

**Еколого-технологічне обґрунтування озонування води  
р. Сіверський Донець для питних цілій**

**Шифр «Озонування природної води»**

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Стан питання.....	5
1.1 Фізико-хімічні властивості озону.....	8
1.2 Окислення озоном неорганічних та органічних сполук.....	10
1.2.1 Окислення озоном неорганічних сполук.....	10
1.2.2 Окислення озоном органічних сполук.....	12
2 Поліпшення екологічних показників питної води.....	13
2.1 Зниження забарвленості та мутності води	
р. Сіверський Донець при обробці її озоном.....	13
2.2 Дезодорація озоном запахів і присмаків у воді.....	18
2.3 Бактерицидна дію озону на воду, що обробляється.....	23
3 Аналіз умов праці та виявлення шкідливих і небезпечних	
виробничих факторів при озонуванні питної води.....	24
4 Розробка організаційних і технічних заходів щодо створення	
безпечних та нешкідливих умов праці на конкретних об'єктах.....	26
Висновки.....	26
Список використаних джерел.....	27

## РЕФЕРАТ

Наукова робота містить 28 сторінок, 6 рисунків, 1 таблиць та 9 використаних джерел.

Метою наукової роботи є еколого-технологічне обґрунтування використання озону для знезараження питної води.

Завдання роботи: проаналізувати існуючі методи знезараження питної води, розглянути стан питання, ознайомитися з фізико-хімічними властивостями озону, його окислюючою дією, проаналізувати дію озону на екологічні показники питної води та виконати аналіз умов праці та виявлення шкідливих і небезпечних факторів при озонуванні питної води.

При виконанні експериментальних досліджень вивчалися такі основні питання, як:

- зниження забарвленості питної води;
- дезодорація запахів та присмаків;
- знезараження питної води.

Виконаний аналіз лабораторних журналів якісних показників природної води і різних напрямів озонування води на очисних спорудах.

Отримані результати аналізу лабораторних даних дають можливість обґрунтування озонування води р. Сіверський-Донець при підготовці її до питної якості та дає змогу стверджувати про економію реагенту при очищенні води.

Ключові слова: ОЗОНУВАННЯ, ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ, ХЛОРУВАННЯ, ПІДГОТОВКА ВОДИ.

## ВСТУП

Знезараження води в процесі водопідготовки для господарсько-питних цілей проводять з метою знищення можливих патогенних бактерій і вірусів на кінцевій стадії обробки та поліпшення санітарного стану споруд на попередньому етапі очищення [1].

Як правило, в якості знезаражувальних агентів використовують хлор, або його сполуки: діоксид хлору, гіпохлорити натрію і кальцію, хлорне вапно, хлораміни. Відомо, що недоліками цього відносно простого методу знезараження є знижена інактивуєча здатність по відношенню до спороутворюючих кишкових бактерій і вірусів, а також здатність вступати в реакцію з органічними речовинами і утворювати побічні, токсичні для людини речовини, що мають канцерогенну та мутагенну активність [2]. Небезпека ситуації посилюється тим, що в зв'язку з практично повсюдним антропогенним забрудненням води, як в поверхневих, так і в підземних джерелах водопостачання достатню дозу хлору при знезараженні доводиться збільшувати, а це, крім утворення токсичних хлорорганічних сполук, погіршує смак і запах води. Необхідно також враховувати той факт, що перевезення на значні відстані та постійне зберігання великих кількостей рідкого хлору, служать джерелом екологічної небезпеки для навколишніх населених пунктів.

Позитивною властивістю хлору є його тривалий бактерицидний вплив на очищену воду в водоводах і розподільній мережі.

Сучасні традиційні альтернативні методи знезараження – УФ–випромінювання та озонування – відрізняються більш високою ефективністю по інактивації спороутворюючих бактерій і ентеровірусів, а також відсутністю побічних хлорорганічних продуктів, але не мають консервуючого ефекту хлору.

Раціональний вибір методу знезараження питної води повинен здійснюватися з урахуванням якості води в джерелі водопостачання, схеми і продуктивності станції водопідготовки, стану водоводів і розподільної мережі.

В даній роботі дано еколого-технологічне обґрунтування використання озону для знезараження питної води.

**Метою роботи** є еколого-технологічне обґрунтування використання озону для знезараження питної води.

**Задачі** – проаналізувати існуючі методи знезараження питної води, розглянути стан питання, ознайомитися з фізико-хімічними властивостями озону, його окислюючою дією, проаналізувати дію озону на екологічні показники питної води та виконати аналіз умов праці та виявлення шкідливих і небезпечних факторів при озонуванні питної води.

**Об'єкт дослідження** – процес озонування питної води.

**Предмет дослідження** – технологічні процеси озонування річної води для питних цілій.

**Методи дослідження.** Дослідження виконані з використанням фізико-хімічних методів контролю якісних показників.

## 1 Стан питання

Для знезараження води поширення набуло хлорування.

Бактерицидний ефект хлору в значній мірі залежить від початкової дози хлору і тривалості його контакту з водою. Ступінь забрудненості води органічними речовинами характеризується хлоропоглинанням води.

На спорудах водопідготовки хлор для знезараження застосовують у вигляді  $Cl_2$ , хлорреагентів – розчинів товарних гіпохлориту натрію і кальцію, гіпохлориту натрію, який отримують електролітичним способом з кухонної солі на місці, хлорного вапна, хлорамінів, а також хлору, отриманого з мінералізованої артезіанської води методом прямого електролізу [3, 4].

В даний час для знезараження води набуває поширення діоксид хлору  $ClO_2$ , який містить 90–95% активного хлору, є ефективним дезінфікуючим засобом та має наступні переваги перед хлором:

- більш високий бактерицидний і віруліцидний ефект;

- відсутність в продуктах обробки хлорорганічних сполук;
- високий ступінь окислення (до утворення);
- відсутність необхідності перевезення на великі відстані, оскільки виготовлення відбувається на місці.

Діоксид хлору має більш тривалу у часі бактерицидну дію (9–20 діб) ніж хлор, не залежить від температури, рН, органічних речовин, включаючи гумінові речовини і амонійний азот у воді.

У вітчизняній та зарубіжній практиці найбільше застосування (як альтернатива хлоруванню) знайшов метод озонування.

Озонування води дозволяє істотно поліпшити якість води і вирішити безліч проблем, які виникають під час хлорування. Основними перевагами озону в порівнянні з іншими окислювачами, що використовуються для водопідготовки, є:

- озон більш сильний окислювач, ніж хлор – одночасно із знезараженням видаляє й інші забруднення води (забарвленість, запах, присмак, залізо, марганець, феноли, нафтопродукти, ПАР та інші);
- озон має високу біоцидну активність, в тому числі щодо вірусів і цист найпростіших;
- компактність установок озонування, зручність їх експлуатації, відсутність громіздкого реагентного господарства, можливість повної автоматизації процесу;
- відсутність побічних токсичних хлорорганічних продуктів реакції.

Знезаражуюча дію озону ґрунтується на його високій окислювальній здатності, яка пояснюється легкістю віддачі їм активованого атома кисню:



Завдяки високому окислювальному потенціалу озон вступає у взаємодію з багатьма мінеральними і органічними речовинами, в тому числі і з протоплазмою бактеріальних клітин, руйнуючи їх. Біоцидний вплив озону є результатом його реакцій з жирними кислотами за подвійними зв'язками в

клітинних стінках і мембранних бактеріях, в протеїнових оболонках вірусів. Для вірусів зміна протеїнових оболонок заважає їх захопленню сприятливими клітинами. При впливі озону на стінку клітини цист *Giardia* відбувається зміна цитоплазматичної мембрани і ультраструктурних елементів організмів.

Озон має сильну бактерицидну, віруліцидну і спороцидну дію. Велика чутливість до озону відзначена як у індикаторних бактерій, так і патогенних.

До теперішнього часу не вирішено питання, в яких умовах озон більш бактерицидний – в умовах, коли він знаходиться у воді у вигляді молекулярної сполуки, або в умовах, які виступають сприятливими для швидкого розпаду молекулярної сполуки, або сприяють утворенню радикалів.

У першому випадку дезінфекція за допомогою озону буде більш ефективною для вод з низькими значеннями  $pH$  (наприклад при  $pH < 7$ ), з великою концентрацією бікарбонатів і невеликим вмістом домішок, які поглинають озон ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ , гумінові речовини).

У другому випадку дезінфекція буде більш ефективною в присутності агентів (наприклад, пероксид водню, ультрафіолет), які позитивно впливають на розпад озону і утворення радикалів –  $ВІН_2$  або  $АЛЕ_2$  при більшому значенні  $pH$ .

Доза озону, необхідна для знезараження води, становить 0,5–5 мг/дм<sup>3</sup> і залежить від вмісту у воді органічних речовин, а тривалість контакту води з озоном знаходиться в діапазоні 5–20 хв.

Концентрація залишкового озону в воді після контактних камер дорівнює 0,2–0,5 мг/дм<sup>3</sup> і вона швидко зменшується, так залишковий  $O_3$  в кількості 0,4 мг/ дм<sup>3</sup> розкладається менш ніж за 1 годину. Це може привести до того, що в очищеній воді після розкладання озону спостерігається посилення активності бактерій і зростання їх числа в протяжних водоводах та розподільних мережах.

Озон синтезують хімічним шляхом, в результаті ультрафіолетового випромінювання або ж при електричному розряді. Останній спосіб отримав найбільше поширення в промисловості. Сировиною для отримання озону служить повітря або кисень з балонів. З 50–60 м<sup>3</sup> (70–80 м<sup>3</sup> в залежності від

виду озонатора) повітря отримують 1 кг озону. Як правило, вихід озону складає 10–20% від вмісту кисню в повітрі. Процес синтезування озону здійснюється при високій електричній напрузі.

Метод озонування, на відміну від хлорування, технічно більш складний і для його реалізації необхідно виконання ряду послідовних технологічних операцій, таких як: очищення повітря, його охолодження і сушка, змішування озono-повітряної суміші з водою, що оброблюється, відведення та деструкція залишкової озono-повітряної суміші, вивод її в атмосферу. Крім того, необхідно багато допоміжних процесів і обладнання. Також необхідно відзначити, що озон має високу корозійну активність по відношенню до трубопроводів і обладнання, виходячи з цього, віддається перевага нержавіючим матеріалам.

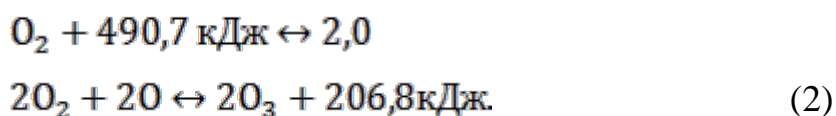
Встановлено, що з санітарно-екологічної точки зору доцільно для знезараження питної води використовувати озонування, яке дозволяє провести не тільки знезараження, а й поліпшити якість освітленої води.

### 1.1 Фізико-хімічні властивості озону

Озон –  $O_3$ , алотропна форма кисню, що є потужним окислювачем хімічних та інших забруднюючих речовин, які руйнуються при контакті. На відміну від молекули кисню, молекула озону складається з трьох атомів і має довші зв'язку між атомами кисню. За своєю реакційною здатністю озон займає друге місце, поступаючись лише фтору.

Озон при нормальних умовах – газ з різким запахом. При дуже низьких значеннях концентрацій, що складають частки від гранично допустимих (ГДК), запах відчувається як приємна свіжість, але зі збільшенням концентрації стає неприємним.

В основі промислового отримання озону лежить процес розщеплення молекул кисню під дією електричного розряду на атоми і приєднання останніх до молекул:





При розкладанні озону вивільняється значна кількість тепла, що може стати причиною вибуху. На кінетику розкладання озону впливає безліч факторів. Наприклад, висока температура, присутність металів і окислювачів – призводять до прискорення його деструкції.

Озон має високий окислювально-відновний потенціал, що є головною причиною його активності по відношенню до різного роду забруднень води, включаючи мікроорганізми. Відновний потенціал пари озон–кисень в кислому середовищі становить 2,07, а в лужному – 1,24. В реакції окислення озон може вступати одним атомом кисню або входити до складу продуктів реакції усіма трьома атомами. Окислююча дія озону може проявитися в таких формах:

- Пряме окислення;
- Окислення радикалами (непряме);
- Озоноліз;
- Каталіз.

Прямі реакції окислення озоном описуються у вигляді:



Непряме окислення здійснюється великою кількістю активних радикалів (наприклад, *ОН* та ін.), що утворюються в результаті переходу озону з газової фази в рідину і його саморозкладу. Такі радикали можуть приєднуватися і руйнувати більш складні сполуки до простих речовин, навіть якщо ці складні речовини прямо не реагують з озоном. Інтенсивність цього процесу прямо пропорційна концентрації присутніх у воді забруднень.

Озон є сильним бактерицидним і віруліцидним агентом. В бактеріях озон руйнує ядра та припиняє активність складних білкових систем і ферментів. Віруси знищуються при повному окисленні їх матерії, що складається з білка і нуклеїнової кислоти. Можуть вціліти тільки деякі види спор і бактерій. Вважається, що залишковий вміст озону в воді через 5–8 хвилин контакту в кількості 0,2–0,3 мг/дм<sup>3</sup> гарантує повне знезараження води. Для сильно забруднених вод тривалість контакту може бути збільшена до 20 хвилин, а залишковий озон – до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Сукупність усіх форм окислюючого та дезинфікуючого впливу озону дозволяє широко використовувати його в техніці водопідготовки на різних стадіях обробки води. Так, якщо переслідується мета дезінфекції, озон вводится на завершальному етапі очистки (постозонування). Що стосується реакцій окислення, то вони проявляються при дифузії озону як спочатку технологічної схеми очищення, так і на будь-якому її етапі в залежності від того, який забруднюючий елемент потрібно видалити.

## 1.2 Окислення озоном неорганічних та органічних сполук

### 1.2.1 Окислення озоном неорганічних сполук

Озон окисляє метали і переводить оксиди в більш високу ступінь окислення, наприклад, окисляє ртуть. Поверхня ртуті та стінки скляної трубки ртутного манометра, що з'єднаний з газоподібним озоном, швидко покриваються теплим оксидом. Не реагує озон лише з золотом, платиною і іридієм, хоча слід зазначити, що платина є ефективним каталізатором розкладання озону [5].

Озон реагує з аміаком в різних станах: з безводним газом, у водному розчині і в розчині чотирихлористого вуглецю. У той же час озон не реагує з солями амонію (нітрат, сульфат, гідрокарбонат амонію).

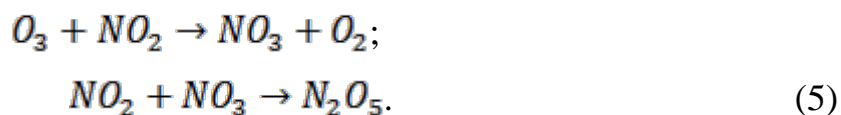
При кімнатній температурі, озон не реагує з молекулярним азотом, але вже при 295° йде швидка реакція:



Оксид азоту  $NO$  швидко окислюється до  $NO_2$ :



$NO_2$  в свою чергу реагує з озоном, причому в кінцевому рахунку утворюється оксид  $N_2O_5$ :

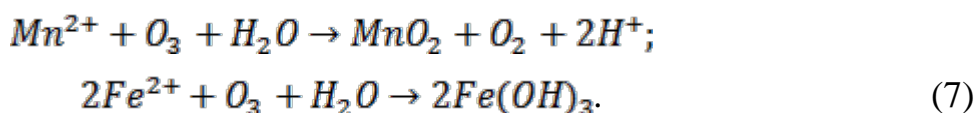


Приклад з оксидами показує, що в ряді випадків озон бере участь в паралельних реакціях: взаємодіє безпосередньо з даною речовиною і термічно розкладається, а реакція здійснюється через атомарний кисень.

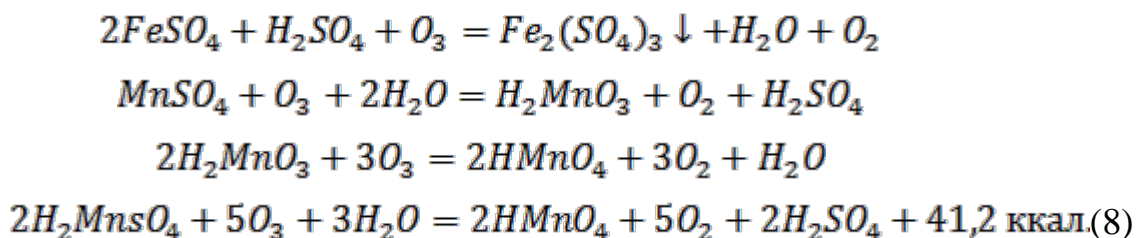
З інших реакцій озону з неорганічними речовинами можна відзначити реакції з перекисом водню, як в газовій фазі, так і в розчині:



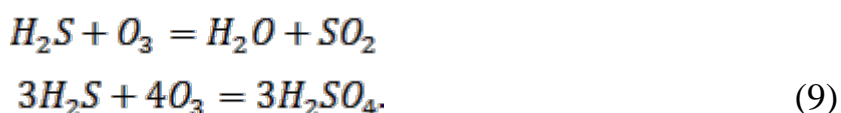
В технологічних процесах водопідготовки істотне значення має очищення води від іонів важких металів. Залізо і марганець часто присутні в природній воді, як правило, у вигляді органічних комплексів, які надають воді забарвленість. Очищення води в цьому випадку полягає в тому, що відповідні метали окислюються і перетворюються на нерозчинний осад, який потім фільтрується. Озон окислює  $Fe(II)$  до  $Fe(III)$ ,  $Mn(II)$  до  $Mn(IV)$ :



Реагуючи зі сріблом ( $Ag^+$ ), кобальтом ( $Co^{2+}$ ), марганцем ( $Mn^{2+}$ ), залізом ( $Fe^{2+}$ ), озон окислює їх до сполук вищої валентності. При взаємодії з залізом і марганцем процес описується наступними реакціями:



Окислення сірководню з озоном протікає за наступними рівняннями реакцій:



### 1.2.2 Окислення озоном органічних сполук

Механізм і кінетика взаємодії озону з органічними речовинами в наведених розчинах вивчені досить добре [6, 7].

Відповідно до сучасних уявлень озон з речовинами, що мають сполуку  $C = C$ , реагує в такий спосіб (Рис.1):

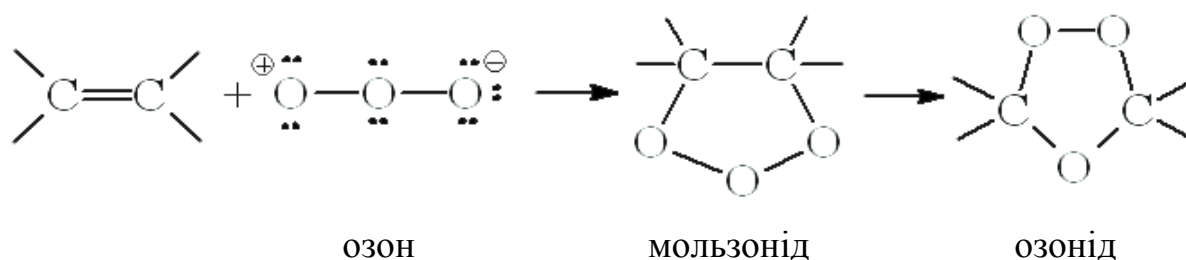


Рисунок 1. – Схема хімічної реакції озону

Нестійкий мользонід швидко розпадається на біполярний іон і карбонільну сполуку, які, в свою чергу, швидко реагують один з одним, утворюючи озоніди. Кінцеві продукти реакції можуть бути представлені сумішшю мономерних, полімерних і перехресних озонідів.

Реакції озону з ароматичними сполуками протікають значно повільніше, ніж з олефінами. В ряду бензол<нафталін<фенантрен<пірен<антрацен константа швидкості реакції збільшується. Для запобігання утворення вибухонебезпечних озонідів реакцію ароматичних сполук із озоном проводять в розчинах з додаванням метанолу. При цьому замість озоніду утворюється алкоксиперекис.

Заміщені алкілароматичні сполуки можуть реагувати або з утворенням озонідів при збереженні в отриманій сполуці всієї молекули озону, або переважно з утворенням гідроперекисів, кетонів, спиртів і кислот при атаці алкільного замітника з радикального механізму.

## 2 Поліпшення екологічних показників питної води

При виконанні науково-дослідної частини були проаналізовані лабораторні журнали про якісні показники води і різні режими озонування води на очисних

спорудах водопроводу. На підставі аналізу лабораторних даних виконувалися оцінки впливу на такі фактори технології очищення води:

1. Зниження забарвленості;
2. Дезодорація запахів і присмаків;
3. Знезараження.

## **2.1 Зниження забарвленості та мутності води р. Сіверський Донець при обробці її озоном**

Важливим етапом водопідготовки є її знебарвлення. На відміну від обробки води коагулянтном, озонування виключає необхідність введення у водно-дисперсні системи сторонніх домішок, так як висока окислювальна здатність озону дозволяє виробляти глибоке знебарвлення води без їх допомоги.

Забарвлення більшості природних поверхневих вод обумовлене наявністю забарвлених гумусових кислот, що потрапляють у воду шляхом вимивання з ґрунту або торфу. Ці речовини високомолекулярні поліфункціональні азотовмісні сполуки циклічної будови, кислотний характер яких пояснюється наявністю карбоксильних груп і фенольних гідроксилів. У складі гумусових кислот розрізняють гумінові і фульвокислоти. Інтенсивність окислення таких кислот озоном мало залежить від температури та іонного складу води, в якій вони присутні. У той же час вплив рН розчину та їх фракційного складу дуже великий, так збільшення в складі водного гумусу вмісту кренових кислот різко погіршує процес знебарвлення води.

Витрата озону на знебарвлення води зростає в міру зниження гумінових і фульвокислот. Це пояснюється не тільки кінетичними факторами, але і накопиченням у воді при озонуванні речовин з підвищеною стійкістю до дії окислювачів.

При низькій температурі реакція озонування протікає в області, що близька до кінетичної, і визначається в основному швидкістю хімічної реакції, а при високій температурі – в дифузійній області і залежить від озону в сфері

реакції. В реальних же умовах водопідготовки реакція озонування відбувається в перехідній між кінетичною і дифузійною областями.

В перший момент озонування окислюються гідроксильні групи і бічні ланцюжки до карбонільних сполук, вуглекислого газу і летючих кислот. Освітлення, що спостерігається при цьому, пояснюється окисненням фенольних гідроксилів до відповідних хінонів. Подальше озонування призводить до розриву молекул за місцем містків, що з'єднують ароматичні ядра, і утворення менш забарвлених фульвокислот. Руйнування ароматичних кілець при великих дозах озону відбувається через стадію утворення щавлевої кислоти.

Озонування природних водно-дисперсних систем показало, що гумусові кислоти залишаються в воді у вигляді малоокрашених кренових і надкренових кислот. Рекомендовані дози озону, що забезпечують залишкову забарвленість води відповідно до вимог ДСанПіНа, складають від 3 до 20 мг/дм<sup>3</sup> в залежності від фракційного складу водного гумусу і необхідного ступеня окислення. Для більш інтенсивного руйнування забарвлення збільшують дозу озону або ж час озонування [8].

Зниження забарвленості води р. Сіверський Донець до впровадження озонаторних установок досягалося шляхом коагулювання і хлорування вихідної води з подальшим освітленням і фільтруванням на спорудах станції водопідготовки. Однак, після проведених досліджень щодо зниження забарвленості озонуванням, були отримані результати, що свідчать про більш ефективний вплив даного методу в початкових виробничих умовах, ніж при застосуванні колишньої схеми водопідготовки.

На рис 2. представлені результати знебарвлення води в залежності від дози озону і тривалості контакту.

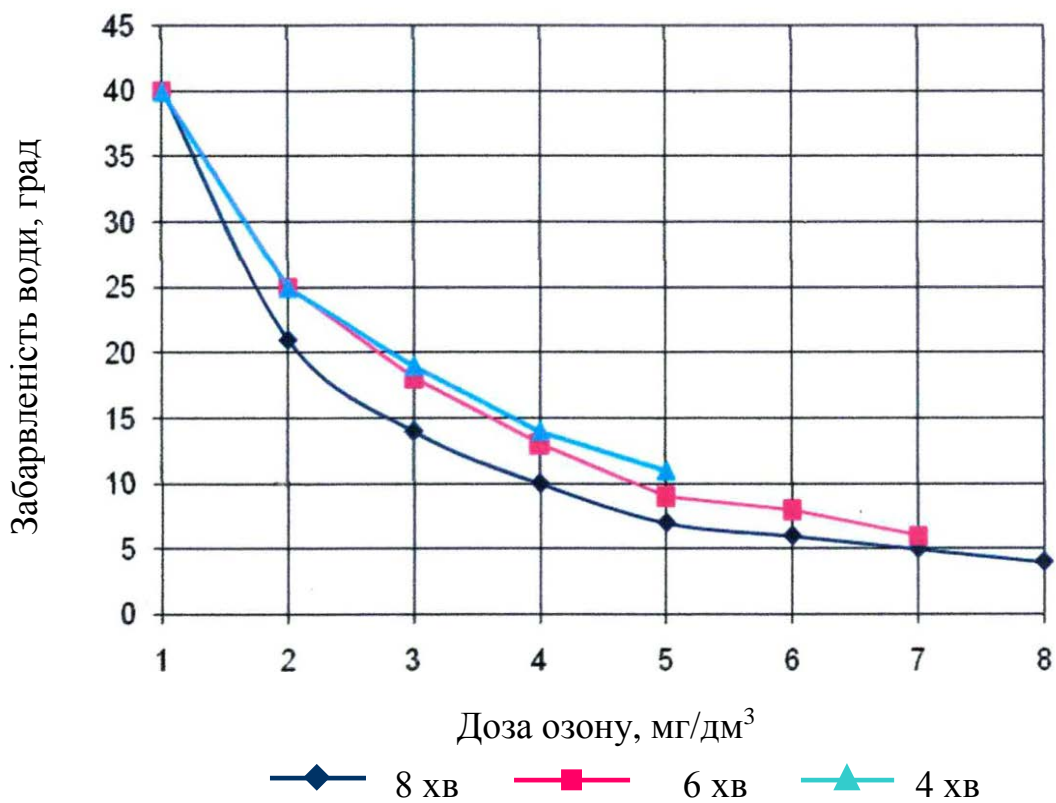


Рисунок 2. – Знебарвлення води в залежності від дози озону і тривалості контакту

Результати експериментальних досліджень по знебарвленню проточної води річки в природному та штучно-забарвленому вигляді на дослідній установці наведені на рис. 3 (липень – серпень 2018 р.).

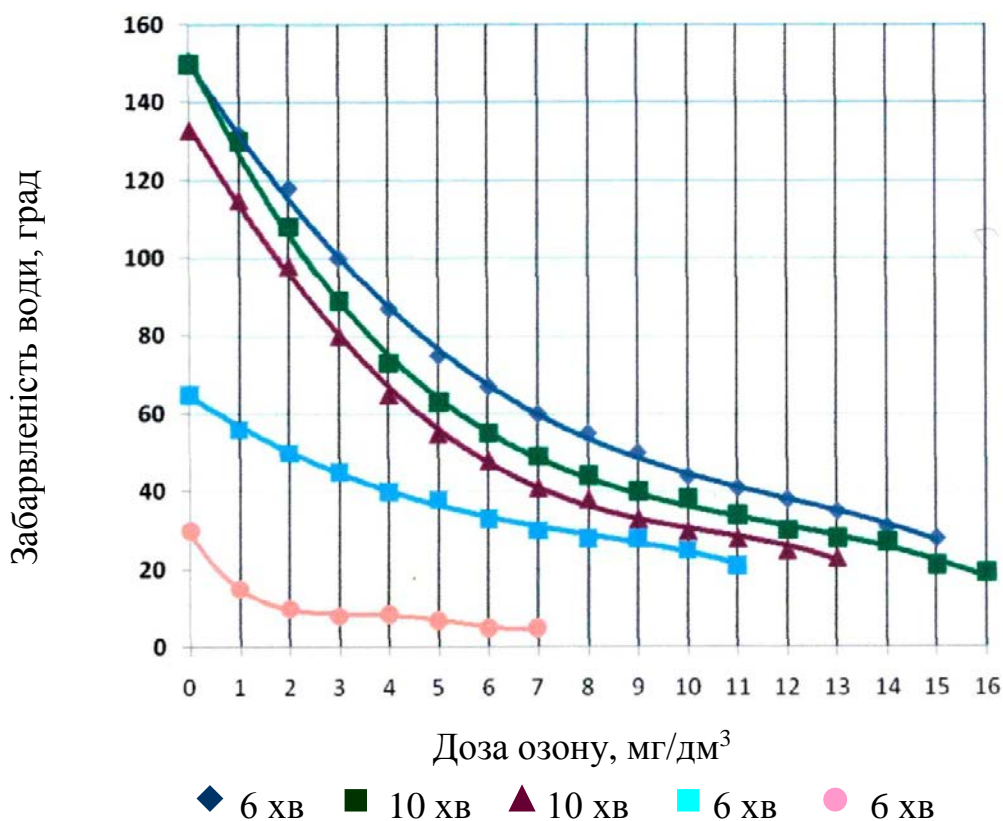


Рисунок 3 – Знебарвлення води озоном в залежності від вихідної забарвленості та дози озону, а також тривалості контакту

З наведених даних випливає, що зниження забарвленості води при озонуванні залежить від вихідної забарвленості, дози озону і тривалості його контакту з водою. Однак, процес знебарвлення протікає непропорційно збільшенню дози озону, оскільки на початковому етапі озонування зниження забарвленості відбувається значно швидше, ніж на наступних його стадіях. Так, при озонуванні води каналу з природною вихідною забарвленістю 30 при дозі озону, що становить 2 мг/дм<sup>3</sup>, забарвленість знижується до 10, тобто по 10 на кожен мг озону. У наступні етапи для зниження забарвленості з 10 до 5 потрібно було збільшити дозу озону з 2 до 6,8 мг/дм<sup>3</sup>. Таким чином, для зниження забарвленості на 5 знадобилося 4,8 мг/дм<sup>3</sup>, тобто, до 1 мг/дм<sup>3</sup> на кожен градус забарвленості проти 0,1 мг/дм<sup>3</sup>, витраченого на початковому етапі.



Крім дози озону на ступінь знебарвлення високозабарвлених вод впливає тривалість контакту водно-дисперсної системи з озоном. Так, при однакових дозах озону і збільшенням тривалості контакту з 6 до 10 хвилин – відбувається зниження вихідної забарвленості на 20–22%.

Для вод з невисокою вихідною забарвленістю, збільшення тривалості контакту грає незначну роль, оскільки дозою в 1 мг/дм<sup>3</sup> забарвленість води знижується до 20.

Глибина знебарвлення води в деякій мірі залежить від температури води, причому простежується тенденція зменшення зниження забарвленості з підвищенням температури води. Таке явище пояснюється витрачанням частини озону в таких умовах не за прямим призначенням, а на окислення органічних речовин, що не утворюють забарвленість у воді, кількість яких з підвищенням температури збільшується.

Озонування води з метою зниження забарвленості в порівнянні з застосуванням глинозему, є більш ефективним і економічно вигідним. Так, дослідним шляхом було встановлено, що для зниження штучної забарвленості води з 65 до 20 знадобилося 10 мг/дм<sup>3</sup>, а при коагулюванні глиноземом – 100 мг/дм<sup>3</sup> (в перерахунку на безводний продукт) і до 100 мг/дм<sup>3</sup> 26,5%-ного вапна.

Одночасно зі зниженням забарвленості при озонуванні знижується також окислюваність води, що пояснюється збільшенням насичення води, що обробляється, киснем, який утворюється в результаті дисоціації у воді озону і переходом в початковий стан – кисень.

Вплив температури води на глибину знебарвлення наведено на рис. 4.

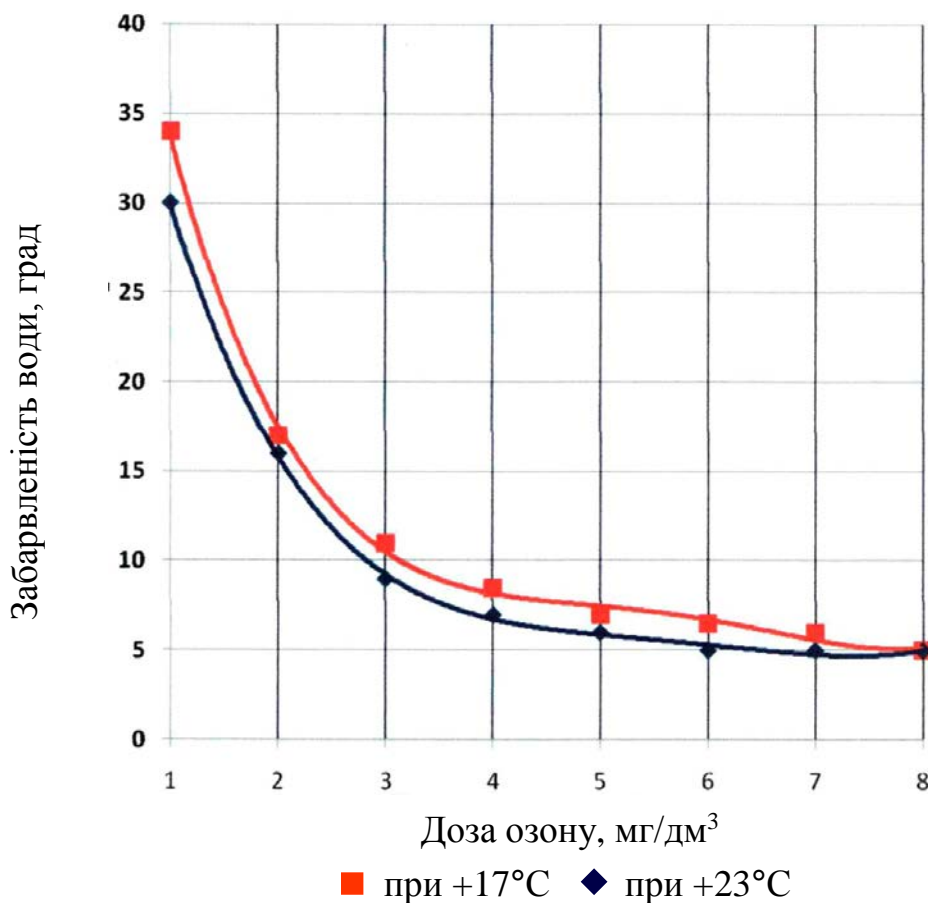


Рисунок 4. – Вплив температури води на глибину знебарвлення

## 2.2 Дезодорація озоном запахів і присмаків у воді

Джерелом органічних сполук, що визначають смак і запах природних вод, є атмосферні опади, наземні рослини, вища водна рослинність, актиноміцети і фітопланктон. Сила запахів, що продукуються макрофітами, визначається стадіями їх вегетації та відмирання, а характер запахів залежить від ступеня розбавлення речовин [9].

Актиноміцети – променисті грибки – широко поширені в ґрунті. Потрапляючи у воду, вони служать причиною появи в ній землистого запаху. Під водою в умовах нестачі кисню грибки проходять весь цикл розвитку, включаючи і стадію спороутворення, відповідальну за появи неприємних запахів. Особливо багато таких грибків знаходиться в мулі старих русел, заплавних озерах і т. д.

Окислювачі, включаючи озон, не завжди надають ефективну дію на поліпшення смакових якостей води, що пояснюється походженням запаху або присмаку, наявністю важко- і легкоокислюваних речовин, а також присутністю у воді інших забруднень. Однак, застосування озону, як окислювача, ніколи не погіршує органолептичних характеристик води, тоді як хлор, наприклад, збільшує інтенсивність запахів і присмаків в 2–3 рази.

Накопичення органічних речовин у водоймах часто служить непрямую причиною погіршення органолептичних властивостей води внаслідок розвитку мікроорганізмів, що виділяють в зовнішнє середовище аміак, сірководень, органічні сульфіди, зокрема, меркаптани з поганим запахом.

Наявність у водосховищах великої кількості біогенних мінеральних елементів, вільний доступ світла і тепла, добре прогрівання мілководних площ сприяє інтенсивному розвитку водоростей, так званого цвітіння води. Продуктами життєдіяльності цих водоростей є: полісахариди; щавлева, винна, лимонна кислоти, фітонциди; в міру бродіння у великих кількостях виділяється масляна кислота, бутиловий спирт, ацетон. У продуктах розпаду синьо-зелених водоростей в анаеробних умовах вміст фенолу в 20–30 разів перевищує значення ГДК.

Крім прямого впливу на органічні властивості води, водорості побічно погіршують її смак і запах у зв'язку зі збагаченням водою органічними речовинами, які служать джерелом харчування для грибів і бактерій.

При озонуванні продуктів життєдіяльності деяких актіноміцетів, цвілевих грибків і синьо-зелених водоростей в більшості випадків відбувається практично повне видалення запаху в широкому діапазоні рН, іонного складу і температури. Доза озону не перевищує 2–4 мг/дм<sup>3</sup>.

Вода річки Сіверський Донець значну частину року має запахи і присмаки болотно-землистого характеру, що властиві поверхневим джерелам. Інтенсивність цих запахів при температурі 20°C не перевищує порогу відчутності «3». Однак, влітку в період розвитку фітопланктону, а потім в осінньо-зимовий період при його відмиранні у воді каналу з'являються

гнило-рибні присмаки та запахи інтенсивністю до «5». Поява цих присмаків і запахів у воді пов'язана з прижиттєвим виділенням клітинами водоростей ефірних масел.

Хлорування води, що застосовується до введення озонування, особливо первинне (доза хлору 6 мг/дм<sup>3</sup>), ще більше посилювало ці запахи і присмаки. В результаті вода, що подається споживачу, виявлялася непридатною до вживання.

Експериментальні спостереження і дослідження ступеня дезодорації природних і штучних запахів у воді озоном показали високу ефективність дезодорації при озонування води.

Основне завдання озону – це зниження концентрації органічних речовин і видалення з води антропогенних забруднень. Але озон робить також вплив і на основні показники якості води, що обробляється – мутність і забарвленість.

Залежно від якості води і умов обробки, флокулюючий та коагулюючий вплив озону проявляється по різному, в результаті чого мутність води може або збільшуватися, або зменшуватися. У світовій практиці даний процес отримав назву «міцелізація–деміцелізація».

На рис. 5 наведено графік зміни показника якості води, що обробляється, в залежності від дози озону на забарвленість при освітленні води р. Сіверський Донець.

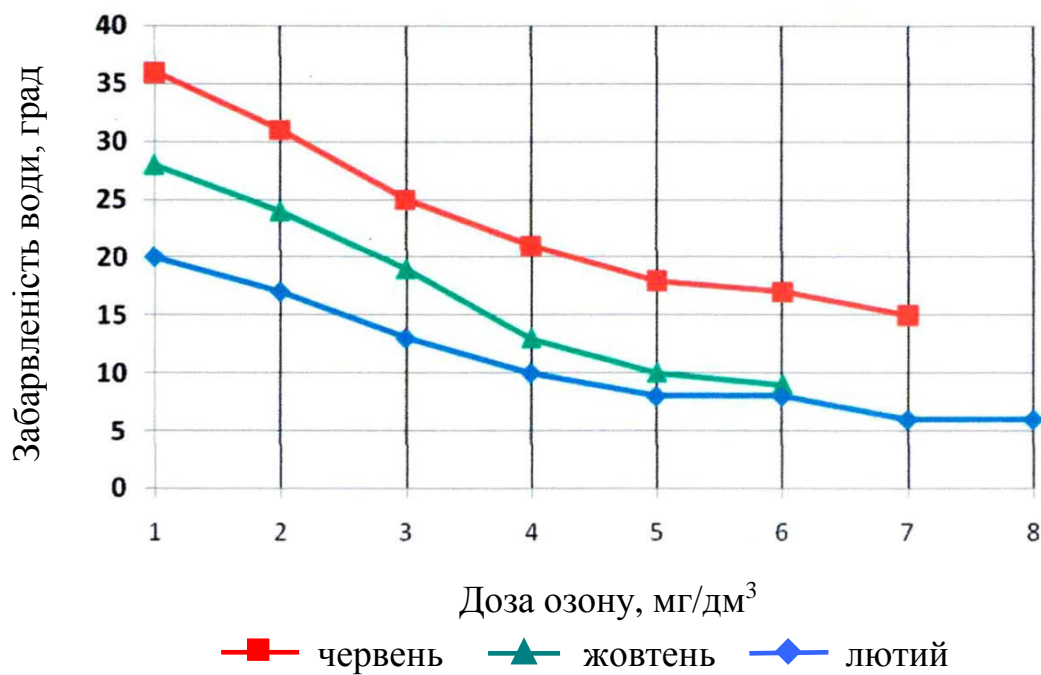


Рисунок 5. – Вплив дози озону на забарвленість при освітленні води р. Сіверський Донець

Вплив дози озону на мутність води р. Сіверський Донець представлено на рис. 6.

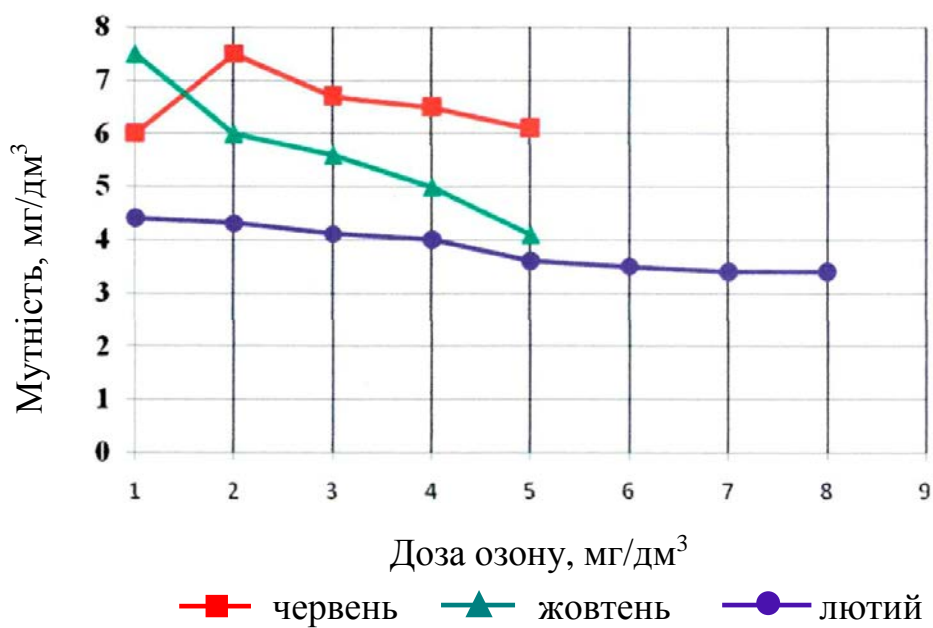


Рисунок 6. – Вплив дози озону на мутність води р. Сіверський Донець

Як видно з наведеного вище рисунка при обробці води річки Сіверський Донець зміна показника мутності води в залежності від дози озону відбувається неоднозначно. Спочатку мутність зменшується зі збільшенням дози озону, а в подальшому може збільшуватися. Це пояснюється тим, що під дією певної дози озону виникає процес коагуляції колоїдних частинок, присутніх у воді.

Встановлено, що при оптимальних дозах озон сприяв зниженню мутності в середньому на 10–20%. Особливо ефективно попереднє озонування впливає на зниження забарвленості води.

Ефективність видалення органічних забруднень, які характеризуються величиною перманганатної окислюваності, при озонуванні води дозами 2–4 мг/дм<sup>3</sup> становить від 12 до 36%, в той же час забарвленість при цих же дозах зменшується на 75%. Це пояснюється тим, що високомолекулярні гумінові речовини при озонуванні розкладаються на більш низькомолекулярні незабарвлені сполуки, проте в даних умовах повністю піддається деструкції до вуглекислоти лише невелика частина органічних забруднень.

Проте показник перманганатної окислюваності при озонуванні води має своєрідний характер. Екстремальні точки на цих кривих можна пояснити наступним чином: оскільки показник перманганатної окислюваності характеризується вмістом у воді органічних сполук, що легко окислюються, можна було очікувати його зниження при озонуванні. Подальше підвищення величини перманганатної окислюваності, що спостерігалось, свідчить про те, що в процесі озонування крім окислення органічних сполук, що легко окислюються, відбувається часткова деструкція сполук, які важко окислюються, до сполук, що легко окислюються, що, власне кажучи, і призводить до збільшення показника перманганатної окислюваності. Після підвищення дози озону відбувається подальше окислення сполук, які утворилися і які легко окислюються, що призводить до зменшення величини перманганатної окислюваності.

### 2.3 Бактерицидна дію озону на воду, що обробляється

Механізм бактерицидної дії озону пояснюється його впливом на обмін речовин в живій клітині, при якому порушується рівновага перетворення активної сульфідної групи в інактивні дисульфідні форми. Середня доза озону для знезараження становить  $1 \text{ мг/дм}^3$  (межі  $0,5\text{--}2 \text{ мг/дм}^3$ ). Озон дуже ефективний при знезараженні спор вірусів та інших патогенних мікробів.

Дія озону при його дозі рівній  $2 \text{ мг/дм}^3$  забезпечує загибель личинок молюска дрейссени (до 98%) і таких гідробіонтів як: циклопи, олігохети, дафнії, коловертки.

Бактерицидна дію озону на воду полягає в руйнуванні бактерій шляхом інактивації бактеріальних протеїнів, тобто дифузіїю через мембрану клітини в цитоплазму з ураженням життєвих центрів. На ефективність бактерицидної дії озону в більшій чи меншій мірі впливають такі параметри:

- рН;
- температура;
- наявність завислих і розчинених речовин;
- концентрація окислювача.

Озон, будучи потужним бактерицидним і віруліцидним агентом, має ряд переваг перед іншими дезінфікантами:

- інактивація бактерій проводиться в 300 разів швидше, ніж хлором;
- широка область використання (озон однаково ефективно руйнує бактерії, віруси, гриби, найпростіші, спорові бактерії і цисти найпростіших);
- проявляє майже однакоvu активність в широкому інтервалі рН і температур.

Однак, при озонування неосвітлених, забруднених вод, має місце явище реактивації бактерій. Особливо чітко це явище спостерігається в літній період. Також в літній період спостерігається реактивація бактерій при обробці озоном освітлених вод, зате взимку вказане явище носить незначний характер.

Можливість реактивації бактерій в озонованій воді з плином часу має велике значення, так як в міських розвідних водопровідних мережах вода може перебувати значний час, до того ж, мережі не завжди відповідають санітарним нормам. Тому при обробці води озоном необхідні дози повинні підбиратися з урахуванням якості води і стану мереж з тим, щоб явище реактивації бактерій було виключено.

В таблиці показані фізико-хімічні показники якості вихідної води при знезараженні її озоном.

Таблиця – Фізико-хімічні показники якості вихідної води при знезараженні її озоном

Період року	Неосвітлена вода				Освітлена вода			
	t, °C	Забарвленість, град	O, мг/дм <sup>3</sup> · O <sub>2</sub>	pH	t, °C	Забарвленість, град	O, мг/дм <sup>3</sup> · O <sub>2</sub>	pH
Літо	21	32	5,6	7,9	22,5	25	5,2	7,9
Зима	0,1	53	5,64	7,6	0,2	16	4,16	8,2

### **3 Аналіз умов праці та виявлення шкідливих і небезпечних виробничих факторів при озонуванні питної води**

Шкідливий виробничий фактор – це фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах призводить до захворювання або зниження працездатності.

Небезпечний виробничий фактор – фактор, вплив якого на працюючого в певних умовах може призвести до травми, гострого отруєння або до іншого раптового різкого погіршення здоров'я або смерті.

Всі небезпечні та шкідливі виробничі фактори за природою дії на організм людини підрозділяються на наступні групи:



1. Фізичні – підвищена запиленість і загазованість повітря робочої поверхні; підвищена або знижена температура повітря робочої зони; підвищене значення напруги в електромеханічному ланцюзі, замикання якого може статися і через тіло людини; підвищена напруженість електричного поля; відсутність або нестача природного світла; підвищена яскравість світла.

2. Хімічні – дані фактори пов'язані з виділенням хімічно активних речовин, що негативно впливають на здоров'я робітників. У даній роботі розглядається небезпечна речовина озон, що може призвести до отруєння людини.

3. Психофізіологічні – негативно впливають на ефективність праці: фізичні перевантаження (статистичні, динамічні); нервово-психологічні перевантаження (монотонність праці, емоційні та розумові перевантаження).

4. Біологічні – включають в себе такі біологічні об'єкти: патогенні мікроорганізми (віруси, бактерії, спірохети, гриби, найпростіші) і продукти їх життєдіяльності.

В роботі були виявлені такі шкідливі та небезпечні виробничі фактори, що зустрічаються в приміщеннях, де розташована озонаторна установка:

1) Фізичні:

- підвищена загазованість робочої зони;
- знижена температура;
- підвищена запиленість повітря;
- небезпечний рівень напруженості в електричному ланцюзі;
- недостатня освітленість.

2) Хімічні:

- за характером впливу – подразнюючі;
- за шляхом проникнення в організм людини – через дихальні шляхи.

Щоб уникнути виробничих травм обслуговуючий персонал водопровідної станції повинен дотримуватися необхідних правил безпеки, а рушійні

механізми, що надають загрозу здоров'ю і життю робітників, повинні бути огорожені.

#### **4 Розробка організаційних і технічних заходів щодо створення безпечних та нешкідливих умов праці на конкретних об'єктах**

До складу заходів по загальному поліпшенню умов праці входять:

- раціоналізація природного і штучного освітлення в робочих і допоміжних приміщеннях;
- забезпечення безпеки виробничих процесів;
- належне утримання будинків, споруд, обладнання та механізмів;
- раціональна організація транспортного та складського господарства.

Згідно із законодавчими та нормативними документами, на адміністрацію підприємства покладається проведення інструктажів та навчання персоналу правилам техніки безпеки, виробничої санітарії і пожежної безпеки.

#### **Висновки:**

1. Застосування методу озонування забезпечує швидке і надійне знезараження; значно покращує органолептичні властивості води, підвищуючи її прозорість (знебарвлення, усунення запахів і присмаків); озон виробляється на місці, не вимагає зберігання та перевезення.

2. Використання озону на початковій стадії обробки води (преозонування) дозволяє підвищити якість води за показниками мутності, забарвленості, перманганатної окислюваності і за рівнем залишкового алюмінію, в результаті чого необхідна доза коагулянту може бути знижена на 20–30%.

3. Застосування в технологічній схемі двоступеневого озонування (преозонування і постозонування) дозволяє знизити кількість озону, що вводиться для окислення і знезараження води.

4. Виконані дослідження використані при технологічному обґрунтуванні озонування питної води р. Сіверський Донець.

5. Собівартість води при озонуванні вирішальним чином залежить від технологічного режиму (періодичне або постійне озонування, дози озону, можливості виключення тих чи інших реагентів або зниження їх доз і т.п.); в наведених схемах собівартість обробки води на станції в цілому з урахуванням економії реагентів збільшується на 20–30%.

### Список використаних джерел

1. Дмитрієва О.О. Оцінювання еколого-соціального ефекту впровадження екологічно безпечного водовідведення в населених пунктах України / О.О. Дмитрієва, О.О. Тертичний, І.В. Хоренжая // Зб. наук. праць «Системи обробки інформації», 141 (4/2016). – Харків : ХНУПС ім. Івана Кожедуба, 2016. – С. 160-164.

2. Душкін С. С. Підвищення рівня техногенно-екологічної безпеки при хлоруванні питної води / С. С. Душкін // Наук.-техн. журнал «ТЕБ», 8 (2/2020). – Харків : НУЦЗУ, 2020. – С. 60-69.

1. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений (том 2) / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. – М. : Изд-во АВС, 2004. – 496 с.

2. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды / Д.М. Минц. – М. : Стройиздат, 1964. – 156 с.

3. В.М. Бахир. Электрохимическая активация: история, состояние, перспективы / Бахир В.М., Задорожний Ю.Г., Леонов Б.И., Паничева С.А. и др. : под ред. В.М. Бахира. – М. : ВНИИИМТ, 1999. – 256 с.

4. Клячко В.А. Подготовка воды для промышленного и городского водоснабжения / В.А. Клячко, И.Э. Апельцин. – М. : Госстройиздат, 1962. – 819 с.

5. Драгинский В.Л. Коагуляция в технологии очистки природных вод / В.Л. Драгинский, В.П. Алексеева и др. – М. : Наука, 2005. – 576 с.
6. Орлов В.А. Озонирование воды / В.А. Орлов. – М. : Стройиздат, 1984. – 88 с.
7. Драгинский В.Л. Озонирование в процессах очистки воды / В.Л. Драгинский, В.П. Алексеева, В.Г. Самойлович. – М. : ДеЛи принт, 2007. – 400 с.