

**БОНДАРЧУК ОЛЕКСАНДР**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0000-0002-6816-0532>  
e-mail: [Bondarchukau@gmail.com](mailto:Bondarchukau@gmail.com)**ШАХНОВСЬКИЙ АРКАДІЙ**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0000-0003-2963-4026>  
e-mail: [amshakhn@kpi.ua](mailto:amshakhn@kpi.ua)**СПАСЬОНОВА ЛАРИСА**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
<https://orcid.org/0000-0002-7562-7241>  
e-mail: [lar\\_spas@yahoo.com](mailto:lar_spas@yahoo.com)**МОКІЄНКО АНДРІЙ**Національний університет «Острозька академія»  
<https://orcid.org/0000-0002-4491-001X>  
e-mail: [mokienkoav56@gmail.com](mailto:mokienkoav56@gmail.com)

## МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ ВОДИ ТА СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ДІОКСИДОМ ХЛОРУ НА ДНІПРОВСЬКІЙ ВОДОПРОВІДНІЙ СТАНЦІЇ

В роботі наведено результати досліджень щодо збирання й аналізу інформації «історичного» та еволюційного характеру, пов'язаної з функціонуванням технологічної схеми очищення природних вод р. Дніпро в процесі впровадження діоксиду хлору як знезаражуючого агента на Дніпровській водопровідній станції (м. Київ). Зокрема, дослідження було спрямоване на прогнозування стану системи очищення води з урахуванням впливу випадкових факторів та сезонних змін якості природної води. Протягом дворічного періоду проводився моніторинг якості води на основі обраного набору параметрів, а також здійснювався математичний аналіз отриманих даних. Це дозволило визначити середні значення та діапазон варіації для кожного досліджуваного показника якості води. На основі отриманих результатів було зроблено висновки, важливі для подальшої експлуатації системи очищення води на водопровідній станції. Зокрема, встановлено, що протягом досліджуваного періоду якість питної води на виході системи очищення відповідала нормативним вимогам навіть у випадках аномального забруднення річкової води, що підтверджує ефективність прийнятих технологічних рішень та ефективність роботи впровадженої схеми. Отже, запропоновані технологічні рішення та режимні оперування впроваджуваною схемою є ефективними для забезпечення епідемічної безпеки та хімічної нешкідливості питної води після обробки діоксидом хлору.

Ключові слова: очищення природної води, водопровідна станція, знезаражування, діоксид хлору, моніторинг, статистичний аналіз.

BONDARCHUK OLEKSANDR, SHAKHNOVSKY ARCADY, SPASIONOVA LARYSA  
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"  
MOKIENKO ANDRIY  
National University «Ostroh Academy»

## WATER QUALITY MONITORING AND STATISTICAL ANALYSIS OF THE CHLORINE DIOXIDE WATER TREATMENT SYSTEM PARAMETERS AT THE WATER SUPPLY STATION

The paper addresses the research results focused on the collection and analysis of "historical" and evolutionary information related to the operation of the technological water treatment system for the Dnipro River during the implementation of chlorine dioxide as a disinfectant at the Dnipro Water Treatment Plant (located in Kyiv city). The study was particularly aimed at predicting the condition of the water treatment system, considering the influence of random factors and seasonal changes in natural water quality. Over a two-year period, water quality monitoring was conducted based on a selected set of parameters, and a mathematical analysis of the obtained data was performed. This approach enabled the determination of average values and the range of variation for each water quality indicator under study. The reliability of the numerical statistical estimates (Table 2) is quite high, which is clearly evidenced by the "segments" of the 95% confidence intervals for the mean value and the median. Based on the results obtained, conclusions were drawn that are important for the further operation of the water treatment system at the water treatment plant. Specifically, it was found that during the study period, the quality of drinking water at the system's output met regulatory standards, even in cases of abnormal river water pollution, confirming the effectiveness of the adopted technological solutions and the operation of the implemented network. Thus, the proposed technological solutions and operating regimes of the implemented system are effective in ensuring the epidemiological safety and chemical safety of drinking water following treatment with chlorine dioxide.

Keywords: natural water treatment, water treatment plant, disinfection, chlorine dioxide, monitoring, statistical analysis.

### Постановка проблеми

У світі та в нашій країні на станціях підготовки питної води триває процес поступового впровадження в якості дезінфікуючого агента (окиснювача) діоксиду хлору замість газоподібного хлору. Застосування реагентів-окиснювачів у технологічних схемах водопідготовки, особливо на етапі попереднього окиснення, сприяє окиснювальній деструкції токсичних органічних сполук, видаленню неорганічних речовин, таких як

залізо (II), манган (II), а також окисненню нітритів, сульфідів, ціанідів та інших сполук, що прискорює процес коагуляції [1]. Результатом реакцій окиснювача з розчиненими у воді хімічними речовинами є покращення органолептичних властивостей (запах, смак, кольоровість), нейтралізація токсичних органічних сполук та зниження концентрації загальної органічної вуглецю (ЗОВ).

Відомо, що хлор має тенденцію реагувати з органічними речовинами у воді, утворюючи шкідливі побічні продукти, які часто є канцерогенними. Натомість діоксид хлору виступає ефективним дезінфекційним агентом з високою бактерицидною та окиснювальною здатністю, що характеризується низьким рівнем утворення токсичних побічних продуктів дезінфекції та пролонгованою дією в мережах водорозподілу [2-4]. Крім того, використання діоксиду хлору дозволяє уникнути необхідності зберігання хлору, що в умовах військових дій може запобігти потенційним техногенним катастрофам.

Переорієнтування схем підготовки водопровідної води на використання діоксиду хлору замість газоподібного хлору вимагає комплексу заходів науково-технологічного та організаційного характеру. При цьому вироблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо дозування реагентів, режимів проведення технологічного процесу тощо вимагає а) математичного опрацювання даних та аналізу результатів експлуатації схем очищення [5], а також б) розробки математичних моделей [6, 7], здатних прогнозувати споживання діоксиду хлору, а також утворення хлоритів та хлоратів в залежності від кількісних факторів, які пов'язані з якістю води та з обробкою діоксидом хлору (зокрема, температури, рН, доз діоксиду хлору, часу контакту тощо).

### Аналіз досліджень та публікацій

Утворення побічних продуктів окиснення при використанні діоксиду хлору суттєво залежить від дози внесення цього реагенту: розрахункова оцінка та натурні спостереження показують, що близько 68% та 9% внесеного діоксиду хлору перетворюється відповідно на хлорити та хлорати [7, 8]. За найбільш раціональний підхід до контролю кількості зазначених побічних продуктів у воді (зокрема, хлоритів) можна визнати оптимальне дозування окиснювача. Запропоновані також інші підходи, що передбачають включення до технологічної схеми очищення спеціальних додаткових процесів видалення продуктів окиснення [9, 10]. З точки зору оптимального дозування окиснювача, у випадку, якщо діоксид хлору застосовується на етапі «фінальної» дезінфекції (перед подачею води до мережі розподілу), дозу  $\text{ClO}_2$  можна мінімізувати шляхом посилення видалення відповідних забруднень в інших очисних процесах схеми очищення. Зокрема, автори [11] досліджують вплив на утворення побічних продуктів окиснення (тригалогенметанів) додаткового впровадження процесів преозонування, коагуляції та адсорбції активованим вугіллям. На обсяг споживання хлорвмісного реагента-окиснювача та утворення побічних продуктів на етапі пост-дезінфекції закономірно впливають технологічні особливості організації підсистеми первинної обробки (передокиснення) води. Так, порівняльні дослідження [12] показали, що у разі використання на стадії передокиснення перманганату калію частка утворення побічних продуктів пост-дезінфекції зменшується на 7%, при використанні у підсистемі первинної обробки коагуляції ( $\text{FeCl}_3$ ) та повітряної флотації – на 25%, частка зменшення утворення побічних продуктів у випадку впровадження (на стадії передокиснення) адсорбції на активованому вугіллі складає 45% і т. д. Таким чином, окремі ланки схеми очищення води закономірно виявляються взаємопов'язаними, тому вироблення висновків і рекомендацій щодо ефективності впроваджуваної технології вимагає збирання й аналізу даних експлуатації за певний період функціонування схеми очищення води у змінному зовнішньому середовищі (тобто побудови часових рядів «історичного» та еволюційного характеру, пов'язаних з функціонуванням технологічної схеми очищення води).

Це дослідження представляє результати збору та аналізу даних («часових рядів»), отриманих у ході регулярного моніторингу якості природної та очищеної води за вибраним набором характеристик, зібраних під час експлуатації схеми водоочищення на дніпровській водопровідній станції (м. Київ). Завданням цієї роботи, за аналогією із задачами еколого-гідрологічного моніторингу (що має на меті спостереження за водними джерелами та антропогенним впливом на них, прогноз зміни стану природних джерел водопостачання під впливом антропогенних факторів), є збирання й аналіз інформації «історичного» та еволюційного характеру щодо функціонування схеми водоочищення р. Дніпро. Крім того, дослідження має на меті спрогнозувати стан системи очищення води за умов впливу випадкових факторів і сезонних тенденцій якості природної води. Побудова регресійних моделей для дослідження характеру змін характеристик якості води та утворення побічних продуктів у системі очищення природної води стане предметом наступних публікацій.

### Виклад основного матеріалу

Реконструкцію Дніпровської водопровідної станції було виконано згідно Цільової програми «Питна вода м. Києва на 2011–2020 роки» (Рішення Київської міської ради від 04.11.2010 № 220/5032). Згідно до проекту реконструкції, технологія очищення води включає два етапи обробки води діоксидом хлору:

- а) первинну обробку (передокиснення);
- б) вторинну обробку (пост-дезінфекцію) води.

Первинна обробка води (етап передокиснення) виконується на насосній станції першого підйому – перед подачею води на очисні споруди. На цьому етапі діоксид хлору вводиться у воду в кількості, необхідній для окиснення органічних та неорганічних забруднень. Згідно з проектними розрахунками, для забезпечення ефективного окиснення на вході у змішувачі слід підтримувати концентрацію залишкового діоксиду хлору на рівні 0,2–0,4 мг/дм<sup>3</sup>. Протягом 20–30 хвилин, після завершення реакції окиснення забруднень і утворення

хлоритів, вода подається до змішувачів. Перед цим вона обробляється хлоридом заліза ( $\text{FeCl}_2$ ) з метою видалення хлоритів та залишкового діоксиду хлору. У змішувачах встановлено вузли дозування хлориду заліза (II) для досягнення зазначеної мети. Контроль концентрацій діоксиду хлору та продуктів окиснення, зокрема залишкових хлоритів, проводиться перед змішувачами, а Redox-потенціал вимірюється після змішувачів. Автоматичне дозування хлориду заліза ( $\text{FeCl}_2$ ) налаштоване таким чином, щоб вміст залишкових діоксиду хлору та хлоритів у воді був близьким до нуля. Дотримання необхідних умов контролюється спеціальними приладами.

Вторинна обробка води діоксидом хлору, або пост-дезінфекція, здійснюється після проходження водою швидких фільтрів. Цей етап призначений для дезінфекції питної води з метою забезпечення необхідної концентрації залишкового діоксиду хлору в межах понад  $0,1 \text{ мг/дм}^3$  при подачі у водопровідну мережу. Для цього в блоці фільтрів встановлені дозатори діоксиду хлору, що мають чотири точки введення. Дозування діоксиду хлору для вторинної обробки води також здійснюється на підставі показників, отриманих за допомогою спеціальних приладів.

Крім того, передбачено обробку води хлоридом заліза (II) для видалення хлоритів та залишкових концентрацій діоксиду хлору. Для виробництва діоксиду хлору як сировина використовується соляна кислота та хлорит натрію.

У табл. 1 представлено фрагмент формуляру якості води за дворічний період – зібрані в контрольних точках технологічної схеми водоочищення щомісячні дані щодо обраних параметрів якості води, таких як забарвленість, рН, перманганатна окиснюваність, загальний органічний вуглець (ТОС), фітопланктон, діоксид хлору та хлорити. Таку множину характеристик якості води було обрано у даному дослідженні шляхом аналізу чутливості і визнано за репрезентативну для оцінки якості питної води. Зазначені характеристики в подальшому використовуватимуться для побудови математичних моделей.

Даним щодо параметрів якості води (табл. 1) відповідають значення (концентрації) «залишкового» діоксиду хлору, а також побічних продуктів окиснення, вимірювані у контрольних точках технологічної схеми.

В наочному безрозмірному вимірі дані табл. 1 та концентрації побічних продуктів окиснення і діоксиду хлору та хлоритів, подано на рис. 1

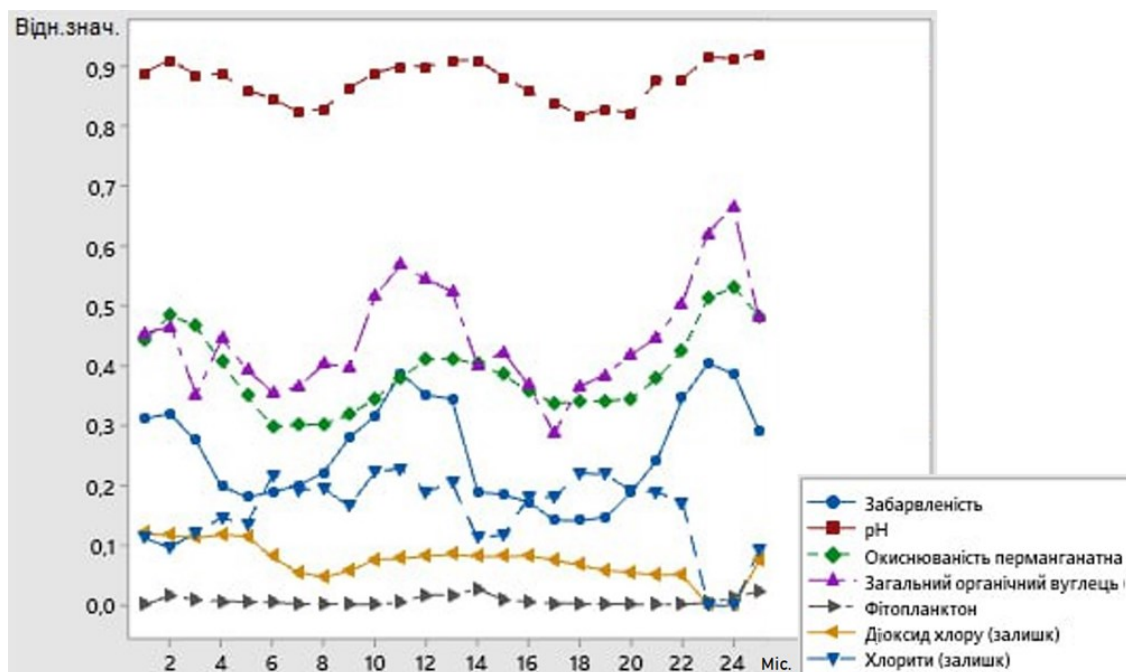


Рис. 1. Дані моніторингу – відносні характеристики якості води за часом по місяцях

Базовий статистичний аналіз параметрів очищеної води було здійснено з використанням пакету прикладних програм Minitab (рис. 2, табл. 2).

Для наочного представлення змін у часі значень досліджуваних характеристик (відносних концентрацій) використовувалися горизонтальні «коробкові» діаграми розмаху (рис. 2, а-е). Вказані діаграми дали змогу оцінити середнє значення (центрально тенденцію), розмах (діапазон зміни) досліджуваних відносних характеристик якості води, а також наявність «викидів» (аномально високих або малих значень) у даних. Аномальні значення відносних концентрацій для фітопланктону та залишкової концентрації діоксиду хлору («викид» часового ряду) показано «зірочками» на рис. 2, д та 2, е. Слід зазначити, щов згадані аномальні значення знаходяться в межах нормативного діапазону значень.

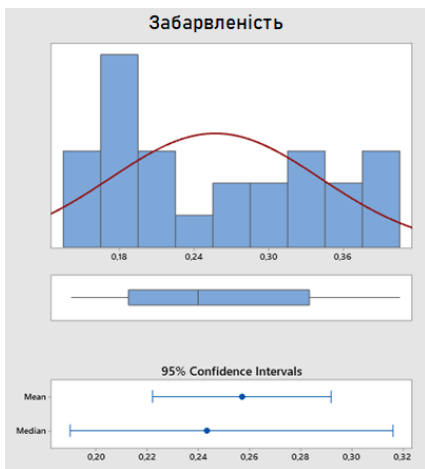
Також на рис. 2 представлено діаграми статистичного інтервального розподілу параметрів води, що очищується (прямокутні вертикальні стовпці) у їх порівняннях з кривими теоретичного нормального розподілу. Близьким до теоретичного нормального розподілу є, зокрема статистичний інтервальный розподіл

даних вимірювання загального органічного вуглецю (рис. 2, г), що підтверджують результати кількісної перевірки за критерієм Андерсона-Дарлінга.

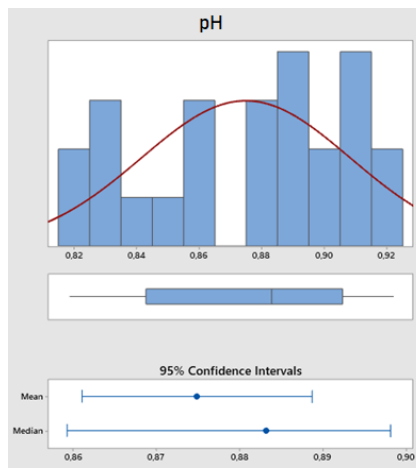
Таблиця 2

**Результати регулярного моніторингу якості води за обраним сімейством характеристик**

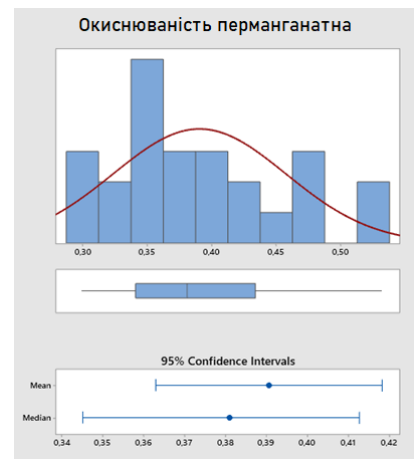
Місяць	Забарвленість			рН			Окиснюваність перманганатна			Загальний органічний вуглець (ТОС)			Фітопланктон		
	градуси		частки	од.		частки	мг/дм <sup>3</sup>		частки	мгС/дм <sup>3</sup>		частки	кл/см <sup>3</sup>		частки
	р. Дніпро	питна	вих/вх	р. Дніпро	питна	вих/вх	р. Дніпро	питна	вих/вх	р. Дніпро	питна	вих/вх	р. Дніпро	питна	вих/вх
1	48,00	15,00	0,31	8,20	7,30	0,89	9,96	4,40	0,44	13,40	6,10	0,46	0,50	0,00	0,00
2	50,00	16,00	0,32	7,90	7,20	0,91	9,90	4,80	0,48	14,60	6,80	0,47	570,00	9,00	0,02
3	65,00	18,00	0,28	7,90	7,00	0,89	10,70	5,00	0,47	14,50	5,10	0,35	1284,00	10,00	0,01
4	90,00	18,00	0,20	8,00	7,10	0,89	12,30	5,00	0,41	16,60	7,40	0,45	2194,00	13,00	0,01
5	94,00	17,00	0,18	7,90	6,80	0,86	14,30	5,00	0,35	19,10	7,50	0,39	3768,00	18,00	0,00
6	100,00	19,00	0,19	7,80	6,60	0,85	16,70	5,00	0,30	22,20	7,90	0,36	7449,00	29,00	0,00
7	100,00	20,00	0,20	8,00	6,60	0,83	16,60	5,00	0,30	21,40	7,80	0,36	46253,00	53,00	0,00
8	90,00	20,00	0,22	8,20	6,80	0,83	16,50	5,00	0,30	19,60	7,90	0,40	61727,00	58,00	0,00
9	75,00	21,00	0,28	8,10	7,00	0,86	15,70	5,00	0,32	19,80	7,90	0,40	68136,00	55,00	0,00
10	60,00	19,00	0,32	8,10	7,20	0,89	14,20	4,90	0,35	14,70	7,60	0,52	27982,00	24,00	0,00
11	49,00	19,00	0,39	8,10	7,30	0,90	12,60	4,80	0,38	11,60	6,60	0,57	2558,00	9,00	0,00
12	54,00	19,00	0,35	8,00	7,20	0,90	12,20	5,00	0,41	12,10	6,60	0,55	484,00	8,00	0,02
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
22	52,00	18,00	0,35	8,30	7,30	0,88	12,45	5,30	0,43	12,50	6,30	0,50	45136,00	24,00	0,00
23	42,00	17,00	0,40	8,30	7,60	0,92	10,80	5,55	0,51	11,90	7,40	0,62	3893,00	12,00	0,00
24	44,00	17,00	0,39	8,10	7,40	0,91	9,60	5,10	0,53	10,20	6,80	0,67	673,00	8,00	0,01
25	62,00	18,00	0,29	7,70	7,10	0,92	11,20	5,40	0,48	15,80	7,60	0,48	408,00	9,00	0,02



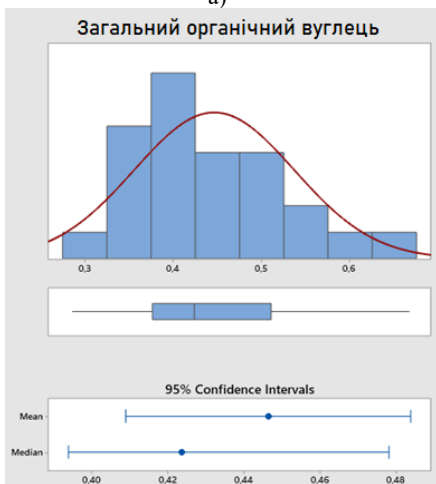
а)



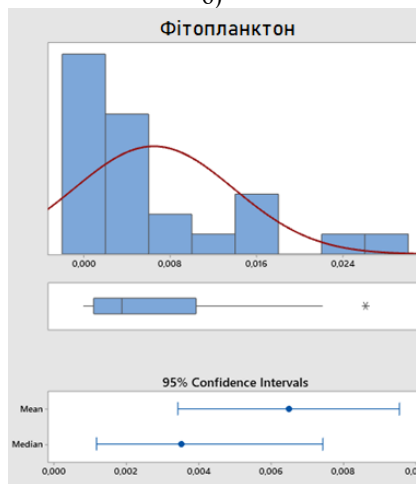
б)



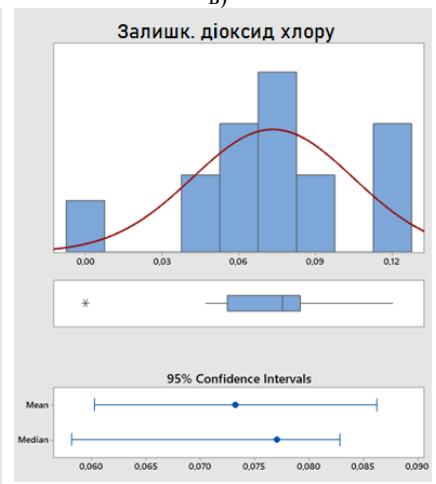
в)



г)



д)



е)

Рис. 2. Статистичний аналіз параметрів води, що очищувалась на водопровідній станції

Достовірність чисельних статистичних оцінок (табл. 2) є достаньо високою, про що наочно свідчать «відрізки» 95% довірчих інтервалів для середнього значення і медіани, наведені в нижній частині рис. 2, а-е

Моніторинг протягом дворічного періоду технологічної схеми очищення води на Дніпровській водопровідній станції за обраною множиною параметрів якості води показав, що статистично очікуване середнє значення для кожного із досліджуваних показників якості води (із врахуванням діапазону розмаху цих величин) знаходиться в інтервалах, які відповідають нормативним вимогам щодо води питної, навіть у випадках аномальної забрудненості річкової води.

Таблиця 2

## Деякі кількісні результати статистичного аналізу параметрів води, що очищається

Характеристика	Забарвленість	pH	Окиснюваність перманганатна	Загальний органічний вуглець (ТОС)	Фітопланктон
<b>Статистичний параметр</b>					
Середнє значення	0,2569503	0,874884	0,390553	0,446344	0,006479
Стандартна похибка	0,0168714	0,006671	0,013376	0,018099	0,00148
Медіана	0,2432432	0,883117	0,380952	0,423729	0,003518
Стандартне відхилення	0,084356929	0,033354	0,066882	0,090494	0,007401
Ексцес	-1,3251107	-1,1967	-0,55982	0,310844	0,960909
Асиметрія	0,2651740	-0,37034	0,562875	0,736618	1,372531
Розмах	0,2629179	0,103328	0,231849	0,380435	0,026087
Мінімум	0,1418440	0,81875	0,299401	0,286232	0
Максимум	0,4047620	0,922078	0,53125	0,666667	0,026087

Отримані результати підтверджують ефективність застосованих техніко-технологічних рішень та ефективність оперування впроваджуваною схемою.

**Висновки**

За результатами статистичного аналізу обраних характеристик якості води, отриманих під час експлуатації технологічної схеми водоочищення на Дніпровській водопровідній станції, можна твердити, що запропоновані і впроваджені техніко-технологічні рішення й режими оперування впроваджуваною технологічною схемою є в достатній мірі ефективними в сенсі забезпечення епідемічної безпеки та хімічної нешкідливості питної води після дезінфекційної обробки її обробки діоксидом хлору.

Результати досліджень підтверджують «дозо-часову» залежність інтенсивності споживання діоксиду хлору у технології обробки води на Дніпровському водопроводі. Найменші дози вказаного окиснювача застосовуються взимку, найбільші – влітку та в останній місяць весни, а також на початку осені. При цьому концентрація діоксиду хлору у незараженій питній воді та залишкових хлоритів були в межах діючого законодавства. Слід зауважити, що норма вмісту хлоритів, рекомендована Всесвітньою організацією охорони здоров'я [13], є 0,7 мг/дм<sup>3</sup>, і саме її об'єктивно доцільно було б застосовувати, щонайменше, в несприятливі періоди року, що додатково забезпечувало б підвищення бар'єрної ролі водоочисних споруд та надійності незараження води у точці споживання.

Перспективою подальших досліджень є побудова математичних моделей для дослідження характеру змін характеристик якості води та утворення побічних продуктів (насамперед, хлоритів) під час експлуатації схеми очищення води р. Дніпро.

**Література**

- 1 Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води. – К. : Вища школа, 2005. – 671 с.
- 2 Richardson S.D., et al. Identification of new drinking water disinfection by-products from ozone, chlorine dioxide, chloramine, and chlorine / Richardson S.D., Thruston A.D., Caughran T.V., Chen P.H., Collette T.W. et al // Water, Air, and Soil Pollution – 2000. – No. 123, Pp. 95-102. DOI: doi.org/10.1023/A:1005265509813
- 3 Schmidt W. Using chlorine dioxide for drinking water disinfection by the application of the chlorine/chlorite process / Schmidt W. // Acta hydrochimica et hydrobiologica – 2004. No. 32, Pp. 48-60. DOI: doi.org/10.1002/aheh.200200515
- 4 Мокієнко А. В. Діоксид хлору: застосування у технологіях водопідготовки. 2-е вид. перероб. і доп. Одеса : «Фенікс», 2021. 336 с. (російською мовою)

- 5 Rahman M. S., Gagnon G. A. Bench-scale evaluation of drinking water treatment parameters on iron particles and water quality / M. S. Rahman, G. A. Gagnon // *Water Research*. 2014. – No 48. Pp. 137–147. DOI: 10.1016/j.watres.2013.09.018
- 6 Harrington G. W., Chowdhury Z. K., Owen D. M. Developing a computer model to simulate DBP formation during water treatment / G. W. Harrington, Z.K. Chowdhury and D.M. Owen / *Journal of American Water Works Association*. 1992. No. 84(11). Pp. 78-87.
- 7 Korn C., Andrews R. C., Escobar M. D. Development of chlorine dioxide-related by-product models for drinking water treatment / Korn C., Andrews R. C., & Escobar M. D // *Water Research*. – 2002. – No. 36(1). – Pp. 330–342. DOI: 10.1016/s0043-1354(01)00194-4
- 8 Sorlini S., et. al. Influence of drinking water treatments on chlorine dioxide consumption and chlorite/chlorate formation. / Sorlini S., Gialdini F., Biasibetti M., Collivignarelli C. // *Water Research*. 2014. – No. 54, Pp. 44–52. DOI:10.1016/j.watres.2014.01.038
- 9 Katz A., Narkis N. Removal of chlorine dioxide disinfection by-products by ferrous salts / Katz A., Narkis N. // *Water Research*. – 2001. – No. 35, Pp. 101–108. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00250-5
- 10 Sorlini S., Collivignarelli C. Chlorite removal with granular activated carbon / Sorlini S., Collivignarelli C. // *Desalination*. 2005. – No. 176, Pp. 255-265. DOI: 10.1016/j.desal.2004.10.030
- 11 Teksoy A., Alkan U., Başkaya H.S. Influence of the treatment process combinations on the formation of THM species in water / Arzu Teksoy, Ufuk Alkan, Hüseyin Savaş Başkaya // *Separation and Purification Technology* – 2008. – No. 61, Pp. 447-454. DOI: 10.1016/j.seppur.2007.12.008
- 12 Chen C., et.al. Comparison of seven kinds of drinking water treatment processes to enhance organic material removal: a pilot test / Chen C., Zhang X., He W., Lu W., Han H. // *The Science of The Total Environment*. – 2007. – No. 382(1). Pp. 93-102. DOI:10.1016/j.scitotenv.2007.04.012
- 13 Chlorine Dioxide, Chlorite and Chlorate in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/FWC/WSH/16.49. URL: <https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/chlorine-dioxide-chlorite-chlorate-background-document.pdf>

#### References

1. Zapolskyy A. K. Vodopostachannya, vodovidvedennya ta yakist vody [Water supply, drainage and water quality]. – K. : Vyshcha shkola, 2005. – 671 p. (in Ukrainian).
2. Richardson S.D., et al. Identification of new drinking water disinfection by-products from ozone, chlorine dioxide, chloramine, and chlorine / Richardson S.D., Thruston A.D., Caughran T.V., Chen P.H., Collette T.W. et al // *Water, Air, and Soil Pollution* – 2000. – No. 123, Pp. 95-102. DOI: doi.org/10.1023/A:1005265509813
3. Schmidt W. Using chlorine dioxide for drinking water disinfection by the application of the chlorine/chlorite process / Schmidt W. // *Acta hydrochimica et hydrobiologica* – 2004. No. 32, Pp. 48-60. DOI: doi.org/10.1002/aheh.200200515
4. Mokiyyenko O. V. Dioksyd khloru: zastosuvannya u tekhnolohiyakh vodopidhotovky [Chlorine dioxide: application in water treatment technologies]. 2<sup>nd</sup> ed. – Odesa: “Phoenix”. – 2021. – 336 p. (in Russian).
5. Rahman M. S., Gagnon G. A. Bench-scale evaluation of drinking water treatment parameters on iron particles and water quality / M. S. Rahman, G. A. Gagnon // *Water Research*. 2014. – No 48. Pp. 137–147. DOI: 10.1016/j.watres.2013.09.018
6. Harrington G. W., Chowdhury Z. K., Owen D. M. Developing a computer model to simulate DBP formation during water treatment / G. W. Harrington, Z.K. Chowdhury and D.M. Owen / *Journal of American Water Works Association*. 1992. No. 84(11). Pp. 78-87.
7. Korn C., Andrews R. C., Escobar M. D. Development of chlorine dioxide-related by-product models for drinking water treatment / Korn C., Andrews R. C., & Escobar M. D // *Water Research*. – 2002. – No. 36(1). – Pp. 330–342. DOI: 10.1016/s0043-1354(01)00194-4
8. Sorlini S., et. al. Influence of drinking water treatments on chlorine dioxide consumption and chlorite/chlorate formation. / Sorlini S., Gialdini F., Biasibetti M., Collivignarelli C. // *Water Research*. 2014. – No. 54, Pp. 44–52. DOI:10.1016/j.watres.2014.01.038
9. Katz A., Narkis N. Removal of chlorine dioxide disinfection by-products by ferrous salts / Katz A., Narkis N. // *Water Research*. – 2001. – No. 35, Pp. 101–108. DOI: 10.1016/S0043-1354(00)00250-5
10. Sorlini S., Collivignarelli C. Chlorite removal with granular activated carbon / Sorlini S., Collivignarelli C. // *Desalination*. 2005. – No. 176, Pp. 255-265. DOI: 10.1016/j.desal.2004.10.030
11. Teksoy A., Alkan U., Başkaya H.S. Influence of the treatment process combinations on the formation of THM species in water / Arzu Teksoy, Ufuk Alkan, Hüseyin Savaş Başkaya // *Separation and Purification Technology* – 2008. – No. 61, Pp. 447-454. DOI: 10.1016/j.seppur.2007.12.008
12. Chen C., et.al. Comparison of seven kinds of drinking water treatment processes to enhance organic material removal: a pilot test / Chen C., Zhang X., He W., Lu W., Han H. // *The Science of The Total Environment*. – 2007. – No. 382(1). Pp. 93-102. DOI:10.1016/j.scitotenv.2007.04.012
13. Chlorine Dioxide, Chlorite and Chlorate in Drinking-water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. WHO/FWC/WSH/16.49. URL: <https://www.who.int/docs/default-source/wash-documents/wash-chemicals/chlorine-dioxide-chlorite-chlorate-background-document.pdf>