


О.В. Зоріна^{1*}, 
О.В. Сурмашева¹, 
О.О. Полька¹, 
Є.О.Маврикін² 

ОЦІНКА РИЗИКІВ ПРИ ВЖИВАННІ ПИТНОЇ ВОДИ, ОБРОБЛЕНОЇ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ, ТА УПРАВЛІННЯ НИМИ В КРАЇНАХ ЄС ТА УКРАЇНІ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М.Марзеєва НАМНУ»¹

вул. Гетьмана Павла Полуботка, 50, Київ, 02094, Україна

Інститут водних проблем і меліорації НААНУ²

вул. Васильківська, 37, Київ, 03022, Україна

SI "O.M. Marzeiev Institute for Public Health, NAMSU"¹

Hetman Pavlo Polubotka str., 50, Kyiv, 02094, Ukraine

Institute of Water Problems and Land Reclamation NAAS²

Vasylykivska str., 37, Kyiv, 03022, Ukraine

*e-mail: wateramnu@ukr.net

Цитування: *Медичні перспективи*. 2023. Т. 28, № 4. С. 181-189

Cited: *Medicni perspektivi*. 2023;28(4):181-189

Ключові слова: питна вода, діоксид хлору, хлорити, хлорати, оцінка ризику

Key words: drinking water, chlorine dioxide, chlorites, chlorates, risk assessment

Реферат. Оцінка ризиків при вживанні питної води, обробленої діоксидом хлору, та управління ними в країнах ЄС та Україні для захисту здоров'я населення. Зоріна О.В., Сурмашева О.В., Полька О.О., Маврикін Є.О. Метою роботи було в порівняльному аспекті провести науковий аналіз основних підходів до оцінки ризиків та управління ними для попередження негативного впливу питної води на здоров'я населення в разі її обробки діоксидом хлору в країнах ЄС та Україні. Основним ризиком, пов'язаним зі станом здоров'я населення, який виникає при вживанні питної води, є ризик її мікробіологічного забруднення. Якщо мікробіологічне забруднення питної води відповідає високому ризику, то утворення побічних продуктів дезінфекції в питній воді – середньому. У нормативних документах усіх країн ЄС враховані вимоги Директиви 2020/2184/ЄС щодо вмісту хлоритів та хлоратів у питній воді через її обробку діоксидом хлору, однак у Данії, Словаччині, Угорщині, Іспанії, Франції ризик-орієнтований підхід до безпеки питної води стали основою для надання чинності жорсткішим нормативам цих показників (як обов'язкових, рекомендованих чи таких, що тимчасово можуть бути збільшені). Науковий аналіз щодо регламентації якості питної води в країнах ЄС та Україні, а також натурні дослідження безпечності та якості питної води Дніпровської водопровідної станції міста Києва дозволили оцінити ризики небезпеки питної води та стали підставою щодо порушення питання про перегляд або скасування в Україні науково необґрунтованого нормативу діоксиду хлору в питній воді розподільної мережі ($\geq 0,1$ мг/л), перегляд жорсткого нормативу хлоритів ($\leq 0,2$ мг/л), а також контролю якості питної води за вмістом хлоратів за вимогами європейського законодавства. При визначенні організаторів, виконавців та тих, хто ухвалює рішення щодо оцінки ризиків, у різних країнах ЄС впроваджені подібні підходи, у документах багатьох країн є посилання на відповідні наукові установи та закріплені за ними функції. За таких умов робочі програми виробничого контролю якості питної води та плани модернізації адаптовані до відповідної системи водопостачання та сучасних реалій.

Abstract. Risk assessment when consuming drinking water treated with chlorine dioxide and risk management in EU countries and Ukraine to protect public health. Zorina O.V., Surmasheva O.V., Polka O.O., Mavrykin Ye.O. The purpose of the work was to conduct a comparative scientific analysis of the main approaches to risk assessment and risk management to prevent the negative impact of drinking water on public health when treating it with chlorine dioxide in EU countries and Ukraine. The main risk to the population's health arising when consuming drinking water, is the risk of its microbiological contamination. Microbiological contamination of drinking water corresponds to a high risk, while the formation of disinfection byproducts in drinking water is an average risk. The regulatory documents of all EU countries take into account the requirements of Directive 2020/2184/EU regarding the content of chlorites and chlorates in drinking water when treating it with chlorine dioxide, while in Denmark, Slovakia, Hungary, Spain, and France, a risk-oriented approach to the safety of drinking water forced to introduce stricter standards for these indicators (as mandatory, recommended or those, which can be temporarily raised). The scientific analysis of the regulation of drinking

water quality in the EU countries and Ukraine, as well as field studies on the safety and quality of drinking water at the Dnipro water station in the city of Kyiv, allowed to assess the risks of drinking water hazards and became the basis for raising the issue of revising or canceling the unscientific standard for chlorine dioxide in drinking water of the distribution network (≥ 0.1 mg/l), revising the strict standard for chlorites (≤ 0.2 mg/l), as well as control of drinking water quality by the content of chlorates following the requirements of European legislation. When appointing the organizers, executors, and decision-makers regarding risk assessment, similar approaches were implemented in various EU countries; in the documents of many countries, there are references to the relevant scientific institutions and the functions assigned to them. Under such conditions, the working programs of production control over drinking water quality and modernization plans can be adapted to the relevant water supply system and modern realities.

Наразі в більшості країн ЄС з метою знезараження водопровідну питну воду хлорують (хлором, гіпохлоритом натрію), використовуючи цей метод як основний або в поєднанні з іншими методами (озоном, УФ-випромінюванням, перманганатом калію, ультрафільтрацією), альтернативою є хлорамінування та обробка діоксидом хлору [1, 2, 3]. Уперше у світі діоксид хлору для знезараження питної води застосували в Німеччині в 1894 р. Наприкінці ХХ сторіччя цей реагент уже широко використовували насамперед для вторинного знезараження питної води на водопровідних очисних станціях США, Західної Європи і розпочали застосовувати в Україні [4, 5, 6], нині його використовують для обробки води муніципального водопостачання в 13 країнах ЄС – Австрії, Фінляндії, Франції, Німеччині, Греції, Угорщині, Італії, Люксембурзі, Польщі, Португалії, Румунії, Словенії, Іспанії [2].

На сьогодні відомі переваги діоксиду хлору порівняно з хлором, а також його недоліки, до яких відносять утворення в питній воді побічних продуктів – токсичних хлоритів та помірно-токсичних хлоратів [7, 8]. За даними ВООЗ (2022 р.), хлорат з'являється в результаті реакції з утворення діоксиду хлору, а хлорит-іон – продукт розпаду від використання діоксиду хлору, який зазвичай виявляється в обробленій воді в кількості 60-70% від застосованої його дози. Діоксид хлору відновлюється переважно до хлориту, хлорату та хлориду в питній воді, а також до хлориту та хлориду при ковтанні. Установлені ВООЗ (2004-2022 рр.) тимчасові орієнтовні значення хлориту ($\leq 0,7$ мг/л) та хлорату ($\leq 0,7$ мг/л) належним чином захищають від потенційної токсичності діоксиду хлору, що швидко розпадається, перетворюючись на хлорит, тому норматив для діоксиду хлору не встановлено. Зокрема, тимчасове орієнтовне значення – концентрація компонента, який не може призвести до будь-якого значного ризику для здоров'я протягом життя (якщо людина споживає 2 л питної води на добу протягом 60 років), однак труднощі в досягненні орієнтовного значення ніколи не повинні бути причиною для адекватної дезінфекції. Водночас короткочасні перевищення

нормативних значень показників якості питної води не обов'язково означають, що вода непридатна для вживання, проте споживачі повинні бути поінформовані, оскільки більш чутливі люди можуть наражатися на короткостроковий ризик (вагітні жінки, немовлята тощо). З іншого боку, коли йдеться про постійний понаднормативний вміст показників якості питної води, тоді муніципальна влада зобов'язана ініціювати програми її поліпшення. Проблему понаднормативного вмісту побічних продуктів при обробці води діоксидом хлору можна вирішити за допомогою контролю дози діоксиду хлору на очисних спорудах та шляхом оптимізації системи очищення [3, 9].

Таким чином, наукові дослідження з гігієнічної безпеки використання діоксиду хлору в практиці питного водопостачання тривають багато років і в останні роки цей метод знезараження набуває поширення [6, 10], тому мета роботи полягає в порівняльному аналізі основних підходів до оцінки ризиків та управління ними для попередження негативного впливу питної води на здоров'я населення в разі її обробки діоксидом хлору в країнах ЄС та Україні. Завданнями роботи було провести порівняльний науковий аналіз національних вимог країн ЄС (у просторово-часовому аспекті) та України щодо оцінки ризиків при вживанні питної води, обробленої діоксидом хлору, та управління ними, а також особливостей проведення відповідної оцінки.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою врахування вимог Директиви 98/83/ЄС щодо води, призначеної для споживання людиною, та поступового впровадження вимог Директиви 2020/2184/ЄС щодо якості води, призначеної для споживання людиною, як передбачено самими цими документами, у кожній країні ЄС розроблено та затверджено: закони, постанови, укази, гігієнічні вимоги, правила тощо. З погляду розуміння ризиків при вживанні питної води, обробленої діоксидом хлору, та управління ними проведено порівняльний аналіз національних нормативно-правових актів 22 країн ЄС (42 документів, що набули чинності протягом 2001-2023 рр.), які розміщені на

офіційних сайтах: Німеччини, Нідерландів, Італії, Франції (рік вступу в ЄС – 1957 р.), Данії (1973 р.), Греції (1981 р.), Португалії, Іспанії (1986 р.), Швеції, Австрії, Фінляндії (1995 р.), Естонії, Латвії, Литви, Словенії, Словацької республіки (Словаччини), Чехії, Польщі, Угорщини (2004 р.), Болгарії, Румунії (2007 р.), Хорватії (2013 р.), а також України (надання чинності документам – 2010 р. та 2022 р.), Директив ЄС з якості питної води (надання чинності документам – 1998 р. та 2021 р.), рекомендацій ВООЗ (2004–2022 рр.), натурних досліджень на Дніпровській водопровідній станції м. Києва (Україна) у 2021 р., де використовується діоксид хлору для знезараження питної води. Методи досліджень: бібліографічний, нормативно-пошуковий, порівняльного аналізу, аналітичний, напівкількісний метод оцінки ризиків, за загальноприйнятими методиками – санітарно-хімічні, мікробіологічні. Статистичну обробку отриманих даних проводили за допомогою пакету «Statistica 8.0» (серійний номер STA262D175437Q), визначали середні арифметичні значення (M) та їх похибки (m) [11].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Європейський парламент та Рада у 2020 р. затвердили Директиву 2020/2184/ЄС, де зазначено, що з метою ефективного використання часу та ресурсів у пріоритетних напрямках доцільно запроваджувати комплексний ризик-орієнтований підхід до безпеки питної води. Деякі банки розвитку за кордоном уже у 2016 р. надавали кредити лише на ті системи водопостачання, власники яких здійснили оцінку ризиків, тому що хочуть інвестувати в пріоритетні напрямки з точки зору охорони здоров'я [12]. Оцінка ризиків та управління ними полягає в систематичному виявленні небезпек, визначенні величини ризиків, вжитті заходів, зокрема необхідних для безпеки й захисту здоров'я населення. Під час оцінки ризиків системи водопостачання визначаються небезпеки та небезпечні події в цій системі та оцінюються ризики, які вони можуть представляти для здоров'я людини внаслідок використання питної води.

З метою управління ризиками небезпеки питної води в Директиві 2020/2184/ЄС з'явилися два рівні параметричних значень (нормативів) для хлоритів – $\leq 0,25$ мг/л та $\leq 0,7$ мг/л і хлоратів – $\leq 0,25$ мг/л та $\leq 0,7$ мг/л, при цьому параметричне значення $\leq 0,7$ мг/л використовується в разі обробки питної води діоксидом хлору. Однак Директива 2020/2184/ЄС не накладає на державу-члена ЄС термін впровадження нормативної бази в національне законодавство, крім того, заходи з виконання цієї Директиви ні за яких обставин не

повинні призвести до зниження наявної якості питної води, оскільки від цього залежить здоров'я людей. У національних нормативних документах держава-член ЄС може збільшувати кількість показників порівняно з переліком Директиви 2020/2184/ЄС, а нормативи можуть бути жорсткішими там, де це необхідно для попередження негативного впливу на здоров'я населення.

Ураховуючи зазначене, нами проведено аналіз нормативних вимог країн ЄС щодо небезпечної події (знезараження питної води діоксидом хлору) та відповідних небезпек при вживанні питної води, обробленої діоксидом хлору.

За результатами наших досліджень встановлено, що в питній воді різних країн ЄС при обробці діоксидом хлору здійснюють моніторинг (виробничий контроль) таких 5 хімічних показників безпечності та якості питної води: хлорити, хлорати та їх сума, вільний хлор, діоксид хлору. Зокрема, у переважній більшості країн визначають лише хлорити та хлорати, а в: Іспанії (рік надання чинності документу – 2023 р.) – хлорити, хлорати, залишковий хлор; Словаччині (2023 р.) – хлорити, хлорати, залишковий хлор, діоксид хлору; Польщі (2017 р.) – залишковий хлор, суму хлоритів та хлоратів; Чехії (2018 р.), Данії (2017 р., 2022 р.) – хлорити, хлорати, залишковий хлор та суму хлоритів та хлоратів.

В Україні за документом 2010 р. [13] визначають залишковий хлор, діоксид хлору, хлорити, а за документом 2022 р., у якому регламентуються тимчасові вимоги до питної води на окремих територіях в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях іншого характеру – діоксид хлору, хлорити, хлорати, у другому документі місця відбору проб та дозволені залишкові концентрації цих показників відповідають вимогам Директиви 2020/2184/ЄС (табл. 1).

Як можна бачити в таблиці 1, у разі обробки питної води діоксидом хлору розташування критичних точок, де здійснюється відбір проб, за національними документами України, для визначення діоксиду хлору – у резервуарі чистої води (РЧВ) та в споживача, а всіх інших показників – у споживача. За відповідними документами країн ЄС місця відбору проб для визначення:

- діоксиду хлору – у споживачів (Словаччина, 2023 р.);

- залишкового вільного хлору – у розподільній мережі та споживачів;

- хлоритів та хлоратів – на виході з очисних споруд (щодо хлоритів – Іспанія, 2016 р.); у розподільній мережі (Данія, 2023 р.); у споживачів (Польща, 2018 р.; Франція, 2023 р.; Чехія, 2017 р.; Іспанія, 2023 р. тощо).

Розташування критичних точок та дозволені залишкові концентрації вільного хлору, діоксиду хлору, хлоритів та хлоратів у питній воді України в разі її знезараження діоксидом хлору

Рік надання чинності документу	Місце відбору проб	Вільний хлор, мг/л	Діоксид хлору, мг/л	Хлорити, мг/л	Хлорати, мг/л
2010*	РЧВ**	-	≥0,1***	-	-
	у споживача	≤0,5	≥0,1	≤0,2	-
2022	РЧВ**	-	≥0,1***	-	-
	у споживача	-	-	≤0,7	≤0,7

Примітки: * – [14] з урахуванням вимог Закону України «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» (зміна набула чинності у 2017 р.); ** РЧВ – резервуар чистої води; *** – через 30 хвилин контакту.

Отже, розташування критичних точок для визначення в питній воді хлоритів та хлоратів у різних країнах ЄС майже збігається та, як і для залишкового хлору, вони знаходяться в розподільній мережі та/або в споживачів, ймовірно через те, що вважається, що їх концентрації можуть збільшуватися протягом часу транспортування питної води. Вміст хлору в місцях хлорування та час його контакту з водою, що гарантує ефективну дезінфекцію питної води, зазначається в документах лише окремих країн ЄС.

У нормативних документах усіх країн ЄС, що на час проведення досліджень затвердили національні документи з урахуванням вимог Директиви 2020/2184/ЄС 2021 р. (з-поміж 22 країн 14), ураховані вимоги цієї Директиви щодо необхідності мінімізації вмісту хлоритів та хлоратів у питній воді без шкоди для дезінфекції. Однак не всі країни визнали параметричні значення хлоритів (≤0,7 мг/л) та хлоратів (≤0,7 мг/л) за цією Директивою. Вірогідно через орієнтацію на політику нульового забруднення питної води та впровадження ризик-орієнтованого підходу до її безпеки в документах окремих країн ЄС зазначено:

- параметричні значення хлоритів – ≤0,05 мг/л та хлоратів – ≤0,05 мг/л (Данія, 2017 р., 2021 р., 2022 р.);

- параметричні значення хлоритів – ≤0,25 мг/л та хлоратів – ≤0,25 мг/л, але на короткий термін може застосовуватися параметричне значення хлоритів – ≤0,7 мг/л та хлоратів – ≤0,7 мг/л (Словаччина, 2023 р.);

- параметричні значення хлоритів – ≤0,25 мг/л та хлоратів – ≤0,25 мг/л, при цьому лише в деяких випадках може застосовуватися щорічно протягом максимум 30 днів поспіль параметричне значення хлоритів – ≤0,7 мг/л та хлоратів – ≤0,7 мг/л (Угорщина, 2023 р.);

- параметричне значення хлоритів – ≤0,7 мг/л та хлоратів – ≤0,7 мг/л, але в разі перевищення середньорічного вмісту параметричного значення хлоритів або хлоратів 0,25 мг/л оператори повинні гарантувати та адаптувати свої об'єкти з використанням найкращих доступних методів для зниження значення нижче параметричного значення без шкоди для ефективності дезінфекції (Іспанія, 2023 р.);

- межі параметрів якості для хлоритів – ≤0,25 мг/л, хлоратів – ≤0,25 мг/л, але в разі використання діоксиду хлору встановлюються на рівні ≤0,7 мг/л для кожного з цих показників. Водночас еталон якості для хлоритів – ≤0,2 мг/л (Франція, 2023 р.).

Проведена нами порівняльна оцінка вимог до безпечності та якості питної води в різних країнах ЄС показала, що за кількістю зазначених вище показників та їх параметричними значеннями найжорсткіші вимоги висуваються в Чехії, Словаччині, Данії (табл. 2), можливо через те, що цей метод не поширений у муніципальному водопостачанні цих країн [2] та/або використовується лише для вторинного знезараження, зокрема, за даними ВООЗ, якщо діоксид хлору використовується для вторинного хлорування в типових дозах, то концентрація хлориту зазвичай буде менше ніж 0,2 мг/л.

Як можна бачити в таблиці 2, у Словаччині та Чехії використовуються два види параметричних значень для зазначених показників якості питної води: МН (для залишкового хлору та діоксиду хлору); NMН (для хлоритів та хлоратів). Отже, параметричні значення показників жорсткіші, ніж у документах інших країн, але через використання двох їх значень (МН та NMН) регламентування має гнучкіший характер.

Дозволені залишкові концентрації вільного хлору, діоксиду хлору, хлоритів та хлоратів у питній воді з крана споживачів Словаччини, Чехії, Данії

Країна	Рік	Вільний хлор, мг/л	Діоксид хлору, мг/л	Хлорити, мг/л	Хлорати, мг/л	Сума хлоритів та хлоратів, мг/л
Словаччина	2007	MH-0,3	MH-0,2	NMH-0,2	-	-
	2017	MH-0,3	MH-0,2	NMH-0,2	NMH-0,2	-
	2023	MH-0,3	MH-0,2	NMH-0,25*	NMH-0,25*	-
Чехія	2003	MH-0,3	-	NMH-0,2	NMH-0,2	NMH-0,2
	2018	MH-0,3	-	NMH-0,2	NMH-0,2	NMH-0,2
Данія	2017	Хлор вільний та загальний або інші залишки дезінфікуючих засобів – вміст має бути якомога меншим, але разом з тим якість води має відповідати мікробіологічним вимогам	-	≤0,05	≤0,05	≤0,05
	2021		-	≤0,05	≤0,05	≤0,05
	2022		-	≤0,05	≤0,05	≤0,05

Примітки: * – може бути застосоване в короткий термін граничне значення 0,7 мг/л; MH – значення показника якості питної води, при перевищенні якого вода втрачає задовільну якість за показником, значення якого перевищено, зазвичай не становить гострого ризику для здоров'я; NMH – найвище граничне значення – значення значущого для здоров'я показника якості питної води, перевищення якого виключає використання води як питної, якщо інше не встановлено органом охорони здоров'я (санітарно-гігієнічною станцією).

Документи деяких країн вміщують вимоги до води питної (холодного водопостачання), а також гарячого водопостачання. Зокрема, для гарячої води Словаччини та Чехії встановлені параметричні значення хлору ($\leq 1,0$ мг/л), а в Словаччині – також діоксиду хлору ($\leq 0,8$ мг/л), що в 3-4 рази менш жорсткі, ніж для питної, незважаючи на невідповідні органолептичні показники такої води (ВООЗ, 2022 р.).

У нормативних документах ряду країн зазначені параметричні значення показників, що відсутні в Директиві 2020/2184/ЄС (та Директиві 98/83/ЄС):

- сума хлоритів та хлоратів – у Чехії ($\leq 0,2$ мг/л, 2018 р.), Польщі ($\leq 0,7$ мг/л, 2017 р.), Данії ($\leq 0,05$ мг/л, 2022 р.);

- залишковий хлор – у всіх країнах (крім шести, де хлор контролюється за рівнем запаху), наприклад у: Словаччині (2023 р.), Греції, Чехії, Польщі (2018 р.) норматив – $\leq 0,3$ мг/л; Швеції (2023 р.) – $\leq 0,4$ мг/л; Естонії (2023 р.), Хорватії (2018 р.) – $\leq 0,5$ мг/л; Іспанії (2023 р.) – $\leq 0,8$ мг/л; Угорщині (2023 р.) – $\leq 3,0$ мг/л, «слід мінімізувати вміст цієї сполуки»; Франції (2023 р.) – «відсутність неприємного запаху чи смаку та аномальних змін»;

- діоксид хлору – у Словаччині ($\leq 0,2$ мг/л, 2023 р.).

Як зазначено вище, якщо в більшості країн ЄС регламентовано вимоги до 2 хімічних показників

(хлорити та хлорати), то лише в деяких – до 4 (хлорити, хлорати, хлор, у поодиноких – сума хлоритів та хлоратів або діоксид хлору). У питній воді споживачів країн ЄС не контролюється діоксид хлору (крім Словаччини), без сумніву, через те, що за даними ВООЗ та наукової літератури [5, 8] він, як і залишковий хлор, сам по собі не шкодить здоров'ю людини, а нейтралізується слиною та шлунковим соком, отже, замість діоксиду хлору (в деяких країнах також замість залишкового хлору) у питній воді споживача контролюють запах.

Нормативи для діоксиду хлору вказані в документах двох країн – Словаччини (MH $\leq 0,2$ мг/л) та України (норматив $\geq 0,1$ мг/л). Проведені нами дослідження якості питної води на Дніпровській водопровідній станції м. Києва свідчать про те, що після первинної (середнє значення дози – $1,74 \pm 0,03$ мг/л) та вторинної (середнє значення дози – $0,27 \pm 0,01$ мг/л) обробки води річки Дніпро діоксидом хлору, а також коагулянтами (сульфатом алюмінію та хлорним залізом), що забезпечувало епідемічну безпеку питної води протягом часу спостережень (улітку близько місяця – у комбінації з гіпохлоритом натрію), вміст у питній воді споживачів діоксиду хлору – $\leq 0,10$ мг/л (середній вміст – $0,07 \pm 0,00$ мг/л), хлоритів – $\leq 0,70$ мг/л (середній вміст – $0,20 \pm 0,01$ мг/л).

За рекомендаціями ВООЗ, мікробіологічну безпеку питної води забезпечує залишкова концентрація діоксиду хлору 0,05-0,10 мг/л після 15-30 хвилин контакту, а за українським документом – $\geq 0,10$ мг/л після 30 хвилин контакту, тому з метою мінімізації хлоритів у питній воді норматив діоксиду хлору у мережі споживачів ($\geq 0,1$ мг/л) (табл. 1) слід скасувати або замінити на відповідний словацькому $\leq 0,2$ мг/л, при цьому норматив хлоритів встановити на рівні $\leq 0,7$ мг/л ($\leq 0,2$ мг/л залишити рекомендованим), доповнити нормативом хлоратів $\leq 0,7$ мг/л та зазначити, що слід прагнути мінімізувати вміст побічних продуктів дезінфекції в питній воді без шкоди для дезінфекції.

У національних нормативних документах ураховуються вимоги Директиви 2020/2184/ЄС з оцінки ризиків небезпеки питної води, пріоритетним напрямком якої є оцінка ефективності дезінфекційних заходів, що здійснюється в переважній кількості країн ЄС за 6 мікробіологічними показниками (як у Директиві 2020/2184/ЄС), але в документах деяких країн їх кількість більша (до 14 показників) за рахунок мікробіологічних та інших біологічних показників. Наприклад, у національному нормативному документі Словацьчини після його перегляду у 2023 р. залишили чинні з 2007 р. вимоги, що вміщують, крім зазначених у Директиві 2020/2184/ЄС, також такі показники: загальне мікробне число при 36°C, мікроміцети, що виявляються мікроскопічно, нитчасті бактерії (крім залізо- та марганцевих бактерій), абіосестон тощо. Зокрема, з-поміж 12 показників біологічних (мікробіологічних) показників 2 – NMH (*Escherichia coli* та ентерококи), інші – MH. Крім того, у цьому документі за вимогою Директиви 2020/2184/ЄС з'явилася нова таблиця щодо води будинкових розподільних систем, де, крім *Legionella*, зазначені також *Pseudomonas aeruginosa* та живі організми. Подібні суворіші, ніж у Директиві 2020/2184/ЄС, вимоги до біологічних показників висувуються також у Хорватії та Чехії.

Перевірка ефективності управління ризиками включає регулярний моніторинг якості питної води. Програми моніторингу вміщують оперативну програму моніторингу, яка дає швидке уявлення про експлуатаційні показники та проблеми з якістю води, а також забезпечує швидкі заздалегідь сплановані коригувальні заходи. Побічні продукти дезінфекції регулярно контролюють у питній воді споживачів за групою аналізів «А» в Директиві 2020/2184/ЄС. Як зазначено в документі Румунії (2023 р.), при складанні плану відбору проб ураховується, наскільки це можливо, рівний розподіл проб, що відбираються в часі і просторі.

Згідно з Директивою 2020/2184/ЄС, для проведення оцінки ризиків і правильного функціону-

вання системи очищення води постачальники води можуть звернутися до Посібника ВООЗ та Посібника з плану забезпечення безпеки води (ПЗБВ). ПЗБВ дозволяє визначити ризики, пов'язані із водопостачанням (водозабором, очищенням та транспортуванням), та провести їх аналіз. У ньому зазначено, що в процесі оцінки ризику може застосовуватися кількісний або напівкількісний метод, який передбачає оцінку (вірогідності/частоти та тяжкості/наслідків) або спрощений якісний метод, заснований на експертному судженні групи з розробки ПЗБВ. Для невеликої системи водопостачання може бути достатньо рішення групи, тоді як для складнішої системи доречніше буде застосувати напівкількісний підхід визначення пріоритетності ризиків. У будь-якому випадку корисно документально зафіксувати підставу для ухвалення рішення, щоб згодом нагадувати групі та/або аудиторю або ревізору про те, чому було ухвалено це рішення. Невизначеність виставлення балів ризику для кожного з небезпечних факторів та небезпечних подій можна подолати, виконавши додаткові дослідження, результати яких можуть бути включені до ПЗБВ. Використовуючи приклад методики оцінки ризику, нами встановлено, що, якщо мікробіологічне забруднення питної води відповідає високому ризику, то утворення подібних продуктів дезінфекції у ній – середньому, при цьому до заходів його попередження відносять скорочення часу знаходження води в трубах та належний виробничий контроль.

У кожній країні розробляється власна методика оцінки ризику системи водопостачання. Проведені нами дослідження на базі Дніпровської водопровідної станції м. Києва дозволили вдосконалити відповідну чеську методику оцінки ризику [14] та з'ясувати, що за 3-бальною шкалою ризик небезпеки питної води, обробленої діоксидом хлору, для здоров'я споживачів може бути від 1 бала до 3 балів, величина ризику залежить від ефективності заходів з їх мінімізації, зокрема способу реагентної обробки (табл. 3).

Суть удосконалення чеської методики полягає в тому, що на підставі проведених натурних досліджень вмісту хлоритів у питній воді (враховували чинний норматив хлоритів $\leq 0,2$ мг/л) критерії оцінки рівня ймовірності виникнення небезпеки (таблиця 2 додатка 7 [14]) доповнені додатковим критерієм – «більше ніж 30 діб сумарно протягом року, але не постійно», що віднесено до рівня вірогідності виникнення – «В». Оцінка ризику є інструментом підтримки ухвалення рішень для осіб, які беруть у цьому участь (управління ризиками).

**Рівень ризику (у балах) при використанні діоксиду хлору
в технології очищення питної води на Дніпровській водопровідній станції м. Києва**

Чинник ризику	Реагенти, що використовуються		
	$\text{ClO}_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{ClO}_2 + \text{FeCl}_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$\text{ClO}_2 + \text{FeCl}_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaClO}$
Хлорити	3	2	2
Мікробіологічні показники	2	2	1

Примітки: 1 – низький ризик; 2 – середній ризик; 3 – високий ризик; ClO_2 – діоксид хлору; FeCl_2 – хлорне залізо; $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – сульфат алюмінію; NaClO – гіпохлорит натрію.

У Директиві 2020/2184/ЄС зазначено, що оцінка ризиків системи водопостачання та управління ними повинна бути проведена вперше до 12 січня 2029 р. та переглядатися через регулярні проміжки часу не більше 6 років та за необхідності обновлятися. У національних документах країн ЄС зазначено теж саме, однак максимальний проміжок часу для перегляду відповідного документа, наприклад у Нідерландах, зменшено до 4 років. У Чехії оцінка ризиків та поновлення правил експлуатації всіх систем водопостачання відповідно до Закону про охорону здоров'я населення є обов'язковими для кожного виробника і всі ці регламенти повинні бути поновлені та надані для затвердження у відповідний орган охорони здоров'я (OOVZ) до листопада 2023 р.

При визначенні організаторів, виконавців та тих, хто ухвалює рішення з оцінки ризиків та управління ними, у різних країнах ЄС плануються до впровадження або вже використовуються подібні підходи. Згідно з документом Словаччини, управління охорони здоров'я або регіональне управління охорони здоров'я ухвалює рішення щодо управління ризиками в питному водопостачанні, а також про виключення для зменшення обсягу контролю або періодичності контролю показників якості питної води в програмі моніторингу тощо. Управління охорони здоров'я створює комісії для перевірки професійної компетентності та видає відповідні сертифікати фахівцям, що здійснюють оцінку впливу на здоров'я населення. Оцінка ризику для здоров'я, включаючи рекомендації щодо захисту жителів, здійснюється спеціалістом, що має вищу освіту другого рівня у сфері громадського здоров'я, медицини, техніки, природничих наук і не менше трьох років професійного досвіду. У документі Естонії зазначено, що при перевищенні граничних значень або контрольних значень

параметрів питної води Департамент здоров'я організовує оцінку ризику для здоров'я, за потреби у співпраці з експертами, та за необхідності розробляє програму заходів з охорони здоров'я людини. Витрати несе оператор питного водопостачання, якщо погіршення якості питної води викликано його діями. У разі понаднормативного вмісту показників та за відсутності небезпеки для здоров'я людини ця вода може використовуватися для питних цілей. У документах Словенії та Румунії вказано, що Інститут безпеки та здоров'я (IVZ) та Національний інститут охорони громадського здоров'я відповідно надають висновки з оцінки ризиків для здоров'я. У Франції Національне агентство з гігієни та безпеки харчових продуктів, навколишнього середовища та праці (ANSES) займається експертизою, епідемічним наглядом, науково-технічним консультуванням та відіграє важливу роль у кваліфікації небезпек, збираючи дані лабораторій, що задіяні у відповідній роботі. На національному рівні, крім 4 управлінь та допоміжних служб, ANSES складається з 3 бізнес-підрозділів, один з яких – орган з оцінки ризиків та координації експертизи та науково-технічної підтримки в рамках Агентства.

Отже, контроль безпечності та якості питної води здійснюється на кожному підприємстві відповідно до документа (плану, програми, регламенту), розробленого на підставі наукової оцінки і затвердженого у встановленому порядку.

Проведені нами дослідження свідчать про те, що використання діоксиду хлору для обробки водопровідної питної води є перспективним за умови імплементації європейського водного законодавства та інтеграції ризик-орієнтовного підходу в практику питного водопостачання. Доцільним напрямом подальших досліджень є визначення оптимальних підходів застосування діоксиду хлору, що забезпечать нормативні показники

якості питної води за вимогами українського та європейського законодавства.

ВИСНОВКИ

1. Національні нормативні документи з якості питної води в різних країнах ЄС вміщують положення, подібні до положень Директиви 2020/2184/ЄС, але й таку інформацію, що доповнює або роз'яснює вимоги цієї Директиви. Пріоритетними напрямками оцінки ризиків при вживанні питної води, обробленої діоксидом хлору, є оцінка якості та безпечності питної води у споживачів за мікробіологічними показниками та побічними продуктами дезінфекції (хлоритами та хлоратами).

2. У документах більшості країн ЄС нормування якості питної води в разі її обробки діоксидом хлору враховує реалії наявних технологій водоочищення та відповідає вимогам Директиви 2020/2184/ЄС, при цьому в питній воді контролюють 2 показники (хлорити та хлорати), але в деяких країнах – 4 (хлорити та хлорати, їх суму або діоксид хлору, вільний хлор). Вимоги до питної води окремих країн ЄС жорсткіші (за кількістю показників та їх параметричними значеннями), ніж передбачено Директивою 2020/2184/ЄС (набула чинності з 2021 р.). Наприклад, у Данії, Словаччині, Угорщині, Іспанії, Франції (документи набули чинності після 2021 р.), Чехії та Польщі (документи після 2021 р. не переглядалися) ризик-орієнтований підхід та орієнтація на мінімізацію вмісту хлоритів та хлоратів у питній воді стали основою для надання чинності жорсткішим нормативам цих показників (як обов'язкових, рекомендованих або таких, що тимчасово можуть бути збільшені) або збереження жорсткіших нормативів, що в поодиноких країнах були чинні багато років. Найжорсткіші вимоги щодо вмісту хлоритів у питній воді встановлені в Данії (норматив $\leq 0,05$ мг/л) та Україні (норматив $\leq 0,2$ мг/л).

3. Науковий аналіз щодо регламентації якості питної води в країнах ЄС та Україні, а також натурні дослідження безпечності та якості питної

води Дніпровської водопровідної станції м. Києва стали підставою щодо порушення питання про перегляд або скасування в Україні науково необґрунтованого нормативу діоксиду хлору в питній воді розподільної мережі ($\geq 0,1$ мг/л), перегляд жорсткого нормативу хлоритів ($\leq 0,2$ мг/л), а також контролю якості питної води за вмістом хлоратів за вимогами європейського законодавства.

4. У країнах ЄС розробляються методики для характеристики та оцінки ризиків, пов'язаних із водопостачанням, використовуючи напівкількісний метод. За чеською, удосконаленою нами відповідною методикою оцінки ризиків встановлено, що з-поміж 3 варіантів реагентної обробки питної води на Дніпровській водопровідній станції м. Києва лише третій – з використанням подвійної обробки діоксидом хлору, двох коагулянтів (двохвалентного хлорного заліза, сульфату алюмінію) та гіпохлориту натрію – сприяє найбільшому зниженню ризику небезпеки питної води.

5. При визначенні організаторів, виконавців та тих, хто ухвалює рішення щодо оцінки ризиків, у різних країнах ЄС впроваджені подібні підходи, у документах багатьох країн є посилання на відповідні наукові установи та закріплені за ними функції. За таких умов робочі програми виробничого контролю якості питної води та плани модернізації будуть адаптовані до відповідної системи водопостачання та сучасних реалій.

Внески авторів:

Зоріна О.В. – концептуалізація, аналіз даних, написання статті;

Сурмашева О.В. – рецензування та редагування остаточного тексту;

Полька О.О. – збір та аналіз даних;

Маврикін Є.О. – збір, аналіз, статистична обробка даних.

Фінансування. Дослідження профінансовано за рахунок Державного бюджету України.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Evlampidou I, Font-Ribera L, Rojas-Rueda D, Gracia-Lavedan E, Costet N, Pearce N, et al. Trihalomethanes in Drinking Water and Bladder Cancer Burden in the European Union. *Environmental Health Perspectives*. 2020;128(1):17001. doi: <https://doi.org/10.1289/EHP4495>

2. Tsitsifli S, Kanakoudis V. Disinfection Impacts to Drinking Water Safety – A Review. In: *Insights on the Water-Energy-Food Nexus. Proceedings the 3rd EWaS International Conference*; 2018 Jun 27-30; Island, Greece; Proceedings. 2018;2(11):603. doi: <https://doi.org/10.3390/proceedings2110603>

3. Prokopov VO, Liponetskaia OB, Kulish TV, Sobol VA. [Priming of whiskey with chlorine dioxide for disinfection of water at the Dnipro water supply system in Kyiv. In: *Actual nutrition of public health and environmental safety in Ukraine. Collection of abstracts of reports of the scientific-practical conference*]. Kyiv. 2018;18:221-3. Ukrainian.

4. Novytskyi DYU, Kostyuk VA, Kobylanskyi VYA. [Chlorine dioxide in the aspect of microbiological safety of tap water]. *Science Review*. 2019;4(21):9-14. Ukrainian. doi: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr/31052019/6487

5. Özdemir K. Chlorine and chlorine dioxide oxidation of natural organic matter in water treatment plants. *Environment Protection Engineering*. 2020;46(4): 87-97. doi: <https://doi.org/10.37190/epe200407>
6. Mesanagrenou M. [Water chlorination as a method of disinfection]. [Internet]. 2020 [cited 2023 Feb 12]. Greek. Available from: <https://www.zythopedia.eu/50>
7. Yu Zhong, Wenhui Gan, Ye Du, et al. Disinfection byproducts and their toxicity in wastewater effluents treated by the mixing oxidant of ClO₂/Cl₂. *Water Research*. 2019;162:471-81. doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.07.012>
8. Prokopov OV, Lypovetska OB, Kulish TV, et al. [Dangerous chlorites in drinking water: formation and removal using chlorine dioxide in water treatment technology]. *Environment and health*. 2023;1(106):43-50. Ukrainian. doi: <https://doi.org/10.32402/dovkil2023.01.043>
9. Meng-Yuan Xu, Yi-Li Lin, Tian-Yang Zhang, et al. Chlorine dioxide-based oxidation processes for water purification: A review. *Journal of Hazardous Materials*. 2022;436:129195. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129195>
10. Mokienco AV. [Chlorine dioxide: application in water treatment technologies]. 2nd ed. Odessa: Feniks; 2021. p. 336. Russian.
11. Antomonov MYu. [Mathematical treatment and analysis of medical and biological data]. 2nd ed. Kyiv: MYCz "Medinform"; 2018. p. 579. Russian.
12. Jeligova H, Baudisova D, Pumann P, et al. [New legislation and its requirements for risk analysis in the production of drinking water. In: Drinking water: proceedings of the conference]. Czech Budejovice; 2016. p. 125-30. Czech. Available from: https://szu.cz/wp-content/uploads/2023/02/1_2_Pitna_voda_Tabor_Jeligova_et_al_Legislativa.pdf.
13. [DSanPiN 2.2.4-171-10. Hygienic Requirements to Drinking Water for Human Consumption]. Kyiv; 2010. p. 99-129. Ukrainian.
14. [Decree No. 70/2018 Coll. Decree amending Decree No. 252/2004 Coll., which establishes hygienic requirements for drinking and hot water and the frequency and scope of drinking water control, as amended. Effective from 2018 Jul 24]. [Internet]. 2018 [cited 2023 Feb 12]. Czech. Available from: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2018-70/zneni-0>

Стаття надійшла до редакції
12.07.2023

