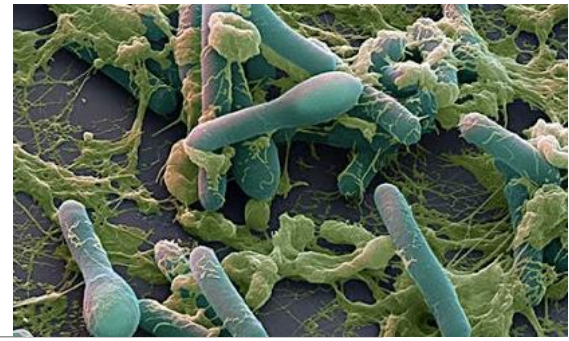


# Знезараження

звільнення води від хвороботворних мікроорганізмів



## Реагентні методи

- Обробка сильними окисниками
- Обробка іонами важких металів



## Безреагентні методи

- Ультрафіолетове опромінення
- Ультразвукова обробка
- Термічний метод
- Електрознезараження

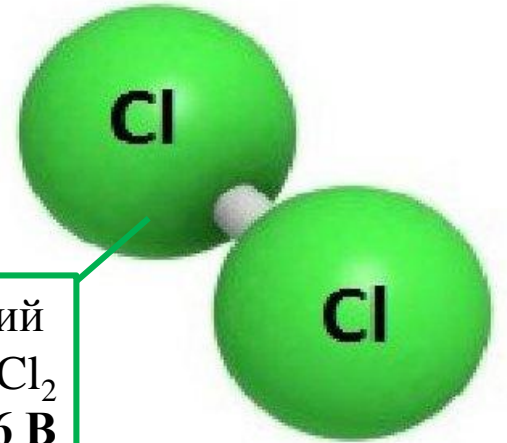


# Хлорування води

обробка води хлоровмісними речовинами

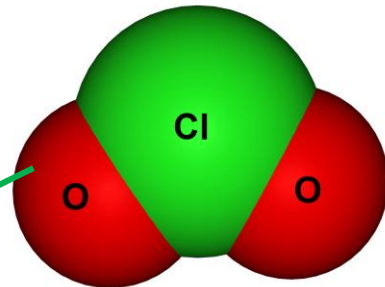
## Хлоровмісні речовини:

- ❖ газоподібний хлор  $\text{Cl}_2$
- ❖ хлорне вапно – технічна суміш гіпохлориту кальцію, хлориду кальцію та гідроксиду кальцію  $\text{Ca}(\text{ClO})\text{Cl}$
- ❖ гіпохлоритна кислота  $\text{HOCl}$
- ❖ гіпохлорит натрію  $\text{NaOCl}$
- ❖ хлорамін  $\text{NH}_2\text{Cl}$
- ❖ діоксид хлору  $\text{ClO}_2$

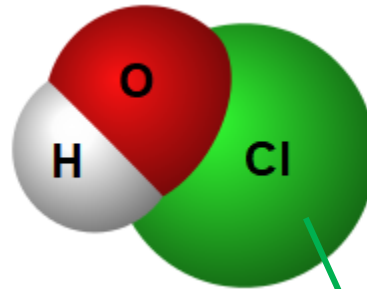


окиснювальний  
потенціал  $\text{Cl}_2$   
**1,36 В**

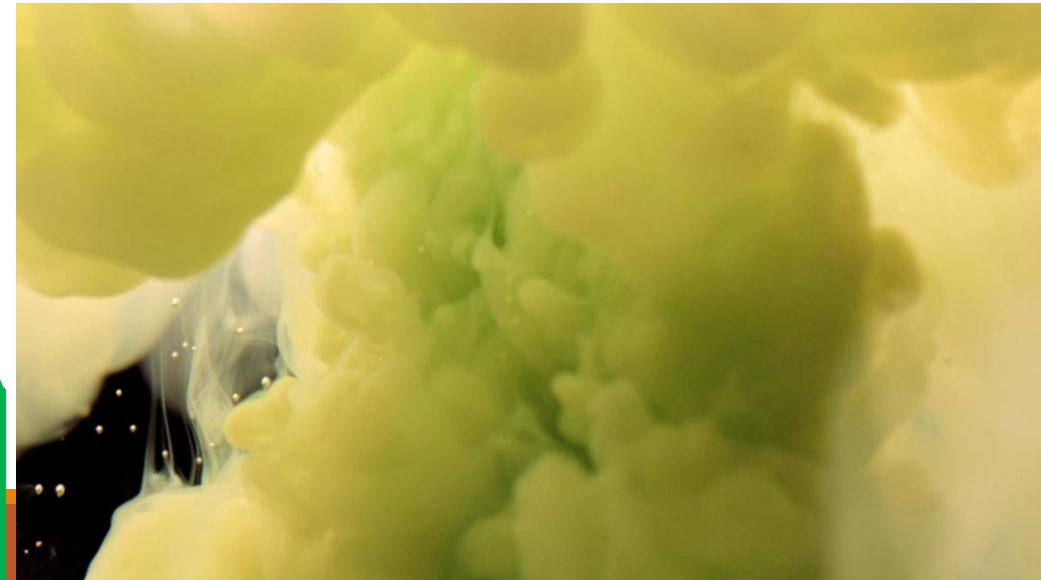
**Знезаражуюча дія** хлору полягає в **окисненні** хлором органічних речовин мікробної клітини. Окисник вступає в реакцію з ферментами бактерії, порушує її обмін речовин.



окиснювальний  
потенціал  $\text{ClO}_2$   
**0,94 В**



окиснювальний  
потенціал  $\text{HOCl}$   
**1,49...1,63 В**



# Хлорування води. Гідроліз хлоровмісних речовин

При введенні в воду хлор гідролізує:  $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HCl} + \text{HOCl} \leftrightarrow 2\text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{OCl}^-$

Ступінь гідролізу залежить від pH:

Окиснювальні  
потенціали:

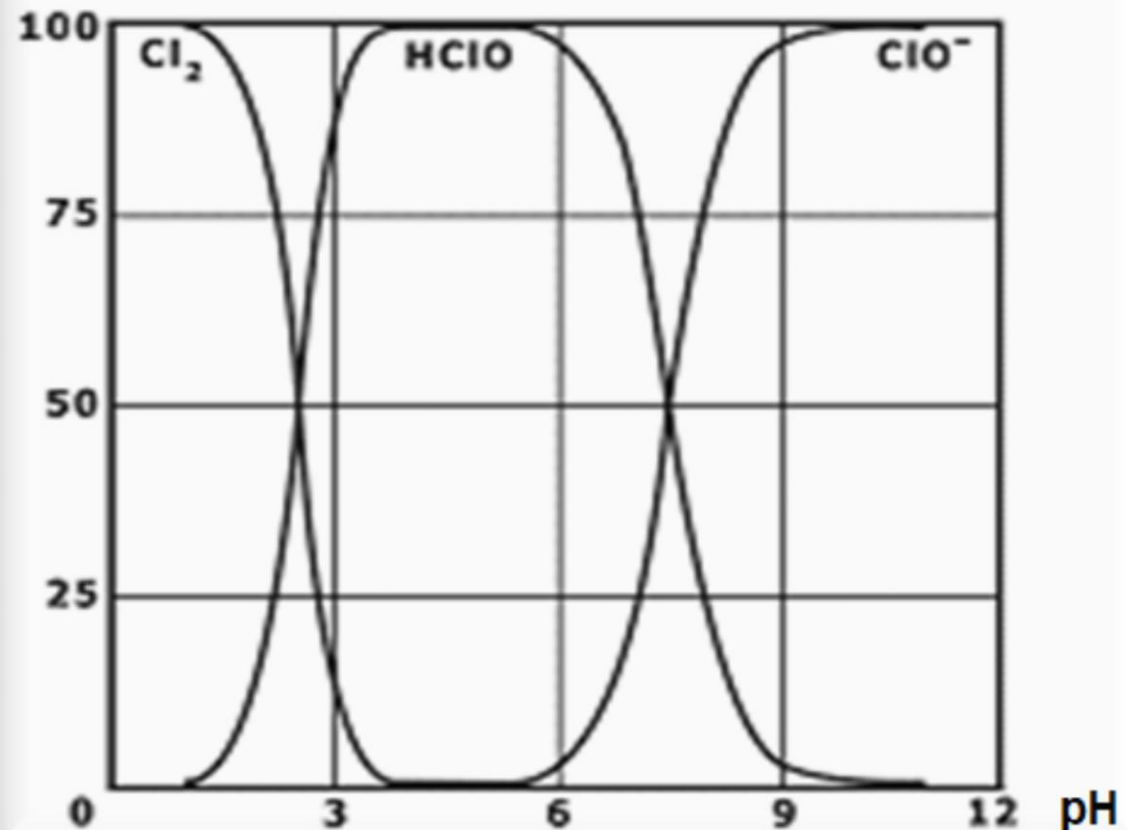
$\text{Cl}_2$  1,36 В

$\text{HOCl}$  1,49...1,63 В

$\text{OCl}^-$  0,4...0,88 В

Отже із зростанням pH  
зnezаражуючий ефект знижується!

Вміст форми активного хлору, %



# Хлорування води. Гідроліз хлоровмісних речовин

---

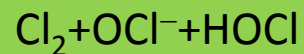
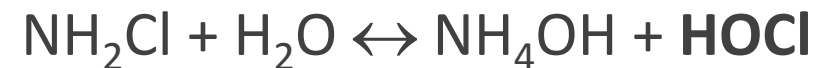
**Хлорне вапно** гідролізує повільно, рН зростає до 10,5, окиснювальна здатність падає



**Гіпохлорит** натрію



**Хлорамін** гідролізує дуже повільно



Суму концентрацій бактерицидних форм хлору (в мг/дм<sup>3</sup>) називають **вільним активним хлором**

# Хлорування води

Мікробоцидний ефект залежить від:

- ❖ початкової дози хлору
- ❖ тривалості контакту
- ❖ ступеня забрудненості води

із збільшенням дози введеного хлору дія його стає більш помітною

із збільшенням тривалості контакту дія його стає більш ефективною

наявність у воді окиснюваних речовин знижує ефективність дії хлору за рахунок перевитрати хлору на супутні процеси

наявність завислих у воді домішок значно знижує ефективність хлору за рахунок сорбції та механічного захисту бактерій і вірусів

Оскільки хлор окиснює усі окиснювані домішки води, окрім знезараження **спостерігається також** зменшення окиснюваності води, запахів, забарвлення, токсинів, заліза тощо.

Під час окиснення домішок води хлором можуть утворюватися **хлорпохідні продукти** розкладення рослинних і тваринних організмів, які мають стійкі запахи, також канцерогенні властивості – хлорорганічні, хлорфенольні сполуки.

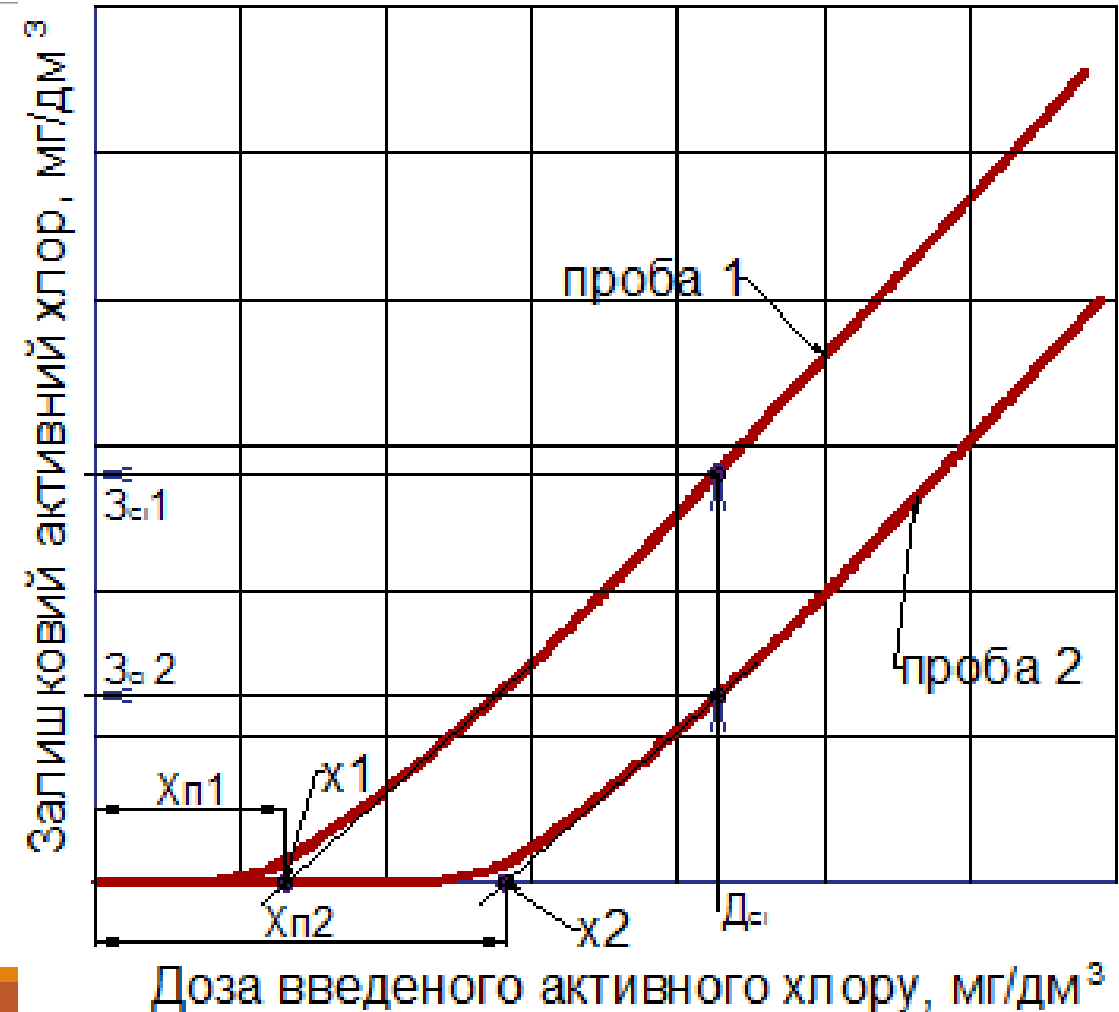


**Хлоропоглинання води** – кількість активного хлору, що витрачається на окиснення домішок в 1 дм<sup>3</sup> води продовж 30 хв.

Озерна вода  $X_p = 2...2,5 \text{ мгCl}_2/\text{дм}^3$       Болотяна вода  $X_p \rightarrow 5 \text{ мгCl}_2/\text{дм}^3$

**Крива хлоропоглинання води** – залежність кількості залишкового (після 30-хв. контакту) активного хлору від дози хлору

- ✓ Точка «х» на осі абсцис відповідає величині хлоропоглинання води
- ✓ Крива дозволяє визначати необхідні дози хлору при відомих значеннях бажаного залишкового хлору та навпаки – за величиною дози хлору прогнозувати залишковий хлор
- ✓ Результати аналізу хлоропоглинання різних проб води дозволяють їх порівняння: проба 2 отримана від більш забрудненого джерела води



# Хлорування в присутності амонійних сполук

В присутності аміаку та амонійних сполук характер кривої змінюється:

**I** – малі дози хлору.

◆ Залишковий активний хлор через 30 хв. у воді не виявляється. Весь доданий хлор витрачається на окиснення домішок.

**II** – зона утворення хлорамінів.

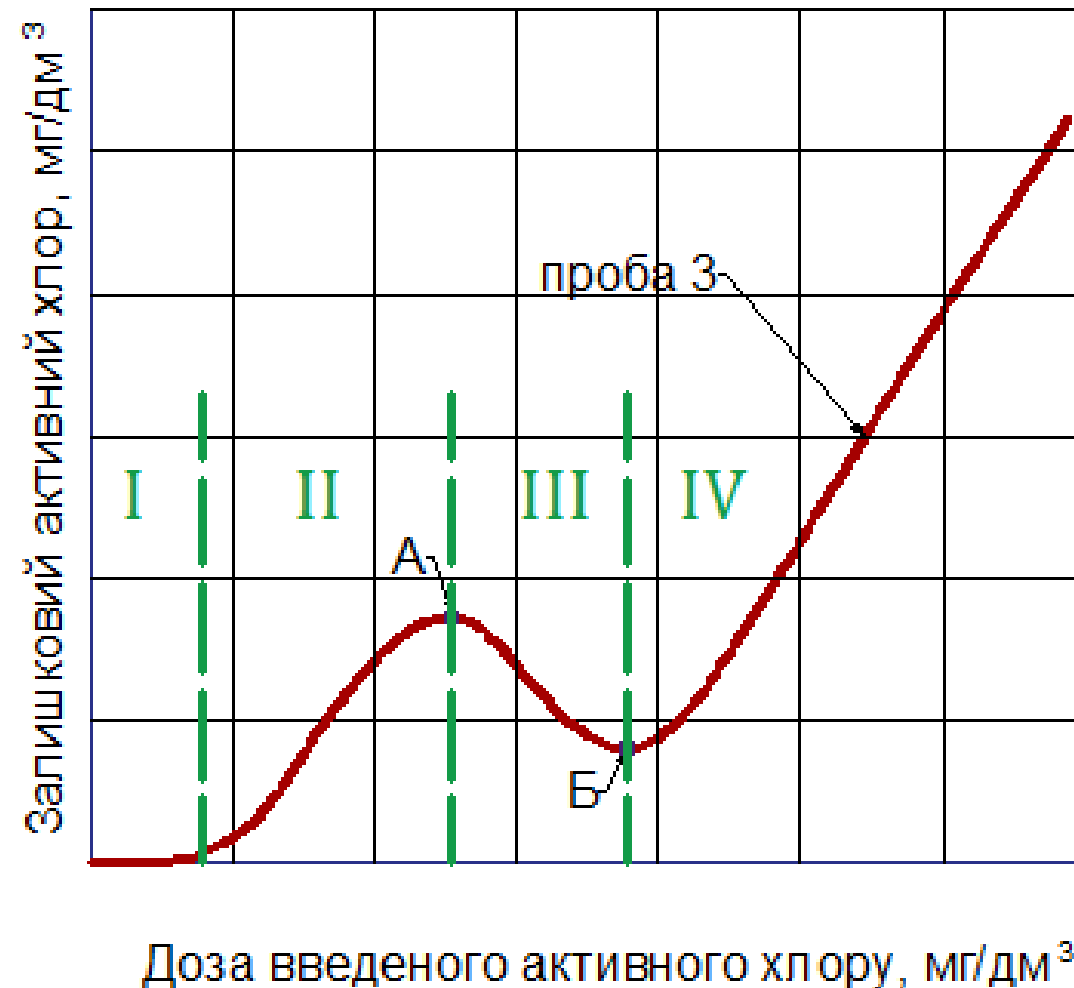
◆ Максимум на кривій – точка **A**, відповідає зв'язуванню всіх амонійних сполук у хлораміни. За висотою піка можна судити про концентрації у воді амонійних сполук.

**III** – зона розкладання хлорамінів до небактерицидних сполук хлору.

◆ Мінімум на кривій - точка **Б**, відповідає повному руйнуванню хлорамінів. Точку Б називають точкою перелому кривої.

**IV** – зона вільного активного хлору.

◆ У цій зоні спостерігається пряма пропорційність між введеним і залишковим хлором.



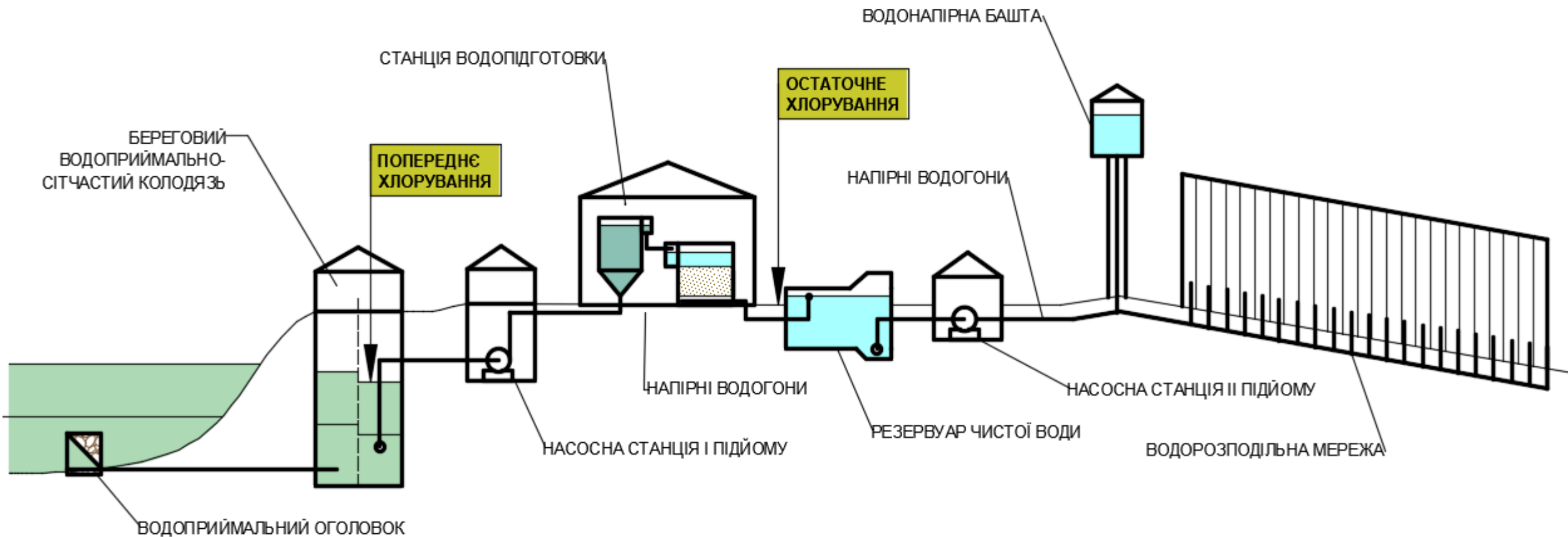
# МЕТОДИ ХЛОРУВАННЯ

ПОПЕРЕДНЄ

хлорування «сирої» води до застосування інших методів її обробки

ОСТАТОЧНЕ

хлорування очищеної води перед подачею її до розподільчої мережі





# Методи хлорування

## Способи обробки

### попереднє

- покращення якості води;
- полегшення перебігу подальшої обробки;
- забезпечення належного санітарного стану споруд

підвищені дози хлору,  
або в комбінації з  
перманганатом,  
амонізацією

пере-  
хлорування

комбіноване  
хлорування

### остаточне

- знезараження води;
- запобігання вторинному забрудненню води у водопровідній мережі

оптимальні дози  
хлору

нормальне  
хлорування

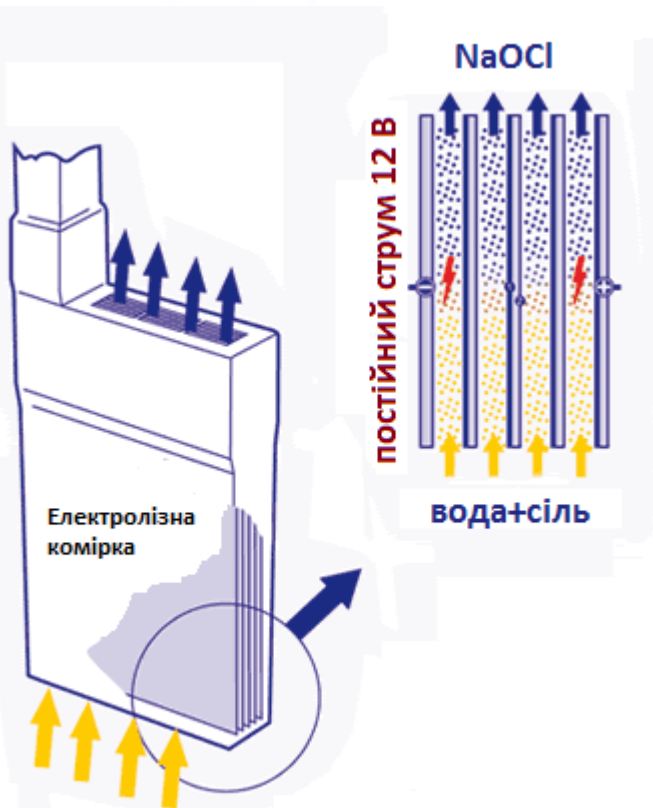
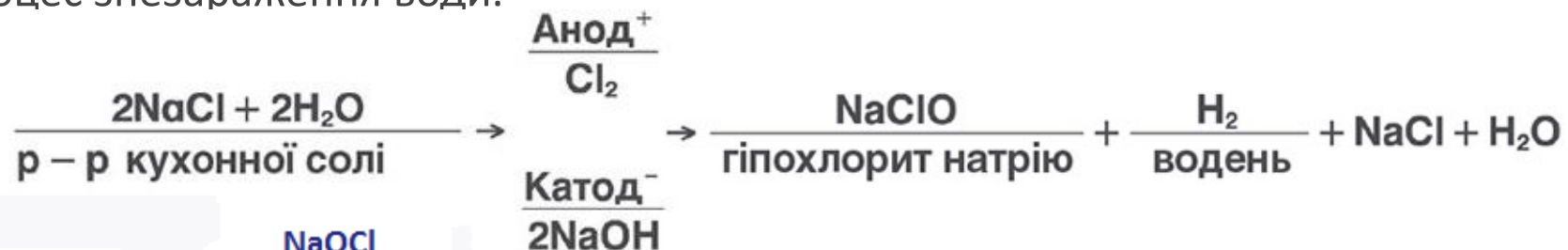
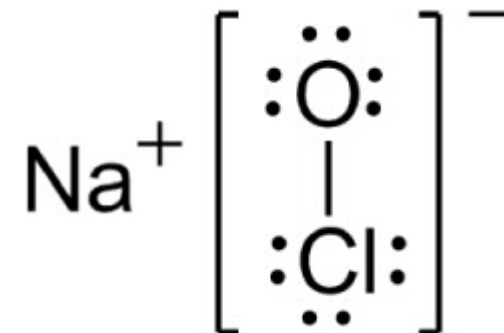
### Норма залишкового хлору:

- $\text{Cl}_2$  0,3...0,5 мг/л
- $\text{ClO}_2 \geq 0,1$  мг/л

**Оптимальною** вважається доза хлору, яка після 30-хвилинного контакту з водою забезпечує залишковий хлор в межах **норми**

# Обробка гіпохлоритом натрію

Електролітичний метод отримання гіпохлориту характеризується малими витратами і безпекою; реагент легко дозується, що дозволяє автоматизувати процес знезараження води.



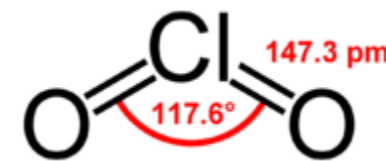
## Переваги та недоліки NaOCl

(в порівнянні з газоподібним хлором):

сильний окисник,  
містить 95,2%  
активного хлору;  
безпечний при  
виготовленні,  
зберіганні та  
використанні

низька ефективність  
проти цист;  
втрачає активність  
при зберіганні;  
не окислює  
марганець

# Обробка діоксидом хлору $\text{ClO}_2$



- Газ червонувато-жовтого кольору з характерним запахом
- При  $t \leq 10^\circ\text{C}$  – рідина червоно-брунатного кольору
- Малостійкий, вибухонебезпечний у концентраціях  $> 10\%$  в повітрі, на світлі, при контакті з відновниками та при нагріванні
- У водному розчині жовто-зелений
- Окиснювальний потенціал в водному розчині 0,94 В
- **Реакція** окиснення при обробці питної води:
  - $\text{ClO}_2 + \bar{e} \rightarrow \text{ClO}_2^-$  (хлорит-іон)
  - $\text{ClO}_2^- + 4\text{H}^+ + 4\bar{e} \rightarrow \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$  (дуже повільно – тривалий пролонгований ефект)



# Обробка діоксидом хлору $\text{ClO}_2$

- Біоцидний ефект  $\text{ClO}_2$  ґрунтується на реакції з органічними речовинами на поверхні клітинної мембрани, порушенні обмінних процесів всередині мікроорганізму.
- Відноситься до групи окисників, **що не виділяють активний хлор**. Натомість, основною діючою речовиною є **активний кисень**.
- Під час окиснення електрони в молекулі  $\text{ClO}_2$  приймаються атомами кисню, тому клітини мікроорганізмів впізнають в ньому кисень і не здатні виробити захисні заходи. Завдяки цьому проникна здатність у діоксиду дуже висока.
- Під час знезараження застосовується більш низька концентрація розчину та значно менші дози реагенту.
- Менше корозивний і не виділяє вільний хлор в атмосферу.
- Не утворює хлорорганічних сполук та інших канцерогенів.



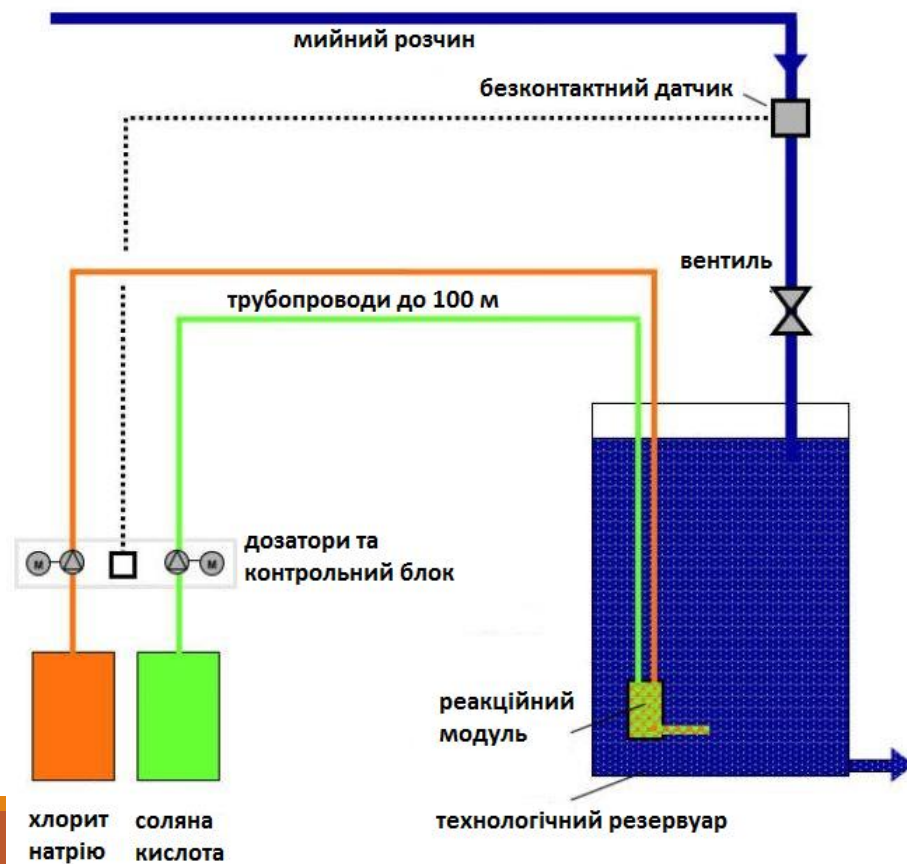
# Обробка діоксидом хлору $\text{ClO}_2$

## Переваги та недоліки знезараження $\text{ClO}_2$

(в порівнянні з газоподібним хлором):

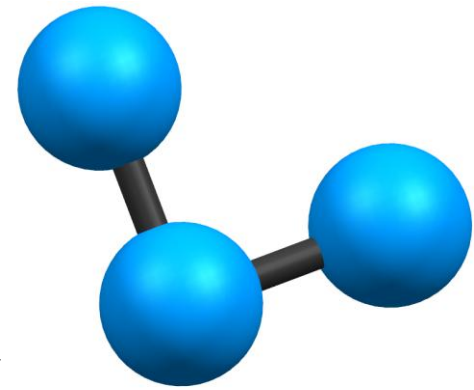
висока швидкість та ефективність дії; незалежність від pH; відсутність хлорорганічних сполук; тривалий пролонгований ефект	необхідність приготування на місці застосування; необхідність контролю вмісту у воді побічних продуктів – хлоритів і хлоратів
---	--

$\text{ClO}_2$  погано зберігається, тому виготовляється на місці застосування:

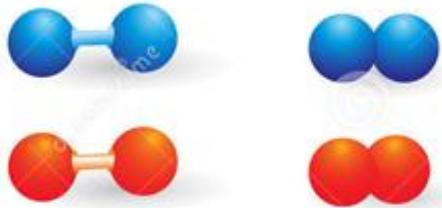


# Озонування води

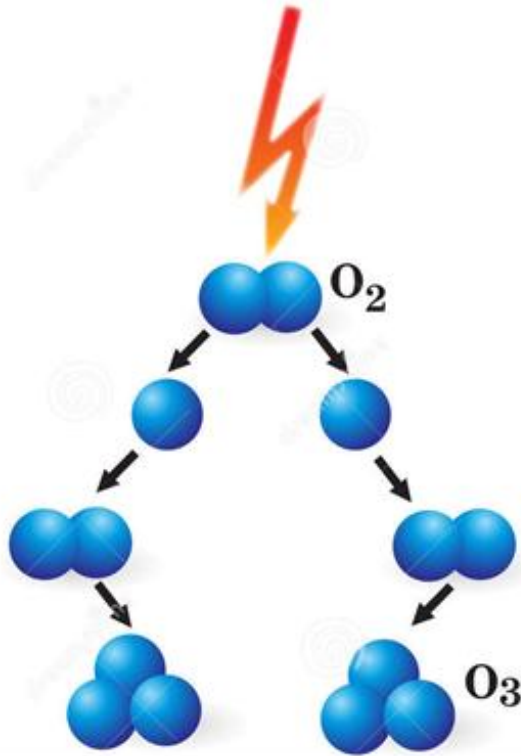
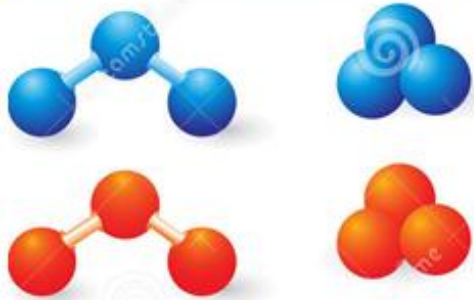
**Озон** – алотропічна модифікація кисню  $O_3 \leftrightarrow O_2 + O$



**Oxygen**  $O_2$



**Ozone**  $O_3$



Газ блакитного кольору зі свіжим запахом, вибухонебезпечний, токсичний

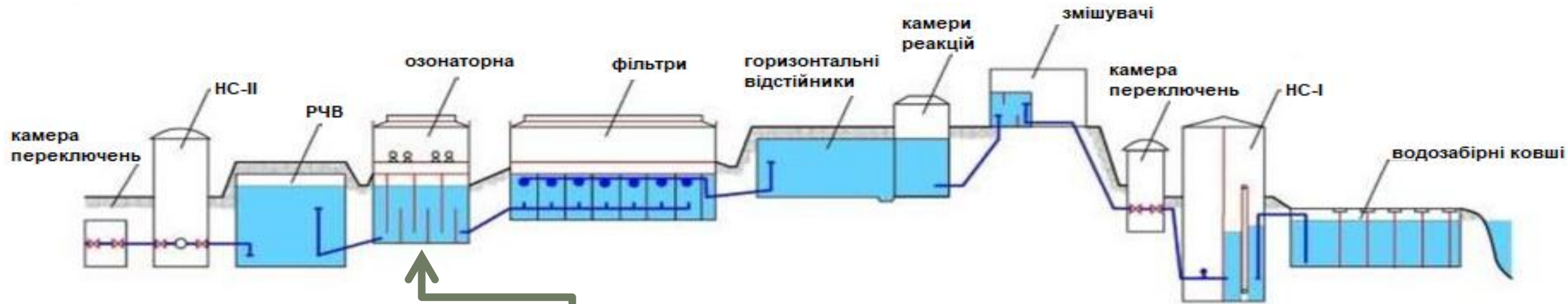
Окиснювальний потенціал **1,24...1,51 В**

Бактерицидна дія ґрунтується на окиснювальних процесах в мікробній клітині.

В природі виникає внаслідок електричного розряду під час грози, а також при розкладанні деяких органічних речовин

На станціях водопідготовки видобувається в озонаторах – пропусканням **«тихого» електричного розряду** через очищене та висушене повітря





## Переваги та недоліки озонування води:

швидкість та ефективність дії;	швидкість та ефективність дії;
покращення органолептичних властивостей води	висока корозійна активність;
відсутність закупок реагентів;	відсутність пролонгованої дії
відсутність небезпеки передозування	



Обробці піддається очищена вода – завислі речовини сорбують газ, гумусові збільшують дозу

**Норма залишкового  $O_3$**   
**0,1...0,3 мг/л**

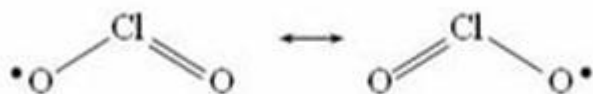
# Хлор, озон і діоксид хлору



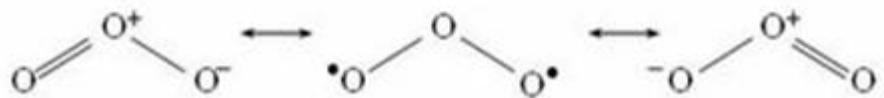
## Хлор



## Діоксид хлору



## Озон



- При хлоруванні основною діючою часткою є хлор-радикал ( $\text{Cl}^\bullet$ ).
- Через це під час хлорування утворюються хлорорганічні сполуки. На відміну від цього, діоксид хлору діє лише як окисник і не приєднується до органічних молекул.
- Структура молекули діоксиду хлору дуже схожа на молекулу озону – в обох молекулах вільний радикал знаходиться на атомі кисню.
- Завдяки цьому проявляється висока окислювальна здатність цих сполук. Навіть запах цих речовин схожий.

# Знезараження води змішаними оксидантами

---

Розчин **змішаних оксидантів** отримав свою назву завдяки спеціальній технології електролізу розчину кухонної солі, яка дозволяє отримати кілька окисників в одному розчині.

Суміш оксидантів має більш сильні дезінфікуючі характеристики, ніж гіпохлорит або рідкий хлор.

Змішані оксиданти об'єднали в собі майже всі переваги хлору, гіпохлориту натрію, діоксид хлору, озону, перекису водню тощо. При цьому він практично позбавлений тих недоліків, які присутні в цих окисниках.





# Сріблування води

**Бактерицидна дія** пояснюється каталітичним впливом сорбованих на поверхні клітини іонів срібла на окиснювальні процеси, а також взаємодією з ферментами мікробної клітини

Окиснювальний потенціал 0,8 В

Бактерицидна доза **0,015 мг/дм<sup>3</sup>**;  
мікробостатична доза  $10^{-4} \dots 10^{-6}$  мг/дм<sup>3</sup>

Гранична допустима концентрація  
для фасованої води **0,025 мг/дм<sup>3</sup>**

Накопичення в організмі призводить до розвитку **аргії**





# Способи насичення води іонами срібла

Норма залишкового  $\text{Ag}^+$   
0,025 мг/л



контакт з  
розвиненою  
поверхнею



застосування  
срібловмісних  
реагентів



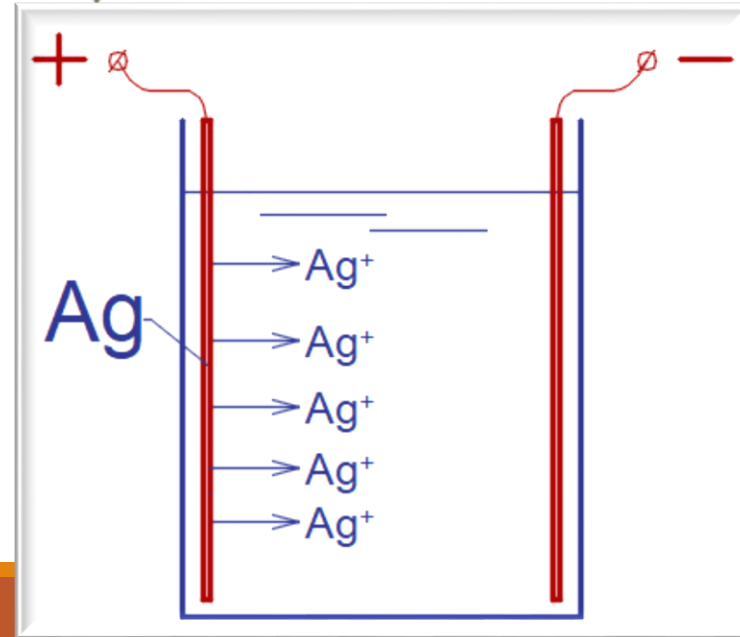
електрохімічне  
розчинення

## Переваги та недоліки сріблення води:



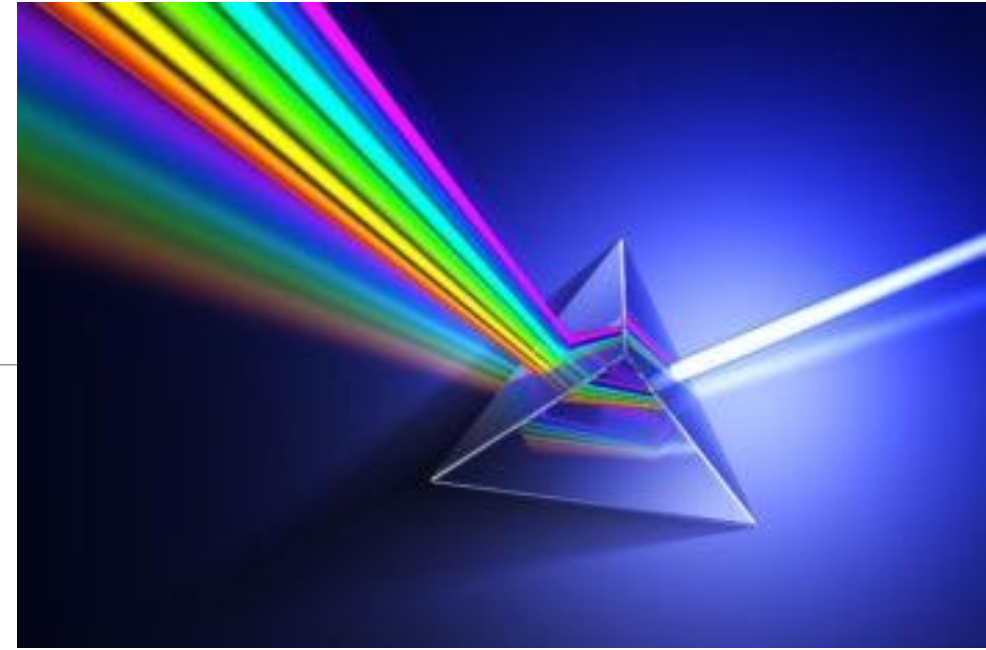
висока  
ефективність;  
можливість  
консервації води

висока вартість;  
можливість  
накопичення в  
організмі



# Ультрафіолетове опромінення

Частина спектру сонячного світла  $\lambda = 10...400$  нм;  
для знезараження використовується світло  
 $\lambda = 240...295$  нм; найбільш ефективна **265 нм**



**Бактерицидна дія** пояснюється порушенням генетичного матеріалу ДНК та РНК мікроорганізмів, фотокаталітичними реакціями в мікробній клітині

Для знищення більшості патогенних мікроорганізмів достатньо дози випромінювання в **15 мДж / см<sup>2</sup>**



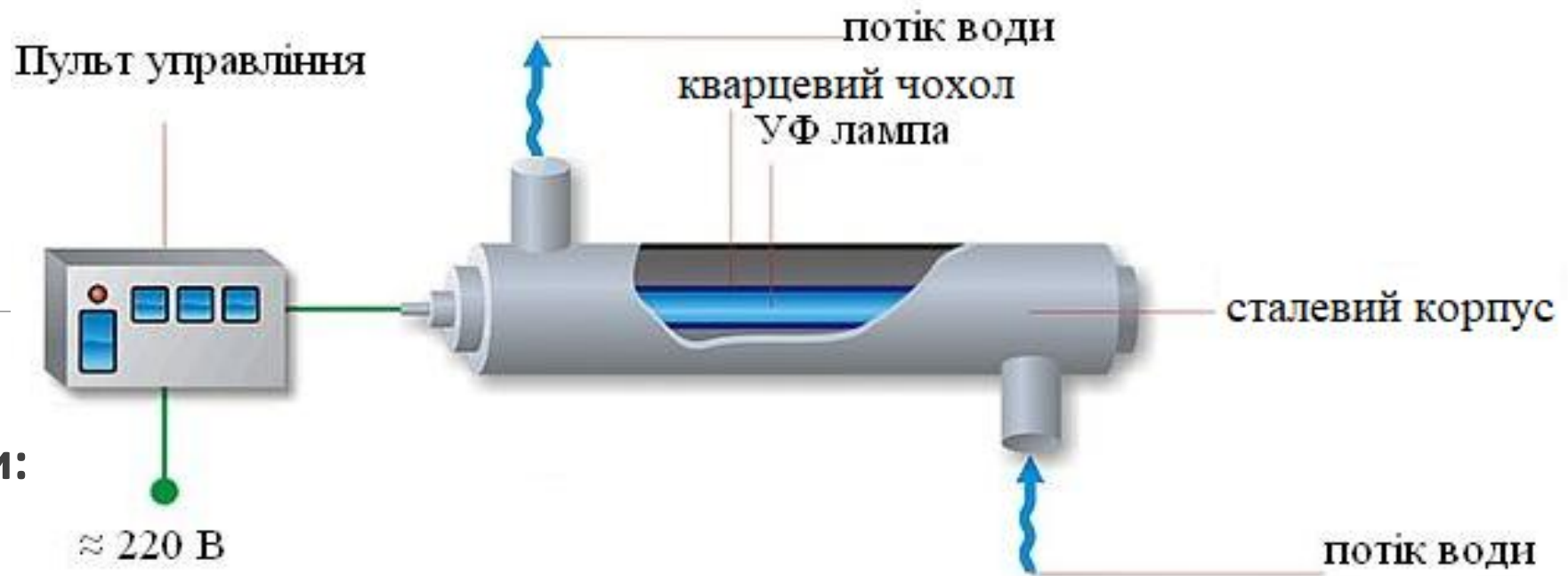


## Переваги та недоліки ультрафіолетової обробки:

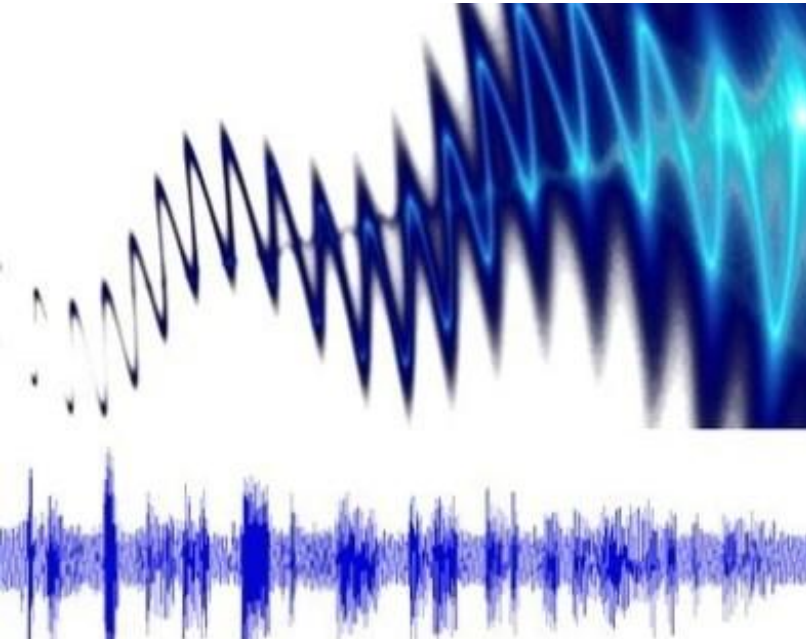


швидкість та  
ефективність  
знезараження;  
покращення  
органолептичних  
властивостей води

необхідність  
попередньої очистки  
води;  
відсутність  
пролонгованої дії



Обробляється очищена вода –  
зависі розсіюють хвилі,  
забарвлена вода поглинає хвилі



# Ультразвукова обробка

Ультразвук – це механічні коливання частотою  $\geq 10$  кГц

Бактерицидна дія пояснюється ефектом **ультразвукової кавітації** – спонтанного виникнення та розрив навколо мікроорганізмів у воді пухирців повітря при зміні локальних тисків під час дії та з частотою ультразвуку.

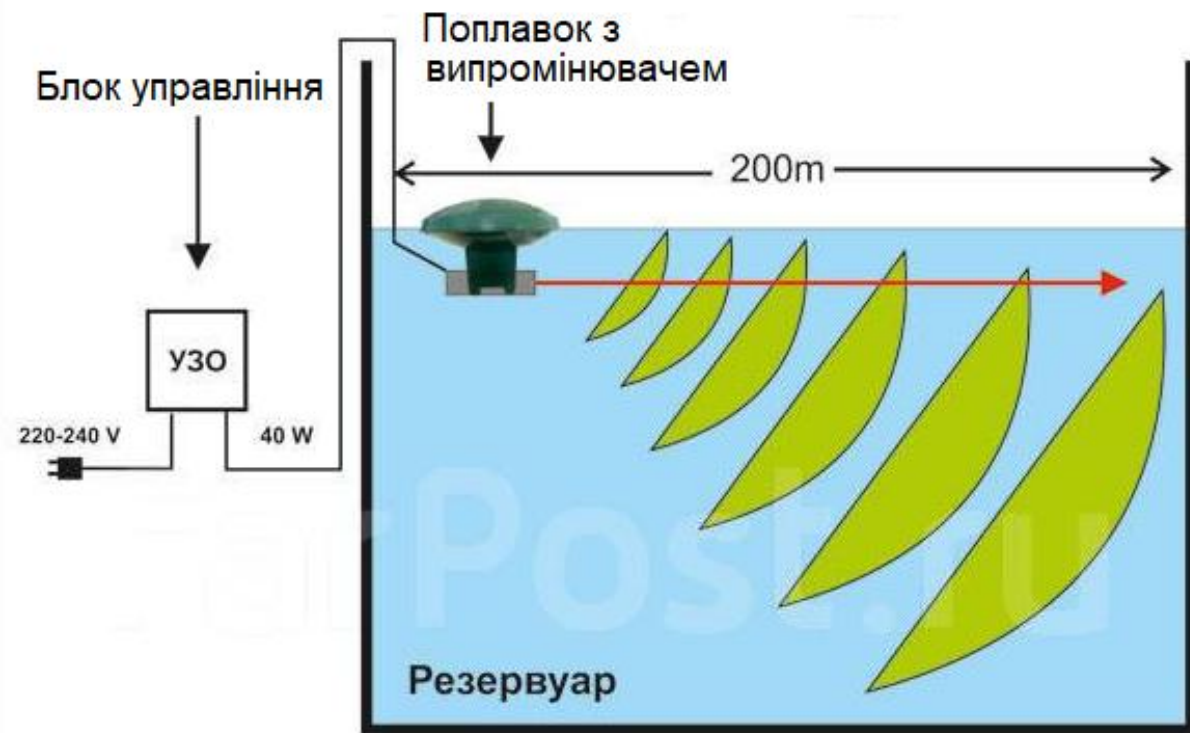
Локально виникають ділянки з дуже високою температурою (приблизно 5000 K) і тиском (приблизно 2000 атм).

Поширення кавітаційних бульбашок також призводить до утворення рідких струменів всередині рідини зі швидкістю до 280 м / с.

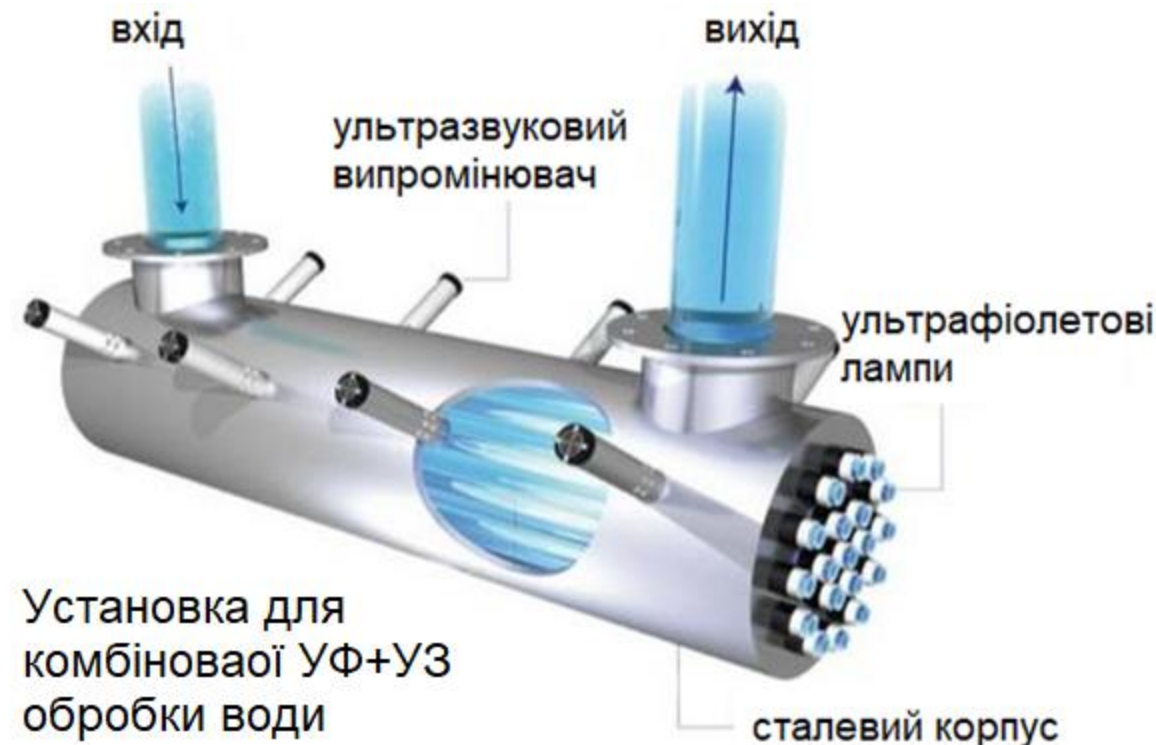
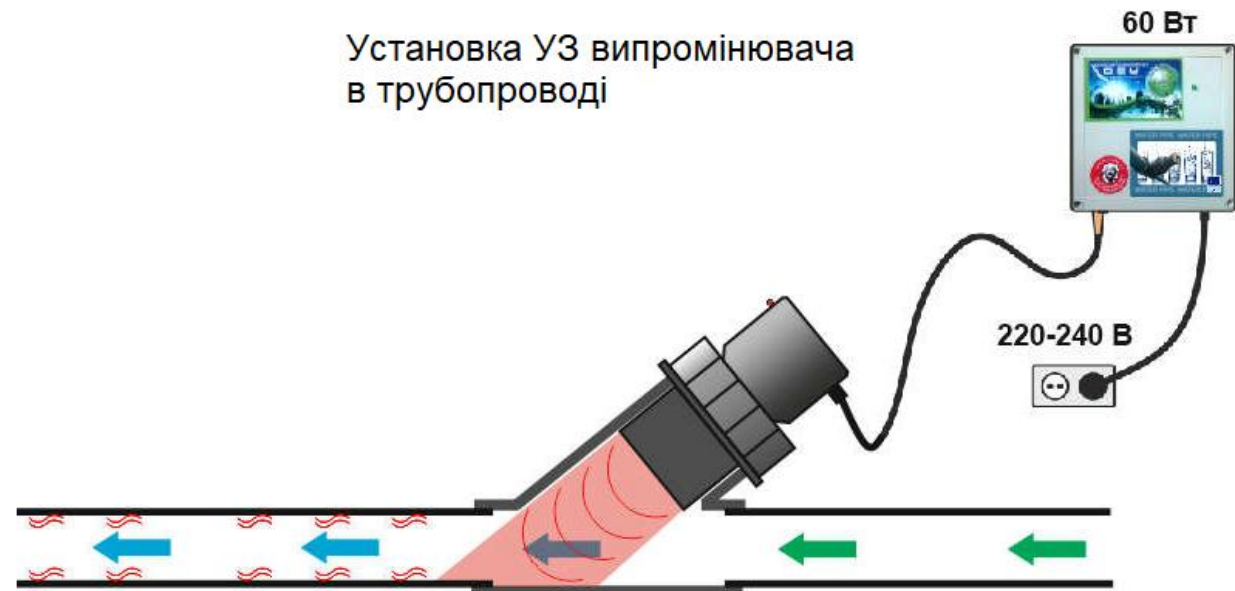


# Установки для ультразвукового зnezараження води

Установка УЗ випромінювача в резервуарі



Установка УЗ випромінювача  
в трубопроводі

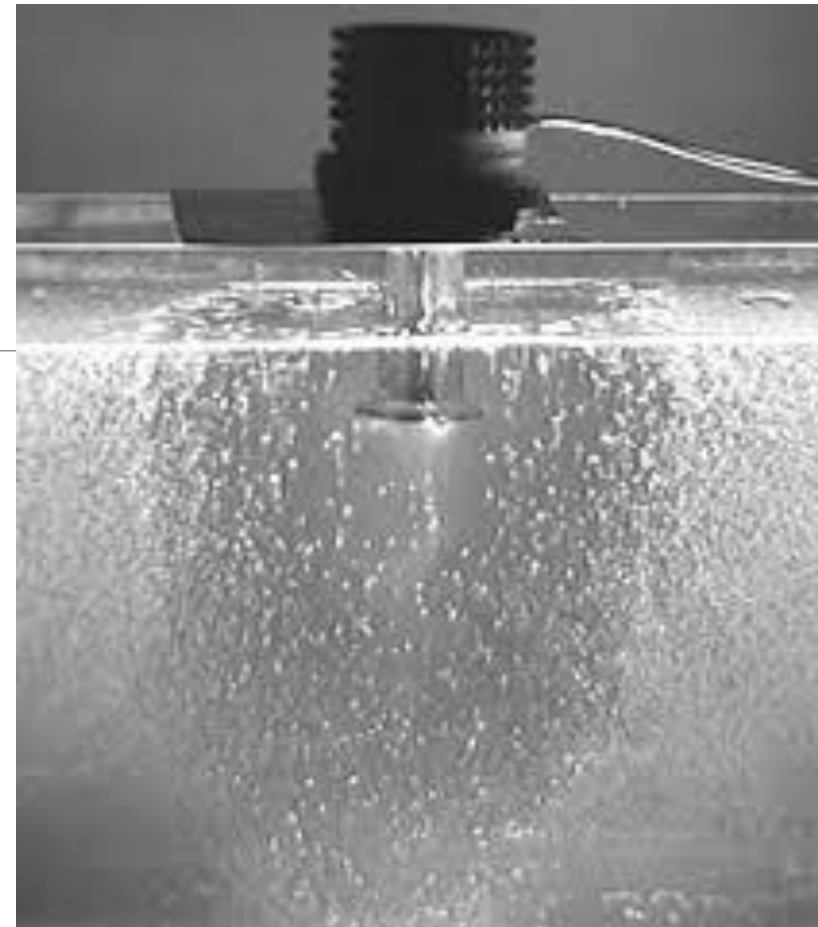


Установка для  
комбінованої УФ+УЗ  
обробки води

## Переваги та недоліки ультразвукової обробки:

можливість знищення об'єктів,  
захищених від впливу хімічних  
факторів;  
позитивний вплив на перебіг  
інших процесів обробки води;  
відсутність необхідності  
попередньої підготовки води;  
відсутність обмежень  
експлуатаційного ресурсу;  
боротьба з біобростаннями

відсутність пролонгованої дії





# Термічний метод

Низька ефективність, значна тривалість (не менш 15 хв.)

Низька надійність (не діє на спорові бактерії, цисти тощо)

Слід використовувати лише для надійних джерел



# Електроіпульсне знезараження

Методика: електричні розряди, що надходять в воду, створюють ударну хвилю, мікроорганізми потрапляють під гідравлічний удар і гинуть.

Спосіб **не вимагає** попереднього очищення і ефективний навіть при підвищеній мутності. Гинуть не лише вегетативні, але й спороутворюючі бактерії.

Перевагою є **тривале збереження ефекту** (аж до 4-х місяців), а недоліком - значна вартість і енергоємність.