

## Лекція 4. Вода. Використання водних ресурсів

### Властивості води

З усіх природних ресурсів вода має найважливіше значення в житті і діяльності людини, особливо прісна, якої на Землі лише 3,5%. Чиста вода – це прозора безбарвна рідина. Вода широко використовується в народному господарстві. Ймовірно, небагато є технологічних процесів, в яких не використовується вода. Вона є сировиною, розчинником, теплоносієм або охолоджувачем, використовується для передачі тиску, руйнування ґрунту, видобутку корисних копалин, транспортування різних матеріалів і т.п.

Природна вода забруднена як механічними, так і хімічними домішками, містить мікроорганізми, має колір, запах, смак. Механічні домішки – це частинки піску, глини і т.п., хімічні – розчинені солі і гази.

Загальні властивості води визначаються такими показниками, як жорсткість, загальний вміст солей, прозорість, наявність домішок, мікроорганізмів і т.п.

**Жорсткість води** обумовлена солями кальцію і магнію. Вода має тимчасову, постійну та загальну жорсткість. Тимчасова жорсткість води викликана гідрокарбонатами кальцію  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  і магнію  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , які при кип'ятінні переходять в солі, нерозчинні у воді, і осідають на внутрішні поверхні посуду у вигляді накипу. Наявність у воді хлоридів і сульфатів кальцію  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$  і магнію  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  викликають постійну жорсткість. Ці солі після кип'ятіння води залишаються в розчині, не випадаючи в осад. Наявність у воді солей обох видів жорсткості складають загальну жорсткість води.

**Загальну кількість солей** визначають сухим залишком, який утворюється після випарювання 1 л води і висушування залишку при температурі 105...110 °С і виражається в міліграмах на літр.

**Прозорість води** визначають товщиною шару води в циліндрі, через який видно зображення предмета, що знаходиться на дні. Прозорість води визначають візуально за допомогою зорового апарату (на око) або фотоелемента.

Максимальна **кількість домішок**, допустима у воді, визначається характером виробництва і встановлюється відповідними стандартами. Кількість завислих у воді твердих частинок визначається фільтруванням проби через стандартний фільтр і виражається в міліграмах на літр.

### Класифікація води

Воду класифікують за походженням і призначенням.

**За походженням води** поділяють на атмосферні, поверхневі і підземні.

**Атмосферні води** випадають на поверхню Землі у вигляді дощу, снігу і граду. Ці води насичені сірководнем, оксидом азоту та іншими газами, якими забруднена атмосфера, особливо в промислових районах. Крім промислових

газів вода насичена також киснем. Атмосферна вода не містить солей кальцію і магнію.

**До поверхневих вод** належать води річок, озер, морів, каналів і водосховищ. У цих водах крім домішок, які є в атмосферній воді, містяться солі та інші речовини. Води річок і озер самоочищаються: під впливом сонячної енергії та дією корисних мікроорганізмів шкідливі мікроби, які знаходяться у воді, гинуть.

**Підземні води** – це води джерел, артезіанських колодязів, гейзерів, копалень, їхній склад залежить від ґрунтів, крізь які вони просочуються. Ці води в більшості випадків прозорі і позбавлені мікроорганізмів. Води копалень часто містять солі кольорових і рідкісних металів, йод, бром, сірководень і т.п. Підземні води є унікальною сировиною для хімічної промисловості. Так, вода, в якій розчинений хлористий натрій, використовується для отримання хлору, їдкою натрію, водню. З підземних розчинів отримують бромисті, йодисті і інші солі. Деякі з цих вод мають лікувальні властивості, широко відомі води Трускавця, Миргорода та ін.

**За призначенням води** умовно поділяють на питну та промислову; в кожній з цих вод вміст домішок регламентується відповідними стандартами.

**Питна вода** згідно з санітарними вимогами має бути безпечною для вживання, не мати запаху, присмаку і забарвлення. Вода, придатна для пиття, не повинна містити, більш ніж встановлено нормою, домішок, оскільки їхня надмірність шкідлива для живих організмів (табл. 1).

**Промислові води** містять домішки згідно допустимій нормі, яка встановлюється в залежності від підприємства, на якому використовується вода. Так, вода, яка використовується в парових котлах, не містить газів (кисню і діоксиду вуглецю), оскільки вони викликають корозійне руйнування котлів. Вміст солей повинен не перевищувати 0,2...0,3 мг/л сухого залишку, оскільки солі осідають на внутрішні поверхні котлів у вигляді накипу, який викликає зменшення теплопровідності стінок, призводить до їхнього перегрівання і прискорює вихід котлів з дії. Особливо високі вимоги ставляться до води, яка використовується в процесі виробництва напівпровідників, люмінофорів і т.п.

### **Підготовка води до використання**

Перед використанням воду очищають. Для очищення води використовують відстоювання, фільтрування, знезараження, пом'якшення, знесолення, дегазацію і мембранізацію. Спосіб очищення вибирають в залежності від призначення води. На водоочисних станціях найчастіше користуються комбінованими способами.

*Табл. 1 –*

Допустима концентрація домішок у воді	
Домішки	Допустима концентрація
Суспендовані частинки, мг/л	1...1,5
Сухий залишок, мг/л	1000

В тому числі:	
сульфати	500
нітрати	10
хлориди	350
фториди	1,5
Загальна жорсткість	7,0
Концентрація бактерій в 1 мл води	100
Кількість кишкових паличок в 1 л води	3,0
pH	6,5...7,5
Залізо, мг/л	0,3
Залишок активного хлору, мг/л	0,3...0,5
Ядовиті речовини, мг/л:	
берилій	0,0002
селен	0,001
фенол	0,001
миш'як	0,05
свинець	0,1
марганець	0,1
мідь	1,0
стронцій	2,0
цинк	5,0

**Відстоювання.** Цим способом воду очищають від завислих в ній частинок органічного і мінерального походження. Воду відстоюють у великих бетонованих резервуарах. Для прискорення осідання дрібнодисперсних частинок до води додають коагулянти – сульфати заліза або алюмінію. Одночасно з виведенням цих домішок у воді знижується вміст солей, які обумовлюють тимчасову жорсткість.

**Фільтрування.** Воду фільтрують через піщані фільтри, які знизу доверху пошарово складаються з каменю, гравію та піску. Висота фільтра досягає 3,5 м, з них 1 м – товщина шару піску. Такий фільтр затримує до 80% кишкових паличок. Після відстоювання і фільтрування вода стає прозорою.

**Знезараження** – це очищення води від шкідливих мікроорганізмів. Ця операція обов'язкова при очищенні питної води. Хвороботворні мікроорганізми знищують хлоруванням, озонуванням або кип'ятінням води. Знезаразити воду можна за допомогою іонів срібла, ультрафіолетових променів і ультразвукових коливань. Для хлорування використовують хлорне вапно або газоподібний хлор. Надлишок хлору з води виводять, пропускаючи її через вугільні фільтри.

Останнім часом питну воду знезаражують в основному за допомогою озону, який отримують дією електричного розряду на повітря або на повітря, збагачене киснем. Під час обробки води озон розпадається з виділенням атомарного кисню, який має сильні окислювальні властивості: вбиває мікроорганізми і окисляє органічні домішки.

**Пом'якшення і знесолення.** Це дуже важливий процес підготовки промислових вод. Якщо воду очищають від солей кальцію і магнію, то процес називають пом'якшенням, якщо виводять з води всі солі – знесоленням. Способи пом'якшення поділяють на фізичні, хімічні та фізико-хімічні.

До фізичних способів пом'якшення належать кип'ятіння, дистиляція, виморожування і мембранізація. Кип'ятінням усувається тимчасова жорсткість. Під час кип'ятіння гідрокарбонати кальцію і магнію перетворюються в нерозчинні карбонати, які осідають:

Цей спосіб не застосовують для пом'якшення великої кількості води, оскільки він дуже повільний і не економічний.

**Хімічні способи** пом'якшення води ґрунтуються на додаванні до води хімічних реагентів. Назва способу походить від обраного реагенту: гашене вапно  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – вапняковий; їдкий натр  $\text{NaOH}$  – натрійний; тринатрій фосфат  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  – фосфатний; сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – содовий. Найчастіше застосовують комбіновані способи, оскільки з їхньою допомогою можна усунути як постійну, так і тимчасову жорсткість. Це економічно вигідно. Найчастіше застосовуються вапняно-содовий і фосфатний способи пом'якшення води.

Використовуючи **вапняно-содовий спосіб** пом'якшення, воду спочатку обробляють вапняним молоком, а потім содою. Вапняне молоко добре виводить солі, які обумовлюють тимчасову жорсткість, а сода-постійну:

Вапняно-содовий спосіб пом'якшення води застосовують дуже широко, оскільки він дешевий.

У разі застосування **фосфатного способу** пом'якшення до води додають тринатрій фосфат, який виводить солі тимчасової і постійної твердості:

Фосфатний спосіб пом'якшення води дуже дорогий, його застосовують головним чином в комбінованих способах, коли основна маса солей виводиться за допомогою вапняного молока або соди. В кінці процесу пом'якшення до води додають тринатрій фосфат.

**До фізико-хімічних** способів належить іонно-обмінний, який широко застосовують у промисловості. В основі цього методу лежить властивість деяких речовин – іонітів – обмінювати іони, які входять до їхнього складу, на іони, які знаходяться у воді. Іоніти поділяються на катіоніти і аніоніти. Катіоніти містять рухливі іони натрію або водню і називаються відповідно Na-катіонітами і H-катіонітами. Аніоніти містять рухливу гідроксидну групу і називаються OH-аніонітами. Прикладом Na-катіонітів є алюмосилікати, а H-катіонітів – сульфоване вугілля. До OH-аніонітів належать штучні смоли, наприклад карбамідні.

Очищення води з використанням іонітів відбувається так.

**Катіонний обмін.** Воду пропускають через катіоніти, наприклад алюмосилікат складу . Між солями, які знаходяться у воді, і алюмосилікатом проходить обмінна реакція

де [Кат] – молекула ( ), яка не бере участі в реакції.

У випадку використання H-катіоніта має місце такий процес обміну:

**Аніонний обмін** можна зобразити у вигляді рівняння

В процесі очищення води іоніти забруднюються і перестають діяти, їх регенерують: аніоніти промивають лугом (4%-м розчином NaOH), а катіоніти – розчином сірчаної кислоти або кухонної солі.

На практиці воду очищають так: спочатку пропускають її через катіоніт, де вона очищається від іонів кальцію, магнію і натрію в Н-катіонітовому фільтрі, а потім – через ОН-аніоніт, який обмінює ОН-іони на аніони.

Цей спосіб очищення води характеризується компактністю, простотою обладнання та обслуговування. Він краще очищає воду від розчинених в ній солей і, що найголовніше, дешевше в порівнянні з деякими хімічними способами, особливо з вапняно-содовим.

**Дегазація води** – це видалення розчинених в ній газів, її проводять фізичним і хімічним способами. Під час фізичного способу воду нагрівають у вакуумі, під час хімічного воду обробляють хімічними реагентами, які взаємодіють з газами, і продукти реакції виводять із води. Наприклад, діоксид вуглецю виводять з води, пропускаючи її через фільтр, заповнений гашеним вапном, або додають до води вапняне молоко. В обох випадках утворюється сіль  $\text{CaCO}_3$  яка випадає в осад.

Підготовка води до використання підвищує її собівартість. Так, після фільтрування собівартість води збільшується в 2,5 рази порівняно з річковим очищенням; часткове пом'якшення води в 8 разів підвищує її собівартість, а знесолення і повне пом'якшення – в 10-11 разів.

## **Очищення стічних вод**

Швидкі темпи розвитку промисловості привели до того, що деякі річки перетворилися в каналізаційні стоки, разом з тим забруднені моря і океани. Особливої шкоди водним ресурсам планети завдають видобувна, хімічна, металургійна та нафтопереробна галузі промисловості, з'являються нові види забруднення стічних вод, для яких існуючих способів очищення недостатньо. До них належать синтетичні миючі засоби, отрутохімікати, які широко використовують у сільському господарстві та побуті. Промислові та побутові стічні води містять різні органічні і неорганічні речовини. Особливо небезпечними є сполуки фосфору, хлору, миш'яку, свинцю, міді, якщо такі води зливати у водойми (річки, озера, моря), то загине все живе.

У зв'язку з розвитком атомної енергетики і застосуванням радіоактивних ізотопів виникла потреба знезаражувати радіоактивні стічні води. Для цього потрібні складні очисні споруди із застосуванням спеціальних способів очищення.

Слід прагнути, щоб технологія виробництва не допускала в стічних водах шкідливих речовин, так як жоден з існуючих способів очищення не дає можливості повністю усунути загрозу забруднення природних водоймищ. Перед випуском стічних вод у водойми їх очищають механічним, фізико-хімічним, хімічним та біологічними способами.

**Механічні способи** очищення стічних вод полягають у їхньому відстоюванні і фільтруванні. В результаті механічні домішки осідають на дно або залишаються на фільтрі.

**Фізико-хімічні методи** очищення ґрунтуються на масообмінних процесах. Адсорбція і екстракція, які використовуються для очищення стічних вод, вимагають дорогих реагентів і порівняно складного обладнання, їх доцільно застосовувати для очищення води, яка містить невелику кількість розчинених у ній отруйних речовин. Так, адсорбцією з використанням адсорбенту – активоване вугілля зі стічних вод кольорової металургії вилучають цинк, мідь, свинець, нікель та інші метали. Від фенолу воду очищають екстракцією з використанням мінеральних масел або бензолу. Для очищення води широко використовують іоніти. Таким чином очищають воду від мідних солей, шкідливих для життя людей і тварин, коли їхня кількість у воді перевищує 1 мг/л. Вода, придатна для життя риб, повинна містити цих солей менше ніж 0,01 мг/л.

**Хімічні способи** очищення стічних вод ґрунтуються на взаємодії спеціально доданих до води хімічних реагентів з домішками, які є у воді. В результаті реакції (нейтралізації, окиснення, відновлення) отруйні речовини переходять в неотруйні або випадають в осад, який відокремлюють механічними способами.

**Біохімічні способи** очищення стічних вод на сьогодні є надійними та ефективними. Суть очищення води складається в окисненні домішок за допомогою мікроорганізмів – бактерій. Бактерії розщеплюють жири, білки та інші сполуки на діоксид вуглецю, воду і мінеральні солі. Біохімічне очищення проводять в спеціальних басейнах, на дні яких прокладені труби. По цих трубах безперервно подається повітря, необхідне для життя і розмноження бактерій. Харчуванням для бактерій є органічні речовини, які містяться в стоках. З плином часу кількість бактерій збільшується, а домішок – зменшується. Воду очищують від бактерій дуже просто: бактерії важчі за воду і осідають на дно басейну у вигляді мулу. Частину мулу використовують для очищення води, а залишок висушують і використовують на полях. Воду хлорують або озонують і випускають в річку.

Біологічні способи застосовують для очищення головним чином фекальних вод, тобто стічних вод великих населених пунктів.

### **Раціональне використання води**

Вода – один з найважливіших видів природної сировини. Щодня потреби у воді виростають. Витрати води на деяких сучасних промислових підприємствах складають кілька мільйонів кубічних метрів на рік. До таких підприємств належать заводи, на яких виробляють хімічні волокна, пластмаси, продукцію хлорорганічного синтезу і т.п. Наприклад, для виробництва капронового волокна витрачається стільки води, скільки її потрібно для міста з населенням 120 тис. Поряд з цим дані підприємства є джерелами сильного забруднення стічних вод. Саме тому основним

завданням для кожного підприємства є створення закритого циклу використання води для своїх потреб, суть якого полягає в очищенні води, яку вже використовували в технологічному процесі, з метою подальшого її використання. Таку воду називають зворотною.

Основним завданням всіх підприємств, які використовують воду, є раціональне і комплексне її використання. Для цього треба вибрати такі технологічні процеси і обладнання, які вимагають найменше свіжої води і не забруднюють навколишнє середовище; регламентувати витрати води на виробництво одиниці продукції (1 т, 1 м, 1 л і т.п.); розширити використання оборотних вод; підвищити ефективність очищення стічних вод; удосконалити технологічні процеси з метою більш повного використання відходів, щоб зменшити потреби в очисних спорудах. Це дуже важливо, оскільки витрати на побудову очисних споруд становлять майже п'яту частину кошторисної вартості будівництва промислових підприємств. Крім того, під їхню побудову виділяються величезні ділянки родючих земель.