



UDC 628.16 (628.16.081:628.166)

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF DISINFECTION PROCESS OF DRINKING WATER WITH CHLORINE COMPOUNDS IN URBAN WATER SUPPLY

Olena V. Hruzdieva^{1*}, Uliana O. Pozdniakova², Vlad V. Holub¹¹Ukrainian State University of Chemical Technology, 8, Gagarina Ave., Dnipro, 49005, Ukraine²Smolinsky Water Supply and Sewerage Department of the Regional Communal Water Supply and Sewerage Enterprise "Dnipro-Kirovograd", Soborna Street, 19A, Kropyvnytskyi, 25009, Ukraine.

Received 25 November 2024; accepted 12 March 2023; available online 25 April 2024

Abstract

The transition from purchasing liquid chlorine to sodium hypochlorite production has been considered. The advantages and disadvantages of different disinfectants that can be used in the disinfection stage of drinking water have been demonstrated. The focused attention on the drawbacks of using liquid chlorine includes risks during dosing, transportation, storage, and the formation of chlorinated organic compounds, predominantly trichloromethanes, particularly chloroform, which exhibit significant mutagenic effects and a carcinogenic risk. The materials of the Smolinsky water supply and sewerage system of the regional communal water supply and sewerage enterprise "Dnipro-Kirovograd" regarding the technology of disinfecting natural water and the quality of drinking water have been analyzed. The expediency of using a purchased sodium hypochlorite solution in the disinfection stage of drinking water has been determined. It has been shown through examples that some problems associated with the use of purchased sodium hypochlorite solution can be solved by launching its own production. Changes to the current technological scheme have been proposed with the aim of reducing chlorine by-products and improving the organoleptic properties of drinking water.

Keywords: drinking water disinfection; liquid chlorine; sodium hypochlorite; environmental safety of production; improvement; toxic chlorinated organic compounds.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ХЛОРВМІСНИМИ СПОЛУКАМИ В УМОВАХ МІСЬКВОДОКАНАЛУ

Олена В. Груздева¹, Уляна О. Позднякова², Владислав В. Голуб¹¹ ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет, просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005, Україна² Смолінський ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград», вул. Соборна, 19А, Кропивницький, 25009, Україна

Анотація

Розглянуто перехід виробництва з покупного рідкого хлору на гіпохлорит натрію. Показано переваги та недоліки різних дезінфектантів, які можна використовувати на стадії знезараження питної води. Акцентована увага на недоліках використання рідкого хлору: небезпеку в ході дозування, транспортування, зберігання та утворення хлорорганічних сполук, серед яких переважають тригалометани, перш за все - хлороформ, що зумовлюють виражений мутагенний вплив та канцерогенний ризик. Проаналізовано матеріали Смолінського водопровідно-каналізаційного господарства обласного комунального водопровідно-каналізаційного підприємства «Дніпро-Кіровоград» щодо технології знезараження природної води, якості вихідних питних вод. Визначена доцільність використання на стадії знезараження питної води покупного розчину гіпохлориту натрію. Показано на прикладах, що частину проблем, які пов'язані із використанням покупного розчину гіпохлориту натрію, можна забезпечити, запустив власне виробництво. Запропоновано зміни до чинної технологічної схеми із метою зниження побічних продуктів хлорування та покращення органолептичних властивостей питної води.

Ключові слова: знезараження питної води; рідкий хлор; гіпохлорит натрію; екологічна безпека виробництва; удосконалення; токсичні хлорорганічні сполуки.

*Corresponding author: e-mail: Hruzdievaolena@gmail.com

© 2024 Oles Honchar Dnipro National University;

doi: 10.15421/jchemtech.v32i1.291574

Вступ

Водопостачання – одна з найважливіших галузей, яка направлена на підвищення рівня життя людей, благоустрою населених пунктів, розвиток промисловості та сільського господарства. Постачання населенню питної води належної якості та в достатній кількості має важливе соціальне та санітарно-гігієнічне значення, запобігає епідемічним захворюванням, які розповсюджуються через воду.

Процес отримання та постачання населенню питної води залежить від низки факторів, основними з яких є: стан джерел водопостачання, санітарно-технічний стан водопровідних мереж, рівень лабораторного контролю якості води на всіх етапах її підготовки та подачі населенню. Одна з важливих стадій підготовки питної води – це процес знезараження, який можна віднести до технології її кондиціонування, що дає змогу коригувати фізичні та хімічні властивості природної води.

В останні роки в країні підвищуються вимоги щодо забезпечення безпеки питної води стосовно патогенних мікроорганізмів, вводяться нові мікробіологічні показники якості води. Це особливо стосується тих підприємств, які готують воду для централізованого господарсько-питного водопостачання. Тому воду знезаражують на початковому або на кінцевому етапі технологічного циклу, або використовують одночасно два ступені знезараження.

Процес знезараження питної води рідким хлором характеризується високою, до 99 %, ефективністю хлору щодо мікроорганізмів, економічністю, можливістю простого оперативного контролю за процесом дозування реагенту, простотою конструктивного оформлення процесу, доступністю та дешевизною реагенту. Головна перевага хлорування перед іншими альтернативними методами (озонування, ультрафіолет, використання аноліту, фератів (VI)) полягає в наявності у воді залишкового хлору протягом тривалого часу, що забезпечує збереження якості води в розподільчих мережах на великих відстанях [1; 2]. Він може окиснювати домішки, у тому числі мікроорганізми, органічні речовини, які зумовлюють кольоровість води. Процес

повторного зростання мікроорганізмів припиняється, якщо у воді вміст залишкового хлору складає 0.3–0.5 мг/дм³.

Але, поряд із пролонгованою дією рідкого хлору, йому притаманна низка суттєвих недоліків. По-перше, за умови великої дози хлору в процесі знезараження води відбувається окиснення органічних сполук, що спричиняє утворення токсичних хлорорганічних сполук у питній воді. Проведені в Нідерландах та США дослідження показали, що близько 10 % хлору під час хлорування питної води витрачається на утворення токсичних хлорорганічних сполук, і, водночас, загальна кількість сполук з хлором, що визначається у питній воді, наближається до 300, а їх сумарна концентрація може досягати 800 мгк/дм³ [3]. Так, хлор взаємодіє з органічними речовинами, що містяться у природній воді, з утворюванням токсичних летких хлорорганічних сполук (ЛХС) [4–7], з яких значна частка припадає на тригалогенметани (ТГМ) – хлороформ або трихлорметан (CHCl₃) (70–90 % всіх тригалометанов), дихлорбромметан (CHCl₂Br), хлордибромметан (CHClBr₂), бромформ або трибромметан (CHBr₃) та нелетких галогеноцтових кислот (ГОК) (рис. 1) [7–10]. Інтенсивність утворення ЛХС залежить від температури, складу води, дози рідкого хлору, тривалості контакту, величини рН. Численні дослідження показують, що кожна із цих речовин має канцерогенну та мутагенну дію на організм людини [11]: беруть участь у метаболізмі людини; сприяють виділенню токсикантів, що мають системну дію; утворюють вільні радикали, які мають канцерогенну дію [7]. Отже, наявність цих речовин у питній воді вказує на необхідність їх контролю в оцінці якості питної води.

По-друге, великим недоліком рідкого хлору є його сильна токсична дія, що створює небезпеку в ході дозування та транспортування, недотриманні заходів безпеки зберігання й використання рідкого хлору на очисних станціях, до того ж хлор погіршує органолептичні якості води. Рідкий хлор відносять до 2-го класу небезпеки та до подразливих отрут, використання та транспортування його вимагає дотримання «Правил з виробництва, транспортування, зберігання і споживання хлору» (ПБ 09-594-03).

Побічні продукти хлорування води

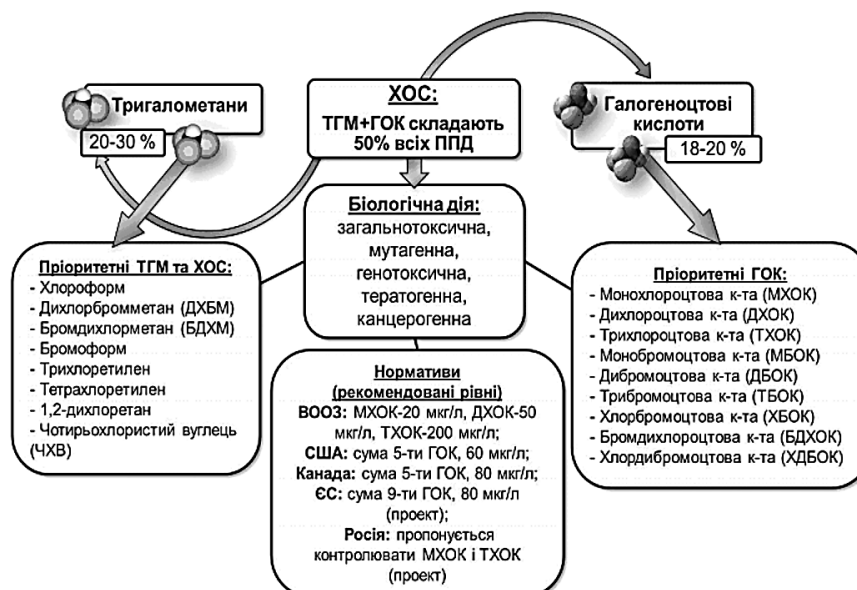


Fig. 1. The results of determining trihalomethanes and haloacetic acids in water at the water treatment plants of the Dnipro and Desna water supply systems in Kyiv city [11].

Рис. 1. Результати визначення у воді ТГМ та ГОК на водоочисних спорудах Дніпровського та Деснянського водопроводів м. Києва [11].

Розчин гіпохлориту натрію (NaClO , ГПХН) є альтернативою рідкому хлору та одним з перспективних способів знезараження питних вод. Гіпохлорит натрію ефективний проти більшості хвороботворних мікробів, хоча не ефективний проти деяких цист (*Giardia*, *Cryptosporidium*). Зокрема технологія очищення води ГПХН простіша і безпечніша від технології із застосування рідкого хлору. Транспортування та зберігання також безпечніше порівняно з хлором, до того ж необхідність у транспортуванні і зберіганні можна усунути, якщо отримувати гіпохлорит натрію на місці використання електролітичним способом. Все це, на перший погляд, ставить гіпохлорит натрію на передній план перед рідким хлором. Але і використання гіпохлориту натрію має суттєві недоліки. По-перше, кошторис електролітичної установки та значні енерговитрати в процесі одержання розчину. По-друге, розчин ГПХН втрачає активність за тривалого зберігання (від 30 % своєї активності за 10 днів), змінює забарвлення до червонясто-коричневого кольору, до того ж існує потенційна небезпека виділення газоподібного хлору. По-третє, з його застосуванням у знезараженій воді утворюються такі самі побічні продукти, що й за використання активного хлору, але у незначній кількості [12; 13].

Слід зазначити, що в світі стають все більш привабливими методи знезараження, які є комбінацією найбільш поширених методів

знезараження (рис. 2) [14–17]. Разом із хлоровмісними сполуками використовують ще один хімічний або фізичний дезінфекуючий агент, який підвищує ефект знезараження та зменшує утворення побічних продуктів хлорування. Хлорування можна комбінувати з обробкою води солями срібла (хлор-срібний метод), калію перманганатом (хлорування з мангануванням), озоном [7] або ультрафіолетом [15; 18], ультразвуком тощо. Також для досягнення гарного ефекту кондиціонування води можна комбінувати різні окисники (хлор, хлорамін, як з попереднім озонуванням, так і без нього, гіпохлорит натрію, діоксид хлору) [19].

На сьогодні знезараження води активним хлором залишається основним методом обробки води як в Україні, так і у світі. В Україні за технологічним регламентом знезараження води на підприємствах, які готують воду централізованого господарсько-питного водопостачання, хлорування продовжує залишатися найпоширенішим способом обробки води, оскільки рідкий хлор є найдешевшим дезінфекантом пролонгованої дії, присутність якого у воді виключає можливість її повторного зараження під час транспортування споживачам.

У 2005 році в Україні запроваджено державну програму "Питна вода", яка спрямована на модернізацію технологій очищення води на комунальних підприємствах, що забезпечують містян

питною водою. Завдяки цій програмі деякі міста, зокрема Київ, Одеса, Ізмаїл та Херсон, частково або повністю перейшли на більш безпечний метод використання гіпохлориту натрію замість рідкого хлору, проте недостатнє фінансування не дозволило програмі діяти в усіх населених пунктах.

Також переходу на нові технології посприяло кризове становище країни у виробництві рідкого хлору. Так, у 2018 році в Україні назріла загроза припинення подачі питної води в будинки і установи через брак рідкого хлору, який використовувався на очисних спорудах. Причиною кризи стало припинення роботи єдиного в країні виробника рідкого хлору – «ДніпроАзот» – через високі ціни на газ для підприємства. Водоканали, а їх в Україні понад 170, почали шукати альтернативні варіанти. Було досить проблематично купувати рідкий хлор в Румунії, Словаччині чи Польщі, бо це вибухонебезпечний продукт, на постачання якого був потрібен тривалий час для оформлення документів, а транспортування його українськими залізницями було небезпечним через їх ненадійність, до того ж потрібні були спеціальні технологічні цистерни. Слід нагадати, що щомісячна потреба тільки водоканалів українських міст оцінювалась у 1.2–1.5 тис. тонн хлору. Тому розглядалась можливість переходу на інші окиснювачі, перспективніші та простіші у використанні, й з точки зору швидкого переходу виробництва на інший окиснювач, ним став ГПХН.

Заміна рідкого хлору на інший знезаражувач постала і перед Смолінським ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград». Раніше для знезараження води передбачалось попереднє хлорування за допомогою рідкого хлору та, за необхідністю, вторинне хлорування після очисних споруд перед резервуарами чистої води. Дохлорування забезпечувало необхідну концентрацію залишкового хлору в воді й гарантувало надійний санітарний стан системи подачі й розподілу води споживачам.

Постановка проблеми. На сьогодні використання рідкого хлору для обробки води – це застаріла технологія, а вимоги до якості води стають все більш жорсткими. Все це змушує підприємства централізованого господарсько-питного водопостачання в Україні шукати інші, сучасніші, способи знезараження води. Але окрім знезаражувальної функції вони повинні мати

продовжувати, оскільки загалом обладнання та основні системи водопостачання та водовідведення в країні характеризуються низьким рівнем технічного стану та високим ступенем зносу.

Для прийняття рішення щодо вибору технології кондиціонування води був проведений аналіз прийнятних методів знезараження води на деяких підприємствах централізованого господарсько-питного водопостачання в Україні.

У 2010 році КП «Павлоградводоканал» разом із проектним інститутом АТ «Харківський Водоканалпроект» почали розробляти робочий проект, що передбачав застосування блокової електролізної установки отримання гіпохлориту натрію, призначеної для процесу знезараження води, що надало можливість відмовитись від використання рідкого хлору на водопровідній насосній станції майданчика № 4.

Міське комунальне підприємство «Хмельницькводоканал» також одне із перших в Україні перейшло на знезараження питної води ГПХН. Про ефективність переходу водонасосних станцій з рідкого хлору на ГПХН свідчили кінцеві показники, які не перевищували нормативних значень для питної води [20].

З 2018 року Артемівська фільтрувальна станція, яка була розташована в м. Бахмут на околиці міста, перейшла із рідкого хлору на гіпохлорит натрію. ГПХН отримували безпосередньо на станції очищення на двох електролізних установках «Полум'я-2», й обсяги його зберігання прирівнювались до добового запасу. Таким чином, застосувачи електролітичний ГПХН, станція зберегла всі переваги хлорування з використанням рідкого хлору та змогла уникнути основних складнощів, пов'язаних з транспортуванням і зберіганням небезпечного газу. Крім цього, станція позбавилась залежності від заводів-постачальників рідкого хлору, що випускалися централізовано хімічною промисловістю, а також від використання спеціалізованих транспортних засобів [12].

Зараз в Україні гіпохлорит натрію з успіхом застосовується для дезінфекції води для пиття на водоканалах у Львові (ЛМКП «Львівводоканал», насосна станція «Сокільники»), Житомирі (КП «Житомирводоканал», насосна станція другого підйому), Івано-Франківську, Бахчисараї, Києві (ПрАТ «Київводоканал»,

насосна станція «Виноградар-1»), Хмельницьку (КП «Хмельницькводоканал»), Рівне (РОВОКП ВКГ «Рівнеоблводоканал») та інших містах. Головна позитивна властивість використання ГПХН – екологічна безпека для жителів міст і персоналу станцій, що їх обслуговує [21]. Проблему із нестабільністю розчинів гіпохлориту станції водоочистки вирішують по-різному: встановлення на станціях водоочистки електролізних установок отримання ГХПН, використання кращого дезінфіканта – діоксиду хлору або їх комбінацію.

На водопроводі ДКП «Енерговодоканал», м. Жовті Води у Дніпропетровській області була впроваджена технологічна схема обробки природної води із використанням комбінації двох знезаражувачів – діоксиду хлору та рідкого хлору: передокиснення діоксидом хлору, коагуляція, фільтрування, постзнезараження рідким хлором. Така схема введення знезаражувачів у технологію підготовки питної води показала хорошу ефективність у обробці води з поверхневого джерела з високим вмістом органічних сполук, фітопланктону, забрудненою мікроорганізмами.

На водопроводі КП «Водоканал» (ДВС-2) у місті Запоріжжя, що виробляє воду централізованого господарсько-питного водопостачання, були проведені дослідження із послідовною комбінацією застосування діоксиду хлору та рідкого хлору у технологічному процесі. Лабораторні дослідження показали, що за використання двох комбінованих схем у технологічному процесі «Передокислення природної води діоксидом хлору, коагуляція, фільтрування, постзнезараження діоксидом хлору» та «коагуляція, фільтрування, постзнезараження діоксидом хлору» спостерігалось утворення у питній воді хлоритів, чия концентрація перевищувала гранично допустиму концентрацію (ГДК). У першому випадку це було пов'язано з високим ClO_2 -поглинанням природною водою, у другому – з низькою ефективністю очисних споруд. Також було встановлено, що комбінація різних знезаражувачів рідкого хлору та діоксиду хлору у схемі «Передокислення природної води рідким хлором, коагуляція, фільтрування, постзнезараження діоксидом хлору», призводить до утворення ТГМ. Після проведення багатьох досліджень найбільш вдалою комбінацією, що дозволила знизити

кількість активного хлору на стадії постзнезараження та не приводила до утворення великої кількості хлоритів, ТГМ у питній воді та покращувала органолептичні властивості води, стала комбінована схема «Передокислення природної води діоксидом хлором, коагуляція, фільтрування, постзнезараження хлором» [11].

Комбінацію знезаражувачів вдало застосовували на Деснянській водопровідній станції, де реалізована класична схема реагентного очищення води з відстоюванням та фільтруванням. На очисних спорудах з метою зниження вмісту токсикологічних показників питної води, застосували хлор-аміачний метод обробки води [21]. Удосконалення технології очищення та знезараження води було заплановано за схемою «відстоювання, фільтрування, мембранна технологія (ультрафільтрація), станція дозування».

Мета дослідження – оцінити ефективність заміни рідкого хлору на покупний розчин гіпохлориту натрію на стадії знезараження питної води. Розглянути можливість удосконалення технологічного процесу із метою зменшення побічних продуктів хлорування. Запропонувати можливі шляхи покращення органолептичних та фізико-хімічних показників питної води на Смолінському ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград».

Розглядається Смолінське водопровідно-каналізаційне господарство обласного комунального водопровідно-каналізаційного підприємства «Дніпро-Кіровоград» (Смолінське ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград»), яке періодично приймає воду із річки Синюха та здійснює контроль якості питної води централізованого водопостачання. Річка Синюха є лівою притокою р. Південний Буг (басейн Чорного моря), що протікає на територіях Кіровоградської та Миколаївської областей. Довжина річки 111 км, площа басейну 16700 км². Річний стік утворюється злиттям річок Велика Вись і Тікіч, тече Придніпровською височиною в південно-західному напрямі. Річка Синюха впадає до Південного Бугу на території м. Первомайська, і в місці їх злиття водність складає близько 60 % всього басейну. Живлення переважно снігове. За результатами гідробіологічних спостережень якість вод річки Синюха відповідає класу 2 (чисті води).

З водозабірних споруд, які розташовані в смт. Новоархангельськ Кіровоградської

області по сифонних водоводах довжиною 42.5 км природня вода поступає на насосну водопровідну станцію першого підйому. А потім – до центрального вузла водопостачання (ЦВВП) смт. Смоліне, об'єм резервуарів якого дорівнює 12 тис. м³. Обсяги зібраної із природних водних об'єктів води, яка не відповідає нормативам якості питної води та води, що відображається як використана на питні і санітарно-гігієнічні потреби населення, становить 596–689.7 тис. куб. м.

Лабораторний контроль якості води р. Синюхи, питної та очищеної стічної води постійно проводився атестованою хіміко-бактеріологічною лабораторією, згідно з графіками, погодженими міською СЕС та державним управлінням охорони навколишнього природного середовища. Контроль якості питної води виконувався за 23 показниками (мікробіологічні, паразитологічні, органолептичні, фізико-хімічні та санітарно-токсикологічні) відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [23]. Згідно з програмою виробничого контролю якості природної води, на органолептичні показники аналізувалась кожен тиждень після водозабору та кожні чотири години – з резервуару питної води і раз на місяць – у мережі водопостачання (у 6 контрольних точках) за стандартними методиками. Визначення забарвленості і каламутності води проводять колориметричним способом. Фізико-хімічні та бактеріологічні показники визначались щотижня в резервуарі питної води та один раз на місяць у мережі. Вміст загального заліза визначався фотоколориметричним методом. Загальна жорсткість визначалась комплексометричним титруванням розчином Трилона «Б» у присутності ехріохром чорного Т. Визначення концентрації розчиненого кисню проводили за методом Вінклера. Визначення біохімічного споживання кисню проводили склянковим методом. Для визначення вмісту іонів міді використовувалась реакція з діетилдитіокарбаматом натрію. Визначення поліфосфатів проводили колориметрично за реакцією гідролізу поліфосфатів у кислому середовищі з утворенням синього фосфорномолібденового комплексу. Сульфати та сухий залишок визначали гравіметричним способом. Для визначення вмісту хлоридів

використовували аргентометрію. Амоній у воді визначався за реакцією з реактивом Несслера. Для визначення нітрит-іонів використовували реактив Грісса, а для нітрат-іонів – реакцію з саліціловокислим натрієм у присутності сульфатної кислоти. Фториди визначали спектрофотометрично ($\lambda = 630$ нм) за реакцією з нітратом лантану у присутності алізаринкомплексону з утворенням рожевого комплексу. Визначення залишкового вільного хлору проводилось об'ємним методом, а залишкового зв'язаного хлору – йодометричним методом.

Чинна технологічна схема водопідготовки на Смолінському ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград» включала первинне знезараження (передокислення), відстоювання, фільтрування. У разі сильної забрудненості природньої води проводилось вторинне знезараження. В залежності від періоду водозабору або у разі падіння концентрації залишкового хлору в резервуарах чистої води (РЧВ) проводилось дохлорування води, що гарантувало надійний санітарний стан системи подачі і розподілу води. Така схема відрізняється від основного технологічного процесу очищення води (освітлення, первинне знезараження, коагуляція, відстоювання, фільтрування, вторинне знезараження), що реалізовані на багатьох водоканалах України. Відсутність стадії коагуляції та вторинного знезараження обумовлено якістю поверхневої води, яка забирається із р. Синюха. Результати лабораторного контролю поверхневої води із р. Синюха за органолептичними, фізико-хімічними, санітарно-токсикологічними та інтегральними показниками відповідають нормативам для водопровідної питної води згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 (табл. 1, стовпчики 5, 6). З даних видно, що природна вода з р. Синюха має високу жорсткість та лужність, яка суттєво змінюється під час паводків та має верхню межу показників у ДСанПіН 2.2.4-171-10. Також спостерігаються завищені показники каламутності та забарвленості, що притаманні даному природному водному об'єкту.

Хлорування води відбувалось за допомогою спеціальних пристроїв – хлораторів типу «ЛОНИИ-100КМ», потужність яких – до 10 кг/год. У хлораторах здійснювалось дозування активного хлору (хлор-газу) та змішування його з невеликою кількістю води. Одержаний рідкий хлор, який надходив на

зnezараження питної води, мав концентрацію 0.16 %. Концентрація активного хлору у змішувачах залежала від якості вхідної сирової води та визначалась експериментально шляхом дослідного хлорування води, що підлягала зnezаражуванню та контролю щогодини. За первинного хлорування концентрація у змішувачах становила 4.5–5.0 мг/дм³; за вторинного хлорування – 1.0–1.5 мг/дм³. Концентрація у РЧВ хлору залишкового вільного підтримувалась на рівні 0.3–0.5 мг/дм³; зв'язаного – 0.8–1.2 мг/дм³.

З червня 2019 року підприємство для зnezараження питної води замість хлору почало використовувати готовий розчин ГПХН марки А, який відповідає ДСТУ 11086-76 (ГОСТ 11086-76) або Євронормам EN 901:2013. Дезінфекційна дія NaOCl основана на тому, що, розчинений у воді, він так само як і газоподібний хлор, утворював хлорнувату кислоту та гіпохлорит-іони, які мають окисну і дезінфекційну дію. Розчин використовували відповідно до інструкції із застосування ГПХН для зnezараження води в системах централізованого питного водопостачання та водовідведення, яку затвердило у 2007 році Міністерство з питань житлово-комунального господарства України [24]. Згідно з інструкцією, розчин ГПХН, який використовувався замість рідкого хлору для зnezараження води, повинен відповідати певним нормам вмісту лугу, важких металів, наприклад, заліза, кольоровості, стабільності розчину, концентрації рідкого хлору. Дані вимоги виконуються гіпохлоритом натрію марки «А», що випускається у вигляді водного розчину зеленувато-жовтого кольору та містить близько 19 % активного хлору.

Процес зnezараження за допомогою ГПХН на Смолінському ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград», подібно до використання рідкого хлору, відбувався у дві стадії: первинне зnezараження та дохлорування у РЧВ (за необхідністю). Кількість ГПХН марки «А», що подавалось у трубопровід перед змішувачами для первинного зnezаражування, коригували окремим насосом-дозатором. Витрати розчину гіпохлориту натрію в середньому становили: за первинного хлорування – 77.4 мл/м³; для дохлорування – 7.5 мл/м³ в літній період, а у зимовий – 67.7 мл/м³; для дохлорування – 6.5 мл/м³. За первинного хлорування концентрація гіпохлориту натрію становила у змішувачах 4.5–5.0 мг/дм³; за дохлорування – 1.0–1.5 мг/дм³.

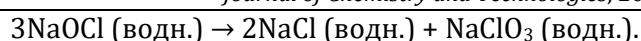
Витрати робочого розчину сильно залежали від концентрації активного хлору у початковому розчині, температури і якості оброблюваної води, величини хлоропоглинання природної води, часу контакту з водою, забруднення трубопроводів і резервуарів.

Результати та обговорення

За результатами акредитованої хіміко-бактеріологічної лабораторії, яка проводила виробничий лабораторний контроль якості питної води на дільниці центрального вузла водопостачання Смолінського ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград», була проведена порівняльна характеристика питної води, що була отримана із різними зnezаражувачами (табл. 2).

За результатами виробничого контролю видно, що використання розчину гіпохлориту натрію замість рідкого хлору на стадії зnezараження дає можливість отримати аналогічні характеристики за фізико-хімічними, санітарно-токсикологічними показниками.

Очищення води гіпохлоритом натрію замість рідкого хлору забезпечило на Смолінському ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград», по-перше, безпечне зберігання і транспортування зnezаражувача, простоту дозування, відсутність виникнення загрози техногенної аварії та уникнення негативного впливу на здоров'я персоналу. По-друге, незалежність від заводу-постачальника рідкого хлору. Але одночасно з цим спостерігався основний недолік – невелика стабільність розчину в процесі зберігання за рахунок процесу старіння ГПХН. Отже, з'явилась нова залежність – залежність від якості розчину гіпохлориту натрію. За тривалого зберігання розчину NaOCl відбувалось випадіння осадів – дрібних пластівців. Це було пов'язано з кристалізацією водних гідратів, що обумовлювались нестабільністю розчину. На ступінь розкладення у першу чергу впливала концентрація ГПХН та температура зберігання, наявність іонів важких металів, освітлення (під дією світла швидкість розкладу розчину гіпохлориту натрію збільшується приблизно у два рази). Розкладання відбувалось (зі швидкістю 0.08 до 0.1 % у добу) за реакцією:



(6)

Table 2
Comparative characteristics of drinking water when using liquid chlorine disinfectants and sodium hypochlorite (annual average indicators)

Таблиця 2
Порівняльні характеристики питної води при використанні знезаражувачів рідкого хлору та гіпохлориту натрію (річні середні показники)

№ з/п	Найменування показників	Один. виміру	Нормативи питної води (водопровідної) за ДСанПіН 2.2.4-171-10	Результати виробничого контролю якості природної води		Результати виробничого контролю питної води	
				2020 р.	2023 р.	Знезараження рідким хлором	Знезараження NaOCl марки А
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Органолептичні показники							
1.	Запах за 20 °С	Бали	≤2	2	2	2	2*
	за 60 °С		≤2	2	2	2	3*
2.	Забарвленість	градуси	≤20	24	31	13	18*
3.	Каламутність	НОК (1 НОК= 0.58 мг/дм ³)	≤1	1.80	1.60	0.70	1.00
4.	Смак та присмак	Бали	≤2			2	2*
2. Фізико-хімічні показники							
5.	Водневий показник	од.рН	6.5–8.5	7.48	7.68	7.53	7.39
6.	Залізо загальне	мг/дм ³	≤0.2	0.29	0.23	0.13	0.15
7.	Загальна жорсткість	ммоль/дм ³	≤7.0	7.60	7.30	6.70	6.80
8.	Загальна лужність	ммоль/дм ³	не нормується	7.10	6.90	6.40	6.90
9.	Марганець	мг/дм ³	≤0.05			<0.01	<0.01
10.	Мідь	мг/дм ³	≤1.0	0.23	0.11	0.14	0.14
11.	Поліфосфати	мг/дм ³	≤3.5	0.004	0.005	0.005	0.004
12.	Сульфати	мг/дм ³	≤250	40.30	28.00	38.50	28.00
13.	Сухий залишок	мг/дм ³	≤1000	557	483	547	480
Хлор залишковий:							
14.	вільний	мг/дм ³	≤0.5	-	-	0.28	0.02
15.	зв'язаний	мг/дм ³	≤1.2	-	-	0.60	0.55
16.	Хлориди	мг/дм ³	≤250	50.10	51.80	52.00	56.50
3. Санітарно-токсикологічні показники							
17.	Азот амонійний	мг/дм ³	≤0.5	0.27	0.15	0.19	0.20
18.	Нітрати (по NO ₃)	мг/дм ³	≤50	0.16	0.13	0.16	0.13
19.	Нітроти	мг/дм ³	≤3.3	0.009	0.004	0.005	0.001
20.	Фториди	мг/дм ³	≤1.5	0.051	0.47	0.48	0.35
4. Мікробіологічні показники							
21.	Загальне мікробне число	КУО/см ³	≤100	230	220	4	7
22.	E.coli	КУО/100см ³	відсутність	280	115	відс.	відс.
5. Інтегральний показник							
23.	Перманганатна окисність	мг/дм ³	≤5.0	4.8	3.8	3.6	4.8

* - показники значно змінюються в залежності від пори року.

На виробництві постало питання експрес-контролю якості розчину на вміст концентрації активного хлору в розчинах гіпохлориту натрію. Слід зазначити, що контроль якості розчину в ході зберігання та приймання гіпохлориту є обов'язковим, повинен проводитись періодично, що тягне за собою витрату часу, реактивів та підвищує трудовитрати. Контроль якості розчину став більш актуальним після випадків, коли якість ГПХН не відповідала заявленим виробником – коли до розчину гіпохлориту натрію

додавався твердий хлорвмісний реагент із метою тимчасового підвищення вмісту концентрації активного хлору. В такому випадку процес розкладення NaOCl під час зберігання пришвидшувався, що описано у роботі [25].

Визначення вмісту концентрації активного хлору проводили за ДСТУ ISO 7393-3:2004 «Якість води. Визначання незв'язаного та загального хлору. Частина 3. Метод йодометричного титрування для визначання загального хлору». Цей метод повільний,

складний, і потребує кваліфікованого персоналу. Для експрес-визначення ступеня розкладання NaOCl можна користуватись графіком розкладення ГПХН від температури або за допомогою ізотерми розкладення ГПХН (рис. 2а, б) [26]. Також для швидкого визначення густини NaOCl можна

використовувати звичайний портативний прилад для вимірювання густини розчину «Густиномір DMA 35 цифровий». За таблицею, що запропонована компанією Solvay Chemicals International [27], визначали його концентрацію і розраховували відсотки активного хлору для свіжеодібраних зразків.

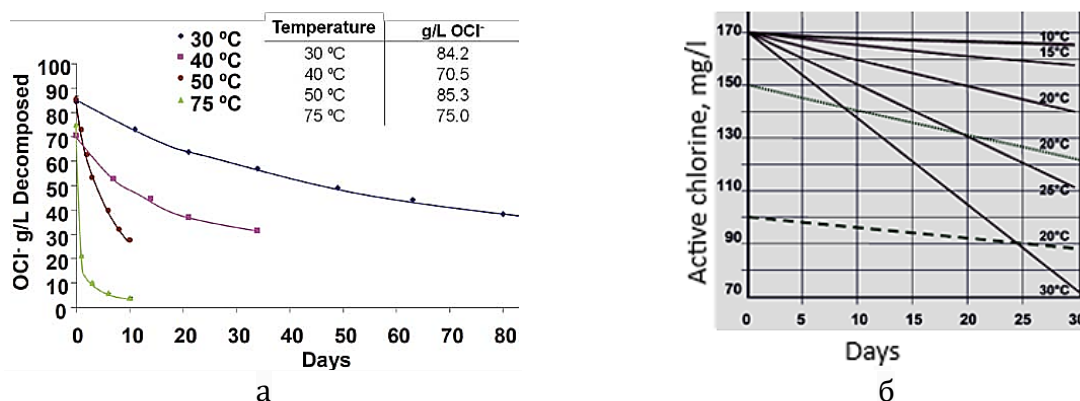


Fig. 2. Decomposition of NaOCl at different temperatures (a), change in NaOCl activity with temperature (b) [26].
Рис. 2. Розкладення NaOCl за різних температур (а), зміна активності NaOCl в залежності від температури (б) [26].

Другий недолік – економічний. Витрати розчину гіпохлориту натрію в процесі обробки природної поверхневої води в 3–5 разів більше, ніж хлору. Тому, у разі певного зберігання, продукти розкладення розчину ГПХН потрапляли у воду у великій кількості та значно погіршували органолептичні показники питної води у споживача (за даними лабораторного контролю, у містах відбору проби у кінцевій точці мережі). Особливо це відчувалось у спекотну пору, коли кількість продуктів розкладення прямо пропорційно залежала від температури повітря. Саме органолептичні показники виявляли суттєву різницю між використанням гіпохлориту натрію і рідкого хлору у процесі знезараження води. Ця різниця ще більш посилюється через їх різну тривалість дії у знезараженій воді. Так концентрація хлору залишкового у воді за первинного хлорування становить: хлором – 0.28 г/дм³, гіпохлоритом натрію – 0.02 г/дм³, що є граничною допустимою величиною.

Отже, проблема розкладу гіпохлориту натрію в розчині може бути успішно вирішена завдяки отриманню розчину безпосередньо на міськводоканалі у бездіафрагменному електролізері. Концентрація отриманого гіпохлориту натрію у такому електролізері набагато нижча, ніж у товарного гіпохлориту натрію, але він не схильний до високого рівня розкладання. Наприклад, можна розглядати

установки отримання розчину ГПХН власного виробництва або іноземного:

– українська компанія «Promtehdod» пропанує періодичні електролізні установки "Oxil 1", "Oxil 2", "Oxil 3" із відповідною продуктивністю 1, 2, 3 кг/добу або установки безперервної дії із модельного ряду Oxil-60 – 5000, відповідною продуктивністю по активному хлору від 60 до 5000 г/год. Установки характеризуються безпекою, компактністю, легкістю монтажу та експлуатації. Слід зазначити, що установки безперервної дії більш простіші у експлуатації та обслуговування ніж періодичної дії [28];

– українська компанія «Лайнекс» виготовляє трубчато-комірчасті електролізні установки КЕУ різної потужності активного хлору на годину. В комплект входить установка пом'якшення води та ємності для розсолу та готового продукту із контролем рівня розчинів, температури. Установки повністю автоматизовані із можливістю інтеграції в чинну систему диспетчеризації або з опцією віддаленого доступу через мережу Internet [29];

– датський концерн Grundfos A/S пропонує систему електрохлорування Selcoperm для обробки питної води. Система є повністю автоматизованою установкою з бездіафрагмовим прямопоточним електролізером з установкою пом'якшення води. Продуктивність установки отримання

розчину ГПХН від 110 до 2000 г/годину, відповідно, витрати сольового розчину (NaCl) від 1.7 до 30 л/годину. Концентрація NaOCl відповідно до потужності установки становить від 5 до 6.5 г/л з температурою не нижче 35 °C і рН 8–8.5. Значення напруги, що подається на електролізер, становить 27–30 В [30].

Але встановлення системи електрохлорування не вирішує проблему з вмістом хлорорганічних побічних продуктів у питній воді. Виходом з цієї ситуації є зміна інфраструктури діючих водоочисних споруд шляхом встановлення фільтрів з адсорбентом, наприклад активованим вугіллям. Адсорбція активованим вугіллям по суті є одним із засобів для видалення з питної води органічних галогенопохідних сполук і, зокрема, тригалометанів [31]. За даними [32] ступінь видалення хлорорганічних сполук дуже низька і становить від 10 до 50 %, але, якщо використовувати методику «посиленої коагуляції», ступінь видалення можна підвищити до 26–80 %. Використання методики «посиленої коагуляції» значно збільшить експлуатаційні витрати, але приємним бонусом буде зниження забарвленості та каламутності питної води.

Наразі на Смолінському ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград» проводяться лабораторні дослідження для покращення органолептичних та фізико-хімічних показників питної води. У першому випадку ведуться випробування із коагулянтами алюмофлок-CL та Dopaу Pac activis. У іншому випадку, для зниження загальної жорсткості, вирішено додати у технологічну схему стадію фільтрації через шар цеоліту. Використання цеоліту для пом'якшення води є недорогим та доступним методом. Крім того, він екологічно безпечний, з майже нульовим навантаженням шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Висновки

Показано, що водоканали в Україні дуже повільно переходять від одного традиційного дезінфектанту – рідкого хлору – до більш безпечних: гіпохлориту натрію та інших. В основному це пов'язано із підвищеними витратами на реактиви, переобладнанням станцій або із закупівлею установок для отримання гіпохлориту або діоксиду хлору.

References

[1] Nielsen, A.M., Garcia, L.A.T., Silva, K.J.S., Sabogal-Paz, L.P., Hincapié, M.M., Montoya, L.J., L. Galeano, Galdos-Balzategui, A., Reygadas, F., Herrera, C., Golden, S.,

Але перехід водоканалів із рідкого хлору на гіпохлорит натрію, діоксид хлору, а ще краще – на комбінацію знезаражувачів для покращення якості питної води – це гарна тенденція, яка вже спостерігається в Україні. Такий підхід до стадії знезараження питної води надає змогу точно підібрати найбільш ефективний метод для забезпечення тривалого і безпечного знезараження води, покращити смакові властивості води, автоматизувати процес знезараження води, зробити виробництво більш екологічним.

У роботі показано, що на Смолінському ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград» для покращення органолептичних та фізико-хімічних показників питної води потрібно вирішити дві проблеми.

По-перше, замінити рідкий хлор на покупний розчин гіпохлориту натрію, що вирішує проблему забезпечення екологічності, пожежо- та вибухобезпечності виробництва, але старіння розчину під час зберігання призводить до недоцільних економічних витрат. Впровадження автоматизованої системи електрохлорування для отримання розчину гіпохлориту натрію дозволить мінімізувати розпад розчину гіпохлориту натрію під час зберігання. Однак це не вирішує проблеми наявності хлорорганічних побічних продуктів у питній воді, що є причиною зниження органолептичних характеристик питної води. В цьому випадку підприємству слід розглянути більш відому і розповсюджену речовину для знезараження питної води – діоксид хлору, який має більшу біоцидну ефективність і до того ж характеризується відсутністю можливості утворення хлорорганічних сполук [11; 14; 15; 17]. Також доречно розглядати можливість запровадження на підприємстві комбінації різних дезінфектантів для знезараження води.

По-друге, для покращення органолептичних та фізико-хімічних показників питної води на Смолінському ВКГ ОКВП «Дніпро-Кіровоград» доцільно додати у чинну схему стадію коагуляції, а ще краще – запровадити наступну схему очищення природної води: посилена коагуляція, відстоювання, знезараження, фільтрація.

Byrne, J.A., Fernández-Ibáñez, P. (2022). Chlorination for low-cost household water disinfection – A critical review and status in three Latin American countries,

- International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 244, 114004.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114004>
- [2] Prokopov, V.O., Lypovetska, O.B., Zorina, O.V., Kulish, T.V., Sobol, V.A. (2020). The problem of organochlorine compounds in drinking water in the works of the ukrainian scientists (literary review and own research). *Environment & Health*, 3(96), 65–73.
<https://doi.org/10.32402/dovkil2020.03.065>
- [3] Al-Abri, M., Al-Ghafri, B., Bora, T., Dobretsov S., Dutta J., Castelletto S., Rosa, L., Boretti, A. (2019). Chlorination disadvantages and alternative routes for biofouling control in reverse osmosis desalination. *npj Clean Water*, 2, 2. doi:[10.1038/s41545-018-0024-8](https://doi.org/10.1038/s41545-018-0024-8)
- [4] Zorina, O., Protas, S. (2018). Hygienic assessment of tap water quality by sanitary-chemical parameters and improvement of the scientific methodological approaches of their assessment in accordance with the requirements of the european legislation. *ScienceRise Biological Science*, 4(13), 4–11.
<https://doi.org/10.15587/2519-8025.2018.140861>
- [5] Mohd, A.M, Nadeem, A.K, Surajuddin, A., Afzar, H.K., Azhar, H., Rahisuddin, Fazlollah, C., Mahmood, Y., Shahin, A., Viola, V. (2020). Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123159.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123159>
- [6] Nielsen, A.M., Garcia, L.A.T., Silva, K.J.S., Sabogal-Paz, L.P., Hincapié M.M., Montoya L.J., Galeano L., Galdos-Balzategui A., Reygadas F., Herrera C., Golden S., Byrne J.A., Fernández-Ibáñez, P. (2022). Chlorination for low-cost household water disinfection – A critical review and status in three Latin American countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 244.
<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114004>
- [7] Badawy, M., Gad-Allah, T., Ali, M., Yoon, Y. (2012). Minimization of the formation of disinfection by-products. *Chemosphere*, 89, 235–40.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.04.025>
- [8] Prokopov, V.O., Trush, Je.A., Kulish, T.V., Sobolj, V.A. (2016). [Toxic organo-chlorine compounds in the chlorinated drinking water of the Dnipro basin cities]. *Environment & health*, 2, 39–42 (in Ukrainian)
- [9] Richardson, S. (2003). Disinfection by-products and other emerging contaminants in drinking water. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 22(10), 666–684.
[https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(03\)01003-3](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(03)01003-3)
- [10] Mazhar, M. A., Khan, N. A., Ahmed, S., Khan, A. H., Hussain, A., Vambol, V. (2020). Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123159.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123159>
- [11] Babijenko, V.V., Mokijenko, A.V. (2022). [*Water disinfection: a course of lectures*], Odesa: Pres-kur'yer. (in Ukrainian)
- [12] Babadzhanova, O.F., Vojtovych, D.P., Lavrivskij, M.Z. (2018). Reducing the risk of water disinfection at filtration plants. *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 18, 109–116 (in Ukrainian). doi:[10.32447/20784643.18.2018.12](https://doi.org/10.32447/20784643.18.2018.12)
- [13] Hua, G., Reckhow, D. A. (2007). Comparison of disinfection byproduct formation from chlorine and alternative disinfectants. *Water Research*, 41(8), 1667–1678.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.032>
- [14] Vincenti, S., Chiara de Waure, Raponi, M, Teleman, A.A, Boninti, F., Bruno, S., Boccia, S., Damiani, G., Lauren, P. (2019). Environmental surveillance of Legionella spp. colonization in the water system of a large academic hospital: Analysis of the four-year results on the effectiveness of the chlorine dioxide disinfection method. *Science of The Total Environment*, 657, 248–253.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.036>
- [15] Kong, Q., Fan, M., Yin R., Zhang, X., Lei, Y., Shang, C., Yang, X. (2021). Micropollutant abatement and byproduct formation during the co-exposure of chlorine dioxide (ClO₂) and UVC radiation. *Journal of Hazardous Materials*, 419, 126424.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126424>
- [16] Wang, J., Shen, J., Ye, D., Yan, X., Zhang, Y., Yang, W., Li, X., Wang, J., Zhang, L., Pan, L. (2020). Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus disease (COVID-19) pandemic in China Environ. *Pollut. Environmental Pollution*, 262, 114665.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114665>
- [17] Xu, M., Lin, Y., Zhang, T., Hu, C., Tang, Y., Deng, J., Xu, B. (2022). Chlorine dioxide-based oxidation processes for water purification: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 436, 129195.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129195>
- [18] Kozhushko, Gh.M., Tkachenko, V. I., Ghusachenko, L.V. (2008). [Technology and installations for final disinfection of drinking water by ultraviolet radiation. *Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade*], 1(28), 128–133 (in Ukrainian).
- [19] Hua, G., Reckhow, D. (2007). Comparison of disinfection byproduct formation from chlorine and alternative disinfectants. *Water Research*, 41(8), 1667–1678.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.01.032>
- [20] [Municipal utility company Khmelnytskvodokanal] (in Ukrainian).
https://water.km.ua/?page_id=932
- [21] [Municipal enterprise "production department of water supply and sewerage facilities" of gorishneplavna city council of kremenchuk district, Poltava region] (in Ukrainian).
http://voda.pl.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=51:vdoskonalennya-sistemi-vodopostachannya-mista&catid=8:novyyny&month=6&year=2016&Itemid=103
- [22] [Kievvodokanal] (in Ukrainian).
[https://www.vodokanal.kiev.ua/upravl%D1%96nny-a-ekspluatacz%D1%96%D1%97-desnyansko%D1%97-vodoprov%D1%96dno%D1%97-stancz%D1%96%D1%97-\(ue-dvs\)](https://www.vodokanal.kiev.ua/upravl%D1%96nny-a-ekspluatacz%D1%96%D1%97-desnyansko%D1%97-vodoprov%D1%96dno%D1%97-stancz%D1%96%D1%97-(ue-dvs))
- [23] [Order of the ministry of health of Ukraine] 12.05.2010 № 400 (in Ukrainian).

- <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
- [24] [Order of the Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine approving the Instructions for the use of sodium hypochlorite for water disinfection in the systems of centralized drinking water supply and wastewater]. (in Ukrainian).
https://zakononline.com.ua/documents/show/278645_505318
- [25] Csordás, V., Bubnis, B., Fábrián, I., Gordon, G. (2001). Kinetics and Mechanism of Catalytic Decomposition and Oxidation of Chlorine Dioxide by the Hypochlorite Ion. *Inorganic Chemistry*, 40(8), 1833–1836. doi:10.1021/ic001106y
- [26] Adam, L.C., Gordon, G. (1999). Hypochlorite Ion Decomposition: Effects of Temperature, Ionic Strength, and Chloride Ion. *Inorg. Chem.*, 38, 1299–1304. doi: 10.1021/ic980020q
- [27] Determination of NaOCl concentration by density from company Solvay Chemicals International <http://www.sciencemadness.org/talk/files.php?pid=391303&aid=37353>
- [28] [Promtehvod] (in Ukrainian).
<https://promtehvod.ua/ua/ustanovki-bezperervnoiddii/>
- [29] [Linex] (in Ukrainian).
<https://linex.kiev.ua/ua/equipment/kompaktnaya-elektroliznaya-ustanovka-keu-1600-1600-g-hlora-v-chas>
- [30] [Grundfos Extranet] (in Ukrainian). <https://product-selection.grundfos.com/ua/products/disinfection-systems/selcoperm/selcoperm-ses-250-99788594?pumpsystemid=2217923854&tab=variant-specifications>.
- [31] Matilainen, A., Vieno, N., Tuhkanen, T. (2006). Efficiency of activated carbon filtration in the natural organic matter removal, *Environment International*, 32(3), 324–31.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2005.06.003>
- [32] Dlamini, S. P., Haarhoff, J., Mamba, B. B. Van Staden, S. (2013). The response of typical South African raw waters to enhanced coagulation. *Water Science and Technology: Water Supply*, 13(1), 20–28. doi:10.2166/ws.2012.071