складу вихідної солоної води, ефективності її попереднього очищення та роботи самих опріснювачів. Випаровування води в установках миттєвого закипання відбувається за температури 101–108 °С, а в останніх ступенях, що знаходяться під вакуумом, – за температури 35–45 °С. Пара, що утворюється за цих умов, майже не містить солей. Тому під час її конденсації отримують дистилят із надзвичайно низькою мінералізацією. Наявність невеликої кількості солей пояснюється крапельним виносом із сепараторів випарних апаратів або надходженням солоної води внаслідок негерметичності теплообмінників. Тому в дистиляті бувають значні коливання деяких компонентів.

Отриманий дистилят має невелику твердість – близько 0,15 ммоль/дм³, тобто він належить до дуже м'яких вод. За такої малої буферності середовища значення рН дистиляту коливаються в межах 6,2–8,2 і згідно з прийнятною класифікацією така опріснена вода є слабкокислою.

Унаслідок температурного розкладання гідрокарбонатів у випарних апаратах утворюється значна кількість карбонатної кислоти. Більша її частина видаляється за допомогою парових ежекторів або спеціальних здувок. В опрісненій воді залишається 0,8–4,8 мг/дм³ СО₂, внаслідок чого вона має певну корозійну активність. Концентрація агресивної карбонатної кислоти в дистиляті непостійна, оскільки залежить від режиму роботи опріснювачів.

Важливе санітарне значення має вміст у дистиляті деяких мікроелементів, особливо бромі і бору. Під час термічної дистиляції вони концентруються зазвичай у розсолі. В дистиляті їх залишається відповідно до 3,5 і 1,2 %. Проте концентрація бромі є все-таки вищою за ГДК для питної води (0,2 мг/дм³). Концентрація фтору, навпаки, є значно меншою, ніж за нормою.

Наявність у вихідній воді планктону та продуктів його розкладання сприяє утворенню у випарних апаратах летких органічних сполук. Випаровуючись із водяною парою, вони надають дистиляту неприємного запаху й присмаку. Тому дистилят має низьку органолептичну якість. Феноли також переганяються з водяною парою, а тому близько 20 % їх, що містяться в морській воді, потрапляють у дистилят. Токсикологічними дослідженнями встановлено, що за тривалого вживання дистилят негативно впливає на організм тварин і людини, зумовлюючи порушення водно-сольового обміну, внаслідок чого спостерігаються негативні зміни в травному каналі та гіпофізарно-адреналовій системі.

Мікробіологічними дослідженнями доведено повну стерильність дистиляту. Проте в аварійних ситуаціях (коли пошкоджуються нагрівні труби) у дистилят може потрапляти морська вода, внаслідок чого збільшується солевміст дистиляту до 200 мг/дм³, а колі-індекс при цьому зростає до 20 і більше. Тому дис-

тиляційне опріснення хоча і характеризується бактерицидною дією, проте не є достатньо надійним способом знезараження води. Дистилят за умови використання його в господарсько-питному водопостачанні потрібно обов'язково кондиціонувати. Крім того, потрібно проводити стабілізацію і зниження температури, доочищення від органічних речовин, корекцію сольового і мікроелементного складу та знезараження.

Якість води, отриманої зворотним осмосом. Характерною особливістю опріснення води зворотним осмосом є не лише висока його ефективність, а й значний ступінь очищення води від органічних домішок і мікроорганізмів (до 93–98 %). У разі використання високоселективних мембран (понад 98 % за вмістом хлорид-йонів) вміст високомолекулярних органічних речовин в очищеній воді може зменшуватися у кілька десятків разів.

Спосіб зворотного осмосу є ефективним для опріснення мінералізованих вод із концентрацією солей до 15 г/дм³. У процесі опріснення води з більшою мінералізацією мембранний процес має бути багатоступінчастим для забезпечення потрібної мінералізації води, що значно підвищує його вартість і робить менш ефективним порівняно з іншими способами демінералізації.

Опріснення води із загальною мінералізацією до 10 г/дм³ способом зворотного осмосу дає змогу отримати опріснену воду, яка за фізико-хімічними показниками якості відповідає вимогам питної води. Так, загальна мінералізація у ній становить менше ніж 1 г/дм³, вміст хлоридів – 60–180 мг/дм³, сульфатів – 140–260 мг/дм³, твердість – 1,7–3,1 ммоль/дм³, окислюваність – 0,7–2,6 мг О₂/дм³. У процесі зворотноосмотичного опріснення очищення від мікроелементів становить, %: для фтору – 88–92, бромю – 70–80, бору – 30–35. За вмістом загального числа бактерій опріснена вода здебільшого відповідає вимогам державного стандарту на питну воду. Проте в деяких випадках кількість бактерій групи кишкової палички (колі-індекс) перевищує санітарні норми, і тому для повного знезараження води потрібно проводити її хлорування.

Якість води після опріснення електродіалізом. Вода, опріснена електродіалізом, характеризується істотним зменшенням загальної мінералізації, вмісту хлоридів, сульфатів і кальцію. Спостерігається деяке зменшення біологічно активних мікроелементів, зокрема фтору, бромю і бору. Після електродіалізаторів прісна вода має такий склад, мг/дм³: загальна мінералізація – 600–900; хлориди – 230–470; сульфати – 100–480; фтор – 0,6–0,9; бор – 0,6–2,1, бром – 1,1–1,4. Отже, концентрація бору та бромю значно перевищують величини ГДК.

У процесі електродіалізу вода значно очищується від домішок органічних речовин. Вміст нафтопродуктів зменшується на 50 %, поверхнево-активних речовин – в 2–3 рази, а канцерогенних сполук – на 40–50 %. Ефективність вилучення органічних речовин знаходиться у прямій залежності від тривалості опріснення, мінералізації, якості вихідної води й густини струму. Однак тривала експлуатація іонітових мембран погіршує якість опрісненої води.

Мікробіологічні показники води у багатьох випадках погіршуються внаслідок вторинного забруднення і розмноження мікрофлори у відкладеннях на мембранах, прокладках тощо. Тому воду, опріснену електродіалізом, потрібно обов'язково знезаражувати. Характерною особливістю опрісненої електродіалі-

зом води є накопичення в ній гідрокарбонат-іонів. Якщо електродіаліз здійснюють за низьких значень рН, то в дилуаті утворюється малодисоційована карбонатна кислота, переважно в агресивному стані.

Тому воду, опріснену електродіалізом, можна рекомендувати для промислово-технічного водопостачання. За умови зменшення в ній бору і бромиду до гігієнічно допустимого рівня після додаткового оброблення її можна використовувати і для господарсько-питного водопостачання.

2 Вимоги до якості води різних споживачів

Основними показниками, що визначають придатність води для більшості споживачів, є її склад і концентрація домішок. Залежно від вимог, що ставляться до якості споживаної води, виокремлюють такі групи, які досить різняться між собою: води, які використовують для господарсько-питних і виробничо-технічних потреб та для зрошування сільськогосподарських угідь.

До категорії *господарсько-питної води* належать води, витрата яких пов'язана з побутом людей: питтям, приготуванням їжі, пранням, підтриманням чистоти в житлах, використанням у лазнях і плавальних басейнах, для благоустрою міст тощо. До якості господарсько-питної води ставляться найжорсткіші вимоги. Насамперед вода не повинна негативно впливати на здоров'я людини, мати задовільні органолептичні показники, невисоку (до 1 г/дм³) мінералізацію і помірну твердість (менше 7 ммоль/дм³). Тверда вода (понад 7 ммоль/дм³), яку вживають для пиття, хоч і не завдає шкоди здоров'ю, проте її використання для господарських цілей пов'язане з певними незручностями. Так, у ній погано розварюються овочі, швидко утворюється накип на посуді, значно збільшуються витрати мийних засобів на прання та миття тощо.

Якість господарсько-питної води регламентується Державними санітарними правилами і нормами [1], в яких сформульовані вимоги щодо органолептичних властивостей, мінералізації, вмісту токсичних і радіоактивних речовин та санітарно-бактеріологічних показників. Останні обмежуються визначенням мікробного числа і бактерій колі. Відсутність останніх у знезараженій воді свідчить про її санітарно-бактеріологічну безпечність.

Вимоги до якості *води, яку використовують для виробничих потреб*, досить різноманітні і зазвичай залежать від специфіки виробництва та особливостей технологічного процесу. Сучасна промисловість у великих кількостях використовує технічну та питну воду для проведення технологічних процесів – виготовлення різних продуктів і виробів, живлення парових котлів теплових електростанцій і котелень, закачування у нафтові горизонти з метою підтримання тиску в пластах, охолодження різного технологічного обладнання та продукції тощо.

Охолодження обладнання чи продукції, яку виробляють, здійснюється внаслідок циркуляції води. Так, водою охолоджують пристрої доменних і мартенівських печей, прокатних станів, конденсатори парових турбін, обладнання ковальських, ливарних та інших цехів. У великій кількості охолоджувальна вода споживається в хімічних, нафтопереробних та інших виробництвах, у гірничорудній промисловості та кольоровій металургії.

Охолодна вода не має погіршувати процеси теплообміну, тобто не утворювати різні відкладення на внутрішній поверхні теплообмінної апаратури. Тому вона має містити якомога менше солей карбонатної твердості, завислих та органічних речовин, випадання яких в осад зумовлює звуження внутрішнього діаметра труб теплообмінників, унаслідок чого зменшується витрата циркуляційної води, отже, зменшується їх продуктивність та ефективність охолодження.

Вміст солей твердості у воді, яку використовують для живлення котлів, не допускається. Солі внаслідок термічного розкладання зумовлюють утворення на теплопередавальних поверхнях щільних шарів накипу, що є причиною виходу з ладу котлів. Підвищений солевміст у живильній воді може сприяти виносу солей з паром і відкладенню їх у паровому тракті та на лопатях турбін. Тому залежно від робочих параметрів котла показники якості живильної води суворо регламентуються. Воду для живлення сучасних котлів зазвичай попередньо знесолюють.

Крім того, у живильній воді парових котлів не допускаються висока лужність, вміст нафтопродуктів, фосфатів та поверхнево-активних речовин, оскільки вони зумовлюють спінювання води, сприяють забрудненню пари й відкладенню осадів на лопатях турбін. У живильній воді котлів зовсім не повинно міститися силіцієвої кислоти, здатної створювати щільний шар накипу з дуже низькою теплопровідністю. Отже, вся ця вода має бути звільнена від надлишку завислих речовин, які, випадаючи в осад, засмічують охолоджувальні пристрої. Вона не повинна містити сірководню і заліза та мати карбонатну твердість не більше ніж 2–7 ммоль/дм³.

Залежно від призначення вода для технологічних потреб має певний діапазон показників якості. Наприклад, у воді, яку використовують у текстильній, паперовій і фотопромисловості, не повинні міститися залізо, манган, силіцієва кислота, великі кількості хлоридів, органічних сполук та інших інгредієнтів, що погіршують якість готової продукції. Вода, яку використовують для виготовлення штучного волокна, повинна мати високу прозорість з окиснюваністю не більше ніж 2 мгО₂/дм³, вмістом солей твердості до 0,07 ммоль/дм³ та заліза не більш як 0,2 мг/дм³ тощо.

Воду, яку використовують, наприклад у харчовій промисловості, потрібно так само ретельно очищати, як і воду для пиття. Нерідко потрібне ще глибше очищення (наприклад, для живлення котельних установок, виготовлення віскози, люмінофорів, напівпровідників тощо). В такому разі обов'язкове не лише прояснення води, а й різке зменшення вмісту в ній солей кальцію, мангану, заліза, а також оксиду силіцію (IV), фосфорного ангідриду, кисню і вільної карбонатної кислоти, що ускладнює процес підготовки технологічної води.

Вода, яку застосовують для закачування у нафтові горизонти, має не зменшувати наповнюваність нагнітальних свердловин. Остання зменшується закупорюванням пор фільтрів свердловин і зменшенням пористості нафтоносного пласта внаслідок утворення в ньому нерозчинних сполук у разі зміни температури. небезпечними домішками у закачуваній воді є завислі речовини, сполуки феруму та нафтопродукти, оскільки вони утворюють на фільтруваль-

ній поверхні плівку, що гальмує подавання в пласт води. Якщо вода, що закачується, корозійно нестабільна, то вона може забруднюватися сполуками феруму, які потрапляють із незахищених металевих труб. Випадання карбонатного осаду під час розкладання гідрокарбонатів та осадів у процесі окиснення сірководню або феруму (II) також сприяє зменшенню пористості нафтоносного пласта.

У сільському господарстві воду використовують як для господарсько-питних потреб населення, так і для напування тварин і поливання сільськогосподарських угідь у зрошуваному землеробстві. Як джерело водопостачання наперед використовують підземну воду без очищення. Якщо такої води немає або її якість незадовільна, то застосовують воду поверхневих джерел після попереднього очищення та знезараження.

Вода для зрошення повинна мати обмежену кількість солей, підвищений вміст яких призводить до засолення ґрунтів та зменшення врожайності польових культур. Певних вимог до поливної води немає, і для цих потреб зазвичай використовують воду, що задовольняє вимогам до господарсько-питної. В районах з дефіцитом прісної води у поливних водах допускається солевміст до 1,5 г/дм³ в умовах недостатнього дренажування і до 3 г/дм³ за посиленого дренажування. Внаслідок високої собівартості опрісненої води її змішують із мінералізованою. Для напування тварин зазвичай використовують воду питної якості. Проте вимоги за такими показниками, як колір, запах і прозорість можуть бути зменшені. Якщо прісної води не вистачає, то для водопоя тварин і приготування кормів допускається використання мінералізованої води.

3 Стабілізаційне оброблення води

Стабільність води – один з основних показників її якості. Знебарвлену і освітлену на очисних спорудах воду не можна вважати задовільною за якістю, якщо вона, проходячи трубами, набуває забарвлення або утворює осад. Стабільність води порушується, якщо у воді є розчинений оксид карбону (IV) або кисень, спостерігається пересичення карбонатом кальцію чи гідроксидом магнію, підвищена концентрація сульфатів чи хлоридів або низьке значення рН. Стабільною вважається вода, якщо не розчиняється або не виділяється осад карбонату кальцію.

У результаті коагуляційного очищення поверхневих вод за «традиційною» технологією коагулянти (солі алюмінію або феруму) гідролізують з утворенням кислоти. Якщо у вихідній воді не вистачає лужного резерву, то її кислотність збільшується, а значення рН стають меншими за нормовані. Тому таку воду потрібно підлугувати.

Крім того, для каламутних вод з підвищеною твердістю, у разі прояснення і знебарвлення коагулянтами, оптимальними є високі значення рН, а в разі забарвлених м'яких вод – низькі. Тому для води з великим вмістом завислих речовин місце введення для її підлугування реагентів істотного значення не має.

Для очищення дуже забарвлених природних вод гідроксид натрію і карбонат натрію варто застосовувати для підлугування води, яка не має пластівців гідроксидів із сорбованими органічними речовинами.

Оскільки вапно (оксид кальцію) в очищену воду не вводиться, то його слід добавляти у тих місцях очисних споруд, де знаходиться вода, звільнена від основної маси пластівців і забарвлювальних речовин.

У зв'язку з меншою стабілізуючою дією на органічні домішки крейду можна добавляти у воду після завершення процесу коагуляції та сорбції забарвлювальних речовин на утворених гідроксидах, не очікуючи їх видалення із води.

Розрізняють **стабільність води** відносно до бетону і до металів.

Стабільність води по відношенню до бетону визначається насамперед вмістом у ній розчиненого вуглекислого газу (вугільної кислоти).

Вугільна кислота знаходиться у воді у зв'язаному і у вільному станах. Зв'язана вугільна кислота – це кислота, що входить до складу гідрокарбонатів і карбонатів. Вміст карбонатів у природних водах незначний і залежить від розчинності CaCO_3 . Тому під *зв'язаної вугільної кислотою* слід розуміти кислоту, що входить до складу гідрокарбонатів. Іноді таку вугільну кислоту називають напівзв'язаною. Найбільш поширеною сіллю, що входить до складу природних вод і містить вугільну кислоту у зв'язаному вигляді є гідрокарбонат кальцію $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Вміст гідрокарбонату кальцію у воді обумовлює так званий *лужний резерв* (лужність) води.

Вільну вугільну кислоту, тобто $\Sigma(\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2)$ ділять на рівноважну та агресивну. Класифікацію вугільної кислоти, що знаходиться у воді ілюструє схема, представлена на рисунку 7.1.

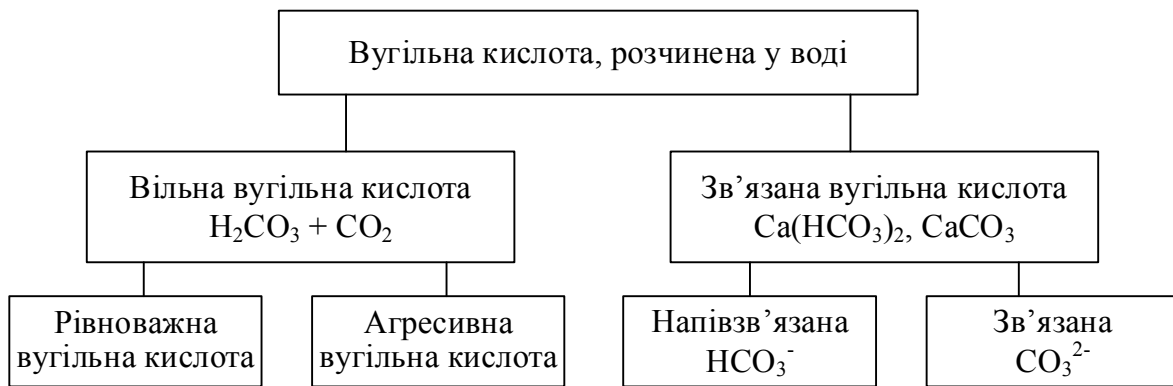
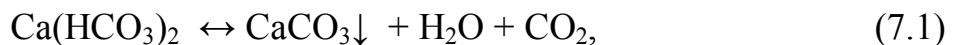


Рисунок 7.1 – Класифікація вугільної кислоти

Вміст *рівноважної вугільної кислоти* у воді визначається хімічною рівновагою



яке називають вуглекислотною рівновагою води. Як видно з рівняння реакції (7.1), вміст рівноважної вугільної кислоти у воді залежить від вмісту в ній гідрокарбонату кальцію: чим воно більше, тим більше рівноважної вугільної кислоти перебуває з ним у рівновазі. Якщо кількість вільної вугільної кислоти точно дорівнює кількості рівноважної вугільної кислоти, то така вода – стабільна, в іншому випадку – вода нестабільна.

Нестабільність її може бути двоякою. При пониженому вмісті CO_2 вуглекислотна рівновага води зміщується вправо, що призводить до випадання кар-

бонату кальцію в осад. Таким чином, вода з пониженим вмістом CO_2 схильна до відкладання карбонату кальцію, який, наприклад, зменшує просвіти в трубах водопроводів, їх пропускну спроможність. Тривале протікання трубопроводами води, пересиченої карбонатом кальцію, може призвести до повного заростання труб.

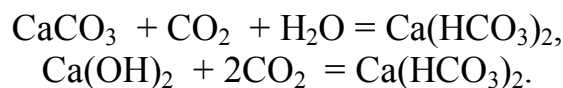
Кількість розчиненого у воді вуглекислого газу може бути і значно більшою, ніж потрібно за наведеним вище рівнянням вуглекислотної рівноваги (7.1). Особливо це відноситься до підземних вод. У поверхневих водах вміст вільної вугільної кислоти (обумовлений в основному розчинністю вуглекислого газу повітря) зазвичай незначний (до 20 мг/дм^3). Наявність агресивної вугільної кислоти в них мало ймовірна. У підземних водах вугільна кислота утворюється внаслідок протікання процесів розкладання органічних сполук, а також в результаті біохімічних процесів. Концентрація вільної вугільної кислоти в підземних водах досягає 40 мг/дм^3 .

Підвищений вміст вільної вуглекислоти у воді зазвичай спостерігається після очищення її коагуляцією, оскільки при взаємодії гідрокарбонатів з кислотою, що утворюється при гідролізі коагулянтів (сульфату алюмінію і хлориду заліза III), виділяється близько 80 мг CO_2 на 100 мг коагулянту.

Особливо сприятливі умови для накопичення агресивної вугільної кислоти створюються в період весняного паводку, коли через високу забарвленість води, що очищається ($150\text{--}200$) доводиться застосовувати підвищені дози коагулянту при невеликому лужному резерві води, тому в цей період знижуються концентрації всіх розчинених у воді солей.

Надлишкову вільну вугільну кислоту називають *агресивною*, оскільки вона дуже активна і реакційноздатна.

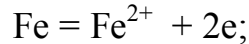
Наявність у воді агресивної вугільної кислоти є основною причиною агресивності води відносно до бетону. Агресивна вугільна кислота, реагуючи з карбонатом і гідроксидом кальцію, що містяться в бетоні, перетворює їх на розчинні гідрокарбонати, сприяючи швидкому руйнуванню бетонних споруд. Реакції, які протікають при руйнуванні бетону, можна записати такими рівняннями:



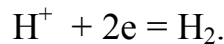
Агресивна вугільна кислота, що знаходиться у воді, не є корозійним агентом, безпосередньо діючим на метал, але побічно вона може сприяти корозії металу. На внутрішній поверхні водопровідних труб утворюються іржавокарбонатні відкладення, що оберігають метал від руйнування. Агресивна вугільна кислота, розчиняючи карбонатну частину цих відкладень, оголює металеву поверхню внутрішньої частини труб, чим створює сприятливі умови для корозії металу. Таким чином, вода очищена на водопровідних станціях і яка відповідає вимогам стандартів, але містить агресивну вугільну кислоту, на шляху до споживача забруднюється продуктами корозії труб, які підвищують забарвленість води і вміст у ній заліза вище встановлених норм. Тому дуже важливо контролювати в очищеній воді вміст агресивної вугільної кислоти.

Протікання корозійних процесів в залізі обумовлено мікрогальванічними парами, що виникають за рахунок вмісту в залізі домішок (наприклад, вуглецю) або неоднорідності обробки різних його ділянок. При корозії заліза протікають такі процеси:

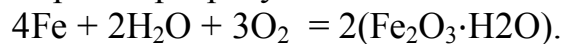
– на аноді залізо розчинюється, утворюючи іони заліза та надлишкові електрони:



– на катоді іони водороду приєднують електрони, тобто відновлюються до газоподібного водню:



При зіткненні металу труб з водою, що містить кисень, атомарний водень, який виділяється, безперервно окислюється до H_2O , що викликає посилене розчинення заліза, процес корозії прогресує:



Для характеристики стабільності води по відношенню до бетону насамперед визначають вміст в ній вільної та зв'язаної вугільної кислоти, що дає тільки загальне уявлення про її стабільність. Якщо вільної вугільної кислоти у воді міститься дуже мало, то вода до бетону неагресивна. При великому вмісті вільної вугільної кислоти у воді судити про агресивність останньої важко, так як тут важливу роль відіграє вміст пов'язаної гідрокарбонатної вугільної кислоти і необхідно знати, яка частина вільної вугільної кислоти є рівноважною, а яка – агресивною.

Агресивність води залежить також і від вмісту розчинених у воді солей. При підвищенні їх вмісту кількість вільної вугільної кислоти, необхідної для підтримки вуглекислотного рівноваги води, зменшується. Таким чином, при однаковому вмісті вільної вугільної кислоти вода, що містить більшу кількість солей, агресивніша.

Щоб точніше визначити стабільність води по відношенню до бетону, використовують метод карбонатних випробувань, за яким нестабільність, а значить агресивність води характеризують зміною кількості зв'язаної вугільної кислоти після контакту досліджуваної води з карбонатом кальцію. Якщо вода стабільна, то в ній карбонат кальцію розчинятися не буде, якщо вона агресивна – то вугільна кислота, що міститься в ній, частково прореагує з карбонатом кальцію з утворенням гідрокарбонату кальцію за такою реакцією:



Отже, кількість зв'язаної вугільної кислоти після контакту агресивної води з карбонатом кальцію збільшується. Якщо ж кількість зв'язаної вугільної кислоти при цьому зменшується, значить вода була пересичена карбонатом кальцію, який випав в осад.

Характеристикою стабільності води є *показник стабільності*, для визначення якого запропоновано дві формули:

– основна

$$C_I = \frac{L_B}{L_H}, \quad (7.2)$$

де L_B – лужність вихідної води, ммоль/дм³;
 L_H – лужність води після змішування з карбонатом кальцію (насичення), ммоль/дм³;
 – допоміжна

$$C_{II} = \frac{pH_B}{pH_H}, \quad (7.3)$$

де pH_B – значення рН вихідної води;
 pH_H – значення рН води, насиченої карбонатом кальцію.

Крім того, воду можна характеризувати індексом стабільності, який визначають за формулою

$$I = L_B - L_H, \quad (7.4)$$

де L_B – лужність вихідної води, ммоль/дм³;
 L_H – лужність води, насиченої карбонатом кальцію, ммоль/дм³.

Значення L_H розраховують згідно з даними аналізу води за даними [2].

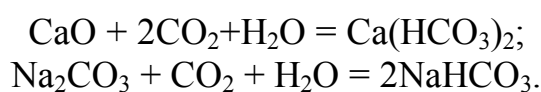
Якщо показник стабільності води при значеннях C_I і C_{II} дорівнює одиниці, а $I=0$, то вода є стабільною. Якщо $C_I, C_{II}, I < 1$, то вода агресивна. Якщо $C_I, C_{II}, I > 1$, то вода здатна до відкладання карбонату кальцію.

Стабілізаційне оброблення води (насичення) потрібно проводити за від'ємного значення індексу стабільності понад 8 міс. на рік, за додатного індексу стабільності (більше +0,5) – упродовж 8–10 міс.

Стабілізаційне оброблення води за від'ємного індексу стабільності ($I < 0$) стає в її підлогуванні, фільтруванні крізь мармурове кришиво, магномасу або видалення оксиду карбону (IV) аеруванням. При цьому передбачається створення умов для відкладання захисної карбонатної плівки на внутрішній поверхні труб.

Як реагенти для підлогування води зазвичай використовують вапно або соду. Соду застосовують тоді, коли у воді містяться іони кальцію в кількості, достатній для утворення захисної плівки карбонату кальцію. Лужні реагенти подають в очищену воду перед повторним хлоруванням і надходженням її в резервуари чистої води. При цьому потрібно забезпечити якісне прояснення розчинів реагентів. Допускається введення лужних реагентів до відстійників або фільтрів, якщо це не погіршує очищення води та не зменшує ефективність її стабілізаційного оброблення.

Стабілізаційні реагенти зв'язують оксид карбону (IV) за такими реакціями:

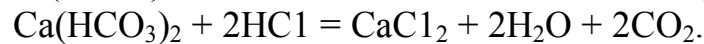
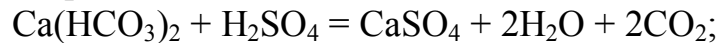


Якщо вода містить оксид карбону (IV), то стабілізацію її проводять фільтруванням у відкритих безнапірних фільтрах крізь мармурове кришиво (CaCO_3), напіввипалену доломіт-магномасу (CaCO_3MgO) або випалений магnezит

(MgO). Фільтри завантажують кришивом цих матеріалів із розміром часточок 0,5–3 мм. Висота шару становить 2 м, швидкість фільтрування води крізь мармурове кришиво – до 10, а крізь магномасу – 10–20 м/год. Остання залежить від температури і лужності води, а також від концентрації в ній агресивного оксиду карбону (IV). Фільтрувальний шар промивають висхідним струменем води з інтенсивністю $15 \text{ дм}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$ упродовж 10–15 хв. Вміст заліза у воді, яка надходить на фільтри, не має перевищувати $0,5 \text{ мг/дм}^3$, оскільки за більшого вмісту його відбувається цементування зерен фільтрувального завантаження.

Стабілізацію води на малих водоочисних станціях за від'ємного індексу насичення ($I < 0$) можна досягнути видаленням з неї надлишкового вмісту оксиду карбону (IV). З цією метою воду пропускають крізь вентиляторну градирню з кільцевою пластмасовою насадкою або крізь кільця Рашига. Навантаження на градирню в першому випадку становить 70, а в другому – $60 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Витрата повітря досягає $20 \text{ м}^3/\text{м}^3$ води.

За додатного індексу насичення ($I > 0$) воду стабілізують підкисленням її сульфатною або хлоридною кислотою, обробленням гексаметафосфатом або триполіфосфатом натрію:



Після підкислення у воді зменшується вміст гідрокарбонатів та збільшується вміст оксиду карбону (IV), який, перебуваючи в стані рівноваги з гідрокарбонатами, перешкоджає утворенню карбонату кальцію й заростанню трубопроводів. Воду зазвичай підкислюють технічною сульфатною або хлоридною кислотами.

Для боротьби з корозією сталевих або чавунних труб застосовують гексаметафосфат або триполіфосфат натрію. Їх дія виявляється в утворенні на поверхні металу захисних плівок та гальмуванні корозійних процесів. Доза цих реагентів становить $2\text{--}4 \text{ мг/дм}^3$. При цьому залишковий вміст фосфат-іонів у питній воді згідно з державним стандартом [1] не має перевищувати $3,5 \text{ мг/дм}^3$.

4 Коригування мінералізації опрісненої води

На даний момент для опріснення води в основному використовують дистиляцію і зворотний осмос, причому поширення набуває саме зворотньоосмотичний метод опріснення у зв'язку з його низькими енергетичними затратами.

Вода, опріснена термічним способом, має низьку мінералізацію $15\text{--}25 \text{ мг/дм}^3$. У ній майже повністю відсутні кальцій, фтор, гідрокарбонати та ін.

Однак при використанні обох методів опріснена вода через її низьку мінералізацію не відповідає вимогам, що пред'являють до води питної якості [1]. Тривале вживання такої води може призвести до негативних наслідків. Якщо для опріснення використовували морську воду, то дистилят має неприємні запахи і присмаки, зумовлені наявністю органічних речовин. Тому такий дистилят потребує додаткового оброблення, яке б передбачало крім стабілізації та збагачення ще й коригування сольового складу та поліпшення органолептичних властивостей.

Очищення дистилляту від органічних сполук, тобто поліпшення органолептичних властивостей опрісненої води, проводять методом сорбції у процесі фільтрування крізь шар березового (БАВ) або іншого активованого вугілля.

Експериментальні дослідження на тваринах та клініко-фізіологічні спостереження на добровольцях показали, що маломінералізовані опріснені води здатні чинити несприятливий вплив на організм як людини, так і тварин. Біологічний ефект дії маломінералізованих вод характеризується загальними закономірностями, що проявляються в основному в наступному:

- підвищене водоспоживання (внаслідок поганого втамування спраги);
- збільшення концентрації електролітів у сироватці крові;
- зміна балансу води і перерозподіл її обсягів в основних рідинних секторах організму;
- підвищення виведення з організму солей (в першу чергу, осмотично активних іонів натрію, калію, хлору);
- окремі зміни систем гомеостазу, пов'язані з водно-сольовим обміном (кількості і одиничного об'єму еритроцитів, гематокритною величини, в'язкості крові та ін.).

При недостатньому надходженні з питною водою солей твердості відзначається негативний вплив на стан серцево-судинної системи, мінеральну насиченість кісткової тканини і стан фосфорно-кальцієвого обміну. Як показало клініко-фізіологічне обстеження населення, яке споживає опріснену воду, в недостатній мірі кондиційовану за солями твердості, при одночасному дефіциті кальцію в харчовому раціоні виявлено значне (нижче фізіологічної норми) зменшення таких постійних величин, як вміст кальцію в сироватці крові, активність лужної фосфатази і вміст неорганічного фосфору в крові. Тому знесолені й маломінералізовані (із загальним солевмістом менше 100 мг/дм³) опріснені води не придатні для питного водоспоживання.

Додаткове введення в опріснену воду кальцію до рівня 30 мг/дм³ призводить до активації процесів фосфорно-кальцієвого обміну в кістковій тканині та в організмі в цілому, включаючи стабілізацію ряду сполучених показників водно-сольового гомеостазу, що проявлялося не тільки на функціональному (зміна окремих фізіологічних і біохімічних показників внутрішнього середовища організму або окремих його органів і тканин), але також і на гістоструктурному рівні (інтенсифікація процесів остеогенезу та ін.) Одним з інформативних показників негативного біологічного впливу нестачі іона кальцію виявився функціональний стан щитовидної залози і динаміка окремих показників фосфорно-кальцієвого обміну в організмі.

Найбільш прийнятною для організму сполукою кальцію є гідрокарбонат кальцію. Він покращує органолептичні властивості води і сприяє засвоєнню організмом кальцію, крім того, підвищує буферність води і за рахунок цього зменшує вплив корозійних факторів.

У зв'язку з викладеним вище виникає необхідність мінералізації опрісненої води до необхідного рівня вмісту життєво важливих елементів і, насампе-

ред, іонів кальцію і гідрокарбонат-іонів. Серед відомих **методів мінералізації опрісненої води** найбільше практичне застосування знайшли:

- дозування в знесолену воду розчинів чистих солей;
- додавання слабомінералізованих підземних вод;
- додавання попередньо оброблених морських вод;
- взаємодія підкисленого пермеату з матеріалом, що містить CaCO_3 .

При мінералізації питної води *розчиненням солей* можливе досягнення необхідного вмісту іонів кальцію, натрію, хлоридів і сульфатів. Однак така технологія приготування питної води пов'язана з високими витратами на реагенти. Тому подібний спосіб мінералізації застосований в основному для об'єктів з малою продуктивністю питної води. Крім того, він не дозволяє отримати необхідну концентрацію гідрокарбонатів при досить високому значенні рН. Це пов'язано з тим, що значення рН суттєво впливає на розподіл карбонатних форм в розчині, і при певних значеннях можливе створення умов для випадання осаду CaCO_3 , що неприпустимо для питної води.

Мінералізація води шляхом *додавання слабомінералізованих підземних вод або попередньо оброблених морських вод* має ряд істотних недоліків. Як морські, так і підземні води необхідно піддавати попередній обробці у зв'язку з наявністю в них механічних домішок, неорганічних, органічних і бактеріальних забруднень. Крім того, вміст кальцію в підземних водах не перевищує 6–9 мг/дм³, тому при мінералізації потрібно додаткове додавання солей кальцію.

Здебільшого підземні мінералізовані води не містять завислих речовин дальні за бактеріальним вмістом. Проте під час контактування з водоводами вони забруднюються продуктами корозії, особливо за наявності у воді агресивної карбонатної кислоти та сірководню.

Підготовку підземних вод здійснюють за контактено-фільтраційною технологією за схемою «окиснення — контактування — фільтрування». Як окисники використовують кисень атмосферного повітря (аерування) або активний хлор (хлорування). Зазвичай мінералізовані води прояснюють у контактному шарі завислого осаду або в шарі зернистого фільтрувального завантаження.

Попереднє очищення мінералізованої води, яка містить залізо і сульфідні сполуки, досить ефективно відбувається за схемою «хлорування — контактування (40 хв.) — фільтрування крізь активоване кварцове завантаження». В процесі хлорування залізо окиснюється до феруму (III) і гідролізує з утворенням гідроксиду феруму, а сульфідні окиснюються до елементарної колоїдної сірки. Залишкова концентрація заліза у воді становить 0,1–0,2 мг/дм³, що не перевищує санітарні норми для питної води. Сульфідні сполуки окиснюються хлором повністю й у воді не виявляються.

Під час змішування дистилату з мінералізованою водою прагнуть, щоб загальний солевміст питної води був на рівні, обумовленому санітарно-гігієнічними вимогами. Кратність розбавлення води визначається за формулою

$$n = \frac{C_M - C}{C - C_D},$$

де C_M і C_D – відповідно солеміст мінералізованої води і дистилляту, г/дм³;
 C – заданий солеміст опрісненої води (суміші), г/дм³.

Витрату мінералізованої води і дистилляту вираховують за формулами

$$q_M = \frac{Q}{n+1},$$

$$q_D = n \cdot q_M = \frac{Q \cdot n}{n+1},$$

де q_M і q_D – відповідно витрати мінералізованої води і дистилляту, м³/год;

Q – витрата готової опрісненої води (суміші), м³/год.

Значного здешевлення опрісненої питної води досягають після коригування її сольового складу додаванням у дистиллят вихідної морської води. Додавання такої води виключає несприятливу дію будь-яких мікроелементів (у тому числі й броду) на організм людини. Перед змішуванням із дистиллятом морську воду попередньо очищують від механічних, органічних і бактеріальних забруднень.

Так, у системі технічного водозабезпечення воду, яка містить нафтопродукти, зоо- і фітопланктон та водорозчинні домішки, попередньо очищують за схемою «хлорування — фільтрування — сорбція — знезараження». Після такого оброблення вода задовольняє санітарні вимоги як питна.

Для насичення води іонами кальцію і гідрокарбонат-іонами набув поширення спосіб мінералізації, заснований на взаємодії води, попередньо насиченою діоксидом вуглецю, з $CaCO_3$ з утворенням гідрокарбонату кальцію. В якості матеріалів, які містять $CaCO_3$, використовують природні карбонатнокальцієві матеріали, такі як мармурова крихта, ракушечник, вапняк та ін.

Незважаючи на експлуатаційну простоту, цей метод має ряд недоліків. Так, використовувана привізена балонна скраплена вуглекислота досить дорога. Отримання ж діоксиду вуглецю іншими способами, наприклад, спалюванням нафти, є складним як у конструктивному, так і в експлуатаційному відношенні. Крім того, в такому газі можлива поява токсичних і канцерогенних компонентів. Також необхідно відзначити, що вуглекислотний спосіб не дозволяє отримати воду з рН вище 7,8. Тому для збільшення значення рН води додають лужні агенти, що може призвести до локального випадіння осаду $CaCO_3$.

Для мінералізації пермеату пропонується використання для розчинення карбонатнокальцієвих матеріалів замість діоксиду вуглецю розчинів мінеральних кислот (сірчана, соляна). Такий спосіб мінералізації дозволить отримувати діоксид вуглецю безпосередньо в процесі розчинення, додатково забезпечуючи наявність у воді сульфатних або хлоридних іонів; для досягнення більш високого значення рН води можна використовувати вихідний пермеат. Однак параметри і показники нового процесу, запропоновані дослідниками, повинні отримати більше практичне підтвердження. Потрібно знаходження оптимальних умов всіх стадій процесу, зокрема, таких, як підкислення пермеату розчином кислоти, розчинення карбонатнокальцієвих матеріалів в розбавлених кислотах, змішання потоку після реакції з вихідним пермеатом.

5 Коригування якості води у споживача

Проблемами питного водопостачання є:

- забруднення джерел водопостачання;
- погана робота водоочисних станцій, застосування реагентів, хлорування води;
- погіршення якості води в трубопроводах розводящої мережі;
- відсутність водоочисних станцій у ряді населених пунктів

Питне водопостачання ускладняється тим, що *використовувани води, навіть підземні, забруднені важкими металами, нітратами, пестицидами, органікою.*

Якість ґрунтових вод визначається санітарним станом фільтруючого шару ґрунту, який лежить вище. При хімічному і біологічному забрудненні ґрунту і поверхневому розташуванні водоносного горизонту санітарна безпека ґрунтових вод значно знижується.

Міжпластові води завдяки захищеності водоносних горизонтів за якістю води в більшості випадків відповідають вимогам [1] і можуть бути використані для господарсько-питних цілей без попередньої обробки. Міжпластові води зазвичай мають добрі органолептичні властивості, в них майже повністю відсутні мікроорганізми. Порушення водотривких перекриттів міжпластових водоносних горизонтів може призводити до їх забруднення.

Поверхневі вододжерела, як правило, найбільш рясні, вода в них слабо мінералізована. Однак ці джерела забруднюються легше, ніж підземні. Забруднення може бути наслідком спуску промислових і побутових стічних вод, судноплавства, лісосплаву, масового купання та ін. Ступінь і характер забруднення визначають кількістю та якісним складом неочищених або недостатньо очищених господарсько-фекальних та виробничих стічних вод, скидних вод іригаційних систем, зливних зливових вод з поверхні населених пунктів, з сільськогосподарських полів та ін. Поверхневі вододжерела можуть забруднюватися органічними і неорганічними речовинами, в них можуть потрапляти збудники кишкових інфекцій, яйця гельмінтів, найпростіші. Найбільш поширеними хімічними забрудненнями є синтетичні поверхнево-активні речовини, нафтопродукти, феноли, отрутохімікати, солі важких металів, аліфатичні і ароматичні аміни.

Погана робота водоочисних станцій пов'язана зі зношеністю обладнання, несвоєчасним ремонтом очисних споруд, порушенням технологічних регламентів, перебоями в постачанні реагентами.

Ще одна «сучасна» проблема питного водопостачання: щороку з'являються нові промислові та сільськогосподарські хімікати, випуск яких неможливий без викиду шкідливих відходів, а в результаті – забруднення джерел водопостачання. Існуючі технології водоочищення не завжди розраховані на видалення з води цих забруднень, а низькі темпи впровадження сучасних технологій водоочищення стримуються відсутністю достатнього фінансування.

У результаті недоочищена вода надходить у зношені трубопроводи міських розвідних мереж і далі – в трубопроводи внутрішньоквартальних та внутрішньобудинкових мереж, «прихоплює» ще й їх забруднення, і ось такий «коктейль» ллється з крана на кухні та у ванній кімнаті.

У системах питного водопостачання з поверхневих і підземних вододжерел і великою протяжністю магістральних водоводів (кілька десятків кілометрів) у процесі експлуатації спостерігається погіршення якості питної води внаслідок розвитку мікроорганізмів і гідробіонтів в обростаннях і відкладеннях водоводів.

Вторинне забруднення води в трубопроводах розвідної мережі викликано наступними основними причинами:

– залишковий вміст завислих речовин, алюмінію, заліза, фітопланктону утворюють пухкі відкладення на стінках трубопроводів (особливо на ділянках з низькими швидкостями руху води), які періодично виносяться потоком води і потрапляють споживачеві;

– при тривалому перебуванні води в розподільній мережі можливо її погіршення, поява затхлого запаху, помутніння, а також підвищення концентрації хлорорганічних домішок за рахунок збільшеного часу контакту води з хлором;

– при аваріях, через несправність трубопроводів і неправильну експлуатацію водопровідної мережі можливо підмішування гарячої води в холодну, падіння тиску при проривах трубопроводів; порушення регламенту проведення ремонтних робіт теж призводить до забруднення водопровідної води.

Таблиця 7.1 – Ознаки і причини забруднення води, поданої споживачеві

Проблема	Ознаки	Причина
1	2	3
Тверда вода	Утворюється вапняний накіп – білий наліт на трубах, сантехніці, в системі опалювання, в пральних і посудомийних машинах, чайниках. Збільшується витрата миючих засобів. При митті і пранні «згортається» мило, утворюються піноподібні шлаки	Солі кальцію і магнію у вхідній воді від 1,5 мг-екв і вище
Пісок у воді	Осад на раковинах і трубах. Абразивний знос при використанні води	Надлишок дрібнодисперсного піску або інших механічних частинок у воді
Запах	Запах рибний, затхлий, землистий або деревний	Присутність в поверхневих водах органічних сполук, як правило, безпечних для людини
	Запах хлору в міській воді	Сильне хлорування води
	Запах тухлих яєць. Утворення темних плям на посуді і предметах із срібла. Наявність жовтуватих, чорних плям на поверхні ванни/раковини. Зміна кольору кави, чаю і інших напоїв. Неприємний присмак приготованої їжі, її неапетитний вигляд.	Наявність у воді розчиненого сірководню (H_2S). Часто супроводжується підвищеним вмістом заліза і низьким рівнем рН. Присутність сульфурних бактерій, що виробляють сірководень. Звичайно

Проблема	Ознаки	Причина
1	2	3
		відчувається в гарячій воді
	Запах миючих засобів, вода піниться. Запах септика	Витік з систем знезараження в підземні водоносні пласти. Випадкове попадання миючих засобів в систему подачі води або свердловину
	Запах бензину або нафтопродуктів (вуглеводні)	Витік у водоносний шар з ємкостей для зберігання бензину або нафтопродуктів. Високий вміст у воді вуглеводнів в нафто- і газонасних регіонах
	Запах метану або каламутна вода	Результат розкладання органіки в районах нафтовидобутку або якщо житловий масив побудований на місці старого звалища, відходи якого потрапляють в джерело водопостачання
	Запах фенолу (хімічний запах)	Попадання стічних вод в системи водопостачання
Смак	Солоний присмак. Вода іноді надає послаблюючу дію	1. Високий вміст солей натрію або магнію (NaCl, Na ₂ SO ₄ , MgSO ₄). 2. Неправильне функціонування зм'якшувачів (сольовий розчин потрапляє в систему водопостачання)
	Присмак лугу. Плями на алюмінієвому посуді	Високий рівень загального солемісту і підвищена лужність вхідної води
	Металевий присмак	Рівень рН в діапазоні 4,5–5,5 . Високий вміст заліза
	Підвищена кислотність	Рівень рН нижче 4,5 через кислотність неорганічного походження

Проблема	Ознаки	Причина
1	2	3
Корозія неіржавіючих поверхонь	Потемніння і корозія раковин, сантехніки і деталей посудомийних машин, виготовлених з неіржавіючої сталі	1. Дуже високий вміст хлоридів. 2. Високотемпературне осушення створює концентрацію хлоридів, яка прискорює корозію
Каламутність	Суспензії з грязі, мула, глини у воді	Суспензії в поверхневих водах (ставки, озера, джерела), особливо після дощів
	Пісок, дрібний гравій, грязьовий або глинистий осад	Несе пісок з ще непромитої нової свердловини або дефектний сітчастий екран
	Пластівці іржі у воді, червонуватий колір води і бурий осад	Вода з підвищеною кислотністю «вимиває» залізо з трубопроводів
	У воді сірі ниткоподібні волокна	У вхідній воді міститься органіка – водорості та ін. Звичайно зустрічається в поверхневих водах
Кисла вода	Зелені сліди на раковині і інших фаянсових поверхнях. Синьо-зелений відтінок води	Результат реакції води з високим вмістом двоокису вуглецю (при рівні рН нижче 6,8) з мідними і бронзовими трубами і фіттингами
Корозійно-активна вода з високим вмістом кисню	Вихід з ладу мідних труб і корозія бронзової арматури, особливо на гарячій воді, при майже нейтральному рівні рН. У місцях з'єднань можуть з'являтися зеленуваті плями	Киснева корозія має місце при використанні поверхневих вод або навпаки, води з глибоких свердловин в пустинних районах. При нагріванні такої води виділяється велика кількість кисню, що впливає на металеві поверхні
Заліzysta вода	Залізо (Fe) в концентраціях вище 0,3 мг/дм ³ викликає бурі плями на водопровідній арматурі, сантехніці, плями на посуді і білизні після прання	Наявність у воді розчиненого (двовалентного заліза) в кількості вище 0,3 мг/л. Вода з крана холодної води поступає прозора, але з часом, особливо

Проблема	Ознаки	Причина
1	2	3
		при нагріванні, набуває бурого забарвлення
	Вода червонувато-бурого кольору. Практично відразу при відстоюванні на дні ємкості осідають бурі частинки	Окислене залізо, з кра-на холодна вода йде вже брудна. Залізо «вимивається» із старих труб при рівні рН нижче 6,6
	Коричневий відтінок води. Осад не випадає	Органічне (бактерійне) залізо
	У воді зберігається червонуватий колір після 24 годин відстоювання	Колоїдне залізо
Жовта вода	Вода набуває жовтуватого відтінку після зм'якшувача або будь-якого іншого фільтру (колір вище 75 град.). Жовті плями на тканині, фарфорі і інших поверхнях	У воді присутній танін (гумусова кислота), який є нешкідливою органічною сполукою. Зустрічається у воді, що проходить через торф'янистий ґрунт або шар рослинного перегною
Чорнуватий відтінок у воді	Чорнуваті плями на білизні або сантехніці	Взаємодія двоокису вуглецю або органічних речовин з ґрунтами, що містять марганець. Звичайно зустрічається в поєднанні із залізом
Вода молочного кольору	Каламутна вода	Утворення суспензії з осадів при нагріванні. Швидко проходить. У воді міститься багато повітря, яке потрапляє туди через несправності насосів. У питну воду потрапив коагулянт через його передозування в очисній системі. У воді присутній метан (CH ₄). Зустрічається в болотистих місцевостях, де у воді йде процес розкладання рослинності. Зустрічається в зоні нафтопромислу

Шляхи проникнення мікроорганізмів і гідробіонтів в системи водопостачання можуть бути різними. Найчастіше ці організми потрапляють в водоводи і резервуари з вихідною водою.

Вода підземних вододжерел, як правило, є високоякісною в санітарно-бактеріологічному відношенні. Однак вона містить достатню кількість непатогенних мікроорганізмів (найбільш поширеними є залізо- і сіркобактерії), негативний вплив яких на стан водоводів і якість води при її тривалому транспортуванні в даний час виявляється все частіше у зв'язку з введенням в експлуатацію водопроводів з великою довжиною магістральних ліній.

Поверхневі води, що пройшли обробку на водоочисних спорудах, відрізняються від підземних кількістю та різноманітністю мікрофлори і гідробіонтів, великим вмістом органічних сполук і біогенних елементів та внаслідок цього більш інтенсивними біологічними процесами в системах транспортування, що приводять до погіршення якості води.

Практика водопостачання свідчить про недостатню бар'єрну роль водоочисних споруд відносно сапрофітної мікрофлори і гідробіонтів, проникнення яких з очищеною водою в магістральні водоводи і розподільчу мережу обчислюється по біомасі десятками і сотнями міліграмів на 1 м³ води.

Крім того, джерелом біологічного забруднення водопровідної системи як поверхневих, так і підземних вод можуть бути організми, які проникають з ґрунту або повітряним шляхом в резервуари (у вигляді яєць, цист, спор) внаслідок їх неповної герметичності або потрапляють у питну воду при аваріях, ремонтних роботах на водопровідних системах.

При тривалому транспортуванні води магістральними водоводами і в розподільчій системі та наявності застійних зон (проміжні резервуари, тупикові ділянки) створюються сприятливі умови для накопичення і розвитку в системах водопостачання мікрофлори, утворення біообростання і відкладень, чому сприяє наявність у воді органіки й біогенних елементів.

У результаті життєдіяльності та відмирання організмів якість питної води погіршується: підвищуються каламутність, кольоровість, вміст продуктів біокорозії, погіршуються органолептичні, санітарно-бактеріологічні та гідробіологічні показники.

Для запобігання розвитку біологічних процесів у водопровідних системах і погіршення її якості виникла необхідність у застосуванні додаткових заходів з обробки води як на очисних станціях, так і безпосередньо у споживача.

Воду поверхневих джерел на водопроводах великої протяжності на виході з очисних споруд при несприятливій епідемічній обстановці хлорують підвищеними дозами хлору (до 3–4 мг/дм³ залишкового хлору і більше) з метою забезпечення утримання його в мінімальних кількостях в розподільчій системі. Однак подібна практика призводить до прискорення корозійних процесів у початкових ділянках магістральних водоводів і не забезпечує присутності залишкового хлору у воді розвідної мережі.

В ідеальній ситуації, коли водопровідна вода надходить в квартиру з мінімальним вмістом домішок, очисні споруди працюють відмінно, застосування хлору в процесі очищення все одно є обов'язковою умовою епідеміологічної

безпеки питної води. В результаті вода може набувати різкий хлорний запах і присмак. Відомо, що хлор і його похідні канцерогенні; 2 % раку печінки і нирок виникає «завдяки» хлороформу, але з цим доводиться миритися, оскільки висока бактерицидна ефективність, технологічна надійність, економічна вигода роблять метод хлорування найпоширенішим в практиці знезараження питної води, як у нашій країні, так і за кордоном.

При цьому всі інші методи знезараження води, в тому числі озонування та УФ-опромінення, не забезпечують тривалої знезаражуючої післядії і тому все одно вимагають хлорування на одній зі стадій водопідготовки.

Водопровідна вода, протікаючи по іржавим залізним трубам, забруднюється сполуками заліза. Надлишковий вміст заліза в тканинах людини підвищує онкологічний ризик. При надлишку заліза в організмі розвивається також дефіцит міді і цинку. Спеціальні дослідження показали, що у водопровідній воді практично повсюдно присутні канцерогени: нитрозосполуки, 3,4-бензапірен, солі миш'яку та інших важких металів та ін., причому рівень багатьох канцерогенів в питній воді не контролюють.

Не можна розраховувати на те, що наявний у водопровідній воді залишковий хлор може запобігти всім несприятливим наслідкам вторинного забруднення води в процесі її транспортування розподільною мережею. Основою збереження якості питної води в розподільній мережі є її технічна справність і дотримання правил експлуатації (регулярна промивка, дезінфекція після ремонтних робіт, утримання оглядових колодязів та ін.).

Досить велика частина населення використовує для питних і побутових цілей воду зі свердловин, колодязів, джерел та інших джерел нецентралізованого питного водопостачання. Мова йде про людей, що проживають у передмістях, у сільській місцевості, в робочих селищах, на полустанках та ін.

Як правило, в цих *нецентралізованих системах питного водопостачання* використовують підземні води, не захищені від поверхневого забруднення і не піддані попередній обробці. Принциповою відмінністю нецентралізованої системи водопостачання від централізованої є відсутність водопідготовки, а іноді й розподільної водопровідної мережі. Така вода часто схильна до бактеріального забруднення, має підвищений вміст заліза, марганцю, солей твердості та інших шкідливих домішок.

Викладені проблеми підводять до очевидного висновку: зараз і на найближчу перспективу немає гарантії, що у кінцевого споживача з крана буде надходити вода, якість якої в 100 % випадків буде відповідати всім вимогам санітарних правил і норм, а також суб'єктивним відчуттям самих користувачів.

Бутильована вода перетворилась на продукт масового попиту і споживання. Її виробники стверджують, що її вживання – оптимальний варіант, і завдання виробників бутильованої води – це виробництво чистої води. У ряді випадків таку воду отримують за допомогою зворотного осмосу.

Не підлягає сумніву, що вода, розфасована в ємності, здатна вирішити проблему питної води у випадках тимчасового погіршення якості води у водопроводі або перебоїв в її подачі. Але, слід врахувати той факт, що часто результати досліджень якості бутильованої води свідчать про відсутність в ній макро-

і мікроелементів, що забезпечують фізіологічну повноцінність питної води, а в деяких випадках бутильована вода практично нічим не відрізняється від води з крана. І ще слід врахувати, що матеріал, з якого виготовлені пластикові пляшки для води, при нагріванні (у фургоні вантажівки, в багажнику або салоні автомобіля, або при знаходженні пляшки весь день в сумці) здатний виділяти канцерогенні речовини.

Крім того, не враховується вартість розфасованої води для кінцевого споживача.

Виходом може бути використання **різних систем для доочищення водопровідної води**, тому що водопровідна вода має величезну цінність, вона доступна всім, а від вторинного забруднення можна позбутися, поставивши хороший фільтр.

Фільтри призначені для доочищення в домашніх умовах питної води, очищають воду від різних механічних домішок (іржа, пісок) і мікроорганізмів, знижують концентрацію залишкового активного хлору, неорганічних домішок, органічних сполук, нафтопродуктів, важких металів і радіоактивних елементів, зберігаючи при цьому природну і біологічну цінність води, збагачують воду іонами лужних металів.

Фільтр для доочищення питної води – це побутовий водоочисний пристрій, який експлуатує та обслуговує сам споживач. Використання побутових фільтрів для доочищення водопровідної води – один з простих і доступних способів позбавитися від вторинного забруднення і зробити воду не тільки безпечною, але і корисною. Доочищення питної води за допомогою побутових фільтрів на сьогоднішній день слід розглядати як необхідний і рівноправний елемент сучасної схеми питного водопостачання, який ні в якій мірі не заміщає інші елементи і не конкурує з ними, а доповнює традиційну схему питного водопостачання.

Розглядаючи **області застосування побутових фільтрів для доочищення води**, слід виділити з них дві основні:

- 1) доочищення води для питних потреб та приготування їжі;
- 2) доочищення води для господарсько-побутових потреб.

Завдання доочищення водопровідної води для питних потреб та приготування їжі:

- видалення механічних домішок і завислих речовин;
- зниження запахів і присмаків, забарвленості, каламутності;
- видалення заліза і марганцю;
- зниження вмісту важких металів, органічних домішок;
- видалення нафтопродуктів та інших домішок.

Додатково, за бажанням споживача, можливо здійснювати зм'якшення води, але не глибше, ніж до 1,5 ммоль/дм³.

Доочищена вода повинна повністю задовольняти нормативним вимогам на питну воду [1]. Доочищення не повинне погіршувати фізіологічну повноцінність питної води.

Завдання доочищення водопровідної води для господарсько-побутових потреб:

- видалення крупнодисперсних домішок, в т.ч. окалини і піску;
- видалення продуктів корозії трубопроводів;
- зниження каламутності й забарвленості води;
- зм'якшення води.

Як правило, перед побутовими фільтрами не ставиться завдання знезараження води, тому що ця проблема повинна вирішуватися на очисних станціях. Але виробники пропонують для бактерицидної обробки води у побутових умовах використання ультрафіолетового опромінення. Ультрафіолетові стерилізатори води використовують енергію ультрафіолетового випромінювання довжиною хвилі 253,7 нм для знищення мікробіологічних забруднень. Випромінювання руйнує молекули ДНК в клітинах бактерій і мікроорганізмів, перешкоджаючи їх розмноженню. На відміну від інших способів знезараження, УФ знезараження не змінює смак, запах, фізичні властивості води. При ультрафіолетовому очищенні у воду не вносяться хімічні реагенти, а ефективність такого знезараження досягає 99,9 %. Також для УФ очищення не потрібно весь час закупувати матеріали, достатньо раз на рік змінити УФ лампу.

Необхідність доочищення водопровідної води привела до того, що ринок заповнений побутовими фільтрами різних виготовлювачів. Враховуючи те, що вторинне забруднення в трубопроводах розвідних мереж різноманітно за своїм складом, побутові фільтри комбінують в собі різні методи обробки води (механічні, сорбційні, іонообмінні та ін.), а також розрізняються по конструкції і способу підключення.

Побутові фільтри класифікують за методом обробки води та за конструкцією і способом підключення. Існують й інші класифікації.

У побутових фільтрах застосовують такі **методи обробки води**:

- механічна очистка;
- сорбційні;
- іонообмінні;
- магнітні;
- озонові;
- зворотний осмос та ін.

У сучасних фільтрах, як правило, одночасно використовують кілька методів обробки води.

Механічне очищення засноване на використанні наступних типів фільтруючих матеріалів: сітчасті, волоконні, пористі, засипні (із зернистим завантаженням з природних і штучних матеріалів) та ін.

Наприклад, для механічного доочищення водопровідної води у фільтрі можуть бути встановлені два механічних волоконних фільтроелемента: до 100 мкм на вході фільтра і 5–50 мкм на його виході. У цьому випадку механічні фільтроелементи виконують такі функції: на вході – здійснюють попередню механічну очистку води і захищають наступні ступені фільтра від завислих речовин (передфільтр); на виході – завершують етап механічного очищення води і запобігають виносу завантаження фільтра (фільтр тонкого очищення).

Сорбційні методи засновані на поглинанні різних речовин з води поверхнею твердого тіла (сорбенту).

Найбільш часто вживаним сорбентом в побутових фільтрах є активоване вугілля у вигляді гранул, дроблених частинок, пористих блоків. Крім вугілля використовують природні мінеральні сорбенти, наприклад, цеоліт і шунгіт.

До переваг сорбційних методів очищення відносять ефективний витяг розчинених домішок, простоту реалізації, надійність. Цей метод, завдяки своїй простоті, широкому спектру дії та відносній дешевизні, залишається практично незамінним в побутових фільтрах доочищення води.

Іонообмінні методи частіше застосовують для зм'якшення води, для чого використовують іонообмінні смоли. Якщо механічні фільтри затримують «сміття», то іонообмінні – займаються «обміном»: захоплюють з води надмірний вміст катіонів твердості та насичують її іншими катіонами, тобто обмінюють «свої» катіони на «чужі».

Зниження зайвої твердості води призводить до поліпшення смаку питної води, напоїв, приготованих на її основі, а також веде до зменшення утворення накипу в побутових приладах.

Також іонообмінні смоли додають до складу комплексних фільтруючих елементів, які здійснюють крім зм'якшення, механічну і сорбційну очистку. У цьому випадку також відбувається зм'якшення фільтрованої води.

Магнітні методи сприяють осадженню солей твердості не на поверхні нагріву, а в об'ємі води у вигляді дрібнодисперсного шламу.

Вода після такої обробки позитивно впливає на організм людини, тому що змінюються не тільки її фізико-хімічні, а й біологічні властивості: вона збільшує проникність клітинних мембран; впливає на активність ферментів; знижує рівень холестерину в сироватці крові; оптимізує дію різних ліків, що застосовують у вигляді водних розчинів.

Дуже обнадійливі результати отримані при використанні омагніченої води для нормалізації артеріального тиску. Опубліковані відомості про використання такої води при лікуванні хворих на атеросклероз, про перспективи застосування омагніченої води в дерматології. Було доведено, що, не маючи ніяких протипоказань, омагнічена вода активізує діяльність травних органів, сприяє вимиванню токсинів, підвищує засвоюваність їжі.

Озонування основному використовують в промислових масштабах для знезараження води і для переведення важких металів у окислені малорозчинні сполуки з подальшим очищенням озонованої води на сорбційних фільтрах.

Озон – газ, токсичний при вдиханні, при високих концентраціях озону спостерігають ураження дихальних шляхів, легенів і слизової оболонки. Тривала дія озону призводить до розвитку хронічних захворювань легень і верхніх дихальних шляхів. Крім того, хронічний вплив мікроконцентрацій озону на організм людини достатньо не вивчений. Будь-яка система (в т.ч. і очищення води), що використовує озон, вимагає ретельного контролю техніки безпеки, тестування константи концентрації озону газоаналізаторами, а також аварійного управління надмірною концентрацією озону. Крім того, воду після озонування все одно необхідно піддавати фільтрації, щоб видалити з неї продукти озонолізу. З цих причин озонування в побутових фільтрах не отримало широкого застосування особливо для доочищення хлорованої води (при озонуванні хлоро-

ваної води утворюються продукти озонолізу, які мають мутагенні й канцерогенні властивості).

Зворотний осмос реалізується в водоочисних пристроях на основі зворотньоосмотичних мембран. Принцип дії таких пристроїв заснований на тому, що через полімерну мембрану може проходити тільки молекула води, а всі домішки, присутні у воді, мембраною затримують і скидають в каналізацію. Застосування систем на основі зворотного осмосу для доочищення питної води недоцільно, оскільки мінералізація води, очищеної цими системами, складає всього 5–20 мг/дм³, а така вода вже фізіологічно неповноцінна.

Прихильники надчистої води не усвідомлюють, що вона шкідлива для постійного вживання і являє собою істотну загрозу для здоров'я в довгостроковій перспективі: з організму виводиться калій, кальцій, магній та інші цінні макро- і мікроелементи. Зростає ризик остеопорозу, остеоартриту, підвищеного кров'яного тиску і великої кількості дегенеративних хвороб, які зазвичай вважають наслідком передчасного старіння.

Компанії, що пропонують подібні водоочисні пристрої, в якості позитивного ефекту вказують на те, що очищена вода практично не дає накипу. Однак, при цьому замовчується, що відбувається це тому, що з води видаляються всі макро- і мікроелементи, тобто по суті це «збіднена» вода. Навіть при вживанні в їжу біологічно-активних добавок повернути макро- і мікроелементи нашому організму в тому ж вигляді й кількості вже практично неможливо.

За конструкцією і способом підключення фільтри класифікують таким чином:

- фільтри типу глечики;
- фільтри-насадки на кран;
- фільтри настільного типу «поруч з мийкою»;
- фільтри, що встановлюються під мийку;
- магістральні фільтри.

Для вибору пристрою в кожному конкретному випадку необхідно:

- визначити обсяг споживання питної води (приблизну кількість літрів на добу);
- визначити свої вимоги до якості води;
- по можливості оцінити якість води, що надходить з водопровідної мережі (в ідеалі зробити хімічний аналіз води в спеціалізованій лабораторії).

Підбираючи фільтр, можна керуватися як відповідними нормативами, так і власними побажаннями.

При виборі фільтру необхідно враховувати кількість користувачів, а також визначити – для яких цілей буде застосовуватися фільтр (для доочищення води, використовуваної для пиття і приготування їжі або для господарських потреб, наприклад, для прийняття ванн, душа, купання дитини).

Можуть бути виділені наступні умовні рекомендації:

1) вибір фільтру для пиття і приготування їжі:

– за кількістю користувачів і обсягом споживання води:

- 1–3 людини: фільтр-глечик або фільтри «поруч з мийкою», який підключають до водопровідного змішувача;

– 3–5 людей: фільтр під мийку (він може бути встановлений не тільки в квартирі, але і в котеджі, замиському будинку, офісі та ін.);

– як користувачі виступають офісні та виробничі приміщення різного призначення, їдальня, кафе, харчоблок (дитячого садка, школи, літнього оздоровчого табору, будинки відпочинку, санаторію): фільтр високопродуктивний.

Зрозуміло, сім'я з 2–3 людей теж може вибрати і поставити під мийку фільтр. У будь-якому випадку необхідно враховувати:

- фінансові можливості;
- доцільність встановлення фільтра більш високої продуктивності;
- зручність користування.

– за якістю води:

– для водопровідної води без будь-яких особливостей – фільтри з вугільно-цеолітовий і картриджами (базовий варіант);

– для водопровідної води з неприємним запахом і присмаком – фільтри з вугільними або шунгітовими картриджами;

– для води з підвищеною твердістю – фільтри зі зм'якшуючим картриджем;

– для води з підвищеною каламутністю – фільтр з вугільно-цеолітовими сорбентами;

– для води з підвищеним вмістом заліза – фільтр під мийку з набором картриджів за варіантом «знезалізнюючий».

2) вибір фільтра для господарсько-побутових потреб.

Як вже говорилося, проникнення води в організм через стравохід є не єдиним джерелом ризику, але, незважаючи на це, поглинання шкідливих речовин безпосередньо через шкіру і дихальні шляхи чомусь в даний час недооцінюють. Зокрема, душ і ванна піддають міських жителів великої небезпеки впливу хімічних речовин, що містяться у воді.

Ці речовини проникають з води в організм через шкіру, випаровуються і вдихаються. Скромні підрахунки показують, що вдихання під час прийняття душу рівносильно споживанню 2-х літрів хлорованої води в день.

Найбільш простий і доступний засіб від негативного впливу хлору і «вторинного забруднення» трубопроводів розвідних мереж – фільтр на душ у ванній кімнаті.

Крім того, наслідком впливу твердої та до того ж хлорованої води можуть бути суха шкіра і жорстке волосся. Надійним рішенням цієї проблеми теж може бути установка фільтра на душ у ванній кімнаті.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте якість води, отриманої за «традиційною» технологією.
2. Охарактеризуйте якість води, опрісненої дистиляцією.
3. Охарактеризуйте якість води, опрісненої зворотним осмосом.
4. Охарактеризуйте якість води, опрісненої електродіалізом.
5. Які вимоги ставлять до якості господарсько-питної води?
6. Від чого залежать вимоги до якості води різних споживачів?
7. Особливості вимог до якості води, яку використовують для виробничих потреб.
8. Поняття стабільності води.

9. Стабільність води відносно до бетону і до металів.
10. Форми присутності вугільної кислоти у воді.
11. Особливості агресивної вугільної кислоти.
12. Визначення стабільності води.
13. Стабілізаційне оброблення води за від'ємного індексу стабільності.
14. Стабілізаційне оброблення води за додатного індексу стабільності.
15. Для чого необхідне коригування мінералізації опрісненої води?
16. Біологічний ефект дії маломінералізованих вод.
17. Назвіть методи мінералізації опрісненої води.
18. Особливості методів мінералізації опрісненої води.
19. Які виділяють проблеми питного водопостачання?
20. Як впливає робота водоочисних станцій на якість води у споживача?
21. Причини та наслідки вторинного забруднення води в трубопроводах розвідної мережі.
22. Назвіть ознаки і причини забруднення води, поданої споживачу.
23. Дія фільтрів для доочищення в питної води домашніх умовах.
24. Области застосування та особливості побутових фільтрів для доочищення води.
25. Методи обробки води у фільтрах для доочищення питної води в домашніх умовах.
26. Завдання доочищення водопровідної води для питних потреб та для господарсько-побутових потреб.
27. Як класифікують побутові фільтри за конструкцією і способом підключення?
28. Основні рекомендації для вибору побутового пристрою для очищення 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. – К., 2010.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: ДБН В.2.5 - 74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
3. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 671 с.
4. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та ін. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.
5. Тугай А. М. Водопостачання / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Рівне : РДТУ, 2001. – 429 с.
6. Григорьева Л. С. Физико-химическая оценка качества и водоподготовка природных вод / Л. С. Григорьева. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. – 152 с.
7. Куликов Н. И. Теоретические основы очистки воды: учебное пособие / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев. – Донецк : Ноулидж, 2009. – 299 с.
8. Орлов В. О. Технологія підготовки питної води / В. О. Орлов, А. М. Орлова, В. О. Зошук. – Рівне : НУВГП, 2010. – 176 с.
9. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація / В. С. Кравченко. – Київ : Кондор, 2003. – 288 с.
10. Кульский Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач. – Київ : Вища школа, 1986. – 352 с.
11. Фрог Б. Н. Водоподготовка / Б. Н. Фрог, А. П. Левченко. – Москва : Изд-во МГУ, 1996. – 680 с.
12. Брык М. Т. Мембранная технология в промышленности / М. Т. Брык, Е. А. Цапюк, А. А. Твердый. – Київ : Техника, 1990. – 248 с.
13. Цифровий репозиторій ХНУМГ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua>.
14. Центр дистанційного навчання ХНУМГ [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://cdo.kname.edu.ua>.
15. ООО НПП «Айсберг групп». Оборудование для водоподготовки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://aquaopt.com.ua>.
16. Экологические технологии. Решения по водоподготовке [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://eco-tex.com.ua>.
17. Водоподготовка.Инфо [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vodopodgotovka.info>.

Навчальне видання

СОРОКІНА Катерина Борисівна

**СПЕЦКУРС З ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД
КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для студентів 1-2 курсів денної і заочної форм навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти
спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *К. Б. Сорокіна*

План 2019, поз. 63Л

Підп. до друку 09.09.2019. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 5,1.

Тираж 50 пр. Зам. № ____.

Видавець і виготовлювач:

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

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.