

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПОБУТОВИХ СТИЧНИХ ВОД ЗА ДОПОМОГОЮ ДІОКСИДУ ХЛОРУ ТА ГІПОХЛОРИТУ НАТРІЮ

Ігор Прокопенко¹, Віктор Хоружий², Ігор Недашковський³

^{1,2} Київський національний університет будівництва і архітектури
31, проспект Повітряних Сил, м. Київ, 03037, Україна

³Одеська державна академія будівництва та архітектури
4, вул. Дідріхсона, м. Одеса, 65029, Україна

¹prockopenko.2017@gmail.com, orcid.org/0009-0009-0129-3283

²докт. техн. наук, horuji@ukr.net, orcid.org/0000-0002-5314-0483

³канд. техн. наук, pk-ogasa@ukr.net, orcid.org/0000-0002-9494-6694

DOI: 10.32347/2524-0021.2024.48.51-56

Анотація. Забруднення поверхневих водних об'єктів становить загрозу для навколишнього середовища та здоров'я людей. Після неналежного очищення стічних вод на комунальних підприємствах у водних об'єктах поступово накопичуються мінеральні та органічні забруднювачі, що в свою чергу погіршує екологічну обстановку та призводить до спалахів інфекційних захворювань. Причиною періодичних порушень роботи очисних споруд є недосконалість технологічного режиму. Тому існує нагальна потреба у підвищенні ефективності роботи існуючих споруд біологічного очищення за допомогою заходів, що забезпечують дотримання екологічних вимог до очищення міських стічних вод. В якості знезаражувальних засобів використовуються хлор, або його сполуки: діоксид хлору, гіпохлорит натрію, гіпохлорит кальцію та інші. В роботі розглянуто методи знезараження стічної води за допомогою діоксиду хлору та гіпохлориту натрію. Висвітлено основні переваги та проблеми використання цих методів в порівнянні з традиційним застосуванням хлору.

Ключові слова: побутові стічні води, очистка стічних вод, знезараження, діоксид хлору, гіпохлорит натрію.

ВСТУП

Найбільш серйозною проблемою на сьогоднішній день, в умовах війни, залишається охорона джерел централізованого господарсько-питного водопостачання від забруднення, зокрема це стосується поверхневих водойм та підземних джерел, оскільки потреба населення в достатній кількості якісної і придатної для споживання води завжди залишається життєво необхідною. Загалом в Україні незадовільна якість поверхневих вод і критичний їх стан в окремих регіонах. Води поверхневих водних об'єктів разом з домішками природного походження містять і різного типу та складу хімічні забруднення, серед яких: пестициди, феноли, нафтопродукти, солі важких металів тощо, це обумовлено тим, що у водойми надходять

недостатньо очищені стічні води. Характер і кількість забруднень, які містяться у складі таких водах, особливість тих чи інших речовин та сполук, одночасна присутність ряду токсичних компонентів може спричинити самий різноманітний і негативний вплив на санітарний та екологічний стан водних об'єктів [1,2]. Технології та обладнання, на якому виконується очищення стічних вод, від населених пунктів України, збудовані в середині минулого століття, через це не завжди забезпечуються необхідний ступінь її очищення та знезараження. В результаті чого маємо евтрофікацію водойм та непридатність використання їх для забезпечення потреб водопостачання [3]. Скринінг та моніторинг води в басейні річки Дніпро показав надзвичайно високі концентрації гербіцидів, інсектицидів, фунгіцидів та різного

роду фармацевтичних речовин, таких як карбозепін, лопінавір, диклофенак та ефавіренц [4].

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Зі зростанням урбанізації і промислового виробництва, хімізації сільського господарства набагато більше став вплив на загальну водну екологію антропогенний фактор, тобто фактор використання води людиною. Використання води людством для задоволення побутових потреб, потреб виробництва та сільського господарства, виробництва електроенергії майже завжди супроводжується її забрудненням, а неминуче повернення цієї води після використання в джерела, призводить до забруднення природних водних об'єктів і сприяє порушенню природної рівноваги в циклах кругообігу вуглецю і азоту [5]. До джерел забруднення поверхневих вод також можна віднести стихійні звалища у санітарній зоні водозабору, як наслідок маємо зростання мінералізації, окиснюваності, органолептичних показників, БСК₅, ХСК, важких металів і інших забруднюючих речовин [6,7].

У поверхневі водойми України щорічно скидається більше 2,6 млрд м³ забруднених стічних вод, які в своєму складі мають біля 8 млрд т різних забруднювачів. Призвело це до того, що на сьогоднішній день в Україні майже відсутні поверхневі джерела для водопостачання, які можна було б віднести до першої категорії як придатні для водопостачання з урахуванням можливостей водоочисних споруд [8]. До 1-3 категорій (майже чисті) відносяться тільки 15% водних об'єктів, до категорій 4-5 (забруднені) – 60%, до категорій 6-7 (брудні і дуже брудні) – 25% [9]. За хімічним складом основні забруднення господарсько-побутових стічних вод поділяються на мінеральні та органічні. Основна кількість забруднення, а саме нерозчинена та колоїдна фракції представляє собою органічні речовини, які нестабільні в навколишньому середовищі, що в свою чергу погіршує санітарно-гігієнічні умови населених пунктів та потребують особливих технологій переробки на очисних спорудах [10].

Методи, що використовуються для знезараження стічних вод, умовно поділяються на такі групи [11]:

- хімічні (застосування різних сполук хлору, озону, перекису водню та ін);
- фізичні (термічні, електричні, електромагнітні);
- фізико-хімічні (флотація, коагуляція, електрофільтрування, сорбція);
- знезараження в умовах штучних і природних біоценозів.

Найбільш широкого до недавнього часу використовувалися технології з використанням хлору, але хлоровмісні реагенти мають ряд істотних недоліків при знезараженні води [12]. Взаємодія хлору з органічними речовинами, які містяться в стічній воді, призводить до утворення хлороформу, чотирихлористого вуглецю, бромдихлорметану, дибромхлорметану, які мають канцерогенні та мутагенні властивості. У деяких випадках гігієнічних критеріїв ефективності процесу (доза активного хлору 3 - 5 мг/дм³, експозиція 30 хвилин і залишковий активний хлор 1,5 мг/дм³) недостатньо для ефективного знезараження стічних вод. А отже, використання з цією метою підвищених доз активного хлору не є бажаним, тому що призводить до уповільнення процесу самоочищення води у водному об'єкті [13].

До переваг діоксиду хлору в якості дезінфектанту у порівнянні з хлором можна віднести [14]:

- окислювальну здатність діоксиду хлору, яка є вищою ніж у хлору;
- біоцидну дію діоксиду хлору, яка вища ніж у хлору при однакових дозах реагентів і експозиції дезінфекції;
- властивості діоксиду хлору, що не залежать від рН води;
- діоксид хлору при взаємодії з аміаком і амінами не утворює хлораміни та побічні токсичні продукти хлорування (тригалогенметани);
- органічні продукти окислення біохімічно окислюються і не створюють небезпеку в разі попадання у природну водойму в порівнянні з тригалогенметанами, які не окислюються та накопичуються з часом в об'єктах навколишнього середовища;

- побічні продукти такі як хлорати і хлорити, не є небезпечними для навколишнього середовища, бо хлорити швидко відновлюються до хлоридів, а хлорати є стабільними у водному середовищі.

Фізико-хімічні властивості та токсикологічна характеристика діоксиду хлору: діоксид хлору або оксид хлору (IV), або двоокис хлору – ClO_2 , молярна маса – 67,457 г/моль, при нормальних умовах – газ жовто-зеленого кольору, з різким запахом; температура кипіння +11 °С, густина газу відносно повітря – 2,326, окислювально-відновлювальний потенціал – 1,5 Вт; розчинність у воді при 25 °С – 81,6 г/л. Діоксид хлору при розчиненні у воді не гідролізується, залишається як молекулярно розчинений газ в інтервалі водневого показника – 6-9 одиниць рН, характерному для питної води, а в лужному середовищі (водневий показник ≥ 11 одиниць рН) протікає реакція окислювально-відновного диспропорціонування з утворенням хлоритів та хлоратів. Діоксид хлору – відносно нестійкий газ, його неможливо стиснути і перетворити в рідину, при об'ємній концентрації у повітрі $\geq 10\%$ може вибухнути. Фактори, що впливають на стабільність розчинів діоксиду хлору – рН, висока температура та дія світла [15].

Найчастіше діоксид хлору виготовляється на місці використання за допомогою генераторів, оскільки він є нестабільний при збереженні та транспортуванні, але розчин його можна отримати шляхом змішування хлориту або хлорату натрію з концентрованими кислотами (HCl , H_2SO_4 тощо) та/або сильними окиснювачами (Cl_2 , H_2O_2 , NaOCl тощо).

Діоксид хлору використовують переважно для проведення знезараження побутових стічних вод від невеликих населених пунктів, локальних об'єктів, у тому числі транспортних об'єктів та стічних вод, які несуть в собі епідеміологічну небезпеку (наприклад, у інфекційних лікарнях) [16].

У деяких же випадках для знезараження більш доцільно застосування солей гіпохлоритної кислоти (гіпохлорит натрію чи кальцію).

Гіпохлорити зазвичай мають вигляд твердих продуктів (гіпохлорити кальцію) або розчинів з різним вмістом активного хлору. Розчини гіпохлориту натрію мають слабе жовто-зелене чи коричневе забарвлення і характерний хлорний запах [17]. Молекулярна маса NaClO становить 74,44 г/моль. В промисловості випускається у вигляді водних розчинів, які мають різну концентрацію. Отримують гіпохлорити натрію хімічним способом за допомогою пропускання газоподібного хлору через розчин гідроксиду натрію за суворо контрольованих умов [18, 19]. Гіпохлорити натрію споживаються в радіусі 160 - 200 км від заводу, де вони виробляються. В Україні випускаються розчини гіпохлориту натрію марок А і Б згідно ГОСТ 11086-76 «Гіпохлорит натрію. Технічні умови». Наказом Мінжитлокомунгоспу України від 18.05.2007 №18 (із змінами від 15.05.15) затверджена «Інструкція по застосуванню гіпохлориту натрію для знезараження води в системах централізованого питного водопостачання і водовідведення», яка зареєстрована в Міністерстві юстиції України 25.07.2007 за №853/14120. Для знезараження зворотних вод використовуються марки А і Б. Концентрація активного хлору в гіпохлориті марки А складає не менше 190 г/л, а марки Б – не менше 170 г/л [20].

Застосування гіпохлоритів для знезараження, у тому числі гіпохлориту натрію, має ряд переваг перед рідким хлором [17, 18]:

- суттєво більша екологічна безпека при транспортуванні та зберіганні гіпохлоритів у порівнянні з рідким хлором;

- постачання і зберігання у ємностях, які не є під надмірним (проти атмосферного) тиском;

- несуттєве виділення хлору з продукту при зберіганні і застосуванні, відсутність загазованості робочої зони, яка становить небезпеку для людей;

- позитивний вплив лугу, який міститься у продукті, на процеси коагуляції та видалення з зважених речовин з води;

- на 15-20% менші обсяги утворення тригалогенметанів та інших хлорорганічних сполук в порівнянні з рідким хлором;

- висока здатність до окиснення сполук заліза і марганцю, які містяться у воді.

Не дивлячись на ряд переваг, застосування гіпохлоритів у якості альтернативи рідкому хлору при знезараженні води має також і ряд недоліків, до яких можна віднести:

- втрату активності розчинів гіпохлоритів при їх транспортуванні та зберіганні;

- необхідність великого вмісту води при транспортуванні рідких регентів, у 5-6 разів є більшим за вміст активного хлору.

Однією з проблем, яка обмежує широке використання гіпохлориту натрію для знезараження стічної води є нестійкість його водних розчинів. Також відомо, що розчин гіпохлориту натрію при довгому зберіганні поступово розкладається і втрачає свою активність, тобто зменшується вміст активного хлору.

ВИСНОВКИ

Отже, в зв'язку з тим, що стічні води, які скидаються в поверхневі водні об'єкти, містять велику кількість шкідливих речовин, необхідно застосовувати та вдосконалювати методи, які є альтернативою знезараження хлором, та в свою чергу, дають кращі результати при очищенні стічних вод. Згідно аналізу існуючих методів знезараження стічних вод можемо зробити висновки, що на сьогодні приділяється більш уваги екологічно чистим методам знезараження господарсько-побутових стічних вод, альтернативних хлоруванню. Діоксид хлору та гіпохлорит натрію мають цілий ряд переваг в порівнянні з використанням хлору і все частіше використовуються на станціях очистки стічних вод.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Іванько О. М.; Бідненко Л. І.** Сучасні методи знезараження стічних вод (огляд літератури) // Проблеми військової охорони здоров'я, 2012, 33: 137-150.
2. **Станкевич В.В., Тарабарова С. Б.** Нормативно-методичні питання оцінки поверхневих водойм // Гігієна населених місць. 2017. № 67. С. 56-60.
3. **Хоружий В., Недашковський І., Прокопенко І.** Інтенсифікація процесів біологічного очищення стічних вод // Проблеми

водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2023, №45., С. 88–99.

4. **Чарний Д. В. та ін.** Особливості формування якості води поверхневих джерел водопостачання як чинник вибору методу водопідготовки // Land Reclamation and Water Management, 2021.

5. **Татарнікова Н. О.** Проблеми водопостачання та якості питної води міста Умані // Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. Серія: Екологія, 2018, 3: 165-182.

6. **Vieira J., Cunha M. C.** Nested Optimization Approach for the Capacity Expansion of Multiquality Water Supply Systems under Uncertainty // Water Resour. Manag. 2017. Vol. 31. P. 1381-1395.

7. **Li F., Wang W., Ramírez L. H. G.** The determinants of two-dimensional service quality in the drinking water sector – Evidence from Colombia // Water Policy. 2016. Vol. 18. P. 983-997.

8. **Іванько О. М.** Загальна характеристика систем водопостачання та водовідведення військових об'єктів ЗС України // Актуальні проблеми сучасної медицини: Вісник української медичної стоматологічної академії, 2013, 13.2 (42): 107-109.

9. **Данілішин Б. М.** Державна цільова екологічна програма «Програма упорядкування водовідведення в населених пунктах України» як основний документ перспективного розвитку водокористування в країні / Б. М. Данілішин, О. О. Дмитрієва // Вода і водоочисні технології. 2006. № 3. С. 17-22.

10. **Дзєцина, Д. В.; Коцар, О. М.** Ефективність очищення господарсько-побутових стічних вод за допомогою природних мінеральних сорбентів // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2016. Вип. 27, С.114-121.

11. **Рибалова О. В., Мацак А. О., Курочка М. О., Арнаутов А.** Методи знезараження осадів стічних вод // The 6th International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education” (March 14-16, 2024), p. 119 – 128.

12. **Blume T.** Kombinierte Methoden mit Ultraschall zur Desinfektion von Abwasser // Hamburg reports on Sanitary Engineering 50, 2005. P. 79-90.

13. **Семенов А. О., Сахно Т. В., Семенова Н. В.** Екологічність та безпечність методів знезараження стічних вод // VI Міжнародна наукова практична конференція «Хімія, біотехнологія,

екологія та освіта», Полтава, 16-17.05.2022. С. 117-121.

14. **Іванько О. М.; Бабієнк В. В.; Кримець, Г. В.** Знезараження стічних вод – сучасний погляд на проблему // Актуальні проблеми транспортної медицини: навколишнє середовище; професійне здоров'я; патологія, 2013, 2: 54-63.

15. **Hruzdieva O. V., Pozdniakova U. O., Holub V. V.** Оцінка ефективності процесу знезараження питної води хлорвмісними сполуками в умовах міськводоканалу // Journal of Chemistry and Technologies, 2024, 32.1: 171-182.

16. **Солов'єва Ж. Ф.** Екологічні аспекти очищення води діоксидом хлору / Ж. Ф. Солов'єва, І. О. Малюченко // Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія, 2005. Т. 43. С. 69-71.

17. **Шевчук А. В.** Удосконалення технології очищення стічних вод на КП «Житомирводоканал»: кваліфікаційна робота: спец. 183 "Технології захисту навколишнього середовища" / Поліський нац. ун-т; каф. екол. безпеки та економіки природокористування; наук. керівник Е. О. Аристархова. Житомир, 2020. 38 с.

18. **Гаркавий С.І., Музичук Н.Т.** Гігієнічні аспекти методів знезаражування господарсько-побутових стічних вод, альтернативних хлоруванню. Вода і водоочисні технології. 2003. 1. С. 34-40.

19. **Кравченко В.С.** Водопостачання та каналізація: Підручник. «Кондор», 2003. 282 с.

20. **Kirkwood N., Kennen K.** Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design. Routledge, 2015. 378 p.

REFERENCES

1. **Ivanko, O., & Bidnenko, L. (2012).** Modern methods of wastewater disinfection (literature review). *Problems of military health care*, 33: 137-150. [in Ukrainian]
2. **Stankevich, V. V., & Tarabarova, S. B. (2017).** Normative and methodical issues of assessment of surface water bodies. *Hygiene of populated areas*. 67. 56-60. [in Ukrainian]
3. **Khoruzhiy, V., Nedashkovskiy, I., & Prokopenko, I. (2023).** Intensification of processes of biological wastewater treatment. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 45, 88–99. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2023.45.88-99>
4. **Charnyy, D. V., Matseluk, Ye. M., Levytska, V. D., Marysyk, S. V., Chernova, N. M. (2021)** Peculiarities of formation of water quality of surface sources of water supply as a factor of a choice of a method of water treatment. *Land Reclamation and Water Management*, 2. 45-54. <https://doi.org/10.31073/mivg202102-307>

5. **Tatarnikova, N. O. (2018).** Problems of water supply and drinking water quality in Uman. *Bulletin of Kamianets-Podilskyi Ivan Ohienko National University. Series: Ecology*, 3. 165-182. [in Ukrainian]

6. **Vieira, J., & Cunha, M. C. (2017).** Nested Optimization Approach for the Capacity Expansion of Multiquality Water Supply Systems under Uncertainty. *Water Resour. Manag.*, 31(4). 1381-1395. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1584-y>

7. **Li F., Wang W., Ramírez L. H. G. (2016).** The determinants of two-dimensional service quality in the drinking water sector – Evidence from Colombia. *Water Policy*. 18(4). P. 983-997. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.123>

8. **Ivanko, O. M. (2013).** General characteristics of water supply and sewage systems at military facilities of the Armed Forces of Ukraine. *Actual problems of modern medicine: Bulletin of the Ukrainian Medical Stomatological Academy*, 13.2 (42). 107-109. [in Ukrainian]

9. **Danilishyn, B. M., & Dmitrieva, O. O. (2006).** The State Targeted Environmental Program “Program for Improvement of Water Disposal in Ukrainian Settlements” as the main document for the prospective development of water use in the country. *Water and water treatment technologies*, 3. 17-22. [in Ukrainian]

10. **Dzetsina D., Kotsar O. (2016).** The effectiveness of treatment of domestic wastewater using natural mineral sorbents. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 27. 114-121. Retrieved from <https://repository.knuba.edu.ua/server/api/core/bitstreams/70be88ac-c40d-49da-b33d-3d2086db1057/content>

11. **Rybalova, O. V., Matsak, A. O., Kurochka, M.O., & Arnautov, A. (2024).** Methods of sewage sludge disinfection. Scientific and publishing center. *The 6th International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education”* (March 14-16, 2024), 119-128. Retrieved from <http://reposit.sc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/19924/1/Методи%20знезараження%20оса-дів%20стічних%20вод.pdf>

12. **Blume, T. (2005).** Kombinierte Methoden mit Ultraschall zur Desinfektion von Abwasser. *Hamburg reports on Sanitary Engineering*, 50. 79-90.

13. **Semenov, A. O., Sakhno, T. V., & Semenova, N. V. (2022).** Environmental friendliness and safety of wastewater disinfection methods. *VI International Scientific Practical Conference "Chemistry, Biotechnology, Ecology and Education"*, Poltava, 05/16-17/2022. 117-121. Retrieved from

<http://dspace.puet.edu.ua/bitstream/123456789/11929/3/2022-Збірник%202022%20ПДАУ-117-121-Семенов.pdf>

14. **Ivanko, O. M., Babienko, V.V., & Krimetz, G. V. (2013).** Wastewater disinfection - a modern view of the problem. *Topical issues of transport medicine: environment; occupational health; pathology*, 2. 54-63. [in Ukrainian]

15. **Hruzdieva, O. V., Pozdniakova, U. O., & Holub, V. V. (2024).** Evaluation of the efficiency of drinking water disinfection by chlorine-containing compounds in the conditions of a municipal water utility. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(1). 171-182.

<https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i1.291574>

16. **Solovyova, Zh. F., & Malyuchenko, I. O. (2005).** Environmental aspects of water treatment with chlorine dioxide. *Scientific notes National*

University of Kyiv-Mohyla Academy. Biology and ecology, 43. 69-71. [in Ukrainian]

17. **Shevchuk, A. V. (2020).** *Improvement of wastewater treatment technology at Zhytomyr Vodokanal*, qualification work: spec. 183 "Environmental protection technologies". Polissya National University. Zhytomyr. [in Ukrainian]

18. **Harkavyi, S. I., & Muzychuk, N. T. (2003).** Hygienic aspects of methods of disinfection of domestic wastewater alternative to chlorination. *Water and water treatment technologies. 1.* 34-40. [in Ukrainian]

19. **Kravchenko, V. S. (2003).** *Water supply and sewerage: Textbook*. «Condor». [in Ukrainian]

20. **Kirkwood, N., & Kennen, K. (2015).** *Phyto: Principles and Resources for Site Remediation and Landscape Design*. Routledge. [in Ukrainian]

Analysis of domestic wastewater disinfection methods using chlorine dioxide and sodium hypochlorite

Ihor Prokopenko, Victor Khoruzhy, Ihor Nedashkovskyi

Abstract. Pollution of surface water bodies poses a threat to the environment and human health. After improper wastewater treatment at municipal enterprises, mineral and organic pollutants gradually accumulate in water bodies, which in turn worsens the ecological situation and leads to outbreaks of infectious diseases. The reason for periodic violations of the operation of treatment plants is the imperfection of the technological regime. Therefore, there is an urgent need to improve the efficiency of existing biological treatment facilities by means of measures that ensure compliance with environmental requirements for urban wastewater treatment. Chlorine or its compounds are used as disinfectants: chlorine dioxide, sodium hypochlorite, calcium hypochlorite and others. Methods of wastewater disinfection using chlorine dioxide and sodium hypochlorite are considered in the work. The main advantages and problems of using these methods in comparison with the traditional use of chlorine are highlighted.

Key words: domestic wastewater, wastewater treatment, disinfection, chlorine dioxide, sodium hypochlorite.

Стаття надійшла до редакції 07.11.2024