

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут природокористування
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

студентки Бичкової Ольги Олегівни
(ПІБ)

академічної групи 183-21ск-1 ІІІ
(шифр)

спеціальності – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – Технології захисту навколишнього
середовища (офіційна назва)

на тему Удосконалення технології підготовки питної води
(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
кваліфікаційної роботи	Кулікова Д.В.		
розділів:			
Теоретичного	Кулікова Д.В.		
Технологічного	Кулікова Д.В.		
Охорона праці	Столбченко О.В.		
Рецензент	Петльований М.В.		
Нормоконтролер	Ґрунтова В.Ю.		

Дніпро
2024

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувачка кафедри ЕТЗНС

_____ Борисовська О.О.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » червня 2024 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу ступеня бакалавра

студентці Бичковій О.О. академічної групи 183-21ск-1 ПП
 (прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
 (код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – Технології захисту навколишнього
 (офіційна назва)

середовища

на тему Удосконалення технології підготовки питної води, затверджену
 наказом ректора НТУ «ДП» від 21.05.2024 р. №453-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Теоретичний	Надати характеристику стану систем централізованого водопостачання. Оцінити якість води з джерел питного водопостачання. Провести аналіз впливу якості питної води на стан здоров'я та умови проживання населення. Проаналізувати рівень небезпеки побічних продуктів хлорування у питній воді для живих організмів, зокрема, для людини	10.10.2023 31.01.2024
Технологічний	Надати стислу характеристику об'єкту дослідження. Надати критичний аналіз існуючих методів і технологій знезараження питної води, вказати на їхні недоліки. Навести результати вдосконалення технології підготовки питної води шляхом впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією	01.02.2024 30.04.2024
Охорона праці	Проаналізувати заходи з охорони праці та безпеки при обслуговуванні об'єктів і споруд систем водопостачання	01.05.2024 10.06.2024

Завдання видано

_____ (підпис керівника)

_____ (прізвище, ініціали)

Дата видачі 10.10.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання

_____ (підпис студента)

_____ (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 93 с., 12 рис., 19 табл., 4 додатки, 50 літературних джерел.

Мета роботи: удосконалення технології підготовки питної води шляхом впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією, що дозволить отримати питну воду, якість якої буде відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості».

У вступі обґрунтовано актуальність визначення негативного впливу методу хлорування питної води на стан здоров'я населення та сформульовані задачі кваліфікаційної роботи.

У теоретичному розділі надано характеристику стану систем централізованого водопостачання. Оцінено якість води з джерел питного водопостачання. Проведено аналіз впливу якості питної води на стан здоров'я та умови проживання населення. Проаналізовано рівень небезпеки побічних продуктів хлорування у питній воді для живих організмів, зокрема, для людини.

У технологічному розділі надано стисло характеристику об'єкту дослідження. Надано критичний аналіз існуючих методів і технологій знезараження питної води, вказано на їхні недоліки. Наведено результати вдосконалення технології підготовки питної води шляхом впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією.

В останньому розділі проаналізовані заходи з охорони праці та безпеки при обслуговуванні об'єктів і споруд систем водопостачання.

У висновках наведені основні результати виконаної роботи.

ПИТНА ВОДА, ХЛОРООРГАНІЧНІ СПОЛУКИ, ЗНЕЗАРАЖЕННЯ,
ПОПЕРЕДНЯ АМОНІЗАЦІЯ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ	8
1.1 Характеристика стану систем централізованого водопостачання	8
1.1.1 Забезпечення населених пунктів централізованим водопостачанням	8
1.1.2 Забезпечення населення централізованим водопостачанням	10
1.1.3 Стан систем централізованого водопостачання	12
1.1.4 Стан водопровідних мереж	15
1.1.5 Проблеми якості питної води та охоплення населення централізованим питним водопостачанням	16
1.2 Оцінка якості води з джерел питного водопостачання	18
1.3 Вплив якості питної води на стан здоров'я та умови проживання населення в Україні в цілому та в окремих регіонах	25
1.4 небезпека побічних продуктів хлорування у питній воді для живих систем	28
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ХЛОРУВАННЯ З ПОПЕРЕДНЬОЮ АМОНІЗАЦІЄЮ	35
2.1 Стисла характеристика об'єкта дослідження	35
2.2 Вимоги до показників якості питної води, призначеної для споживання людиною	40
2.3 Характеристика методів знезараження води	47
2.3.1 Фізичні методи знезараження води	48
2.3.2 Знезараження води хлором і його сполуками	49
2.3.3 Знезараження води діоксидом хлору	54
2.3.4 Знезараження води озоном	57
2.3.5 Знезараження води ультрафіолетовим опроміненням (УФО)	60

2.3.6 Комбіновані методи знезараження води	62
2.4 Впровадження технології підготовки питної води на основі методу хлорування з попередньою амонізацією	64
2.4.1 Застосування методу попередньої амонізації як засобу мінімізації ризику для здоров'я населення	64
2.4.2 Характеристика реагенту.....	67
2.4.3 Розрахунок реагентного господарства для приготування, зберігання та дозування коагулянту	69
2.4.4 Очікувані результати після впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією	71
РОЗДІЛ 3 ОРГАНІЗАЦІЯ РОБІТ З ОХОРОНИ ПРАЦІ І ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ	73
3.1 Вимоги до порядку обслуговування об'єктів систем водопостачання	73
3.2 Вимоги до персоналу, що обслуговує споруди систем водопостачання	77
3.3 Правила безпеки при влаштуванні та експлуатації реагентного цеха	79
3.4 Правила безпеки при ремонті, очищенні та промиванні споруд для освітлення води	81
ВИСНОВКИ.....	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	85
Додаток А Відгук керівника кваліфікаційної роботи	90
Додаток Б Зовнішня рецензія	91
Додаток В Довідка про результати перевірки тексту кваліфікаційної роботи бакалавра на присутність запозичень (плагіату)	92
Додаток Г Відгуки керівника розділу з охорони праці та нормоконтролера.....	93

ВСТУП

Актуальність теми. Якість питної води є одним із найбільш важливих чинників, що впливають на стан здоров'я населення. Високе техногенне навантаження на навколишнє природне середовище призводить до забруднення водних об'єктів за багатьма хімічними, біологічними та органолептичними показниками. Забезпечення населення якісною питною водою і оптимізація умов водокористування залишаються актуальними задачами, незважаючи на вдосконалення технологій з очищення і знезараження води.

Переважна більшість населення України (близько 75%) використовує для господарсько-питних потреб очищену річкову воду Дніпра, що характеризується високим вмістом органічних речовин.

Для забезпечення епідемічної безпеки питної води, боротьби з обростанням водозабірних приладів на поверхневих водозаборах на 90% водопроводах світу та України використовується хлор.

Внаслідок хімічних реакцій органічних речовин, що містяться у воді поверхневих джерел, з хлором утворюється чисельний ряд хлороорганічних сполук (ХОС), які, в основному, відносяться до тригалогенметанів (хлороформ, дихлорбромметан, хлордибромметан, бромформ тощо). При цьому хлороформ є побічним продуктом дезінфекції, що найчастіше зустрічається в питній воді. Його концентрація значно перевищує граничнодопустиму, що створює певний канцерогенний ризик для людини (розвиток злоякісних пухлин). Хлороформ легко переходить із води в повітря, тому що є летким та має низьку температуру кипіння, завдяки цьому додатково надходить в організм із повітрям, при купанні, при пранні білизни, готуванні їжі.

Хронічна експозиція к тригалогенметанам є серйозною небезпекою для здоров'я, оскільки вони вважаються системними токсикантами, мають мутагенну та канцерогенну активність, є генотоксичними, викликають метаболічні порушення, сприяють підвищенню рівня загальної та дитячої захворюваності. Навіть при низьких рівнях вмісту у питній воді тригалогенметанів, зокрема

хлороформу, підвищується ризик розвитку канцерогенних і загально-токсичних ефектів.

Небезпека ряду ХОС пов'язана з їхніми вираженими кумулятивними властивостями.

Крім того, значним недоліком хлорування води є висока токсичність хлору при його зберіганні, транспортуванні, застосуванні, контролі умов праці, що вимагає дотримання санітарно-захисних зон, інших суттєвих заходів з виробничої безпеки.

Метою роботи є удосконалення технології підготовки питної води шляхом впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією, що дозволить отримати питну воду, якість якої буде відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості».

Для досягнення зазначеної мети були поставлені такі задачі:

1. Надати характеристику стану систем централізованого водопостачання. Оцінити якість води з джерел питного водопостачання. Провести аналіз впливу якості питної води на стан здоров'я та умови проживання населення. Проаналізувати рівень небезпеки побічних продуктів хлорування у питній воді для живих організмів, зокрема, для людини.

2. Надати стисло характеристику об'єкту дослідження. Надати критичний аналіз існуючих методів і технологій знезараження питної води, вказати на їхні недоліки. Навести результати вдосконалення технології підготовки питної води шляхом впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією.

3. Проаналізувати заходи з охорони праці та безпеки при обслуговуванні об'єктів і споруд систем водопостачання.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ

1.1 Характеристика стану систем централізованого водопостачання

1.1.1 Забезпечення населених пунктів централізованим водопостачанням

У 2022 році показник охоплення міст централізованим водопостачанням, порівняно з 2021 роком, не змінився: 310 (98,7%) із 314 міст було забезпечено послугами з централізованого водопостачання (табл. 1.1, табл. 1.2) – дані без урахування інформації по 5 областям та АР Крим [1, 2].

Таблиця 1.1 – Кількість населених пунктів, забезпечених системами централізованого водопостачання

У чотирьох містах – Судова Вишня, Турка Львівської обл., Копичинці Тернопільської обл. та Вашківці Чернівецької обл. – централізоване водопостачання відсутнє. У цих населених пунктах забезпечення водою здійснюється зі свердловин та колодязів.

Охоплення селищ міського типу (далі – смт) та сіл централізованим водопостачанням в цілому по країні у 2022 році практично не змінилось та залишилось на рівні 2021 року: 427 (90,3%) із 473 смт; 5201 (23,4%) із 22196 сіл було охоплено централізованим водопостачанням. У 2021 р. показник охоплення послугами з централізованого водопостачання становив 427 (90,3%) із 473 смт та 5125 (23,1%) із 22199 сіл [1, 2].

Таблиця 1.2 – Стан забезпеченості населених пунктів централізованим водопостачанням у 2022 році

З урахуванням інформації, яка у минулому звітному році не була надана через повномасштабну агресію РФ, а саме даних щодо забезпеченості населених пунктів послугами з централізованого водопостачання для Донецької, Харківської областей ситуація щодо охоплення населених пунктів послугами демонструє тенденцію до зниження (інформацію щодо Запорізької та Херсонської областей виключено із сумарних показників тому, що за 2021 рік для Запорізької її не надано, що унеможливорює коректне порівняння; щодо Херсонської області – через втрату такої інформації та подання її частково) (табл. 1.1).

Централізоване водопостачання було відсутнє у 6 містах. Додатково до міст Тернопільської та Чернівецької областей додалися 2 міста Донецької області: м. Сіверськ, де послуги з водопостачання відновити неможливо через близьке розташування до лінії ведення бойових дій та відсутність електроживлення об'єктів та м. Святогірськ, де послуги з водопостачання (після деокупації території) не відновлено.

Щодо забезпеченості селищ міського типу, то централізоване водопостачання було відсутнє у 51 смт 11 областей (Волинська, Житомирська, Івано-Франківська, Київська, Кіровоградська, Львівська, Миколаївська, Тернопільська, Харківська, Черкаська, Чернігівська) [1, 2].

Для сіл у 2022 році охоплення послугами практично не змінилось – 23,4% (23,3% у 2021 році) [1, 2].

В цілому, у 2022 році по країні у розрізі населених пунктів ситуація не змінилась порівняно із 2021 та 2020 роками (без урахування Донецької, Запорізької, Луганської, Херсонської обл.) забезпечено централізованим водопостачанням – 98,7% міст (відсутнє у 4 містах), 90,3% смт (відсутнє у 46 смт) та 23,4% сільських населених пунктів (відсутнє у 16995 сільських населених пунктах) [1-3].

З урахування Донецької та Харківської обл. спостерігається регрес щодо доступу до послуг порівняно із даними 2021 році, а саме у 2022 році забезпечено централізованим водопостачанням – 98,3% міст (відсутнє у 6 містах), 90,7% смт (відсутнє у 51 смт) та 23,4% сільських населених пунктів (відсутнє у 18350 сільських населених пунктах) [1, 2].

1.1.2. Забезпечення населення централізованим водопостачанням

У 2022 році повністю (100% населення) було забезпечено послугами централізованого водопостачання населення міст у Київській області та у м. Київ (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Забезпечення населення централізованим водопостачанням (у % до загальної чисельності населення) [1]

Щодо охоплення населення селищ міського типу послугами централізованого водопостачання, то цей показник протягом 2022 року коливався у межах від 22% у Черкаській до 96,8% у Київській областях.

Протягом 2022 року 67,3% населення (21014,857 із 31217,399 тис. осіб) було забезпечено послугами з централізованого водопостачання (без урахування чисельності населення Волинської, Запорізької, Луганської, Херсонської областей та АР Крим).

Для 2021 року, за оновленою інформацією, отриманою від областей, 68,5% населення (22722,675 із 33168,298 тис. осіб) було забезпечено послугами з централізованого водопостачання (без урахування чисельності населення Волинської, Запорізької, Луганської, Херсонської областей та АР Крим) [2].

Отже, спостерігається зниження чисельності населення, яке має доступ до централізованого водопостачання, а також зниження загальної чисельності населення України, що виражається в абсолютних показниках.

При оцінці як загального рівня забезпеченості населення послугами з централізованого водопостачання, так і у розрізі областей, чисельність внутрішньо переміщених осіб не враховувалась.

1.1.3 Стан систем централізованого водопостачання

Відповідно до наданої інформації у 2022 році показники водопостачання були наступними – дані без урахування інформації по 4 областям (Донецька, Запорізька, Луганська, Херсонська) та АР Крим [1].

Обсяги води в системах водопостачання (рис. 1.1):

- піднято – 1545,50 млн. м³;
- очищено – 1109,21 млн. м³ або 71,8% до обсягу піднятої води;
- подано усім споживачам – 1385,29 млн. м³ або 89,6%;
- реалізовано – 1040,23 млн. м³ або 67,3%;
- знезаражено – 1322,46 млн. м³ або 85,6%;
- втрати та технологічні витрати – 505,27 млн. м³ або 32,7%.

У 2022 році найбільші обсяги піднятої та поданої в мережу води в системах водопостачання протягом року були, відповідно, у областях (рис. 1.2, 1.3):

- Дніпропетровська – 349,8; 322,2 млн. м³;
- м. Київ – 201,59 та 186,06 млн. м³;
- Харківська – 163 та 155,3 млн. м³;
- Одеська – 143,2 та 124,1 млн. м³;
- Львівська – 104,09 та 100,49 млн. м³;
- Полтавська – 100,89 та 55,7 млн. м³.

Рис. 1.1 – Виробничі показники водопостачання по Україні

Рис. 1.2 – Обсяги піднятої води

Рис. 1.3 – Обсяги води, поданої усім споживачам

Найменші обсяги піднятої та поданої у мережу води у системах водопостачання протягом 2022 року, були, відповідно, у областях:

- Тернопільська – 17,96 та 17,77 млн. м³;
- Закарпатська – 20,84 та 20,52 млн. м³;

- Чернігівська – 21,6 та 21,6 млн. м³;
- Волинська – 24,33 та 23,32 млн. м³;
- Рівненська - 25,33 та 24,34 млн. м³.

Протягом 2022 року уся піднята вода (100%) знезаражувалась у Івано-Франківській, Чернівецькій областях та у м. Київ; у 7 областях знезаражувалось від 90 до 99% піднятої води (Тернопільська, Львівська, Волинська, Рівненська, Дніпропетровська, Київська, Вінницька), у 10 областях – від 70 до 89,4%; у Полтавській області – 49,3%; у Чернігівській та Сумській областях вода подавалась споживачам без знезараження [1].

Показник реалізації питної води (рис. 1.4) був найкращим у Дніпропетровській, та Київській областях, де його величина (у % до обсягів піднятої води) становила відповідно 90 та 84,8%.

Рис. 1.4 – Реалізація води (без Херсонської, Луганської областей)

Рис. 1.5 – Втрати та витрати води (без Херсонської, Луганської областей)

Найгірша ситуація була у Полтавській області, де протягом 2022 року було реалізовано 37,8% і у цій же області були найбільші втрати і витрати води – 62,2%. Високий рівень витрат також був у Чернігівській області – 61,7% та Кіровоградській області – 50,2%. У решті областей втрати та витрати води були менше 50%. Найменші втрати та витрати води були у Дніпропетровській області – 10% та Київській області – 15,2% (рис. 1.5).

1.1.4 Стан водопровідних мереж

У 2022 році сумарна протяжність водопровідних мереж (без урахування Донецької, Запорізької, Луганської, Херсонської областей), відповідно до наданих даних, складала 92,136 тис. км, в т.ч. ветхих та аварійних – 32,065 тис. км або 34,8%; протягом року було замінено 0,623 тис. км або 1,9% від потреби. У попередньому 2021 році частка аварійних мереж була практично такою ж самою,

а от темпи заміни були кращими – 2,5% заміненних мереж від тих, що потребували заміни. Тобто, ситуація у звітному році суттєво ускладнилась [1, 2].

Найбільший відсоток труб, які через свій незадовільний технічний стан потребували заміни, був у Донецькій – 56,8%, Харківській – 52,8%, Волинській – 51,6%, Запорізькій – 50,9%, Кіровоградській – 50,7% областях. У 11 областях та м. Київ цей показник знаходився у межах 30-50%, у решті областей знаходився у межах 13-30% (рис. 1.6).

Найбільший відсоток заміненних водопровідних мереж (по відношенню до тих, що потребували заміни) у 2022 році був у Київській – 13,6% та Рівненській – 11,4% областях. У решті областей цей показник був меншим за 5% (рис. 1.7).

Рис. 1.6 – Частка ветхих та аварійних водопровідних мереж (у % до загальної протяжності мереж)

Рис. 1.7 – Частка заміненних водопровідних мереж (у % до тих, що потребували заміни)

1.1.5 Проблеми якості питної води та охоплення населення централізованим питним водопостачанням

Проблема якості питної води для України була і наразі залишається вкрай актуальною і надзвичайно гострою. Глобальна водна криза прискорюється. За оцінками ООН, наша здатність адаптуватися до водної кризи та зміни клімату загалом знижується. Забезпечити воду та санітарію для всіх стає все складніше.

Так, питне водопостачання України майже на 80% забезпечуються з поверхневих джерел і на 20% з підземних. Більшість басейнів річок згідно з гігієнічною класифікацією водних об'єктів за ступенем забруднення можна віднести до забруднених та дуже забруднених, які не відповідають вимогам санітарного законодавства на джерела питного водопостачання.

Не менш складними є питання забезпечення якісною питною водою та санітарією для всіх, і особливо гостро це питання стоїть в період, коли країна страждає від російської агресії і, як наслідок, ризику виникнення екологічної та

гуманітарної катастроф, пов'язаних, зокрема, з браком чистої прісної питної води та порушенням сталого централізованого водовідведення – є досить високими.

До початку повномасштабного вторгнення країни агресора російської федерації доступ населення до централізованого питного водопостачання в країні складав 70%. Близько 10 мільйонів жителів країни не мали доступу до централізованого питного водопостачання.

При цьому існувала значна нерівність між міською та сільською місцевістю у доступі до централізованого питного водопостачання (8% у міських районах проти 34% у сільській місцевості).

Водночас наявні очисні споруди, технології очистки та знезараження питної води в деяких випадках не спроможні очистити її до рівня нормативних показників.

Неналежна сільськогосподарська практика, комунальне, промислове та сільськогосподарське забруднення водних об'єктів на фоні негативних змін клімату призвели до зникнення з карти України тисяч малих річок, втрати водності головних водних артерій України та деградації й знищення водних та навколводних екосистем.

Моніторинг якості води поверхневих водойм свідчив про те, що їх екологічний стан практично не покращувався, а з агресією російської федерації – катастрофічно погіршився.

Крім того, залишається невирішеною проблема забезпечення підприємствами сфери водопровідно-каналізаційного господарства нормативних показників якості питної води, що постачається споживачам системами централізованого водопостачання, зокрема і через значну зношеність мереж централізованого водопостачання та застарілість обладнання.

Така ситуація призвела до того, що підприємства водопровідно-каналізаційного господарства виявилися не готові виконувати вимоги Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10).

1.2 Оцінка якості води з джерел питного водопостачання

Моніторинг якості води поверхневих водойм свідчить про те, що їх екологічний стан практично не покращується. За даними Центру контролю та профілактики хвороб (ЦКПХ), у 2022 році питома вага досліджених проб води з водойм I категорії, які не відповідали нормам, за хімічними та мікробіологічними показниками зросла на тлі зменшення загальної кількості досліджуваних проб та досліджених проб, що не відповідали нормативам.

Спостерігається аналогічна тенденція зростання нестандартних проб для водойм II категорії, які не відповідали нормам за хімічними та мікробіологічними показниками.

Питома вага досліджених проб води з водойм I-ої категорії, які не відповідали нормам, у 2022 році за хімічними показниками становила 19,6% (323 із відібраних та досліджених 1645 проб), за мікробіологічними показниками – 15,5% (216 із 1396) (табл. 1.4, рис. 1.8).

Рис. 1.8 – Питома вага досліджених проб води, що не відповідали нормам з водойм I категорії, які використовуються в якості джерел централізованого водопостачання населення

Таблиця 1.4 – Питома вага досліджених проб води з водойм I категорії, які не відповідали нормам (%) [1-3]

Найбільший відсоток відхилень за хімічними показниками відмічається у Луганській, Вінницькій, Запорізькій, Житомирській областях, що значно перевищує середній по державі; за мікробіологічними показниками – у Полтавській, Львівській, Вінницькій, Запорізькій, Закарпатській областях.

З водойм II-ої категорії було відібрано та досліджено 6138 проб за хімічними та 7146 проб за мікробіологічними показниками, з них не відповідало відповідно 1453 і 1966 проб. Питома вага досліджених проб води з водойм II категорії, які не

відповідали нормам, за хімічними показниками – 23,7%, за мікробіологічними – 27,5% (табл. 1.5, 1.6, рис. 1.9).

Таблиця 1.5 – Питома вага досліджених проб води з водойм II категорії, які не відповідали нормам (%) [1-3]

Рис. 1.9 – Питома вага досліджених проб води з водойм II категорії (використання в рекреаційних цілях), що не відповідали нормам

Найбільший відсоток відхилень за хімічними показниками відмічається у Луганській, Донецькій, Дніпропетровській, Львівській, Хмельницькій, Житомирській, областях, що перевищує середній по державі; за мікробіологічними показниками – у Тернопільській, Донецькій, Запорізькій, Одеській, Львівській областях та м. Києві.

У 2022 році дещо зріс показник невідповідності якості води. Така картина відмічається за рахунок зменшення загальної кількості досліджених проб вод за хімічними і мікробіологічними показниками. Негативна тенденція спостерігається для ділянок водойм II категорії, які використовуються як місця рекреаційного та оздоровчого водокористування для купання, занять спортом і відпочинку населення, а також ті, що знаходяться в межах населених пунктів.

Таблиця 1.6 – Якість води з поверхневих водойм I та II категорії, за даними Центру контролю та профілактики хвороб [1-3]

Високий рівень техногенного навантаження на водойми та використання застарілих технологій підготовки питної води, які розраховані на доведення природної води до якості питної лише у випадку, коли вихідна вода відповідає I-му класу поверхневих джерел водопостачання, не дозволяють забезпечити населення якісною та безпечною для здоров'я людини питною водою. Застосування в технології підготовки питної води хлору, неефективних

коагулянтів, відсутність сорбційних фільтрів з активованим вугіллям тощо призводить до надходження у питну воду значної кількості неорганічних та органічних забруднювачів, спільна дія яких на організм людини, особливо в умовах радіаційного навантаження, викликає реальну загрозу здоров'ю нації.

Існують природні проблеми вихідної води в невеликих населених пунктах, зокрема щодо вмісту фторидів (в Полтавській, Чернігівській, Львівській, Одеській областях), заліза (в Тернопільській, Київській та інших областях) тощо.

Істотним є питання антропогенного забруднення поверхневих джерел води за рахунок неочищених промислових та побутових стоків, які містять широкий спектр забруднюючих речовин. Окремо слід зазначити проблеми фосфатного забруднення водних ресурсів через використання синтетичних фосфатних миючих засобів та проблеми «цвітіння» поверхневих вод, які є джерелами питного водопостачання.

У 2022 році ЦКПХ здійснювали моніторингові дослідження на 12385 об'єктах централізованого водопостачання населення (у 2021 – 15415, 2020 – 16097, 2019 – 20622), з них 3396 комунальних (у 2021 – 3282, 2020 – 3433, 2019 – 4092), 1839 відомчих (у 2021 – 3357, 2020 – 3090, 2019 – 3993), 3115 сільських (у 2021 – 4360, 2020 – 4617, 2019 – 5906) та 2044 локальних водопроводах (у 2021 – 2580, 2020 – 2248, 2019 – 3307); а також 38784 джерелах нецентралізованого водопостачання (у 2021 – 36893, 2020 – 38522, 2019 – 58780, 2018 – 70830, 2017 – 72876, 2016 – 118110, 2015 – 160343) [1, 2].

У 30% об'єктів централізованого водопостачання населення за результатами лабораторних досліджень проби води не відповідали вимогам нормативного документу, у тому числі з комунальних водопроводів – 23,6%, сільських – 37%, відомчих – 33%, міжрайонних – 16%, локальних – 32,9% водопроводів (рис. 1.10); у 37,2% об'єктів нецентралізованого водопостачання населення, на яких результати лабораторних досліджень не відповідають нормам.

Протягом 2022 року ЦКПХ із джерел централізованого водопостачання, у тому числі водогонів, було досліджено за санітарно-хімічними показниками 148232 проби питної води, за мікробіологічними – 170790 проби [1].

Рис. 1.10 – Питома вага об'єктів централізованого водопостачання, на яких результати лабораторних досліджень не відповідали нормативам за даними статистичної звітності за 2022 рік [1]

У 2022 році питома вага нестандартних проб питної води, відібраних із джерел централізованого водопостачання, у тому числі водогонів, за санітарно-хімічними та мікробіологічними показниками становила 14,3% та 3,5% відповідно; у тому числі з комунальних водопроводів – відповідно 12,1% та 2,1%; сільських водопроводів – відповідно 25,4% та 11,4% [1].

У 2022 році через військову агресію РФ було приділено більше уваги до моніторингу якості та безпечності питної води централізованого водопостачання, що подається населенню, особливо на деокупованих територіях країни, тому було зареєстровано зменшення показника невідповідності якості питної води за рахунок збільшення загальної кількості досліджуваних проб питної води.

У 2022 році найбільша питома вага нестандартних проб питної води з централізованих систем водопостачання зареєстрована за санітарно-хімічними показниками у Дніпропетровській, Луганській, Донецькій, Київській, Полтавській, Миколаївській областях; за мікробіологічними показниками – у Львівській, Миколаївській, Київській, Рівненській, Тернопільській, Черкаській та Закарпатській областях, що у 1,5 рази і більше перевищує середні показники по країні (табл. 1.7).

Питома вага нестандартних проб питної води, відібраних із водопровідної мережі, за мікробіологічними показниками, становила 3,8% із 131028 досліджених проб у 2022 році; за санітарно-хімічними показниками – 10,4% із 115534 проб; у тому числі на нітрати – 1,6% (табл. 1.8, 1.9) [1].

Таблиця 1.7 – Питома вага нестандартних проб питної води (%) [1-3]

У 2022 році питома вага досліджених на атомно-абсорбційному фотометрі проб питної води з джерел централізованого та нецентралізованого водопостачання, які не відповідали нормам: на свинець становила 2,7% ; на залізо – 6,0%; на марганець – 8,7%; на кадмій – 0,05%; на газовому хроматографі – по вуглецю 4-хлористому – 0%; по хлороформу – 17,3% [1].

На якість питної води систем централізованого водопостачання негативно впливає незадовільний санітарно-технічний стан водопровідних споруд і мереж, відсоток їх зношеності, що становить у різних регіонах від 30% до 70%, несвоєчасні проведення капітальних та поточних планово-профілактичних ремонтів та ліквідації аварій.

Таблиця 1.8 – Кількість досліджених проб на якість води централізованого водопостачання [1-4]

Таблиця 1.9 – Відсоток нестандартних проб питної води централізованого водопостачання за мікробіологічними та санітарно-хімічними показниками [1-4]

В окремих регіонах гостро стоїть питання забезпечення населення питною водою не тільки в якісному, але і в кількісному відношенні. Подача води за графіками та її тривала відсутність у водопровідних мережах сприяє бактеріальному забрудненню питної води. Ситуацію значно погіршують випадки відключення об'єктів водопостачання від систем енергопостачання.

Основними перешкодами є: незавершеність реформування водного сектору, недостатня увага Уряду до питань покращення доступу до безпечної води та умов санітарії населення, брак фінансування на всіх рівнях бюджетів, секторальних Загальнодержавних цільових програм та відсутність нових фінансових механізмів підтримки розвитку галузі водопостачання і особливо водовідведення, не пріоритетність цих питань на рівні місцевих органів влади; складність переходу до впровадження європейських стандартів якості води та управління водними ресурсами, скорочення програм моніторингу та збору державної статистики щодо доступу до води та санітарії, незавершені інституціональні реформи в галузі

санітарного нагляду, критичний стан галузі водопостачання і водовідведення та військові дії в Україні. Через військову агресію РФ з 2014 року втрачено моніторинг та контроль якості і безпеки води на анексованій території АР Крим, окупованих територіях Донецької та Луганської, частини Запорізької та Херсонської областей.

1.3 Вплив якості питної води на стан здоров'я та умови проживання населення в Україні в цілому та в окремих регіонах

Невідповідність якості питної води нормативним вимогам поряд з забрудненнями є однією з причин поширення в державі таких захворювань, як жовчнокам'яна хвороба, виразкова хвороба шлунку [5-10].

У Карпатському, Дніпровсько-Придніпровському, на Поліссі та в деяких інших регіонах України у питній воді реєструється нестача мікроелементів – I, Zn, Cu, F, що впливає на виникнення ендемічних захворювань. Вплив такої води на поширення в Україні потребує поглибленого вивчення.

Має місце зростання нітратного забруднення ґрунтових вод внаслідок ненормованого використання в колективних господарствах та у приватному секторі мінеральних та, особливо, органічних добрив. Коли йдеться про сільські території, здебільшого, забруднена нітратами та бактеріями вода – провина самих господарів. Передусім, нітрати є ознакою органічного забруднення водоносного горизонту – або використовують азотовмісні органічні добрива, або це є фекальне забруднення водоносного горизонту. Джерелом забруднення є вигрібні ями, негерметичні септики або ємності для збору рідких відходів, гноєсховища, місця утримання худоби тощо. Люди самі створили такі умови, адже це, як правило, приватна територія. Слід зауважити, що ефективних методів видалення нітратів з води в умовах нецентралізованого водопостачання практично не існує.

Чутливі до нітратів особи похилого віку, хворі на анемію, та люди, які страждають захворюваннями дихальної та серцево-судинної системи. Перевищення кількості нітратів у питній воді призводить до зниження загальної

резистентності організму, що сприяє збільшенню рівня загальної захворюваності, в тому числі інфекційними та онкологічними хворобами.

Вживання води питної, яка містить понад нормовану кількість нітратів, у окремих випадках може призвести до захворювання, яке називається водно-нітратна метгемоглобінемія. Дане захворювання обумовлене значним підвищенням вмісту метгемоглобіну в крові, який утворюється внаслідок токсичної дії нітратів на гемоглобін, що призводить до кисневого голодування тканин (гіпоксії). Групи підвищеного ризику становлять немовлята віком до 1 року, які перебувають на штучному вигодовуванні (коли суміші готуються на воді з високою концентрацією нітратів).

Станом на 31 грудня 2022 р. зареєстровано одинадцять випадків отруєння нітратами, неінфекційного захворювання на водно-нітратну метгемоглобінемію – у Житомирській області (сс. Бежів, Борщів, Іванківці, Миролюбівка Житомирського району, с. Підлуби Новоград-Волинського району, с. Стриєва Володимир-Волинського району; м. Бердичів, Бердичівська ТГ); у Київській області (с. Карапиші Обухівського району, с. Саливонки Білоцерківського району); у Харківській області (с. Скрипаї Чугуївського району).

У 2021 році зареєстровано 2 випадки отруєння нітратами, неінфекційного захворювання на водно-нітратну метгемоглобінемію – у Київській області (с. Росава Миронівської ОТГ Обухівського району); у Житомирській області (с. Ліщин Житомирського району).

У 2020 році зареєстровано 5 випадків отруєння нітратами, неінфекційного захворювання на водно-нітратну метгемоглобінемію – у Харківській області (с. Руська Лозова Дергачівського району; Новобаварський район міста Харкова; м. Люботин; с. Мечибилове Барвінського району) та у Полтавській області (сmt Ромодан Миргородського району).

Досягнення за останні 25-30 років в області вивчення ролі водного фактору у формуванні здоров'я населення сприяли появі принципово нових уявлень про вплив хімічного складу питної води на неінфекційну захворюваність населення. У науковій літературі з'являються публікації, які свідчать про зв'язок зростання

числа онкологічних захворювань із забрудненням питної води хлорорганічними сполуками, що утворюються при хлоруванні води поверхневих водоемів.

За даними Державної установи «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України» науково обґрунтовано та удосконалено параметри і критерії моніторингу якості вод, враховуючи вимоги європейського законодавства та результати багаторічного вивчення пріоритетних показників якості природних і питних вод, а також їхнього впливу на здоров'я споживачів. залишитися й у поновленому національному нормативному документі. Встановлено, що доочищені водопровідні питні води із поверхневих та підземних джерел питного водопостачання мають стабільний склад, тому вимоги до якості таких вод та періодичність їх контролю мають бути однаковими. Запропоновано для питних вод у разі знезараження діоксидом хлору встановити норматив для хлоратів згідно з рекомендаціями ВООЗ (0,7 мг/л) та проводити його контроль один раз на місяць; для питних вод, що потребують очищення від тригалогенметанів, слід встановити жорсткіший контроль якості питної води на вміст цих канцерогенних речовин (не рідше одного разу на три місяці). Вперше зазначено, що після переобладнання системи водопостачання та змін у технології водопідготовки виробники можуть проводити контроль якості питної води не за повним переліком показників, а лише за тими, які можуть змінюватися, що є економічно доцільним.

За даними Львівського національного медичного університету ім. Данила Галицького за результатами проведеного дослідження якості води і продуктів харчування з урахуванням коефіцієнта біологічної еквівалентності «їжа – вода» було встановлено, що факторами ризику розвитку метгемоглобінемії можуть бути не тільки надходження нітратів з водою та харчовим раціоном, але і свинцю у кількостях, що перевищують допустимі добові надходження, комбінована дія нітратів, нітритів і свинцю, незбалансоване харчування, стан здоров'я дитини. Внаслідок дії цих факторів ризику можуть виникати безсимптомні метгемоглобінемії у дітей, виявлення яких потребує індивідуального підходу до обстеження дітей.

В країні має місце високий рівень навантаження на природні водойми та використання застарілих технологій підготовки питної води. Вирішення проблем питного водопостачання потребує комплексного підходу: впровадження сучасних технологій водопідготовки, споруд, реагентів, матеріалів та обладнання, відновлення мережевих систем розподілу питної води, розробка нових ефективних методів очищення природних вод та удосконалення існуючих технологічних процесів підготовки питної води, тощо.

1.4 Небезпека побічних продуктів хлорування у питній воді для живих систем

Ще в 1976 році вченими було висунуте припущення, що органічні речовини, які містяться у воді, в процесі знезараження хлором (чи гіпохлоритом натрію або кальцію) взаємодіють з останнім і утворюють хлорорганічні побічні продукти. Основними факторами, які впливають на утворення побічних продуктів, є рН, час контакту з реагентом, температура, пора року, концентрація і властивості органічних речовин, концентрація хлору реагенту і залишкового хлору. Встановлено, що з ростом рН підвищується формування тригалогенметанів (ТГМ), але зменшується формування галогеноцтових кислот (ГОК); зростає температура контакту з реагентом, а більші його дози сприяють більшому утворенню ТГМ і ГОК (відповідно концентрації побічних продуктів знезараження влітку вищі, порівняно з зимою); збільшення концентрації органічних речовин теж веде до росту побічних продуктів, при цьому гумінові кислоти відповідають за утворення ТГМ, а фульвокислоти – за ГОК [11, 12].

Отже, в процесі знезараження хлором утворюються побічні продукти.

В останньому виданні Посібника Всесвітньої Організації Охорони Здоров'я (ВООЗ) з контролю якості питної води [13] наведені відомості щодо 19 речовин – продуктів хлорування, які є потенційно небезпечними для здоров'я населення. Небезпечними для здоров'я людини речовинами, що утворюються при хлоруванні води, є 16 ХОС [13]: хлороформ, 1,2-дихлоретан, чотирьоххлористий вуглець, 1,1-

дихлоретилен, дихлорбромметан, трибромметан, дибромхлорметан, 2,4,6-трихлорфенол, трихлоретилен, 2-хлорфенол, тетрахлоретилен, дихлорацетонітрил, бромоформ, хлорпіридин, дихлорметан, поліхлоровані біфеніли.

Тригалогенметани. Ця категорія включає такі речовини: хлороформ (CHCl_3), бромоформ (CHBr_3), дибромхлорметан (CHBr_2Cl), бромдихлорметан (CHBrCl_2). Встановлені нормативи вмісту у питній воді окремо для хлороформу – $0,06 \text{ мг/дм}^3$, дибромхлорметану – $0,01 \text{ мг/дм}^3$ та для суми ТГМ – $0,1 \text{ мг/дм}^3$ [11, 12, 14].

Хлороформ широко використовують у хімічній промисловості і хімічних лабораторіях як розчинник жирів, лаків. Раніше він використовувався в медицині для наркозу. Пари хлороформу легко проникають в організм з повітрям при вдиханні та через пори шкіри (під час прийому душу або ванни); токсично діють на центральну нервову систему, на обмін речовин і внутрішні органи, особливо печінку. При вдиханні спричиняє різні рефлексії, які порушують дихання та серцеву діяльність. Виникає головокружіння, слабкість, нудота, шлункові болі. Накопичується в тканинах, багатих на жири [15-18].

За даними Американського агентства з охорони навколишнього середовища хлороформ, бромоформ та дибромхлорметан належать до канцерогенів, тератогенів, а останнім часом набувають мутагенних властивостей [11, 15]. Тератогенна дія їх проявляється через вплив на розвиток плода під час вагітності, що призводить до вроджених дефектів, спонтанних абортів, затримки росту плода [16]. Дослідження [17] показали, що матері, які піддавалися високому впливові ТГМ з питною водою, мали на 30% більший ризик народження дітей з низькою вагою (менше 2500 г). А дослідження жінок, які споживали 5 або більше склянок холодної водопровідної води в день (що містить більше 75 мкг/л ТГМ) взагалі мали підвищений ризик не доношування вагітності, особливо на ранніх термінах [18].

Існує ряд доказів канцерогенної дії ТГМ, яка проявляється через підвищений ризик раку товстої кишки, сечового міхура, нирок, підшлункової залози (при рівні

ТГМ у питній воді більше 50 мкг/л) [19], стравоходу, прямої та ободової кишки, легенів, молочної залози, тіла матки і щитоподібної залози [20-25]. З середини 90-х років у досліджах американських вчених, проведених на мишах, хлороформ при введенні в шлунок викликав як доброякісні, так і злоякісні пухлини печінки, нирок та щитоподібної залози [26].

Інші хлорвуглеводні. Досліджено трихлоретилен (C_2HCl_3), тетрахлоретилен (C_2Cl_4), дихлоретан ($C_2H_4Cl_2$), чотирихлористий вуглець (CCl_4). Встановлені нормативи вмісту у питній воді для дихлоретану – 2 мг/дм³, чотирихлористого вуглецю – 0,002 мг/дм³ та для суми трихлоретилену і тетрахлоретилену – 0,1 мг/дм³ [14].

Трихлоретилен застосовують для знежирення металів, для хімічистки текстильних виробів, раніше – виробництва моноклороцтової кислоти [27]. Три- та тетрахлоретилен мають мутагенні властивості [15].

Дихлоретан використовується як розчинник жирів, смол, парафінів, для вилучення жиру з шерсті тварин, хімічистки одягу, склеювання пластмас (входить до складу клеїв). Потрапляє до організму пероральним, інгаляційним та шкірним шляхами, викликає ураження центральної нервової системи, печінки, нирок і серцевих м'язів. Основна маса метаболітів дихлоретану, які є значно токсичними за нього, вже через 4-6 годин фіксується в тканинах, багатих на ліпіди. Вони здійснюють токсичну дію на клітинні мембрани і внутріклітинні структури, викликаючи цитоліз клітин (процес руйнування). Більше всього зазнають впливу гепатоцити клітини печінки та ендотелій судин. Відбувається підвищення проникності судинної стінки, ураження травного каналу з явищем вираженого гастроентериту, що веде до гіповолемії (зменшення об'єму циркулюючої крові). Здійснює канцерогенну та мутагенну дію на організм [15, 28-29].

Чотирихлористий вуглець (тетрахлорметан) – сировина для виробництва хладонів, використовується як розчинник жирів, смол, каучуку, як консервант при обробці хутра, для видалення жирних плям з одягу, входить до складу рідин для наповнення вогнегасників. При високій температурі розкладається на фосген та інші ядовиті речовини, які викликають отруєння. При потраплянні в організм

скупчується в тканинах, багатих на ліпіди. Має наркотичну дію, вражає центральну нервову систему, викликає зміни в печінці, нирках, серці [30]. Дослідження показали, що при різних способах введення мишам та щурам він викликав у них пухлини печінки, а при підшкірному введенні – пухлини молочної залози [26].

Галогеноцтові кислоти (ГОК). До цієї категорії належать бромоцтова кислота (BrCH_2COOH), бромхлороцтова кислота (BrClCHCOOH), хлороцтова кислота (ClCH_2COOH), дибромоцтова кислота (Br_2CHCOOH), дибромхлороцтова кислота ($\text{Br}_2\text{ClCCOOH}$), дихлороцтова кислота (Cl_2CHCOOH), дихлорбромоцтова кислота ($\text{Cl}_2\text{BrCCOOH}$), трибромоцтова кислота (Br_3CCOOH), трихлороцтова кислота (Cl_3CCOOH), йодоцтова кислота (ICH_2COOH) [11].

Монохлороцтову кислоту використовують у виробництві барвників. Дихлороцтову, що має високу антивірусну та протигрибкову активність, – для виготовлення косметичних і лікарських засобів. Трихлороцтову – у біохімії, медицині як антисептик, в'яжучий засіб [20]. Основний шлях впливу для них – пероральний: ГОК всмоктуються в шлунково-кишковому тракті та дуже швидко потрапляють в кров і розподіляються в печінці та м'язах, в меншій кількості – в жировій тканині, нирках, мозку, сім'яниках. В дослідженнях [20] відмічено підвищену смертність у групі мишей, що отримувала добову дозу монохлороцтової кислоти 200 мг/кг маси. У мишей жіночої статі цієї групи знижувалася маса тіла та відмічалася збільшення печінки, знижувався рівень холінестерази (група ферментів, що виконують захисні функції організму та відіграють роль в процесах нейрогуморальної передачі). У щурів ефект спостерігався за будь-якої дози: при дозі більше 30 мг/кг маси – лімфопенія (зниження загального числа лімфоцитів) та зменшення ваги серця; більше 60 мг/кг маси – зменшення меж серця, дегенеративні та запальні зміни міокарда, збільшення печінки і нирок; більше 90 мг/кг маси – накопичення у м'язах мононуклеарів (різновид лімфоцитів, які борються з вірусами) та м'язова дегенерація, підвищення плазмових рівнів тироксину (гормон, що синтезує клітини щитоподібної залози) і сегментоядерних нейрофілів (клітини, які борються з чужорідними частинками) [20].

Ди- та три хлороцтова кислоти є високотоксичними, здатні викликати подразнення шкіри, очей при високих концентраціях. Також вони є канцерогенами, оскільки дослідження на тваринах показало дозозалежний зв'язок між впливом цих кислот і виникненням гепатоцелюлярних карцином (пухлини печінки). За впливу високих доз дихлороцтова кислота пошкоджує нитки ДНК, тим самим виявляючи свою мутагенну активність [20].

У воді при нагріванні ГОК здатні розкладатися на ТГМ. Високі рівні ГОК можуть призвести до пошкодження клітин головного мозку, нервової системи, нирок, ока, репродуктивної системи. Йодоцтова кислота здатна до зниження доступних кількостей поживних речовин та кисню у нейронах, інгібуючи один із ферментів гліцеральдегід-3-фосфат-дегідрогеназу (ГАФДГ) – і викликає загибель нейронів. У свою чергу, порушення роботи ГАФДГ викликає виникнення низки неврологічних захворювань, зокрема, хворобу Альцгеймера [20].

Нажаль, в Україні вміст ГОК у питній воді не нормується, в той час, як в США для них (для моно-, ди- та трихлороцтової і хлорбromoцтової кислот) встановлені нормативи на рівні 60 мкг/л, а ВООЗ на рівні 20, 50 та 200 мкг/л, відповідно, для моно-, ди- та трихлороцтової кислот [20].

Галогеновані альдегіди: бромацетальдегід (BrCH_2CHO), хлорацетальдегід (ClCH_2CHO), дибромацетальдегід (Br_2CHCHO), дихлорацетальдегід (Cl_2CHCHO), трибромацетальдегід (Br_3CCHO), трихлорацетальдегід (Cl_3CCHO) та хлоралгідрат ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_3\text{O}_2$) [20].

Хлорацетальдегід здійснює вплив на очі, шкіру та слизові оболонки. За даними Американського агентства з охорони навколишнього середовища хлоралгідрат належить до можливих людських канцерогенів [11]. Хлоралгідрат застосовується в медицині як заспокійливий, снодійний і знеболювальний засіб. У великих дозах хлоралгідрат може викликати отруєння. За токсичної дії хлоралгідрат близький до хлороформу. Він застосовується при психічних збудженнях і як протисудомний засіб при правці, еклампсії і при інших захворюваннях. Хлоралгідрат швидко всмоктується в кров з травного каналу. В організмі він піддається метаболізму. Метаболітами хлоралгідрату є трихлоретанол і трихлороцтова кислота [31].

Вміст галогенованих ацетальдегідів в Україні та світі не нормується.

Галогеновані кетони: дихлорацетон ($C_2H_4Cl_2CO$), трихлорацетон ($C_2H_3Cl_3CO$) [11]. Властивості цих сполук не досліджені, а їх вміст у питній воді не нормується.

Галоацетонітрили. До цієї категорії відносяться бромацетонітрил ($BrCH_2CN$), бромхлорацетонітрил ($BrClCHCN$), хлорацетонітрил ($ClCH_2CN$), дибромацетонітрил (Br_2CHCN), дихлорацетонітрил (Cl_2CHCN), трибромацетонітрил (Br_3CCN), трихлорацетонітрил (Cl_3CCN) [11].

ВООЗ встановила норматив вмісту у питній воді лише для дихлорацетонітрилу на рівні 90 мкг/л. В Україні цей норматив відсутній взагалі.

Трихлорацетонітрил атакує очі і шкіру. Канцерогенний і мутагенний ефекти намишах були зареєстровані в 1986 році для бром-, дибром та бромхлорацетонітрилу [11]. Дані дослідження [32] показують, що галоацетонітрили здатні виробляти розриви ДНК в культивованих людських клітинах (найвища здатність до розривів у трихлорацетонітрилу).

Хлорпікрин (CCl_3NO_2). Використовується як компонент пестицидів в сільському господарстві. Подразнює шкіру і слизові оболонки. Пари хлорпікрину мають сльозоточиву, а у високих концентраціях удушливу і загальноотруйну дію, тому він широко застосовувався під час I-ої світової війни як бойова отруююча речовина [18]. Вміст у питній воді хлорпікрину в Україні і світі не нормується.

Хлорфеноли. Ця категорія включає в себе хлорфенол (ClC_6H_4OH), дихлорфенол ($Cl_2C_6H_3OH$), трихлорфенол ($Cl_3C_6H_2OH$), чотирихлорфенол (Cl_4C_6HOH), пентахлорфенол (Cl_5C_6OH) [11]. Норматив вмісту хлорфенолів у питній воді становить 0,0003 мг/дм³.

Моно-, ди- і трихлорфеноли використовують у виробництві барвників, гербіцидів. Пентахлорфенол застосовують як антисептик для деревини, шкіри, целюлози, тканин, як інсектицид, фунгіцид та гербіцид; чотирихлорфенол – як селективний розчинник, денатуруючий агент, дезінфікуючий і протигрибковий засіб; трихлорфенол – у виробництві фенол-формальдегідних смол; дихлорфенол – входить до складу прискорювачів вулканізації. Хлорфеноли подразнюють слизові оболонки дихальних шляхів, викликають екзему шкіри, вражають печінку [34].

Таким чином, в процесі хлорування питної води утворюється безліч токсичних речовин, які здійснюють хронічний вплив на організм людини пероральним, інгаляційним способами та через шкіру. Деякі з цих хлорорганічних сполук мають канцерогенну дію – онкологічні захворювання печінки, нирок, щитоподібної залози, сечового міхура, молочної залози, стравоходу тощо; мутагенну дію – розрив ниток ДНК, вроджені вади, такі як дефекти міжшлуночкової перегородки, обструктивні дефекти сечовивідних ляхів; тератогенну дію – спричинюючи не доношування вагітності або народження дітей з низькою вагою. При цьому канцерогенність і мутагенність підтверджена дослідями на тваринах. Однак, не зважаючи на це, нормативи вмісту у питній воді встановлені лише для деяких речовин. Зокрема, для токсичних і канцерогенних галогеноцтових кислот та канцерогенних і мутагенних галоацетонітрилів в Україні відповідні нормативи відсутні, хоча Всесвітньою організацією охорони здоров'я та Американським агентством з охорони навколишнього середовища для деяких речовин із цих груп вони встановлені.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДУ ХЛОРУВАННЯ З ПОПЕРЕДНЬОЮ АМОНІЗАЦІЄЮ

2.1 Стисла характеристика об'єкта дослідження

Для забезпечення міста питною водою існує два комплекси по підготовці питної води: Кайдацька та Ломівська насосно-фільтрувальні станції.

Насосно-фільтрувальні станції включають в себе водозабірні та водоочисні споруди, насосні станції з резервуарами питної води та станції знезаражування. Джерела водопостачання та головні споруди забезпечені нормативними зонами санітарної охорони.

Загальна схема водопостачання з забором води з поверхневого джерела наведена на рис. 2.1.

Реагенти для обробки і знезаражування води: коагулянт (сульфат алюмінію), флокулянт (поліакриламід) і рідкий хлор.

Забір води здійснюється з річки Дніпро насосами I-го підйому і подається на очисні споруди. Першочергово у воду додають розчин хлору для окислення органічних речовин і коагулянт разом з флокулянтом для подальшої коагуляції. Вода змішується з реагентами в змішувачі, з якого потім перетікає в камеру утворення пластівців, конструкція якої залежить від якості вхідної води. Вода з добре сформованими пластівцями після камери рухається повільним горизонтальним потоком крізь відстійник і пластівці осідають по всій довжині в нижній частині відстійника. Доочищення води від залишків зависі (каламутність води на виході з відстійника складає 8-15 мг/л) і пластівців завершується на швидких фільтрах (резервуарах завантажених зернистою засипкою з рухом води зверху до низу). Очищену і знезаражену питну воду збирають у резервуарах чистої води і далі насосами станції II-го підйому подають у розподільчу мережу.

Рис. 2.1 – Схема водопостачання з забором води з поверхневого джерела

Технологія обробки води двоступінчаста – відстоювання та фільтрування (рис. 2.2).

Проектна потужність Кайдацької насосно-фільтрувальної станції, що розташована в правобережній частині міста, – 250,0 тис. м³/добу. Станція експлуатується з 1908 року. Двома насосними станціями I-го підйому вода подається на очисні споруди, потім у три резервуари чистої води сумарним об'ємом 13,9 тис. м³ і двома насосними станціями II-го підйому подається в розподільчу мережу. Кайдацький водозабір забезпечує водою нижню (центральну) частину міста Дніпро.

Фактична середньодобова подача за 2021 рік складає 101,47 тис. м³/добу.

Рис. 2.2 – Двоступінчаста реагентна схема освітлення та знебарвлення води з горизонтальними відстійниками та швидкими фільтрами

Проектна потужність Ломівської насосно-фільтрувальної станції – 100,0 тис. м³/добу. Станція експлуатується з 1968 року. Насосними станціями I-го підйому вода подається на очисні споруди, потім у три резервуари чистої води сумарним об'ємом 16,0 тис. м³. Далі вода насосними станціями II-го підйому подається в розподільчу мережу міста (на лівий берег та житлові масиви Ігрень, Придніпровськ).

Фактична середньодобова подача за 2021 рік складає 81,59 тис. м³/добу.

На водоканалах кількість санітарно-хімічних показників, що контролюється у питній воді, коливає від 17 до 50 (мінімальна кількість згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10-42), переважна їх більшість характеризує мінеральний склад.

За результатами проведених досліджень [35] у водопровідних питних водах періодично або епізодично виявляються перевищення наступних дев'яти індикаторних санітарно-хімічних показників: каламутність, забарвленість, смак та присмак, перманганатна окиснюваність, амоній, водневий показник, алюміній, залізо, марганець (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Проблемні індикаторні санітарно-хімічні показники якості водопровідних питних вод, виготовлених з води річки Дніпро

Середній вміст перманганатної окиснюваності у водопровідній воді в різні роки наведено в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Середній вміст перманганатної окиснюваності у водопровідній воді в різні роки

Понаднормативний вміст перманганатної окиснюваності було виявлено у питних водах впродовж всіх трьох досліджуваних років. Перевищення нормативу за цим показником було найбільшим – у 2 рази. Навіть мінімальний вміст перманганатної окиснюваності був більшим за норматив (5 мг/л).

Отже, вихідна вода КП «Дніпроводоканал» мала найгіршу якість щодо вмісту органічних речовин. Різні значення коефіцієнтів забарвленості можуть свідчити також про різницю в якісному складі органічних речовин у вихідних водах КП «Дніпроводоканал».

Самі по собі органічні речовини у разі їхнього природного походження не несуть прямої небезпеки для здоров'я споживачів, але можуть негативно впливати на санітарний стан трубопроводів і споруд, органолептичні та мікробіологічні показники якості питної води, а також вміст побічних продуктів дезінфекції. Але слід пам'ятати, що у разі наявності у річковій воді органічних речовин антропогенного походження може з'являтися певний ризик для здоров'я споживачів питної води.

За результатами проведених досліджень якості питної води на КП «Дніпроводоканал» [35] виявлено наявність проблемних показників (крім індикаторних), понаднормативний вміст яких свідчить про антропогенне забруднення води (табл. 2.3)

Таблиця 2.3 – Виявлені проблемні показники у питних водах КП «Дніпроводоканал» (крім індикаторних)

Чинником наявності у питній воді тригалогенметанів (дибромхлорметану) є вміст органічних речовин у вихідних водах та наявність первинного хлорування «чистим» хлором, хлору (внаслідок перевищення доз хлору на водопровідних станціях) та нафтопродуктів.

2.2 Вимоги до показників якості питної води, призначеної для споживання людиною

Якість питної води служить основою епідемічної безпеки і здоров'я населення. Доброякісна вода є показником високого санітарного благополуччя і життєвого рівня населення, забезпеченого централізованим водопостачанням. У розвинених країнах якості питної води держава та органи охорони здоров'я приділяють особливу увагу.

Питна вода повинна відповідати ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» [14, 36]. Дані нормативні документи застосовуються щодо води, призначеної для споживання населенням в питних і побутових цілях, для використання в процесах переробки продовольчої сировини та виробництва харчових продуктів, їх зберіганні і торгівлі, а також для виробництва продукції, що вимагає застосування води питної якості.

Питна вода повинна мати сприятливі органолептичні властивості, бути нешкідливою за хімічним складом, бути безпечною в епідемічному й радіаційному відношенні.

Органолептичні показники питної води. Питна вода повинна мати хороші органолептичні властивості, тобто бути прозорою, безбарвною, без присмаку і запаху, мати освіжаючу температуру і не містити видимих домішок.

Температура води. Оптимальною для фізіологічних потреб людини температурою питної води є 8-15 °С. Вона надає приємне освіжаючу дію, краще втамовує спрагу, швидше всмоктується, стимулює секреторну і моторну діяльність шлунково-кишкового тракту. Температура води 25 °С погано втамовує спрагу, температура 25-35 °С неприємна і викликає блювотний рефлекс.

Нормування органолептичних властивостей води ведеться за двома напрямками: по інтенсивності сприйняття людиною запаху, присмаку, кольоровості і каламутності, а також по концентрації у воді хімічних речовин, що впливають на її органолептичні властивості.

Запах води. Характер та інтенсивність запаху визначають по відчуттю сприйманого запаху. Розрізняють дві групи запахів: запахи природного та штучного походження.

Присутність у воді рослинних залишків надає їй землистий, мулистий або болотний запах. При цвітінні вода має ароматичний запах. Наявність сірководню надає воді запах тухлих яєць. При гнитті органічних речовин або забрудненні її нечистотами виникає гнильний, сірководневий або фекальний запах.

Запахи штучного походження виникають при забрудненні води промисловими та іншими стічними водами (фенольний, камфорний, аптечний, хлорний, металевий, бензиновий тощо).

Інтенсивність запаху питної води оцінюється за 5-ти бальною системою. Запах води не повинен перевищувати 2-х балів.

Смак і присмак. Питна вода повинна бути приємною, мати освіжаючий смак без будь-якого стороннього присмаку. Смак води залежить від мінерального складу води, температури її і розчинених газів. Розрізняють чотири основних смакових відчуття: солоне, кисле, солодке, гірке. Всі інші смакові відчуття називаються присмаками (лужний, металевий, хлорний, терпкий тощо).

Гігієнічне значення запахів і присмаків води полягає в тому, що при їх інтенсивності вище 2 балів обмежується водоспоживання. Штучні запахи і присмаки можуть бути показниками забруднення води стічними водами.

Природні запахи і присмаки вище 2 балів свідчать про наявність у воді біологічно активних речовин, що виділяються синьо-зеленими водоростями.

Кольоровість – природна властивість води, обумовлена наявністю гумінових речовин, які утворюються при руйнуванні органічних сполук у ґрунті, вимиваються з нього, надходять у відкриті водойми і надають їм забарвлення від жовтуватого до коричневого кольору. Тому кольоровість властива воді відкритих водойм і різко збільшується в паводковий період. Забарвлення воді можуть надавати сполуки заліза (жовто-зеленувате фарбування), квітучі водорості, завислі речовини, забруднення стічними водами тощо.

Кольоровість питної води визначають фотометричним шляхом. Вона не повинна бути вище 20°, тоді вода вважається безбарвною.

Гігієнічне значення кольоровості полягає в тому, що при кольоровості вище 35° обмежується водоспоживання. Збільшення або зменшення кольоровості підземних вод свідчить про їхнє забруднення. Кольоровість є показником ефективності знебарвлення води на водопровідних спорудах.

Мутність води залежить від наявності у воді завислих частинок мінерального або органічного походження. Підвищена каламутність обмежує водоспоживання, свідчить про забруднення природних вод. Мутність є показником ефективності процесу освітлення води на очисних спорудах.

Органолептичні показники питної води повинні відповідати нормативам, представленим в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Органолептичні показники якості питної води систем централізованого питного водопостачання

Зміна органолептичних показників води справляє негативний вплив на людину і може привести до погіршення санітарного стану води (наприклад, підвищення каламутності води знижує бактерицидну дію хлорування).

Хімічні показники питної води. До хімічних речовин, здатних погіршити органолептичні властивості води, належать природні мінеральні елементи

(хлориди, сульфати, залізо, мідь, цинк, солі кальцію і магнію), а також деякі хімічні речовини, що додаються до питної води в процесі її обробки (сполуки алюмінію, поліакриламід тощо), тому встановлені граничні нормативи вмісту таких речовин (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Хімічні показники якості, що впливають на органолептичні властивості питної води систем централізованого питного водопостачання

З узагальнених показників води важливе в гігієнічному відношенні значення має жорсткість. Вона залежить від ступеня мінералізації води, тобто вмісту в ній солей кальцію і магнію. Жорсткість вимірюється в мг-екв/л. Воду з жорсткістю до 3,5 мг-екв/л вважають м'якою, від 7 до 14 мг-екв/л – жорсткою і вище 14 мг-екв/л – дуже жорсткою.

Жорсткість води знижує смакові достоїнства і засвоюваність приготовленої їжі. Так, овочі і м'ясо, зварені в жорсткій воді, погано перетравлюються в результаті утворення важкорозчинних сполук білка з солями кальцію і магнію; погіршуються вигляд і смак чаю. Жорстка вода утворює нерозчинний осад на трубах гарячого водопостачання і посуді, ускладнюючи догляд за ними. Виявлено зв'язок між вживанням жорсткої води і підвищеною захворюваністю сечокам'яною хворобою. Допустима жорсткість води не повинна перевищувати 7 мг-екв/л.

До числа природних хімічних речовин, що мають велике фізіологічне значення відносяться фтор. Так, при підвищеному вмісті фтору в ґрунті і, отже, у воді (більше 1,5 мг/л) розвивається захворювання флюороз, зовнішньою ознакою якого є поява плям на зубній емалі; при вмісті фтору в кількості менше 0,5 мг/л виникає карієс зубів.

У ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» включені також норми ГДК для ряду хімічних речовин, найбільш небезпечних для здоров'я людини, таких як берилій, ртуть, свинець, молібден, миш'як, стронцій та інші, які можуть стати причиною хронічних

інтоксикацій людини. ГДК цих елементів у питній воді визначені в залежності від ступеня їх токсичної дії і кумулятивних властивостей (здатності до накопичення в організмі).

З числа можливих хімічних забруднювачів питної води важливе гігієнічне значення мають нітрати. Нітрати можуть міститися в глибоких підземних водах як їх природний компонент, проте основним джерелом накопичення нітратів у водоймах є продукти розкладу органічних речовин стічних вод. Отже, кількість нітратів у воді служить непрямим показником забруднення її органічними речовинами побутового походження. Значення нітратів, як санітарного показника якості води, а також їх токсичність (розвиток метгемоглобінемії у дітей) при значному підвищенні концентрації нітратів послужили підставою для їх обмеження в питній воді (до 50 мг/л по іону NO_3).

Вміст шкідливих хімічних речовин, що надходять і утворюються у воді в процесі її обробки в системі водопостачання. Ця група об'єднує токсичні речовини, присутність яких обумовлено додаванням реагентів з метою освітлення, знебарвлення та знезараження води або проведенням одного з видів спеціальної обробки (пом'якшення, фторування тощо). Вміст речовин, що утворюються і надходять у питну воду під час водопідготовки не повинен перевищувати нормативів, наведених у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Вміст шкідливих хімічних речовин, що надходять і утворюються у воді в процесі її обробки в системі водопостачання

Вміст шкідливих хімічних речовин, що у джерела водопостачання в результаті господарської діяльності людини. До цього списку включені гігієнічні нормативи більше 1200 хімічних речовин, які можуть бути присутніми у питній воді та можуть бути ідентифіковані сучасними аналітичними методами.

Радіаційні показники питної води. Радіаційна безпека питної води повинна відповідати нормативам, представленим в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Показники радіаційної безпеки питної води систем централізованого питного водопостачання

Ідентифікація присутніх у воді радіонуклідів та вимірювання їх індивідуальних концентрацій проводиться при перевищенні нормативів загальної активності.

Мікробіологічні і паразитологічні показники питної води. Безпека питної води в епідемічному відношенні визначається її відповідністю нормативам, представленим в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Мікробіологічні і паразитологічні показники питної води

2.3 Характеристика методів знезараження води

Знезараження питної води служить для створення надійного бар'єра на шляху передачі водним шляхом збудників інфекційних хвороб. Методи знезараження води спрямовані на знищення патогенних і умовно-патогенних мікроорганізмів, чим забезпечується епідемічна безпека води.

Воду знезаражують на кінцевому етапі очищення після освітлення й знебарвлення перед надходженням у резервуари чистої води, які одночасно виконують функції контактних камер.

Для знезараження води застосовують реагентні (хімічні) і безреагентні (фізичні) методи [37-43].

Реагентні методи засновані на введенні у воду сильних окиснювачів (хлору, діоксиду хлору, озону тощо), іонів важких металів.

Безреагентні включають термічну обробку, ультрафіолетове опромінення, обробку ультразвуком, γ -опромінення, обробку струмом надвисокої частоти.

Метод вибирають залежно від кількості і якості вихідної води, методів її попереднього очищення, вимог до надійності знезараження, з урахуванням

техніко-економічних показників, умов поставки реагентів, наявності транспорту, можливості автоматизації процесу.

2.3.1 Фізичні методи знезараження води

Знезаражування води ультразвуком. Бактерицидна дія ультразвуку пояснюється, головним чином, механічним руйнуванням бактерій в ультразвуковому полі. Дані електронної мікроскопії свідчать про руйнування клітинної оболонки бактерій. Бактерицидний ефект ультразвуку не залежить від мутності (у межах до 50 мг/л) і кольоровості води. Він поширюється як на вегетативні, так і на спорові форми мікроорганізмів і залежить лише від інтенсивності коливань.

Ультразвукові коливання, які можуть бути використані для знезаражування води, одержують п'єзоелектричним або магнітострикційним шляхом. Щоб одержати воду, що відповідає нормативним вимогам, інтенсивність ультразвуку повинна становити близько 2 Вт/дм², частота коливань – 48 кГц в 1 секунду. Ультразвук частотою 20-30 кГц знищує бактерії за 2-5 секунд.

Термічне знезаражування води. Метод використовують для знезаражування невеликої кількості води в санаторіях, лікарнях, на пароплавах, поїздах та ін. Повне знезаражування води і загибель патогенних бактерій досягається через 5-10 хвилин кип'ятіння води. Для цього типу знезаражування використовують спеціальні типи кип'ятильників.

Знезаражування води рентгенівським випромінюванням. Метод передбачає опромінення води короткохвильовим рентгенівським випромінюванням довжиною хвилі 60-100 нм. Короткохвильове випромінювання глибоко проникає в бактеріальні клітки, обумовлює їхні значні зміни і іонізацію. Метод вивчений недостатньо.

Знезаражування води вакуумуванням. Метод передбачає інактивацію бактерій і вірусів при зниженому тиску. Повний бактерицидний ефект досягається

протягом 15-20 хвилин. Оптимальний режим обробки – при температурі 20-60 °С і тиску 2,2-13,3 кПа.

Інші фізичні методи знезаражування, такі як обробка γ -опроміненням, високовольтними розрядами, електричними розрядами малої потужності, змінним електричним струмом, використовують обмежено внаслідок їхньої високої енергоємності, складності апаратури, а також через їхню недостатню вивченість і відсутність інформації про можливість утворення шкідливих побічних сполук. Більшість із них сьогодні перебувають у стадії наукових розробок.

2.3.2 Знезараження води хлором і його сполуками

На сьогоднішній день найпоширенішим методом знезаражування води на водопровідних станціях залишається хлорування [44]. Серед хлорвмісних сполук, враховуючи певні гігієнічні і технічні переваги, найчастіше використовують рідкий хлор. Можливе також застосування хлорного вапна, кальцію і натрію гіпохлориту, хлорамінів тощо.

Хлор є газом жовто-зеленого кольору з різким, неприємним запахом. У вільному стані хлор утворює молекулу із двох атомів Cl. При атмосферному тиску і звичайній температурі хлор перебуває в газоподібному стані. При зниженні температури або при підвищенні тиску хлор переходить із газоподібного в рідкий стан.

Газоподібний хлор добре розчиняється у воді, причому розчинність його знижується з підвищенням температури.

Хлор для знезаражування води доставляється на водопровідні станції в рідкому вигляді, а перед його застосуванням переводиться в газоподібний стан.

В результаті дисоціації хлорноватистої кислоти утворюються гіпохлорит-іони (їх називають *вільним активним хлором*), які поряд з недисоційованими молекулами хлорноватистої кислоти мають бактерицидну властивість.

При введенні у воду аміаку утворюються моно- і дихлораміни (їх називають *зв'язаним активним хлором*), які також виявляють бактерицидну дію, трохи меншу, ніж вільний хлор, але більш тривалу.

Активний хлор спочатку дифундує в середину бактеріальної клітки, а потім вступає в реакцію з ферментами. Найбільшу бактерицидну і віруліцидну дію виявляє недисоційована хлорноватиста кислота (HClO). З підвищенням концентрації хлору у воді, її температури і з переходом хлору в недисоційовану форму хлорноватистої кислоти, яка легко дифундується, загальна швидкість процесу дезінфекції підвищується.

Наслідком цього є як гальмування процесів розмноження бактерій (бактеріостатична дія), так і їхня загибель (бактерицидна дія).

З підвищенням значення рН бактерицидність хлору у воді знижується. Отже, воду доцільно знезаражувати хлором при низьких значеннях рН, тобто до введення лужних реагентів.

Наявність у воді органічних сполук, здатних до окиснення, неорганічних відновлювачів, а також колоїдних і завислих речовин, що обволікають мікроорганізми, приводить до вповільнення процесу знезаражування води.

При хлоруванні води, що не містить аміаку або інших азотовмісних сполук, із збільшенням кількості внесеного у воду хлору зростає вміст у ній залишкового вільного хлору. Але картина міняється при наявності у воді аміаку, амонійних солей і інших азотовмісних сполук, які є складовою частиною природної води або штучно вносяться в неї. При цьому хлор і хлорні агенти взаємодіють із присутнім у воді аміаком, амонійними і органічними солями, що містять аміногрупи. Це приводить до утворення моно- і дихлорамінів, а також надзвичайно нестійких трихлорамінів.

Хлораміни є зв'язаним активним хлором, бактерицидна дія якого в 25-100 раз менша, чим у вільного хлору. Крім того, залежно від рН води змінюється співвідношення між моно- і дихлорамінами. При низьких значеннях рН (5-6,5) переважно утворюються дихлораміни, а при більших значеннях рН (більше 7,5) – монохлораміни, бактерицидна дія яких в 3-5 раз слабкіша, чим дихлорамінів. При

додаванні до води невисоких доз хлору (співвідношення $Cl_2:NH_4 < 1$) утворюються моно- і дихлораміни. Тому у воді накопичується залишковий зв'язаний з амінами хлор.

При збільшенні дози хлору утворюється більше хлорамінів і концентрація залишкового зв'язаного хлору підвищується до максимуму.

При співвідношенні $Cl_2:NH_4$ до 2, внаслідок окиснення хлорамінів надлишковим хлором, кількість залишкового зв'язаного хлору у воді різко знижується.

При подальшому збільшенні дози хлору концентрація залишкового хлору у воді знову починає поступово зростати. Цей хлор не пов'язаний із хлорамінами, зветься вільним залишковим (активним) хлором і має найвищу бактерицидну активність. Діє на бактерії і віруси подібно активному хлору при відсутності у воді аміаку і амонійних сполук.

Хлор і хлорвмісні сполуки значною мірою впливають на органолептичні властивості питної води (запах, присмак), а в певних концентраціях дратують слизуваті оболонки ротової порожнини і шлунку. Гранична концентрація залишкового хлору, при якій питна вода не здобуває хлорного запаху і присмаку, встановлена для вільного хлору на рівні 0,5 мг/л, а для зв'язаного – 1,2 мг/л. По токсикологічних ознаках граничною концентрацією активного хлору в питній воді є 2,5 мг/л.

Отже, для знезаражування води необхідно додати таку кількість хлорвмісного препарату, щоб після обробки вода містила 0,3-0,5 мг/л залишкового вільного або 0,8-1,2 мг/л залишкового зв'язаного хлору. Такий надлишок активного хлору не погіршує смаку води, не шкодить здоров'ю, але гарантує її надійне знезаражування.

Бактерицидна активність хлору і його сполук пов'язана з величиною його окисно-відновного потенціалу. Окисно-відновний потенціал зростає при однакових концентраціях у ряді: хлорамін \rightarrow хлорне вапно \rightarrow хлор \rightarrow діоксид хлору.

Ефективність хлорування залежить від властивостей і складу водного середовища, а саме: від вмісту завислих речовин і колоїдних сполук, концентрації розчинених органічних сполук і неорганічних відновлювачів, рН води, її температури.

Завислі речовини і колоїди перешкоджають впливу дезінфікуючого агента на мікроорганізми, поглинають активний хлор внаслідок адсорбції і хімічного зв'язування. Вплив на ефективність хлорування органічних сполук, розчинених у воді, залежить як від їхнього складу, так і від властивостей хлорвмісних препаратів. Так, азотовмісні сполуки тваринного походження (білки, амінокислоти, аміни, сечовина) активно зв'язують хлор. Сполуки, що не містять азоту (жири, вуглеводи), слабкіше реагують із хлором. Оскільки наявність у воді завислих речовин, гумінових і інших органічних сполук знижує ефект хлорування, для надійного знезаражування каламутні і підвищеної кольоровості води попередньо освітлюють і знебарвлюють.

При зниженні температури води до 0-4 °С зменшується бактерицидний ефект хлору.

В кислому середовищі процес знезаражування води хлором прискорюється.

На бактерицидний ефект хлорування значно впливають доза реагенту і тривалість контакту: бактерицидний ефект зростає при підвищенні дози і збільшенні тривалості дії активного хлору.

Сьогодні у практику водопостачання впроваджується хлорування води *гіпохлоритом натрію*, який одержують електролітичним способом на місці споживання шляхом електролізу концентрованого розчину хлориду натрію. Внаслідок прямого електролізу на аноді відбувається розрядження хлорид-іонів, що перебувають у воді, і утворюється молекулярний хлор, який гідролізується з утворенням хлорнуватої кислоти. Під час обробки електролізом води з рН у межах 6-9 головними дезінфекційними агентами є хлорнуватої кислота HClO , гіпохлорит-аніон і монохлораміни, які утворюються внаслідок реакції між хлорнуватою кислотою і амонійними солями, що містяться в природній воді. Одночасно під час обробки води електролітичним методом на

мікроорганізми діє електричне поле, у якому вони перебувають, що підсилює бактерицидний ефект.

Перевагою одержання натрію гіпохлориту електролітичним методом у місці застосування є те, що відпадає необхідність у транспортуванні і зберіганні токсичного зрідженого хлору. Серед недоліків можна назвати значні енерговитрати.

Комбіновані способи хлорування води

Крім розглянутих методів хлорування води, запропоновано ряд комбінованих, коли разом із хлорвмісними сполуками використовують ще один хімічний або фізичний дезінфікуючий агент, який підвищує ефект знезаражування.

Хлорування можна комбінувати з обробкою води солями срібла (хлорсрібний метод), калію перманганатом (хлорування з мангануванням), озоном або ультрафіолетом, ультразвуком, постійним електричним струмом.

Хлорування з мангануванням (з додаванням розчину KMnO_4) використовують при необхідності посилення окисної і бактерицидної дії хлору, тому що калію перманганат більш сильний окиснювач. Спосіб слід застосовувати при наявності у воді запахів і присмаків, які обумовлені органічними речовинами, водоростями. При цьому калію перманганат вводять до хлорування. Додавати KMnO_4 слід перед відстійниками в дозах 1-5 мг/л або перед фільтрами в дозі 0,08 мг/л.

Відновлюючись до нерозчинного у воді MnO_2 , він повністю затримується у відстійниках і на фільтрах.

Хлорсрібний метод використовували на судах річкового флоту. Він забезпечує посилене знезаражування води і її консервацію на тривалий строк (до 6 місяців) при додаванні іонів срібла в кількості 0,05-0,1 мг/л.

Крім того, хлорсрібний метод використовують для знезаражування води в плавальних басейнах, де необхідно в міру можливості знизити дозу хлору. Це можливо тому, що бактерицидна дія забезпечується в межах сумарного ефекту доз хлору й срібла.

Встановлено, що хлорреагенти в порядку зменшення їх реакційної активності щодо утворення ХОС можна розташувати в такій послідовності: гіпохлорит натрію > хлорне вапно > рідкий хлор > хлораміачна вода. Особливо чітко ця залежність простежується при підвищених дозах хлоруючих агентів.

2.3.3 Знезараження води діоксидом хлору

Діоксид хлору – відомий і розповсюджений засіб знезаражування питної води, що пояснюється його істотними перевагами, в порівнянні із традиційним хлоруванням, зокрема, більшої біоцидній ефективності і відсутності утворення хлорорганічних сполук [45, 46].

Діоксид хлору при кімнатній температурі газ жовто-зеленого кольору, більш щільний, чим повітря, з різким запахом, має дратівну дію на верхні і нижні відділи дихальних шляхів, ГДК у повітрі робочої зони становить 0,1 г/л (1-й клас небезпеки).

У присутності вологи газоподібний діоксиду хлору поступово перетворюється в суміш кислот HClO , HClO_2 , HClO_3 і HClO_4 .

У характерному для питної води інтервалі рН 6-9 діоксид хлору (на відміну від хлору) залишається у водяному розчині як молекулярно-розчинений газ (при концентраціях 5-10 мг/л і при рН=12 діоксид хлору залишається в розчині як молекулярно-розчинений газ протягом від 20 хвилин до 3 годин).

По закінченню процесу поглинання водою залишковий діоксид хлору зберігається тривалий період часу (навіть у віддалених розгалуженнях водопровідної мережі, аж до кінцевої лінії), тим самим ефективно попереджаючи повторне забруднення води. При застосуванні діоксиду хлору не потрібен високий залишковий вміст дезінфектанта.

Солянокислі 2%-ві розчини діоксиду хлору нестійкі. При зберіганні при +4 °С концентрація діоксиду хлору через 24 години становить 30% від початкової. Продуктами розпаду є хлориди, хлорати і хлорнуватиста кислота.

При пропущенні газу ClO_2 через лужний розчин утворюються хлорити і хлорати.

Діоксид хлору застосовується в технології підготовки питної води як на стадії передокислення природної води (обробка «сирої» води), так і на стадії постзnezаражування (обробка очищеної води). На стадії передокислення природної води діоксид хлору застосовують у дозах 0,5-5,0 мг/л, що покращує процес коагуляції, видаляє залізо та марганець, запобігає росту водоростей, забезпечує деструкцію деяких токсичних органічних речовин, не призводить до утворення у питній воді тригалогенметанів та інших хлорорганічних сполук.

Можливий надлишок хлоритів видаляють при фільтруванні через активоване вугілля або відновленням його до хлоридів при дозуванні у воду сульфатів, солей двовалентного заліза та інших відновлювачів.

Для зnezаражування води, що пройшла очистку, застосовують дози 0,1-0,5 мг/л, при яких залишкові концентрації хлоритів відповідають діючим гігієнічним нормативам.

При зnezаражуванні води діоксидом хлору залишкова концентрація реагенту 0,05-0,1 мг/л після 15-30 хвилин контакту забезпечує мікробіологічну якість води.

Реагуючи з багатьма органічними і неорганічними сполуками у воді, ClO_2 відновлюється залежно від умов і природи відновника до хлорит-, гіпохлорит- і хлорид-іонів.

Діоксид хлору більш ефективний, ніж хлор, для видалення присмаків, запахів і кольоровості.

Слід виділити надзвичайно важливу перевагу діоксиду хлору, в порівнянні з озоном, – наявність пролонгованої дії (післядії). На відміну від хлору і озону, діоксид хлору проявляє двостадійну окисну і біоцидну дію. На першій стадії протікають швидкі реакції окиснення і інактивації мікроорганізмів під дією діоксиду хлору. На другій стадії протікають повільні реакції окиснення, інактивації мікроорганізмів під дією хлорит-іонів, які обумовлюють бактеріостатичну і пролонговану дію діоксиду хлору.

У цьому контексті надзвичайно важливою принциповою перевагою діоксиду хлору перед хлором і озоном є видалення біоплівки і мікробних обростань систем питного і технічного водопостачання і, як наслідок, запобігання утворенню таких. Враховуючи незадовільний санітарно-технічний і епідеміологічний стан водорозподільних мереж переважної більшості населених пунктів, така властивість діоксиду хлору може визначати перспективу його впровадження.

Результати досліджень впровадження діоксиду хлору в конкретні технологічні схеми водопідготовки показали, що у встановлених дозах на рівні 0,5-1,0 мг/л у всіх випадках він забезпечував епідемічну безпеку води.

На відміну від хлору, діоксид хлору окислює органічні речовини з утворенням органічних сполук, що містять кисень (спирти, кетони, альдегіди тощо), не утворює хлорорганічні речовини (ТГМ, хлорфеноли тощо), не реагує з аміаком та солями амонію з утворенням хлорамінів; не реагує з бромідами з утворенням броматів на відміну від озону.

В процесі окислення та знезаражування діоксид хлору відновлюється до хлорит-аніону (ClO^{2-}) та хлорид-аніону (Cl^-); можливе утворення незначної кількості хлорат-аніону (ClO^{3-}) та гіпохлорит-аніону (ClO^-).

За даними ВООЗ рекомендована концентрація діоксиду хлору у питній воді не встановлена у зв'язку з його швидким розпадом. Пороговою концентрацією діоксиду хлору за впливом на запах води є 0,45-0,40 мг/л.

За нормативами США для питної води концентрація залишкового діоксиду хлору та хлорит-аніону не повинна перевищувати 1,0 та 0,8 мг/л відповідно. За рекомендаціями ВООЗ залишкові концентрації хлорит-аніону та хлорат-аніону не повинні перевищувати 0,7 мг/л.

Для знезаражування води використовують комбіноване застосування діоксиду хлору з іншими окислювачами – озоном, хлором, що попереджує утворення хлоритів, тригалогенметанів, а також зменшує витрати реагентів.

Переваги застосування діоксиду хлору, в порівнянні з газоподібним хлором:

- незалежність окислювально-відновлювального потенціалу від рН води;
- значно нижчі концентрації, необхідні для знезаражування води;

- висока біоцидна активність по відношенню до всіх форм мікроорганізмів, включаючи віруси, спори, цисти найпростіших, мікрободорості тощо;
- тривалий пролонгований бактеріцидний ефект у водопровідних мережах;
- запобігання утворенню біоплівок та їх видалення у водопровідних мережах;
- покращення органолептичних (присмак, запах, кольоровість, каламутність) властивостей води;
- відсутність утворення токсичних хлорорганічних сполук;
- відсутність реакції з аміаком та іонами амонію з утворенням хлорамінів;
- екологічна безпечність (хлорити як похідні діоксиду хлору у навколишньому середовищі відновлюються до хлоридів).

Таким чином, дані літератури і результати проведених досліджень дозволяють заключити, що діоксид хлору є епідемічно та екологічно безпечним, токсикологічно нешкідливим, технологічно адекватним і економічно прийнятним засобом обробки води в системах господарсько-питного водопостачання населених пунктів.

2.3.4 Знезараження води озоном

Озонування є одним з перспективних методів обробки води з метою її знезараження і поліпшення органолептичних властивостей [47]. Сьогодні майже 1000 водопровідних станцій у Європі, переважно у Франції, Німеччині й Швейцарії, використовують озонування в технологічній схемі обробки води. Останнім часом озонування почали широко впроваджувати в США і Японії. В Україні озонування використовують на Дніпровській водопровідній станції Києва.

Озон (O_3) – є одним із найбільш сильних окиснювачів. Молекула O_3 нестійка і при достатніх концентраціях у повітрі при нормальних умовах мимовільно за кілька десятків хвилин перетворюється в O_2 з виділенням тепла. Підвищення температури і зниження тиску збільшують швидкість переходу у двоатомний стан. Контакт озону навіть із малими кількостями органічних речовин, деяких металів або їх оксидів різко прискорює перетворення.

Реакційна здатність атомів кисню в багато разів вища, чим озону.

Встановлено, що надійний ефект знезаражування озоном по санітарно-показових мікроорганізмах, колифагам, вірусу поліомієліту буде забезпечений при дотриманні сукупності наступних умов:

- на озонування повинна надходити вода з концентрацією зазначених мікроорганізмів, допустимою для джерел господарсько-питного водопостачання;
- вода, що надходить на озонування, повинна мати ступінь освітлення до нормативних вимог, тому що при не повністю освітленій воді можуть зустрічатися нестандартні проби, особливо по вірусах;
- попереднє хлорування, що забезпечує необхідну концентрацію у воді залишкового хлору;
- контакт озону з водою повинен бути не менш 4 хвилин при забезпеченні залишкового озону протягом усього часу озонування 0,1-0,3 мг/л;
- озон не повинен застосовуватися в якості заключного етапу обробки води, що направляється в систему водопостачання; озоновану воду перед надходженням у мережу необхідно хлорувати з метою введення консерванту.

З гігієнічної точки зору, озонування є одним з найкращих методів знезаражування води. Внаслідок озонування досягається надійний знезаражуючий ефект, руйнуються органічні домішки, а органолептичні властивості води не тільки не погіршуються, як при хлоруванні або кип'ятінні, але й поліпшуються: зменшується кольоровість, зникають зайві присмак і запах, вода здобуває блакитний відтінок.

Надлишок озону швидко розкладається, утворюючи кисень.

Переваги озонування води перед хлоруванням:

- 1) озон є одним з найсильніших окиснювачів (його окисно-відновний потенціал вище, чим у хлору і діоксиду хлору);
- 2) при озонуванні у воду не вноситься нічого стороннього і не відбувається будь-яких помітних змін мінерального складу води і рН;
- 3) надлишок озону через кілька хвилин перетворюється в кисень, і тому не впливає на організм і не погіршує органолептичні властивості води;

4) озон, вступаючи у взаємодію зі сполуками, що містяться у воді, не викликає появи неприємних присмаків і запахів;

5) озон знебарвлює і дезодорує воду, що містить органічні речовини природного і промислового походження, що надають їй запах, присмак і забарвлення;

6) у порівнянні із хлором озон ефективніше знезаражує воду від спорових форм і вірусів;

7) процес озонування меншою мірою піддано впливу змінних факторів (рН, температури тощо), що полегшує технологічну експлуатацію водоочисних споруд, а контроль над ефективністю не складніший, ніж при хлоруванні води;

8) озонування води забезпечує безперебійність процесу обробки води, відпадає необхідність перевезення і зберігання небезпечного хлору;

9) при озонуванні утворюється значно менше нових токсичних речовин, ніж при хлоруванні. Переважно це альдегіди (наприклад, формальдегід) і кетони, які утворюються в порівняно невеликих кількостях;

10) озонування води дає можливість комплексної обробки води, при якій може одночасно досягатися знезаражування і поліпшення органолептичних властивостей (кольоровість, запах і присмак).

Разом з тим, світовий досвід свідчить, що синтез озону є процесом енергоємним, технологічно складним, а озонування води найбільш дорогим методом знезаражування і окиснення.

З гігієнічної і медико-екологічної точок зору застосування озонування як самостійного засобу знезаражування води в системах централізованого господарсько-питного водопостачання неможливе. Це пояснюється необхідністю як додаткового сорбційного доочищення води, так і обов'язкового введення фінального дезінфектанту (хлору, хлорамінів, діоксиду хлору), що пролонгує знезаражуючий ефект у водорозподільних мережах.

Аналіз сучасних гігієнічних та технологічних аспектів застосування озону як засобу знезараження води показав суттєві недоліки озонування, які полягають у наступному:

- Високі витрати електроенергії.
- Утворення побічних кисеньвмісних органічних сполук, броматів.
- Обов'язкова стадія адсорбції на активних вугіллях після озонування.
- Органічні продукти окиснення мають мутагенну активність.
- Незначний період післядії.
- Озон не застосовується на стадії постзнезараження, тому що не має післядії.
- У водопровідних системах стимулює ріст мікроорганізмів. Застосовується в локальних системах підготовки питної води.

2.3.5 Знезараження води ультрафіолетовим опроміненням (УФО)

Ультрафіолетове випромінювання – це невидиме оком людини електромагнітне випромінювання, що займає спектральну область між видимим і рентгенівським випромінюваннями в межах довжин хвиль 100-400 нм [48].

Метод УФ-дезинфекції води вперше був випробуваний ще на початку ХХ століття. Встановлено, що найбільшу бактерицидну дію мають ультрафіолетові промені з довжиною хвилі від 200 до 295 нм. Максимум ефективності розташовується близько 254 нм.

В процесі поглинання УФ-променів нуклеїновими кислотами, які є основою клітин, відбуваються їх денатурація і фотоліз. Оскільки нуклеїнові кислоти є найважливішим складником апарату спадковості, то такі процеси будуть призводити до пошкодження молекул ДНК та спричиняти припинення росту й поділу клітин, а у випадку збільшення дози опромінювання – їх загибель.

Необхідними передумовами ефективного знезаражування води є певні показники якості води, яка знезаражується: кількість завислих часточок – не більше 1,5 мг/л; жорсткість – менше 7 ммоль/л; загальний вміст заліза – не більше 0,3 мг/л; марганцю – не більше 0,1 мг/л; сірководню – не більше 0,05 мг/л; твердих завислих часточок – менше 10 мг/л; мутність – не більше 2 мг/л; кольоровість – не більше 35 градусів; число загальних коліформ – не більше 1000 в 1 л.

У ряді випадків використання УФ-опромінення на етапі первинного знезаражування дозволяє створити умови для скорочення хлорування і зниження, таким чином, утворення хлорорганічних сполук у ще неочищеній воді. За результатами досліджень і досвіду експлуатації УФ-станцій на воді поверхневого джерела під впливом опромінення загальне мікробне число знижується не менш ніж на 2 порядки.

Застосування УФ-знезаражування на етапі первинної обробки води поверхневих джерел знижує навантаження на наступні етапи водопідготовки, підвищує бар'єрну роль споруд відносно забезпечення епідемічної безпеки, у тому числі, у відношенні стійких до хлорування мікроорганізмів. При цьому якість води, прийнятної для УФ-знезаражування, має досить широкий діапазон.

У тих випадках, коли параметри води не дозволяють використовувати УФ-опромінення на етапі первинного знезаражування, можливий варіант розміщення блоку ультрафіолетового знезаражування в середині схеми водопідготовки (після освітлення).

УФ-опромінення на заключному етапі водопідготовки забезпечує надійне знезаражування за всіма показниками, у тому числі відносно вірусів і збудників паразитарних захворювань. Однак, це не виключає необхідності застосування хлорвмісних реагентів перед подачею води в мережу.

Вдалою є комбінація *УФ-знезаражування і хлорамонізації*. Зв'язаний хлор меншою мірою сприяє утворенню хлорорганічних сполук і довше зберігається в мережі, а його недостатньо висока ефективність відносно стійких мікроорганізмів повністю компенсується УФ-опроміненням.

Таким чином, сучасний підхід до забезпечення епідемічної безпеки питної води має на увазі використання багатоступінчастої схеми очищення і знезаражування, а застосування УФО дозволяє забезпечити відповідність обробленої води необхідним нормативним значенням за мікробіологічними показниками та, у ряді випадків, розв'язати ряд експлуатаційних завдань, а також проблему утворення побічних продуктів дезінфекції.

Знезаражування УФО не вимагає введення у воду хімічних реагентів, не змінює фізико-хімічних властивостей і не впливає на смакові якості води. Однак застосування цього методу має значні матеріальні витрати і не виключає небезпеки повторного зараження води. Бактерицидні установки економічно вигідно застосовувати на водоочисних станціях невеликої продуктивності.

2.3.6 Комбіновані методи знезараження води

Комбіноване використання окислювачів, а також сумісне з фізичними методами знезараження та очистки води є сьогодні перспективним.

Правильно підібрані дезінфектанти при комплексній обробці води приводять до виникнення синергічних ефектів (коли дія комплексу дезінфектантів перевищує суму ефектів окремих дезінфектантів). Це забезпечує більш високий антимікробний ефект при збереженні або навіть зниженні доз реагентів, що вводять.

Сьогодні серед нових технологій очищення та знезаражування води найбільш перспективними є оксидні технології, які охоплюють великий діапазон фізичних і хімічних методів, здатних видаляти з води домішки до дуже низьких концентрацій. Сюди відносять методи – УФ, УФ і O_3 , УФ і H_2O_2 , УФ і O_3/H_2O_2 , УФ і TiO_2 тощо. За допомогою цих методів досягається дуже висока ефективність знезараження, обумовлена їх синергічним ефектом, тобто взаємо посиленням окремих впливів від кожного із засобів, що застосовують.

Крім того, використання в якості окислювачів природних для навколишнього середовища речовин – озону (O_3) і пероксиду водню (H_2O_2), здатних легко розпадатися під дією світла, або нерозчинних у воді фотокаталізаторів типу TiO_2 забезпечує екологічну чистоту цих методів на відміну від традиційного хлорування.

Особливо перспективне застосування *ультрафіолет-озонової технології* для окислення і знезаражування води. В процесі барботування озону у воді та

опромінення УФО у діапазоні 200-300 нм відбувається частковий розпад озону. Реакційна здатність (окислення) в атомів кисню у багато разів вища, ніж озону.

Ряд робіт присвячено вивченню ефектів спільної дії *ультрафіолету з пероксидом водню*. Показано, що процес впливу УФ-променів на озон такий же, як і на пероксиду водню.

Відомо, що при опроміненні пероксиду водню ртутними лампами низького тиску відбуваються фотохімічні реакції за рахунок поглинання променів з довжиною хвилі 253,7 нм. За рахунок поглинання бактеріальними клітинами УФ-променів та впливу на них H_2O_2 -радикалів, які утворюються при розпаді, значно підсилюється знезаражуюча дія.

Однак слід зазначити, що для реалізації радикальних процесів при H_2O_2 -УФ обробці потрібна висока концентрація пероксиду водню для забезпечення достатньої швидкості реакції, а тому цей процес нездійснений при підготовці питної води.

Метод УФ-знезараження у комбінації з пероксидом водню розроблено для води, яка інтенсивно забруднена бактеріями та органічними речовинами. Цей метод може успішно конкурувати із традиційним знезараженням хлором води у басейнах та водолікарнях. Пропонується схема очищення води, яка включає фільтр, ультрафіолетову обробку з наступним введенням пероксиду водню у концентрації не менш 20 мг/л.

В літературі зустрічаються відомості про спільне використання *УФ-опромінення з хлором*. В одних випадках після УФ-обробки до води вводиться незначна кількість хлору, в інших – хлоровану воду піддають УФ-обробці. Поєднання УФ-опромінення і хлору особливо рекомендується для оборотної системи водопостачання (басейни), де цей метод забезпечує високий бактерицидний ефект по відношенню до спорових і хлоррезистентних бактерій та вірусів. При такій обробці у 2-3 рази знижується витрата хлору, спрощується експлуатація хлораторної установки. У більшості випадків хлор вводять до обробленої УФ-опроміненням води для забезпечення післядії.

Взаємопосилення антимікробної дії відзначено при використанні *УФ-опромінення з іонами деяких металів – міді і срібла* у концентраціях, що не перевищують їх ГДК у питній воді. Крім одержання більш високого антимікробного ефекту, такий спосіб дозволяє усунути один з недоліків *УФ-опромінення* як дезінфектанту – відсутність післядії. Цей метод може бути використаний при тривалому зберіганні обробленої води, для дезінфекції води в басейнах у сполученні з міддю для посилення альгацидної дії.

Розпад окислювачів з утворенням радикалів, що мають більш високий окиснювально-відновний потенціал (ОВП), можливо досягнути при використанні катіонів деяких металів як каталізаторів. Найбільш виражений антимікробний ефект отримано при спільному введенні до зараженої води *пероксиду водню з іонами міді і срібла*.

Експериментально обґрунтовано та впроваджено оптимальну схему послідовного комбінованого застосування *діоксиду хлору та хлору* (хлор-газу чи гіпохлориту натрію) для знезараження питної води: діоксид хлору вводиться на стадії передокислення, а хлор – на стадії постзнезараження. В залежності від якості вихідної води ефективна доза діоксиду хлору на стадії передокислення становить 1,0-1,5 мг/л, що в 3-4 рази менше за дозу хлору, достатню для досягнення подібного ефекту.

За такою схемою вже на стадії передокислення поліпшуються органолептичні властивості води, попереджається утворення ТГМ, забезпечується первинне знезараження води, в тому числі щодо вірусів, відбувається часткове окислення органічних сполук, що видаляють згодом у процесі коагуляційного очищення.

Хлорування природної води, що пройшла передокислення діоксидом хлору, призводить до повного окислення хлоритів, які утворилися, до діоксиду хлору, що підвищує ефективність знезараження та забезпечує бактеріостатичний ефект (продовговану дію) у водорозподільних мережах.

2.4 Впровадження технології підготовки питної води на основі методу хлорування з попередньою амонізацією

2.4.1 Застосування методу попередньої амонізації як засобу мінімізації ризику для здоров'я населення

Високий рівень знезараження питної води і забезпечення санітарного стану водоочисних споруд досягається за рахунок хлорування води, яке є одним із найважливіших етапів водопідготовки.

Однак процес хлорування супроводжується утворенням побічних продуктів дезінфекції. При обробці води хлорвмісними реагентами утворюється понад 300 токсичних хлорорганічних сполук, які, в основному, відносяться до тригалогенметанів (хлороформ, дихлорбромметан, дибромхлорметан, хлордибромметан, бромоформ, тетрахлорметан тощо). При цьому хлороформ є побічним продуктом дезінфекції, що найчастіше зустрічається в питній воді. Його концентрація значно перевищує вміст інших летючих хлорорганічних сполук. Крім цього, навіть мінімальний вміст хлору у питній воді приводить до появи специфічного запаху, який відчувається споживачем [49].

З 2015 року ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» ввели вимогу щодо зменшення концентрації хлороформу у питній воді до 60 мкг/л. Як показала практика, виконати цю вимогу при звичайному хлоруванні дніпровської води неможливо.

Зниження утворення хлорорганічних сполук у питній воді можна досягти за допомогою вдосконалення технології підготовки питної води шляхом впровадження метода попередньої амонізації.

Метод хлорування з попередньою амонізацією – це метод знезараження шляхом введення у воду, що обробляється, реагенту, який містить аміак або його соли, і хлорреагенту. При цьому знезаражуючим агентом є хлораміни (неорганічний зв'язаний хлор), що утворюються у воді.

Суть процесу хлорування з попередньою амонізацією зводиться до введення в «сиру» воду солей амонію або амонійної води перед рідким хлором. Саме попереднє введення амонійної солі у дніпровську воду до введення рідкого хлору запобігає утворенню хлороформу у значних кількостях. Рідкий хлор реагує, у першу чергу, з гідроксидом амонію, який утворюється при гідролізі амонійної солі, а не з органічними речовинами в «сирій» воді. У такий спосіб не утворюється хлороформ у значних кількостях, а утворюються хлораміни, які також мають бактерицидні властивості.

Метод хлорування з попередньою амонізацією використовується:

- 1) з метою запобігання появи неприємних специфічних запахів, які виникають після хлорування води, що містить фенол, бензол і етилбензол;
- 2) для запобігання утворення канцерогенних речовин (хлороформ тощо) при хлоруванні питної води, що містить гумінові кислоти, вуглеводні метанового ряду;
- 3) для зниження інтенсивності запаху і присмаку хлору, особливо відчутного в літню пору;
- 4) для економії хлору при високій хлорпоглинаємості води й відсутності запахів, присмаків і високого бактеріального забруднення.

Якщо природна вода містить феноли (наприклад, внаслідок забруднення водою стічними водами промислових підприємств) навіть у незначних кількостях, то при знезаражуванні хлорвмісними сполуками, які гідролізуються з утворенням хлорноватистою кислоти, вільний активний хлор відразу ж взаємодіє з фенолом, утворюючи хлорфеноли, які навіть у невеликих концентраціях надають воді аптечний присмак і запах.

У той же час зв'язаний активний хлор (хлораміни), маючи більш низький окисно-відновний потенціал, не взаємодіє з фенолом з утворенням хлорфенолів, і тому під час знезаражування не погіршуються органолептичні властивості води.

Аналогічно вільний активний хлор здатний взаємодіяти з вуглеводнями метанового ряду з утворенням тригалогенметанів (хлороформу,

дибромхлорметану, дихлорбромметану), що є канцерогенами. Запобігти їхньому утворенню можна, знезаражуючи воду зв'язаним активним хлором.

При хлоруванні з попередньою амонізацією у воду, яку знезаражують, спочатку додають розчин аміаку або його солей, а через 1-2 хвилини вводять хлор. Внаслідок цього у воді утворюються хлораміни, які мають бактерицидну дію.

Ефективність хлорування із попередньою амонізацією залежить від співвідношення NH_3 і Cl_2 , причому використовують дози цих реагентів у пропорціях 1:2, 1:4, 1:6, 1:8. Для води кожного джерела водопостачання необхідно підбирати найбільш ефективне співвідношення.

Швидкість знезаражування води хлорамінами нижча, чим швидкість дезінфекції вільним хлором, тому тривалість дезінфекції води у випадку хлорування із попередньою амонізацією повинна бути не менше 2 години. Особливості бактерицидної дії хлорамінів, а також їх здатність не утворювати хлорпохідні, специфічні запахи пояснюється їх значно меншою окисною активністю, оскільки окисно-відновний потенціал хлорамінів значно нижче, чим у хлору.

Крім попередньої амонізації (введення аміаку за 1-2 хвилини до введення хлору), іноді застосовують постамонізацію, коли аміак вводять після хлору безпосередньо в резервуари із чистою водою. Завдяки цьому хлор фіксується довше, чим досягається збільшення тривалості його дії.

Таким чином, використання попередньої амонізації води як нового технологічного рішення на етапі водопідготовки дозволить покращити якість роботи водопровідних станцій, досягти зниження експлуатаційних витрат, знизити утворення побічних продуктів дезінфекції і підвищити якість питної води.

2.4.2 Характеристика реагенту

В якості амонізуючого реагенту на більшості очисних споруд використовують аміачну воду. Ця речовина доволі небезпечна (II клас небезпечності) і нестійка, а її застосування потребує великої площі для зберігання та значних капіталовідкладень. Вирішенням даних проблем є використання аміаку у зв'язаній формі у вигляді сульфату амонію, який має товарну марку «Амопол».

«Амопол» – це неорганічна речовина (суха сіль сірчаної кислоти) у вигляді безкольорових кристалів або білого порошку, що немає запаху. Цей сухий реагент вітчизняного виробництва, на відміну від аміачної води, в рази дешевше зберігати і застосовувати.

«Амопол» використовується в технології амонізації з метою пролонгації знезаражуючого ефекту при хлоруванні води та перешкоди утворенню хлороформу при підготовці води питного і господарсько-побутового призначення, а також в технологічних процесах різних галузей промисловості

Технічні характеристики реагенту «Амопол» (сульфату амонію) наведені в табл. 2.9.

Для процесу хлорування з попередньою амонізацією потрібно «Амопол» розчинити у воді і дозувальними насосами подати у трубопровід «сирої» води до введення рідкого хлору. При цьому відбувається реакція рідкого хлору з гідроксидом амонію, внаслідок чого утворюються амонійні солі – монохлораміни і дихлораміни. Ці солі, аналогічно хлору, також мають бактерицидний ефект, але він більш пролонгований у часі, що важливо для міських водопровідних мереж значної протяжності. Монохлораміни і дихлораміни мають назву «зв'язаний» хлор на відміну від «вільного» хлору.

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики реагенту «Амопол» сульфату амонію

Використання «Амополу» (сульфату амонію) з метою проведення попередньої амонізації при підготовці питної води дозволить суттєво покращити якість питної води, що надходить до споживача.

Позитивний ефект попередньої амонізації проявляється в зниженні появи побічних продуктів хлорування і покращенні мікробіологічної якості питної води. Застосування реагенту «Амопол» знижує вміст хлороформу в очищеній воді в 3-5 разів, що дозволить отримати питну воду, якість якої буде відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10. За рахунок зниження вмісту хлороформу зменшується ризик розвитку загально-токсичних ефектів з боку критичних органів і систем.

Попередня амонізація з використанням «Амополу» дозволить позбавитися від характерного хлорфенольного запаху і різкого запаху вільного хлору, покращити органолептичні показники питної води.

Впровадження попередньої амонізації дозволить зменшити споживання хлору на 40-50%.

Застосування «Амополу» особливо актуальне для мереж значної протяжності, для підтримання їх належного санітарного стану і безпеки питної води.

Крім того, застосування попередньої амонізації з використанням «Амополу» не потребує суттєвих капіталовкладень і реконструкції існуючих водоочисних споруд.

2.4.3 Розрахунок реагентного господарства для приготування, зберігання та дозування коагулянту [38, 40]

Вихідні дані. Розрахувати реагентне господарство для приготування, зберігання та дозування коагулянту (реагент Амопол), якщо:

- фактична середньодобова подача на Кайдацькій насосно-фільтрувальній станції складає м³годину;
- доза Амополу приймається мг/л (г/м³).

Порядок розрахунку

1. Визначаємо витрати робочого розчину Амополу при заданій концентрації, що приймається $C_{\text{розчин}}=1\%$, за формулою:

(2.1)

Звідси

Визначаємо кількість товарного продукту (реагенту Амопол), необхідного для приготування робочого розчину заданої концентрації, за формулою:

(2.2)

$\rho_{\text{розчин}}$ – щільність робочого розчину Амополу, що готується, яка визначається за [38];

P – процентний вміст безводного продукту в товарному коагулянті.

Звідси

Приймаємо витратних баки для приготування робочого розчину Амополу.

Визначаємо об'єм одного витратного бака за формулою:

(2.3)

Звідси

Висоту шару розчину реагенту у витратному баку приймаємо $h=1$ м.

Визначаємо площу витратного бака в плані за формулою:

(2.4)

Звідси

Визначаємо розміри витратного бака (a – довжину, b – ширину).

Визначаємо фактичну висоту шару реагенту при обраних розмірах витратного бака за формулою:

(2.5)

Звідси

Визначаємо висоту бака з врахуванням будівельного запасу (висота борта витратного бака) за формулою:

(2.6)

Звідси

Таким чином, розміри одного витратного бака становлять:

Визначаємо повний об'єм одного витратного бака за формулою:

(2.7)

Звідси

Визначаємо загальний об'єм робочих витратних баків за формулою:

(2.8)

Звідси

2.4.4 Очікувані результати після впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією

Перед впровадженням методу хлорування з попередньою амонізацією на водоочисній станції необхідно провести лабораторні випробування щодо визначення оптимальних доз хлору та сульфату амонію з метою досягнення нормативних значень вмісту «проблемних» показників у питній воді після її знезараження.

В умовах однієї з насосно-фільтрувальних станцій України, що використовує для господарсько-питного водопостачання воду з річки Дніпро, проведено серію лабораторних випробувань і визначено якість питної води після впровадження запропонованого методу хлорування з попередньою амонізацією [35]. Слід зазначити, що якісний склад досліджуваної річкової води відповідав якісному складу води, що забирається для підготовки Кайдацькою насосно-фільтрувальною станцією.

В процесі попередньої амонізації, для переведення вільного хлору в зв'язаний, реагент «Амопол» додавали до введення хлорної води і коагулянту. Доза «Амополу» була розрахована виходячи з найбільш оптимального співвідношення амонійного азоту до активного хлору $\text{NH}_3:\text{Cl}_2=1:4$.

Таким чином, після впровадження запропонованого методу хлорування з попередньою амонізацією можна очікувати на наступні результати, наведені в табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Очікувані результати після впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією

Як видно з табл. 2.10, в порівнянні з існуючою технологією підготовки питної води, впровадження попередньої амонізації дозволяє зменшити концентрацію хлороформу до 7 мкг/л (в 18 разів), що не перевищує встановленого нормативу, відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10, який складає 60 мкг/л.

Крім того, метод попередньої амонізації дозволяє майже в 2 рази зменшити показник каламутності води, внаслідок чого також можна досягти нормативу за цим параметром (менше 1,0 мг/л).

Що стосується залишкового хлору, то слід зазначити, що при попередній обробці води реагентом «Амопол» вільного хлору в питній воді взагалі не утворюється. Під впливом реагенту він переходить у зв'язаний стан, причому його концентрація знаходиться в межах норми і не перевищує 0,8-1,2 мг/л. Відсутність вільного хлору і збільшення концентрації зв'язаного свідчить про здатність присутності хлору в водорозподільній мережі більш тривалий період, що обумовлює бактерицидну дію хлору на більшій протяжності водопровідної мережі.

ВИСНОВКИ

В роботі вирішена актуальна практична задача, що полягає в удосконаленні технології підготовки питної води шляхом впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією, що дозволить отримати питну воду, якість якої буде відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості».

Отримані результати наведені нижче.

Питне водопостачання України майже на 80% забезпечується поверхневими водами. Водночас більшість басейнів річок, згідно з гігієнічною класифікацією водних об'єктів за ступенем забруднення, можна віднести до забруднених та дуже забруднених, проте склад очисних споруд та технології підготовки води фактично не змінились. У той же час наявні очисні споруди, технології очистки та знезараження питної води не спроможні очистити її до рівня показників безпеки.

Високий рівень знезараження питної води і забезпечення санітарного стану водоочисних споруд досягається за рахунок хлорування води, яке є одним із найважливіших етапів водопідготовки. Однак процес хлорування супроводжується утворенням побічних продуктів дезінфекції. При обробці води хлорвмісними реагентами утворюється понад 300 токсичних хлорорганічних сполук, які, в основному, відносяться до тригалогенметанів (хлороформ, дихлорбромметан, хлордибромметан, бромформ тощо). При цьому хлороформ є побічним продуктом дезінфекції, що найчастіше зустрічається в питній воді. Його концентрація значно перевищує вміст інших летючих хлорорганічних сполук. Крім цього, навіть мінімальний вміст хлору в питній воді приводить до появи специфічного запаху, який відчувається споживачем.

Становище ускладнюється тим, що вся водопровідна вода не відповідає показникам окислюваності, що вважається показником загального хімічного забруднення води.

Удосконалено існуючу технологію підготовки питної води. Запропоновано на попередньому етапі знезараження (первинне хлорування) застосовувати амонізацію (додавання реагенту «Амопол», який являє собою сіль сульфату амонію).

Позитивний ефект попередньої амонізації проявляється в зниженні появи побічних продуктів хлорування і покращенні мікробіологічної якості питної води. Застосування реагенту «Амопол» знижує вміст хлороформу в очищеній воді в 3-5 разів, що дозволить отримати питну воду, якість якої буде відповідати вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». За рахунок зниження вмісту хлороформу зменшується ризик розвитку загально-токсичних ефектів з боку критичних органів і систем. Впровадження попередньої амонізації дозволить зменшити споживання хлору на 40-50%.

Застосування «Амополу» особливо актуальне для мереж значної протяжності, для підтримання їх належного санітарного стану і безпеки питної води. Крім того, застосування попередньої амонізації з використанням «Амополу» не потребує суттєвих капіталовкладень і реконструкції існуючих водоочисних споруд.

Розраховано основне обладнання для приготування, зберігання та дозування коагулянту (реагент «Амопол»).

Наведено очікувані результати після впровадження методу хлорування з попередньою амонізацією.

Проаналізовано заходи з охорони праці та безпеки при обслуговуванні об'єктів і споруд систем водопостачання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2022 році. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Київ, 2023. 397 с.
2. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2021 році. Міністерство розвитку громад та територій України. Київ, 2022. 326 с.
3. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2020 році. Міністерство розвитку громад та територій України. Київ, 2021. 385 с.
4. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2019 році. Міністерство розвитку громад та територій України. Київ, 2020. 353 с.
5. Степаненков Г.В. Вплив якості питної води на стан здоров'я населення Полтавської області в 2001-2012 роках. Вісник Полтавської державної аграрної академії. №1-2. 2015. С. 160-164.
6. Григоренко Л.В. Вплив якості питної води на стан здоров'я сільського населення. Гігієна населених місць. №64. 2014. С. 80-86.
7. Прокопов В.О., Липовецька О.Б. Вплив мінерального складу питної води на стан здоров'я населення. Гігієна населених місць. №59. 2012. С. 63-74.
8. Лотоцька О.В., Кондратюк В.А., Кучер С.В. Якість питної води як одна з детермінант громадського здоров'я в Західному регіоні України. Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України. №1(79). 2019. С. 12-18.
9. Гончарук Е.И. Изучение влияния загрязненной воды на здоровье населения.. К.: Наукова думка, 1990. 156 с.
10. Скок С.В. Вплив якості питної води на стан здоров'я населення м. Херсон. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Сер. Біологія. Вип. 1(65). 2016. С. 90-95.

11. Nikolaou A.D., Kostopoulou M.N., Lekkas T.D. Organic by-products of drinking water chlorination // *Global Nest*. – Greece, 1999. Vol. 1. No 3. Pp. 143-156.
12. Стискал О.А., Петрук В.Г. Аналіз чинників екологічної небезпеки хлорованої питної води. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. №5. 2014. С. 69-75.
13. Всемирная организация здравоохранения: Руководство по обеспечению качества питьевой воды. Женева, 2004. Том 2. 3-е изд. 63 с.
14. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною: ДСанПіН 2.2.4-171-10. [Затверджені Наказом МОЗ України №400 від 12.05.2010]. Київ: МОЗ України, 2010. 43 с.
15. Петренко Н.Ф. Побічні продукти знезараження питної води хімічними окислювачами (огляд літератури та власних досліджень) // *Вода: гігієна і екологія*. 2013. №1(1). С. 158-175.
16. Lewis C., Suffet I.H., Ritz B. Estimated effects of disinfection by-products on birth weight in population served by a single water utility // *American Journal of Epidemiology*. 2005. Vol. 163. №1. pp. 38-47.
17. Wright J.M., Schwartz J., Dockery D.W. Effect of trihalomethane exposure on fetal development // *Occup Environ*. 2003. №60. pp. 173-180.
18. Exposure to drinking water disinfection by-products and pregnancy loss // D.A. Savitz, P.C. Singer, A.H. Herring, K.E. Hartmann, H.S. Weinberg, C. Makarushka // *American Journal of Epidemiology*. 2006. Vol. 164. №11. pp. 1043-1051.
19. Chlorination disinfection by-products in drinking water and the risk of adult leukemia in Canada / Khaled Kasim, Patrick Levallois, Kenneth C. Johnson, Belkacem Abdous, Pierre Auger // *American Journal of Epidemiology*. 2006. Vol. 163. №2. pp. 116-126.
20. Галогеноцтові кислоти у хлорованій питній воді як гігієнічна проблема / В.О. Прокопов, Є.А. Труш, С.В. Гуленко, В.А. Соболев, Т.В. Куліш // *Гігієна населених місць*. 2013. №61. С. 88-100.
21. Топ-новини (2010). «Вода, яку ми п'ємо, може викликати мутації». – Режим доступу <http://ntop.com.ua/news/a-253.html>.

22. Chlorination, chlorination by-products, and cancer: a meta-analysis / R.D. Morris, A.M. Audet, I.F. Angelillo, T.C. Chalmers, F. Mosteller // American Journal of Public Health. 1992. Vol. 82. No. 7. pp. 955-963.

23. Case-Control Study of Colon and Rectal Cancers and Chlorination By-products in Treated Water / Will D. King, Loraine D. Marrett, Christy G. Woolcott // Cancer Epidemiol Biomarkers Prevention. 2000. Vol. 9. pp. 813-818.

24. Bladder Cancer and Exposure to Water Disinfection By-products through Ingestion, Bathing, Showering, and Swimming in Pools / Cristina M. Villanueva, Kenneth P. Cantor, Joan O. Grimalt and other // American Journal of Epidemiology. 2006. Vol. 165. No. 2. pp. 148-156.

25. Тригалогенметани, як побічний продукт хлорування питної води, та їх вплив на формування онкологічної патології серед населення Кривбасу / А.Ю. Лисий, С.А. Риженко, В.Г. Капшук, І.І. Грузін, Н.Ф. Яковець // Актуальні проблеми транспортної медицини. 2008. №4 (14). С. 102-108.

26. Шушковська С.В. Хлорорганічні сполуки у питній воді та їх вплив на здоров'я населення // Гігієна населених місць. 2011. №58. С. 88-103.

27. Химическая энциклопедия он-лайн «Трихлорэтилен». – Режим доступу: <http://www.xumuk.ru/encyclopedia/2/4597.html>.

28. Медицинский портал. «Отравления хлорированными углеводородами (дихлорэтан, четыреххлористый углерод, трихлорэтилен, хлороформ)». – Режим доступу: <http://www.eurolab.ua/encyclopedia/urgent.medica.aid/2471/>.

29. Химическая энциклопедия он-лайн «Дихлорэтан». – Режим доступу: <http://www.xumuk.ru/toxicchem/54.html>.

30. Химическая энциклопедия он-лайн «Четыреххлористый углерод». – Режим доступу: <http://www.xumuk.ru/toxicchem/53.html>.

31. Химическая энциклопедия он-лайн «Хлоралгидрат». – Режим доступу: <http://www.xumuk.ru/toxicchem/52.html>.

32. Genotoxic properties of haloacetonitriles: drinking water by-products of chlorine disinfection / F.B. Daniel, K.M. Schenck, J.K. Mattox, E.L.C. Lin, D.L. Haas. M.A. Pereira // Fundamental and Applied Toxicology. 1986. №6. pp. 447-453.

33. Википедия. «Хлорпикрин». – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Хлорпикрин>.
34. Химическая энциклопедия он-лайн «Хлорфенолы». – Режим доступу: <http://www.xumuk.ru/encyclopedia/2/5068.html>.
35. Зоріна О.В., Протас С.В. Гігієнічна оцінка якості водопровідних питних вод за санітарно-хімічними показниками та удосконалення науково-методологічних підходів до їх оцінки з урахуванням вимог Європейського законодавства. Scientific Journal «ScienceRise: Biological Science». №4 (13). 2018. С. 4-11.
36. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 30 с.
37. Кульский Л.А., Строкач П.П. Технология очистки природных вод. Киев: Вища школа, 1986. 367 с.
38. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды. Киев: Наукова думка, 1991. 568 с.
39. Довідник сучасних технологій з очищення природної і стічної води та обладнання / І.В. Панасюк та ін. Київ: Медінформ, 2016. 245 с.
40. Хільчевський В.К. Водопостачання і водовідведення: гідроекологічні аспекти. Підручник. К.: ВПЦ «Київський університет», 1999. 319 с.
41. Бабієнко В.В., Мокієнко А.В. Знезараження води: курс лекцій. Одеса: Прес-кур'єр, 2022. 276 с.
42. Прокопов В.О. Питна вода України: медико-екологічні та санітарно-гігієнічні аспекти. Київ: Медицина, 2016. 400 с.
43. Бабієнко В.В., Мокієнко А.В. Гігієна води та водопостачання населених місць: Навчальний посібник. Одеса: Прес-кур'єр, 2021. 372 с.
44. Мокиенко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.И. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Т. 1. Хлор и его соединения. Одесса: ТЭС, 2011. 484 с.

45. Мокиенко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.И. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Т. 2. Диоксид хлора. Одесса: ТЭС, 2012. 604 с.

46. Мокиенко А.В. Диоксид хлора: применение в технологиях водоподготовки. 2-е изд. перераб и доп. Одесса: «Фенікс», 2021. 336 с.

47. Мокиенко А.В., Петренко Н.Ф., Гоженко А.И. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Т. 3. Озон. Одесса. «Фенікс», 2017. 322 с.

48. Мокиенко А.В. Обеззараживание воды. Гигиенические и медико-экологические аспекты. Т. 4. Ультрафиолетовое облучение и комбинированные методы. Одесса. «Фенікс», 2020. 378 с.

49. Гюнтер Л.И., Алексеева Л.П., Хромченко Я.П. Влияние органических примесей в природной воде на образование токсичных летучих галогеналканов при ее хлорировании. Химия и технология воды. 1986. Т. 8(6). С. 37-41.

50. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та водовідведення населених пунктів України. Затверджено наказом Держжитлокомунгоспу України від 05.07.1995, №407.