

УДК 621.327

Семенов А. О.,

к.ф.-м.н., доц. кафедри товарознавства непродовольчих товарів Вищій навчальний заклад Укоопспілки "Полтавський університет економіки і торгівлі", м. Полтава

Кожушко Г. М.,

д.т.н., проф. кафедри товарознавства непродовольчих товарів Вищій навчальний заклад Укоопспілки "Полтавський університет економіки і торгівлі", м. Полтава

Дугніст Л. В.,

науковий співробітник науково-технічного центру, Вищій навчальний заклад Укоопспілки "Полтавський університет економіки і торгівлі", м. Полтава

Баля Л. В.,

к.т.н., доц. кафедри товарознавства продовольчих товарів, Вищій навчальний заклад Укоопспілки "Полтавський університет економіки і торгівлі", м. Полтава

Саприка О. В.,

д.т.н., проф. кафедри технотроніки і теоретичної електротехніки, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків

ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ КОМБІНОВАНИМИ МЕТОДАМИ – УФ-ВИПРОМІНЮВАННЯ В ПОЄДНАННІ З ІНШИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ

***Анотація.** В роботі представлені результати дослідження знезараження води УФ-випромінюванням у поєднанні з хлоруванням, озонуванням, із використанням ультразвуку та високих і низьких частот. При УФ-випромінюванні з хлоруванням дози УФ-опромінення для помітного зниження хлорвмісних речовин у кілька разів перевищують УФ-дози, необхідні для знезараження. При УФ-випромінюванні з ультразвуком великі енергетичні затрати. При УФ-випромінюванні з НВЧ-частотами основна частина електромагнітної енергії перетворюється на теплову. При УФ-випромінюванні з озонуванням можна досягти повної мінералізації органічних сполук, але при їх наявності УФ-випромінювання не дає ефекту через екранування озону оптично активними сполуками.*

Ключові слова: УФ-знезараження, комбіновані методи, озонування, хлорування, ультразвук, НВЧ-частоти.

Semenov A. O.,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Commodity Research of Non-food Products, Higher Educational Establishment of Ukoopsilka "Poltava University of Economics and Trade", Poltava

Kozhushko G. M.,

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Commodity Research of Non-food Products, Higher Educational Establishment of Ukoopsilka "Poltava University of Economics and Trade", Poltava

Dugnist. L. V.,

Researcher of Science and Technology Center, Higher Educational Establishment of Ukoopsilka "Poltava University of Economics and Trade", Poltava

Balia L. V.,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Commodity Research of Food Products, Higher Educational Establishment of Ukoopsilka "Poltava University of Economics and Trade", Poltava

Sapryka O. V.,

Doctor of Engineering, Professor, Professor of the Department of Technotronics and Theoretical Electrical Engineering, Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko, Kharkiv.

WATER DISINFECTION BY THE COMBINED METHODS – UV-RADIATION IN COMBINATION WITH OTHER TECHNOLOGIES

Abstract. The article presents the results of a study of water disinfection by UV-radiation in combination with chlorination, ozonation, using ultrasound, high and low frequencies. When UV-radiation applied with chlorination, the doses of UV-radiation for a appreciable reduction of chlorinated substances are several times exceeded, to reach appropriate disinfection. Using UV-radiation with ultrasound results in big energy costs. When UV-radiation used with microwave frequencies, the main part of electromagnetic energy is converted into the heat. Using the UV-radiation with ozone treatment can provide complete mineralization of organic compounds, but because of their presence, the UV-radiation has no effect due to shielding of ozone by optically active compounds.

Keywords: UV-disinfection, combined methods, ozone, chlorination, ultrasound, microwave frequencies.

Постановка проблеми. В середині ХХ століття для вирішення багатьох завдань у медицині, хімії, біології, матеріалознавстві і т. д., де хімічні методи виявилися з різних причин безсилі, застосування УФ-випромінювання дало можливість вирішити ряд завдань, розуміючи при цьому природу багатьох хімічних, фізичних і біологічних процесів на атомно-молекулярному рівні.

У 70-90-ті роки минулого століття почався інтенсивний пошук альтернативних способів знезараження води. Одним із найбільш ефективних та дієвих заходів виявився метод знезараження води за допомогою ультрафіолетового (УФ) опромінення [1, 2]. Цей розвиток став можливим завдяки розробці й промислового виробництва сучасних потужних високоефективних джерел УФ-випромінювання і пристроїв на їх основі, що дозволило розпочати їх широке використання у різних сферах діяльності людства.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Вчені різних країн останнім часом приділяють увагу УФ-знезараженню води, вдосконалюючи технологію і технологічне обладнання для вирішення комплексних задач [3]. Одним із таких напрямків є використання комбінованих методів, коли УФ-випромінювання поєднується з іншими фізичними і хімічними технологіями [3-16].

Спільне використання різних методів знезараження доцільно у випадках, якщо один із методів не володіє необхідною властивістю (наприклад, УФ-опромінення не забезпечує післядії, а хлор недостатньо ефективний відносно вірусів і найпростіших) або якщо спільне використання дозволяє інтенсифікувати процес впливу на об'єкт знезараження [3-8].

Іноколи спільна взаємодія хімічних і фізичних технологій для знезараження води передбачає сумарну дію комплексу дезінфектантів, які значно перевищують ефект окремих методів – синергетичний ефект [2].

Постановка завдання. Мета роботи полягає у дослідженні комбінованих методів – УФ-випромінювання в поєднанні з іншими фізичними і хімічними технологіями.

Розглянемо УФ-випромінювання у поєднанні з відомими фізичними і хімічними технологіями знезараження – комбіновані методи: УФ-випромінювання - хлорування, УФ-випромінювання – ультразвук, УФ-випромінювання - озонування та УФ-випромінювання з використанням низьких або високих частот.

Робота виконана у межах державної теми: “Дослідження та розробка вдосконалених конструкцій ультрафіолетових джерел випромінювання для установок фотохімічної і фотобіологічної дії”, № держреєстрації 0112U007433.

Виклад основного матеріалу дослідження.

УФ-опромінення в поєднанні з хлоруванням.

УФ-опромінення у поєднанні з хлоруванням широко застосовується при очищенні та знезараженні природних і промислових вод [3-5]. Поєднання УФ-обробки з хлоруванням у різних комбінаціях дозволяє істотно знизити концентрацію хлорорганічних сполук, забезпечити (в тому числі і від вірусів і найпростіших) знезараження води і зберегти пролонговану дію дезінфектанту при її подальшому транспортуванні або використанні в замкнутому циклі, а також значно зменшити витрату дезінфектанту. До речі, при оцінці ефекту спільної дії хлору і УФ-випромінювання при різних дозах показано відсутність взаємопідсилення знезаражувальної здатності [3].

У деяких випадках цікавим напрямком УФ-обробки води є видалення з неї залишкового хлору. Використання УФ-опромінення для дехлорування води – це відносно нова сфера застосування УФ-технології, хоча для руйнування вільного хлору у воді потрібні досить високі дози опромінення, в кілька разів вище, ніж для дезінфекції, а для руйнування хлорамінів – ще більші. Застосування УФ-опромінення для дехлорування води замість

обробки її сорбентами має певні переваги: в першу чергу одночасно відбувається знезараження води, і, крім того, не потрібні витратні матеріали і т. п.

Обробка хлорованої води ультрафіолетовим опроміненням призводить до зниження концентрації сполук хлору за рахунок фотолізу. Зниження концентрації цих сполук залежить від УФ-спектру та дози опромінення. Процес фотолізу залишкового хлору залежить від типу сполук, які присутні у воді. Залишковий хлор у воді може знаходитися у вигляді гіпохлорит іона, хлорноватистої кислоти, моно-, ди-, три- хлорамінів, хлорорганічних сполук. Співвідношення цих сполук хлору залежить від типу хлорреагента, рН води і концентрації азотвмісних сполук. Кожен із таких типів сполук хлору має свій пік поглинання УФ-випромінювання [4, 5].

Пік поглинання енергії сполуками хлору становить: монохлораміна – 245 нм; діхлораміна – 297 нм; тріхлораміна – 340 нм; хлороформу і тригалометана – 400 нм. Обробка хлорованої води високими дозами УФ-опромінення може призводити до зниження вмісту вільного хлору на 10-45%, зв'язаного хлору – до 10-15%, побічних продуктів хлорування – до 10-20%.

Типовими продуктами фотолізу є іони: Cl^- , H^+ , NO_3^- ; і NH_3 . В результаті фотолізу сполук хлору не фіксується утворення токсичних побічних продуктів. У загальному випадку лампи середнього тиску, що мають широкий спектр випромінювання, обумовлюють більш виражене зниження остаточного хлору, ніж лампи низького тиску. Для фотолізу використовуються дози опромінення, в кілька разів більші тих, які застосовуються для знезараження води, тому в діапазоні доз 25-40 мДж/см² вплив фотолізу на зниження концентрацій хлорвмісних речовин буде незначним.

У 2004 р. на водопровідній станції м. Санкт-Петербурга були проведені дослідження впливу УФ-опромінення з довжиною хвилі 254 нм на сполуки хлору [2]. Схема водопідготовки включає в себе: забір води з річки, амонізацію, хлорування гіпохлоритом натрію, коагуляцію, відстоювання, фільтрацію, УФ-знезараження. Залишковий хлор перед подачею води у мережу підтримується на рівні 0,8-1,2 мг/л. Після введення в експлуатацію блоку УФ-знезараження було відзначено збільшення витрати гіпохлориту натрію на 10%. Оцінка впливу високих доз (58 до 105 мДж/см²) УФ-випромінювання на сполуки хлору здійснювалася порівнянням зміни контролюючих показників до і після УФ-установок. Результати досліджень показали, що:

- залишковий активний хлор, який утворює при введенні в попередньо амонізовану воду гіпохлориту, повністю представлений у вигляді хлорамінів;
- під впливом УФ-опромінення дозами від 58 до 105 мДж/см² відбувається зниження вмісту загального активного хлору в середньому на 8%, максимальне зниження досягає 12%; таким чином на етапі УФ-опромінення відбувається зниження загального залишкового хлору в середньому на 0,1 мг/л;
- одночасно зі зниженням вмісту загального залишкового хлору відмічено зниження шкідливих хлорорганічних сполук на 4-8%.

При обробці хлорованої води високими дозами УФ-опромінення 150-500 мДж/см² відбувається зниження концентрації залишкового хлору до 10-45%. З'єднання зв'язаного хлору (хлораміни), як правило, більш стійкі до УФ-опромінення, ніж з'єднання вільного хлору.

УФ-опромінення в поєднанні з ультразвуковими технологіями. Для підвищення ефективності знезараження деякі дослідники пропонують використовувати ультразвук спільно з іншими методами.

Ультразвук – це пружні коливання і хвилі, частота яких вище 15-20 кГц [6]. При впливі ультразвуку на рідину виникають специфічні фізичні, хімічні та біологічні ефекти, такі як кавітація, капілярний ефект, диспергування, емульгування, дегазація, знезараження, локальний нагрів і багато інших [6].

УЗ-обробка води підвищує ефективність хлорування [7], озонування [8, 9] або використання хімічних речовин [10, 11], таких як перекис водню H_2O_2 або TiO_2 [12]. Ймовірними механізмами УЗ-впливу є інтенсифікація загального масообміну і руйнування зважених часток за рахунок доставки нових порцій окислювача в частинки, перемішування води біля поверхні кристалів TiO_2 і пошкодження мікроорганізмів при виникненні кавітації, що зменшує їх опірність по відношенню до окислювача.

Спільне використання УФ- та УЗ-обробки не володіє синергетичним ефектом [13, 14]. Внесок УЗ в інактивацію мікроорганізмів у порівнянні з УФ-впливом незначний. Механізм впливу УЗ-обробки стічної води до стадії УФ-знезараження полягає у тому, що УЗ руйнує великі зважені частинки, і ефективність знезараження УФ-випромінюванням мікроорганізмів, які перебували всередині, зростає [13]. Цей ефект не є синергетичним, тому УЗ-обробку можна провести до обробки УФ-випромінюванням.

У стічній воді містяться зважені речовини в кількості 2-20 мг/л, причому, на відміну від питної води, частинки з розмірами більше 50 мкм можуть становити основну частину [13]. УЗ-обробка стічної води протягом 5 с зменшувала кількість зважених часток із розмірами більше 50 мкм на 60% при 310 Вт/л. Це енергія 1550 Дж/л, що відповідає витратам 0,42 (кВтгод)/м³. Як впливає з досліджень, енергетичні витрати на додаткову УЗ-обробку в багато разів перевищують витрати на використання УФ-знезараження (0,05 кВтгод)/м³.

Тому для сучасних станцій знезараження стічної води енергетичні витрати на додаткову УЗ-обробку економічно не виправдані. У разі необхідності дуже глибокого знезараження простіше і дешевше застосувати традиційну доочистку з наступним УФ-знезараженням, застосування УФ-технології в традиційних схемах очищення стічних вод зазвичай достатньо для досягнення нормативних показників.

Поєднання УФ-опромінення з УЗ-обробкою для приготування питної води в загальному випадку також недоцільно, оскільки традиційні фізико-хімічні методи очищення води набагато дешевше за-

безпечують у ній високу УФ-прозорість, видаляючи при цьому частинки з великими розмірами.

При практичному виконанні витрати електроенергії на додаткову ультразвукову обробку істотно перевищують витрати енергії на УФ-випромінювання. Німецька фірма "Grunbeck Wasseraufbereitung" розробила і виробляє систему "GRUNBECK GENO Break System IV" з ультразвуковим та ультрафіолетовим випромінюваннями, проте компанія чітко заявляє, що система призначається спеціально для знищення легіонел та їх проміжних хазяїв амеб у системах гарячої води. Додаткова обробка ультразвуком необхідна для руйнування часток накипу або окалин у воді і руйнування амеб, а знезараження проводиться УФ-випромінюванням. Ці системи призначені на витрати води 4 і 8 м³/год, витрата енергії становить на УФ-лампи 75 або 225 Вт відповідно і 500 Вт на ультразвукове джерело. Таким чином, витрата енергії на ультразвук істотно перевищує витрату енергії на УФ-джерело. Оскільки це невеликі системи, то в них проблема енергозбереження не постає так гостро, як у системах підготовки води в промислових масштабах.

При використанні УЗ слід також враховувати процеси, що можуть вплинути на конструкцію установок, режим експлуатації, експлуатаційні витрати. З можливих негативних процесів при використанні ультразвуку слід звернути увагу на підвищену ерозію під дією кавітації і можливість руйнування конструкційних матеріалів. Мала довжина хвилі (менше декількох сантиметрів) обумовлює променевиї характер розповсюдження УЗ-хвиль, які при попаданні на неоднорідності ведуть себе так, як світлові пучки, що відбиваються, заломлюються, розсіюються. Крім того, відзначимо: строк служби УФ-ламп низького тиску, що використовуються у більшості систем УФ-знезараження, під дією ультразвуку можуть мати значно менший ресурс.

Комбіноване опромінення УФ та НВЧ-хвилями. Альтернативою для реагентних способів знезараження питної води можуть бути різні електрохімічні методи: оброблення води змінним електричним струмом, дія надзвичайно високих частот (НВЧ), високих частот (ВЧ) та низьких частот (НЧ) тощо.

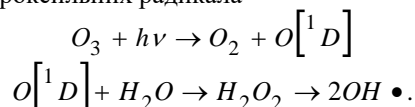
Досі не існує достатніх доказів безпосереднього впливу НВЧ-поля на мікробну клітину [15, 16]. Бактерицидний ефект пояснюється безпосередньою взаємодією електромагнітного поля з життєво важливими елементами клітини. Результатом цього є загибель або пригнічення її життєдіяльності.

На основі численних досліджень було встановлено, що бактерії у слабких електролітах гинуть при частоті електромагнітного поля порядку 10-30 МГц, а особливо ефективно спостерігається ефект при 60 МГц. Було висунуто припущення, що летальний вплив НВЧ-енергії на мікроорганізми слід віднести до теплового фактору. Встановлено, що оброблення при низьких температурах не призводить до інактивації мікроорганізмів. Відомо, що тривалість оброблення залежить від потужності НВЧ-поля. На практиці швидкість НВЧ-нагрівання

характеризується або теплою нагрівання, або тривалістю обробки. Аналізуючи вищесказане, слід зазначити перспективність застосування НВЧ, але значна вартість та складність обладнання, виникнення температурної неоднорідності, необхідність створення рівномірності поля, а також підвищені вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу обмежують застосування способу НВЧ-обробки води.

УФ-опромінення в поєднанні з озонуванням.

УФ-опромінення молекул розчиненого у воді озону призводить до його часткового розкладання з утворенням радикалів атомарного кисню та OH [2]. Їх реакційна здатність (окислення) у багато разів вище, ніж у озону. Коефіцієнт екстинкції O_3 на довжині хвилі 254 нм дорівнює 3300 л / (моль · см), і він набагато вище, ніж у H_2O_2 [18,6 л / (моль см)]. Приблизно швидкість розпаду озону в 1000 разів вище, ніж у H_2O_2 . Поглинання УФ-випромінювання призводить до фотолізу озону з утворенням високоактивного радикала синглетного кисню, потім до утворення пероксиду водню і його фотодисоціації на два гідроксильних радикала



Безсумнівно, ці радикали ефективно беруть участь у процесі знезараження, але насамперед витрачаються на окислення інших органічних і неорганічних домішок у воді.

В даний час доведено, що існує три шляхи реакції $УФ/O_3$, що призводять до генерації гідроксильних радикалів $\cdot OH$ через утворення збуджених атомів кисню, перекису водню і 146ер гідроксильних іонів. Насправді існує набагато більше шляхів генерації вільних радикалів, але складність хімічного процесу не дозволяє в деталях вивчити всі хімічні реакції, їх кінетику і процес напрацювання гідроксильних іонів.

Процес знезараження води комбінованим методом УФ-випромінювання в поєднанні з озоном застосовується при очищенні певних типів води для розкладання складних органічних домішок. Ці процеси ефективно відбуваються при дуже високих УФ-дозах 500-600 мДж/см², що набагато більше, ніж необхідно для глибокого знезараження. Озонування як потужна комплексна окислювальна технологія очищення води може застосовуватися разом із УФ-технологією [3]. Попереднє озонування води з наступним її очищенням значно покращує прозорість води для УФ-випромінювання (природно, що при цьому також відбувається процес знезараження озоном), що робить застосування ультрафіолетового знезараження більш економічним.

Озонування води насамперед вирішує завдання фізико-хімічної очистки, дозволяє знизити витрати реагентів, забезпечує первинний бар'єр від мікробного забруднення. Озонування води перед УФ-знезараженням [2] вже багато років застосовується на двох великих станціях Фінляндії (Pitkakoski і Vanhakaupunki), що постачають питну воду м. Гельсінкі,

на канадській станції Coquitlam, що входить у систему водопостачання.

Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі. Таким чином, проведений аналіз комбінованих методів дає можливість відмітити всі позитивні й негативні сторони методів, а саме:

1. УФ-випромінювання з хлоруванням. Дози УФ-опромінювання для помітного зниження хлорвмісних речовин у кілька разів перевищують УФ-дози, необхідні для знезараження. Фотоліз сполук хлору не супроводжується утворенням небажаних побічних продуктів. Більше того, поряд зі зниженням залишкового хлору, відбувається зниження шкідливих хлорорганічних сполук.

2. УФ-випромінювання з ультразвуком. Великі енергетичні затрати, відсутність нормативних документів, що регламентують використання методу, роблять спосіб УЗ-знезараження неконкурентоспроможним для промислового використання.

3. УФ-випромінювання з НВЧ-частотами. При використанні струмів високої частоти (ВЧ) середовище нагрівається і немає контакту з джерелом електроенергії. Основна частина електромагнітної енергії перетворюється на теплову, при цьому спостерігається діелектричне нагрівання. Застосування цього методу виявилось дорожчим, ніж традиційні методи, тому він не рекомендований для широкого практичного застосування.

4. УФ-випромінювання в поєднанні з озонуванням. Використовуючи технологію УФ / О₃, можна досягти повної мінералізації органічних сполук з коротким молекулярним ланцюгом (щавлева кислота, мурашина кислота та ін.). Якщо водні розчини містять органічні сполуки, абсорбуючі УФ-світло, то УФ-випромінювання зазвичай не дає ніякого ефекту через екранування озону оптично активними сполуками.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мейер А. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике. / А. Мейер, Э. Зейтц; [пер. с нем.]. – М. : Иностран. лит., 1952. – 574 с.

2. Ультрафиолетовые технологии в современном мире : коллективная монография / Ф. В. Кармазинов, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, С. В. Храменков (ред.) – Долгопрудный : Издат. Дом “Интеллект”, 2012. – 392 с.

3. Гончарук В. В. Современное состояние проблемы обеззараживания воды / В. В. Гончарук, Н. Г. Потапченко // Химия и технология воды. – 1998. – Т. 20. – №2. – С. 191-217.

4. Повышение эффективности локальных очистных сооружений сточных вод за счет применения комбинированных электрофизических методов воздействия / О. О. Ахмедова, С. Ф. Степанов, А. Г. Сошитов, К. Н. Бахтияров // Современные проблемы науки и образования. – 2009. – № 5. – С. 56-60.

5. Загорский В. А. Обеззараживание сточных вод / В. А. Загорский, М. Н. Козлов, Д. А. Данило-

вич // Третий международный конгресс “Вода: экология и технология” ЭКВАТЕК - 98. – Москва, 1998. – С. 400-401.

6. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике / Бергман Л.; [под ред. В. С. Григорьева и Л. Д. Розенберга; пер. с нем.]. – [2-е изд.]. – М. : Изд. иностран. лит., 1957. – 726 с.

7. Шахматова Р. А. Исследование биологической активности озона для гидробионтов / Р. А. Шахматова, П. В. Курилкин // 7 Всес. симпоз. по современ. пробл. прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования : тезисы докл. – Таллин, 1985. – С. 78-79.

8. Алексеева Л. П. Применение озона в технологии подготовки питьевой воды / Л. П. Алексеева, В. Л. Драгинский // Башкир. хим. журн. – 1994. – Т. 1. – № 4. – С. 35-40.

9. Кинетические закономерности микроорганизмов под действием озона / Т. В. Трухачева, В. Б. Гаврилов, Г. А. Малама, В. А. Астахов // Микробиология. – 1992. – Т. 61. – №4. – С. 660-665.

10. Blume T. Improving chlorine disinfection of wastewater by ultrasound application / T. Blume, U. Neis // Water Sci. Technol. – 2005. – V. 52. – № 10-11. – P. 139-144.

11. Dadjour M. F. Disinfection of Legionella pneumophila by ultrasonic treatment with TiO₂ / M. F. Dadjour, C. Ogino, S. Matsumura, S. Nakamura, N. Shimizu // Water Res. – 2006. – V. 40, № 6. – P. 1137-1142.

12. Иванова О. Е. Инактивация энтеровирусов в сточной воде озонном / О. Е. Иванова, М. В. Богданов, В. А. Казанцева // Вопросы вирусологии. – 1983. – Т. 28, № 6. – С. 693-697.

13. Нижник Т. Ю. Про застосування полімерного реагента неокислювальної дії для обробки стічних вод та створення системи оборотного водопостачання на підприємстві / Т. Ю. Нижник // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2010. – № 2. – С. 35-42.

14. Пащенко А. В. Перспективы применения растворимых биоцидных полимеров для обеззараживания городских сточных вод / А. В. Пащенко // Научный вестник строительства. – Х. : ХДТУБА, ХОТВ АБУ. – 2002. – Вып. 18. – С. 264-268.

15. Шлифер Э. Д. Устройство комбинированной СВЧ УФ озонной бактерицидной обработки жидких, газообразных и твердофазных объектов / Э. Д. Шлифер // Светотехника. – 2004. – № 6. – С. 46-50.

16. Іванько О. М. Знезараження стічних вод – сучасний погляд на проблему / О. М. Іванько, В. В. Бабієнко, Г. В. Кримець // Актуальні проблеми транспортової медицини. – 2013. – №2 (32). – С. 54-63.

REFERENCES

1. Meier, A., Zeitts, E. (1952), *Ultrafoletovoe yzluchenye. Poluchenye, yzmerenye y prymenenye v medytsyne, byolohyy y tekhnyye*. [Ultra-violet radiation. Receiving, measurement and application in medicine, biology and equipment], Ynostr. lyt, Moscow, Russia.

2. Karmazynov, F. V. Kostiuchenko, S. V. Kudriavtsev, N. N. and Khramenkov S. V. (2012), *Ultra-fioletovye tekhnolohyy v sovremennom myre: Kollektivnaya monohrafiya* [Ultra-violet technologies in the modern world: Collective monograph], Yntellekt, Dolhoprudnyi, Russia.
3. Honcharuk, V. V. and Potapchenko, N. H. (1998), "Current state of a problem of disinfecting of water", *Khymiya y tekhnolohiya vody*, vol. 20, no. 20, pp. 191-217.
4. Akhmedova, O. O. Stepanov, S. F. Soshytov, A. H. Bakhtyarov, K. N. (2009), "Increase of efficiency of local treatment facilities of sewage for a set of application of the combined electrophysical methods of influence", *Sovremennyye problemy nauky y obrazovaniya*, no. 5, pp. 56-60.
5. Zahorskiy, V. A. Kozlov, M. N. Danylovyh D. A. (1998), "Disinfecting of sewage", *Tretyi mezhdunarodnyi konhress "Voda: ekolohiya y tekhnolohiya" ЭКВАТЕК-98* [Tretyi mezhdunarodnyi konhress "Voda: ekolohiya y tekhnolohiya"], Moscow, Russia, 1998, pp. 400-401.
6. Berhman, L. (1957), *Ultrazvuk y eho prymerenye v nauke y tekhnike* [Ultrasound and its application in science and equipment], Yzd. ynostr. Lyt, Moscow, Russia.
7. Shakhmatova, P. A. (1985), "Research of biological activity of ozone for hydrobionts", *7 Vses. simpoz. po sovremen. probl. prohnozyrovaniya, kontrolia kachestva vody vodoemov y ozonyrovaniya* [7 Vses. simpoz. on sovremen. probl. prognokzirovaniye, quality control of water of reservoirs and ozonization], Tallyn, Russia, pp. 78-79.
8. Alekseeva, L. P. and Drahynskiy, V. L. (1994), "Kinetic regularities of microorganisms under the influence of ozone", *Bashkyr. khym. zhurn.*, vol. 1, no.4, pp. 35-40.
9. Trukhacheva, T. V. Havrylov, V. B. Malama, H. A. and Astakhov, V. A. (1992), "Kinetic regularities of microorganisms under the influence of ozone", *Mykrobiyolohiya*, vol. 61, no. 4, pp. 660-665.
10. Blume, T. (2002), "Improving chlorine disinfection of wastewater by ultrasound application", *Water Sci. Techno*, vol. 52, no. 10-11, pp. 139-144.
11. Dadjour, M. F. Ogino, C. Matsumura S., Nakamura S. and Shimizu N. (2006) "Disinfection of Legionella pneumophila by ultrasonic treatment with TiO₂", *Water Res*, vol. 40, no. 6, pp. 1137-1142.
12. Yvanova, O. V. Bohdanov, E. M. and Kazantseva, V. A. (1983) "Inactivation of enterovirus in sewage ozone" *Voprosy vyirusolohyy*, vol. 28, no. 6, pp. 693-697.
13. Nyzhnyk, T. Iu. (2010), "On the application of polymer oxidation reagent steps to wastewater treatment and water recycling system creation for the enterprise", *Voda i vodoochysni tekhnolohii. Naukovo-tekhnichni visti*, no. 2, pp. 35-42.
14. Pashchenko, A. B. (2002), "Prospects of use of soluble biocidal polymers for disinfecting of city sewage", *Naukovyi visnyk budivnytstva*, no. 18, pp. 264-267.
15. Shlyfer, E. D. (2004), "The device of the ozonic bactericidal processing of liquid, gaseous and solid-phase objects combined by the UF microwave oven", *Svetotekhnika*. no. 6, pp. 46-50.
16. Ivanko, O. M. Babienks, V. V. and Krynets, H. V. (2013), "Disinfection of wastewater - a modern approach to the problem", *Aktualnye problemy transportnoi medytyny*, vol. 32, no. 2, pp. 54-63.