

## СУЧАСНИЙ МІКРОБІОЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЬ ЯК ОСНОВА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ

С. Л. Василенко, І. В. Корінько, О. Е. Максимова  
Комунальне підприємство "Харківводоканал", м. Харків  
e-mail: texvater@rambler.ru, korinko@aqua.kharkov.ua, emaximova@list.ru

*В роботі представлений аналіз хлорування питної води перед її подачею у водогінні мережі. Показано, що багаторівнева репрезентативна система мікробіологічного контролю якості води на насосних станціях і водопровідних колонках дозволяє підтримувати допустимий відсоток нестандартних проб на нормативному рівні та одночасно зменшити застосування хлору. Це в значній мірі підвищує економічну ефективність, забезпечує екологічну безпеку міських систем водопостачання та якість питної води за мікробіологічними показниками. Підхід застосований в технології знезараження питної води у м. Харкові.*

*Ключові слова: питна вода, знезараження, хлор, ресурсозбереження.*

### Вступ

*Трохи історії.* На Міжнародному гігієнічному конгресі у Відні (1888) було визнано, що заразні хвороби холери і черевного тифу можуть поширюватися з питною водою. Відтоді почалися пошуки ефективного способу знезараження води.

Австрійський лікар Траубе запропонував (1894) хлорне вапно для знезараження води, ґрунтуючись на мікробіологічних дослідженнях Коха і Ніссена.

Уперше для цієї мети його використали в Нью-Йорку (1895). У практиці міського водопостачання в Росії хлорування було здійснено в Кронштадті (1910).

В 1912 р. почали хлорувати воду в Петербурзі.

Під час першої і другої світових війн знезараження води методом хлорування широко застосовувалося у воюючих арміях і повністю себе виправдало.

*Сьогодні.* «Дезінфекція питної води забезпечує заключний бар'єр зараженню людини потенційними збудниками водно-обумовлених інфекцій, включаючи патогенні бактерії, віруси і найпростіші» [1]. Обґрунтування методу знезараження природних вод пов'язано з необхідністю оцінки впливу безлічі факторів (якісний склад води, властивості дезінфектантів, характеристики технічних засобів знезараження і пр.), а також проведення попередніх технологічних випробувань, пов'язаних з вибором дезінфектанту [2].

У наш час для хлорування води витрачають щорічно сотні тисяч тонн хлору. У США більше 98 % питної води піддається хлоруванню, у той час, як озонуванню – тільки 0,37 % [3]. Причина полягає в тому, що хлорування – найбільш ефективний і економічний метод знезараження питної води, що має набагато менше недоліків, ніж озонування або опромінення ультрафіолетом [1; 4; 5, с. 59–60].

Актуальною залишається технологія хлорування питної води і в Україні.

Пропозиції щодо відмови від хлору для знезараження води на сьогодні поки ще не мають достатнього технічного та економічного підґрунтя. Згадаємо хоча б про водогінні мережі, стан яких не виключає можливості вторинного бактеріального забруднення питної води, з яким жодна інша система знезараження не впорається.

На підставі аналізу літературних даних в роботі [6] обґрунтовано важливість досліджень і застосування препаратів, що містять хлор в якості активного компонента і ефективного засобу під час підготовки централізованої питної води.

Але незважаючи на існуючий досвід, невирішеним залишається питання оптимального дозування хлору на головних і проміжних спорудах водопостачання так, щоб забезпечити

нормативні показники вільного хлору в контрольних точках розподільчої мережі та одночасно зекономити матеріальні ресурси.

Метою статті є розробка і впровадження системи мікробіологічного контролю, спроможної забезпечити оптимальне знезараження питної води реагентами, що вміщують хлор, в координатах ресурсозбереження та екологічної безпеки систем водопостачання. Безпека розуміється широко і характеризує ставлення до довкілля і людини [7].

### Хімічне підґрунтя

Основна технологія хлорування полягає у використанні рідкого хлору, пари якого змішуються з водою.

Якщо у воду додати хлор, відбувається його гідроліз:



Коли середовище лужне, то хлорноватиста кислота дисоціює з утворенням іона водню і гіпохлоритного іона:  $\text{HOCl} = \text{H}^+ + \text{OCl}^-$ .

У лужних водах (при  $\text{pH} = 10$ ) ця реакція може йти практично до кінця.

При наявності у воді аміаку утворюються моно- і дихлораміни:



Таким чином, під час хлорування води на мікроорганізми можуть діяти речовини  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$ ,  $\text{OCl}^-$ ,  $\text{NH}_2\text{Cl}$  і  $\text{NHCl}_2$ . Їх називають активним хлором. При цьому  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HOCl}$  і  $\text{OCl}^-$  утворюють вільний хлор, а хлорамін  $\text{NH}_2\text{Cl}$  і дихлорамін  $\text{NHCl}_2$  – зв'язаний хлор.

Активний хлор витрачається у воді на окиснення не тільки мікроорганізмів, але і розчинених і завислих речовин. У зв'язку з цим для правильного вибору дози хлору необхідно визначити хлорпоглинання води.

Добре відомо, що доза хлору, необхідна для знезараження води, виявляється не тільки неоднаковою для води з різних водних джерел, але й для того самого водного об'єкту в окремі сезони року. Показником достатності дози хлору прийнято вважати так званий залишковий хлор – це той надлишок хлору, що залишається у вільному стані після взаємодії з органічними і неорганічними речовинами.

Оптимальною вважається доза, яка при заданому часі контакту забезпечить у воді необхідну концентрацію залишкового хлору перед подачею в мережу 0,3–0,5 мг/дм<sup>3</sup> вільного хлору або 0,8–1,2 мг/дм<sup>3</sup> зв'язаного хлору. Вказані концентрації встановлені нормативними документами, які регулюють якість питної води [8, 9].

### Практична доцільність

Багаторічний світовий досвід функціонування централізованих систем водопостачання, наприклад, в м. Харкові, свідчить, що стале витримання необхідних концентрацій активного хлору забезпечує бактеріологічну безпечність питної води на всіх етапах її виробництва та подальшого транспортування до споживача.

Проте необхідно враховувати фактор вторинного забруднення питної води в водорозподільній мережі.

Різномісні дослідження вторинного забруднення проводяться близько сотні років [10].

Встановлено, що його основне джерело – це бактеріофлора біоплівки на поверхні труб. Для концентрацій вільного хлору 1–2 мг/дм<sup>3</sup> біоплівка тривалий час зберігається і в ній міститься широкий спектр мікроорганізмів, в тому числі і *E.coli* [11].

Зрозуміло, що на практиці витримати такі високі концентрації хлору в усій мережі неможливо, а тому створюються умови для появи нестандартних проб по бактеріології.

Стандартом США встановлено, що утримання проценту нестандартних проб на рівні  $\leq 5\%$  свідчить про надійну роботу водопроводу. Відмітимо, що на протязі багатьох років такий стан приблизно підтримується на харківському водопроводі (рис. 1).

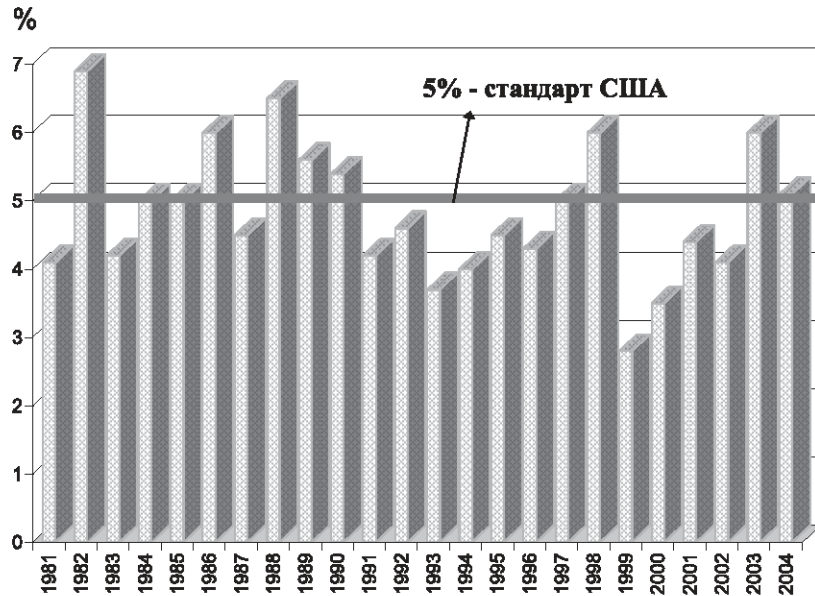


Рис. 1. Нестандартні проби (%) за бактеріологічними показниками.

Очевидно, що достовірне визначення процента нестандартних проб потребує розробки та впровадження системи репрезентативного відбору проб питної води із розгалуженої водопровідної мережі. В основу системи повинен бути покладений показник питомої кількості проб  $N_n$ , наприклад, відносне число проб води: на 1000 мешканців або на 1000 м<sup>3</sup> води.

Так, в м. Харкові через водорозбірні колонки до споживача поступає до 5 % води. Тому і кількість відібраних на аналіз проб води не повинна бути суттєво більшою.

### Теоретичне підґрунття

Розглянемо характерну схему контролю якості питної води в місті (рис. 2). Вона містить різні насосні станції, резервуари чистої води (РЧВ), водопровідні колонки (мережеві, контрольні, тупикові).

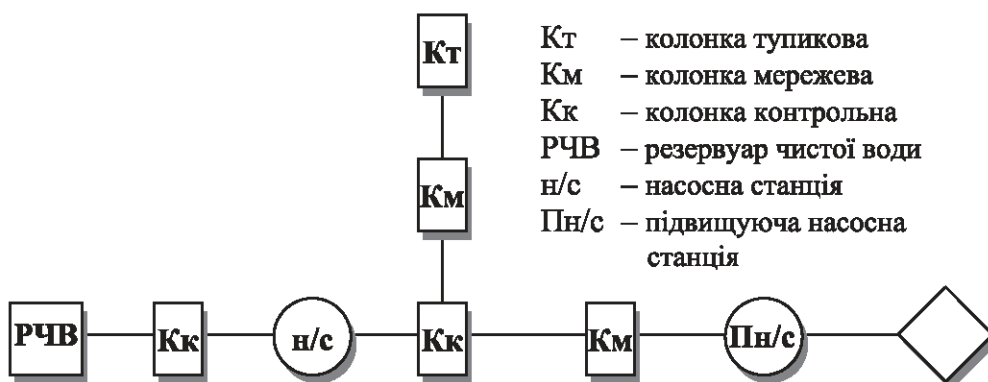


Рис. 2. Схема контролю якості питної води.

Щоденно відбір проводиться на РЧВ та насосних станціях. Інші точки контролюються за графіком. Зрозуміло, що загальна кількість відібраних проб води  $N$  становитиме суму проб за всіма об'єктами водопостачання:

$$N = \sum n_i. \quad (1)$$

Показник питомого числа проб  $N_n$  становитиме відношення сумарної кількості проб  $N$

до загального об'єму подачі води  $Q$ , тобто

$$N_n = N/Q. \quad (2)$$

Витримуючи цей показник однаковим для всієї системи водопостачання та знаючи обсяг подачі води за її окремими об'єктами  $q_i$ , можна визначити необхідну кількість проб з кожного об'єкта:

$$n_i = q_i \cdot N_n. \quad (3)$$

Проведені дослідження в лабораторії санепідконтролю якості води на прикладі харківського водопроводу показують, що вторинне забруднення істотно впливає на якість питної води. Тому проценти нестандартних проб на різних об'єктах водопостачання можуть суттєво відрізнятися (рис. 3).

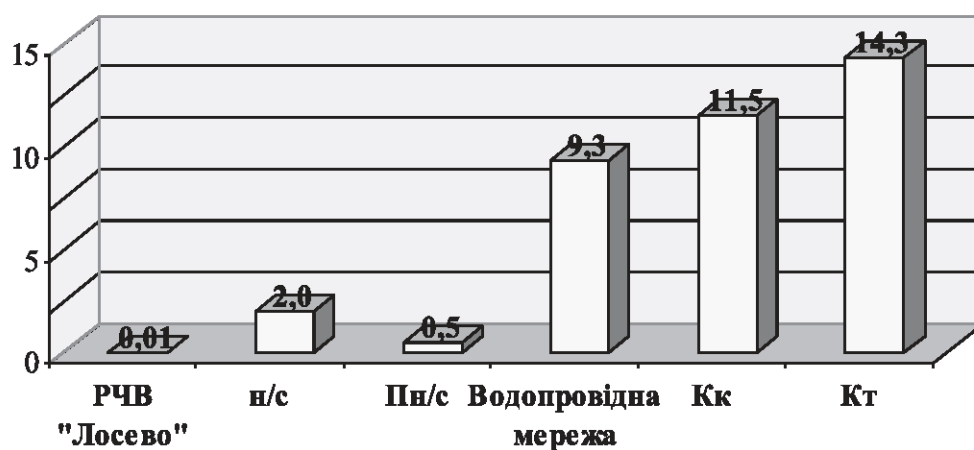


Рис. 3. Змінення нестандартних проб (%) за бактеріологічними показниками під час транспортування питної води.

Згідно існуючому порядку, встановленому санітарними органами, процент нестандартних проб визначається за всіма відібраними пробами. Тому штучно завищена кількість проб з віддалених ділянок звичайно дасть неправдиво погіршену картину щодо якості води в цілому по місту.

Це мимовільно спричиняє помилково-безпідставне рішення щодо необхідності підвищення концентрації хлору на очисних спорудах та насосних станціях. Необґрунтованість цього заходу призводить до перевитрат хлору, тобто до економічних втрат. Крім того, це стає причиною погіршення якості води за хімічними показниками – з'являється запах води, зростає концентрація хлорорганічних сполук тощо.

Крім того, підвищена концентрація активного хлору призводить до інтенсифікації корозійних процесів в трубопроводах. Це викликає прискорене зношення водопровідних мереж, на ремонт і санацію яких необхідні суттєві додаткові затрати.

Але, з іншого боку, погіршення якості води вимагає посилення контролю, тобто питома кількість проб повинна збільшуватися пропорційно рівню погіршення якості води. Таке збільшення враховується відповідним ваговим коефіцієнтом  $k_i > 1$ :

$$n_i = k_i \cdot q_i \cdot N_n. \quad (4)$$

Для розрахунку коефіцієнта  $k_i$  врахуємо, що проценти нестандартних проб становлять: для колонок – 11,5 %, для РЧВ – 0,05 %, тобто співвідношення складає 230:1.

Встановимо для колонки  $k_i = 230$ . Тоді необхідна кількість проб для колонки в рік складатиме:

$$n_i = k_i \cdot q_i \cdot N_n = 230 \cdot 1,5 \cdot 365 / 150000 = 0,84, \quad (5)$$

де 1,5 – середня кількість води, що проходить через колонку щодня, м<sup>3</sup>;

365 – кількість днів в році; 150000 – кількість води, що проходить через РЧВ щодня, м<sup>3</sup>.

**Приклад м. Харкова.** Враховуючи, що в м. Харкові контролюється близько 1700 колонок, загальна кількість проб за рік має становити  $0,84 \cdot 1700 = 1428$ .

До 2001 р. щорічна кількість проб води з водорозбірних колонок складала близько 4 тис. та була майже такою, як і на виході насосних станцій і РЧВ.

Зрозуміло, що з часом це негативно впливало на статистику нестандартних проб, яка не відображала фактичну картину з якістю води. Для виправлення ситуації та підвищення достовірності статистики було прийнято рішення планомірно збільшити кількість проб перед подачею в мережу і на підвищуючих насосних станціях в мікрорайонах, а також виключити з плану контролю колонки, що тривалий час не використовуються.

В результаті на 2005 р. середньомісячну кількість проб перед подачею в мережу було доведено майже до 500 (до 2001 р. – менше 400), а кількість проб з колонок стабілізовано біля 300. В цілому об'єм бактеріологічних аналізів води зріс майже на 20 %. Одночасно збільшилось співвідношення кількості проб перед подачею в мережу і з водопровідних колонок.

Очевидно, що такий підхід обґрунтовано підвищує репрезентативність відбору із збільшенням частоти контролю великих об'ємів води і відповідно збільшує загальну достовірність натурних даних контролю її якості.

Крім того, для підвищення безпеки води було запроваджено багаторівневу систему додаткового мікробіологічного контролю, щоб виключити патогенну складову нестандартних проб. Обов'язково проводився їх аналіз на фекальне мікробіологічне забруднення, а також вірусологічні дослідження на наявність колі-фагів та антигену вірусу гепатиту А. З 2009 р. лабораторія проводить також паразитологічні дослідження.

Таким чином, в цілому створюються умови для аналітичного обґрунтування рішень з підвищення ефективності процесів знезараження питної води.

Як вже вказувалося, санітарними нормативами передбачено, щоб перед подачею води в мережу концентрація залишкового зв'язаного хлору складала 0,8–1,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Завдяки чіткій і надійній системі мікробіологічного контролю якості питної води, яка функціонує в КП «Харківводоканал», є можливість витримувати необхідну концентрацію хлору на рівні не вище 0,9–1,0 мг/дм<sup>3</sup>, тобто на 20–30 % нижче максимально можливої. У валовому виразі з урахуванням сезонних процесів хлорпоглинання води це дозволяє зекономити 100–150 тон хлору на рік. За цим стоїть не тільки економічна доцільність, але й екологічна безпека систем водопостачання [7] та якість питної води.

## **Висновки**

На підставі аналізу процесів хлорування питної води перед її подачею у централізовані водогінні мережі запропоновано багаторівневу репрезентативну систему мікробіологічного контролю якості води на водопровідних об'єктах. Це дозволяє підтримувати якість питної води за мікробіологічними показниками з одночасним зменшенням обсягів застосування хлору. В результаті підвищується екологічна безпека та рівень ресурсозбереження на водоканалах, забезпечуються нормативи стандартних проб води.

В цілому з введенням в дію ДержСанПіН 2.2.4-171-10, на прикладі м. Харкова, мікробіологічний контроль питної води в порівнянні з 2005 р. став більш досконалий. Зросла кількість параметрів, за якими оцінюється якість води, що подається населенню. Система просторово-часового контролю стала більш репрезентативною. Модернізована схема визначення мікробіологічних показників якості водопровідної води стала суттєво ефективнішою і обґрунтовано відображає правильність технології знезараження води.

# СОВРЕМЕННЫЙ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ КАК ОСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОДЫ

С.Л. Василенко, И.В. Коринько, Е.С. Максимова

Коммунальное предприятие "Харковводоканал", г. Харьков  
e-mail: texvater@rambler.ru, korinko@aqua.kharkov.ua, emaximova@list.ru

*В работе представлен анализ хлорирования питьевой воды перед её подачей в водопроводные сети. Показано, что многоуровневая репрезентативная система микробиологического контроля качества воды на насосных станциях и водопроводных колонках позволяет поддерживать допустимый процент нестандартных проб на нормативном уровне с одновременным уменьшением применения хлора. Это в значительной степени повышает экономическую эффективность, а также обеспечивает экологическую безопасность городских систем водоснабжения и качество питьевой воды по микробиологическим показателям. Подход применен в технологии обеззараживания питьевой воды г. Харькова.*

*Ключевые слова: питьевая вода, обеззараживание, хлор, ресурсосбережение.*

## MODERN MICROBIOLOGICAL TESTS AS A BASIS FOR ENVIRONMENTAL SAFETY AND RESOURCE SAVING IN WATER DISINFECTION TECHNOLOGIES

S.L. Vasilenko, I.V. Korinko, E.E. Maximova

Municipal enterprise "Kharkovvodokanal", Kharkove, Ukraine  
e-mail: texvater@rambler.ru, korinko@aqua.kharkov.ua, emaximova@list.ru

*This paper provides analysis of drinking water chlorination before its supply to water lines. It shows that representative system of microbiological water quality control at pumping stations and water columns enables maintenance of allowed percent of nonstandard samples at the rated level with reduction of chlorine application. This greatly reduces economic effect and provides environmental safety of municipal water supply systems and drinking water quality as of microbiological indices. This approach is applied at disinfection of drinking water of Kharkiv city (Ukraine).*

*Key words: drinking water, disinfection, chlorine, resource-saving.*

### Список літератури

1. Мокієнко А. В. Аналітичні дослідження застосування хлору як засобу знезараження води (гігієнічні і медико-екологічні аспекти) / А. В. Мокієнко, Н. Ф. Петренко, А. І. Гоженко // Вода і водоочисні технології. Наук.-техн. вісті. – 2012. – № 2 (8).
2. Журба М. Г. К обоснованию методов обеззараживания природных вод / М. Г. Журба, Ж. М. Говорова, В. М. Бахир, А. Н. Ульянов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2011. – № 4. – С. 37–42.
3. U.S. Environmental Protection Agency. 1991. Status Report on Development of Regulations for Disinfectants and Disinfection By-Products.
4. Бахир В. М. Дезинфекция питьевой воды: проблемы и решения / В. М. Бахир // Питьевая вода. – 2008. – № 6. – С. 2–8.
5. Тенденції, закономірності та технології використання водних ресурсів (2008–2011 рр.): бібліогр. показчик / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2011. – 86 с.
6. Швецов А. Б. Хлорные дезинфектанты и их применение в современной водоподготовке / А. Б. Швецов, А. В. Козырева, С. Г. Седунов, К. А. Тараскин // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2011. – Том 40, № 4. – С. 32 – 40.
7. Василенко С. Л. Экологическая безопасность водоснабжения / Василенко С. Л. – Х.:

Райдер, 2006. – 320 с.

8. ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством» // Вода питна. Нормативні документи: Довідник. – Львів: НТЦ «Леонорм-стандарт», 2001. – Т.2. – С.13–17.

9. Державні санітарні правила і норми «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання» № 383 від 23.12.1996 р. // Вода питна. Нормативні документи: Довідник. – Львів: НТЦ «Леонорм-стандарт», 2001. – Т.1. – С. 216 – 224.

10. *LeChevallier M. W.* Examination and characterization of distribution system biofilms / M. W. LeChevallier , T. M. Babcock , R. G. Lee // *Appl. Environ. Microbiol.* - 1987, No 53(12). – P. 2714 – 2724.

11. *Norton C. D.* A Pilot Study of Bacteriological Population Changes through Potable Water Treatment and Distribution / C. D. Norton , M. W. LeChevallier // *Appl Environ Microbiol.* – 2000. – No. 66(1). – P. 268 – 276.