

10. Кобрин, В. Н. Система управления экологической безопасностью при утилизации твердых бытовых и производственных отходов [Текст] / В. Н. Кобрин, Н. В. Нечипорук, В. В. Вамболь // *Екологічна безпека*. — 2014. — Вып. 2(18). — С. 25–30.
11. Шахов, Ю. В. Математическая модель энерготехнологической установки для разделения многокомпонентных газовых смесей [Текст]: сб. науч. пр. / Ю. В. Шахов, И. И. Петухов, В. В. Вамболь // *Вісник НТУ «ХП»*. Сер. Математичне моделювання в техніці та технологіях. — 2015. — № 41(1150). — С. 134–139.
12. Вамболь, С. А. Матмодель расчета сепаратора и компрессора блока разделения газовых смесей при утилизации отходов [Текст] / С. А. Вамболь, Ю. В. Шахов, В. В. Вамболь, И. И. Петухов // *Технологический аудит и резервы производства*. — 2016. — № 1/1(27). — С. 50–53. doi:10.15587/2312-8372.2016.58619
13. Вамболь, С. А. Математическое описание процессов разделения газовых смесей, образующихся при термической утилизации отходов [Текст] / С. А. Вамболь, Ю. В. Шахов, В. В. Вамболь, И. И. Петухов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. — 2016. — № 1/2(79). — С. 35–41. doi:10.15587/1729-4061.2016.60486

МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС ПРОЦЕСІВ В УСТАНОВЦІ ПОДІЛУ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ

Подано систему рівнянь матеріального і енергетичного балансу для розрахунку стаціонарного режиму роботи енерготехнологічної установки низькотемпературного поділу багатоконпонентних вуглеводневих сумішей, що утворилися при газифікації відходів. Отримано компонентний склад потоків: один — паливний газ, придатний для підтримання процесу газифікації відходів, два інших — компримований продукт (аналог автомобільного компримованого природного газу).

Ключові слова: утилізація, відходи, екологічна безпека, математичне моделювання, багатоконпонентні вуглеводневі суміші, низькотемпературний поділ.

Вамболь Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной механики, Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина.

Шахов Юрий Васильевич, старший научный сотрудник, кафедра аэрокосмической теплотехники, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Вамболь Виола Владиславовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра химии, экологии и экспертных технологий, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина, e-mail: violavambol@gmail.com.

Петухов Илья Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра аэрокосмической теплотехники, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Вамболь Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной механики, Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков, Украина.

Шахов Юрий Васильевич, старший научный сотрудник, кафедра аэрокосмической теплотехники, Национальный аэрокосмический университет им. М. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Вамболь Виола Владиславовна, кандидат технических наук, доцент, кафедра химии, экологии та экспертных технологий, Национальный аэрокосмический университет им. М. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Петухов Илья Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра аэрокосмической теплотехники, Национальный аэрокосмический университет им. М. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Украина.

Vambol Sergij, National University of Civil Protection of Ukraine, Kharkiv, Ukraine.

Shakhov Yurij, Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine.

Vambol Viola, Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: violavambol@gmail.com.

Petukhov Ilya, Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine.

УДК 621.327

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.71486

**Семенов А. О.,
Кожушко Г. М.,
Сахно Т. В.**

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

В роботі представлені результати дослідження знезараження води УФ-випромінюванням в поєднанні з іншими фізичними безреагентними і хімічними реагентними технологіями. Проведенні дослідження УФ-методу в поєднанні з хлоруванням, озонуванням, з використанням ультразвуку та високих і низьких частот. Вказані переваги і недоліки комбінованих методів.

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

1. Вступ

Вода — це найбільш важливий компонент життя всіх живих організмів. Вона є невід'ємним показником для рослинного і тваринного світів, а також і для самої лю-

дини. Якість води визначається комплексом її хімічних, біологічних компонентів та фізичних властивостей, які зумовлюють придатність води для водокористування [1].

У середині ХХ сторіччя почався інтенсивний пошук альтернативних способів знезараження води. Одним

з найбільш ефективних та дієвих заходів, виявився метод знезараження води за допомогою ультрафіолетового (УФ) опромінення [4].

Вчені різних країн останнім часом приділяють увагу УФ-знезараженню води, вдосконалюючи технологію і технологічне обладнання для вирішення комплексних задач. Одним із таких напрямків є використання комбінованих методів, поєднуючи УФ-випромінювання з іншими фізичними і хімічними технологіями.

Спільне використання різних методів знезараження доцільно у випадках, якщо один з 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.

Інколи спільна взаємодія хімічних і фізичних технологій для знезараження води передбачає сумарну дію комплекс дезінфектантів, які значно перевищують ефект окремих методів, для цього введено поняття синергетичного ефекту [2].

Актуальність роботи обумовлена необхідністю дослідження та пошуку альтернативних методів знезараження води для забезпечення її бактерицидної безпеки. Ефективним методом бактерицидного знезараження води є використання технології УФ-випромінювання [3, 4], яка потребує вдосконалення при вирішенні комплексних задач. Одним із таких напрямків, на думку авторів статті, є використання комбінованих методів, поєднуючи УФ-випромінювання з різними фізичними і хімічними технологіями.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

УФ-опромінення в поєднанні з хлоруванням широко застосовується при очищенні та знезараженні природних і промислових вод [5–7]. Поєднання УФ-обробки з хлоруванням в різних комбінаціях дозволяє істотно знизити концентрацію хлороорганічних 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.

Для підвищення ефективності знезараження деякі дослідники пропонують використовувати ультразвук спільно з іншими методами.

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 [8]. УЗ-обробка води підвищує ефективність хлорування [9], озонування [10, 11] або використання хімічних речовин [12, 13], таких як перекис водню H_2O_2 або TiO_2 [14]. Ймовірним механізмом 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 [15, 16], що зменшує їх опірність по відношенню до окислювача.

Процес знезараження води комбінованим методом УФ-випромінювання в поєднанні з озоном застосову-

ється при очищенні певних типів води для розкладання складних органічних домішок. Ці процеси ефективно йдуть 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 з УФ-технологією [5]. Попереднє озонування води, з наступним її очищенням, значно покращує прозорість води для УФ-випромінювання (природно, що при цьому також йде процес знезараження озоном), що робить застосування ультрафіолетового знезараження більш економічним.

Альтернативою для реагентних способів знезараження питної вод 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 [17, 18]. Бактерицидний ефект пояснюється безпосередньою взаємодією електромагнітного поля з життєвоважливими елементами клітини. Результатом цього є загибель або пригнічення її життєдіяльності.

3. Об'єкт, мета і задачі дослідження

Об'єкт дослідження — комбіновані методи УФ-опромінення води та процеси при бактерицидному знезараженні.

Мета роботи полягає в дослідженні комбінованих методів — УФ-випромінювання в поєднанні з іншими фізичними і хімічними технологіями: УФ-випромінювання — хлорування, УФ-випромінювання — ультразвук, УФ-випромінювання — озонування та УФ-випромінювання з використанням низьких або високих частот.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Дослідити ефективність спільної дії УФ-випромінювання і хлору при знезараженні води.
2. Встановити доцільність та безпечність використання УФ-опромінення і ультразвукових технологій при знезараженні води.
3. Дослідити вплив електрохімічних методів — надзвичайно високих частот (НВЧ) на життєдіяльність мікробної клітини та особливості використання цього методу знезараження.
4. Встановити необхідність комбінування УФ-опромінення в поєднанні з озонуванням та вплив УФ-опромінення на молекули озону.

4. Результати дослідження комбінованих методів

4.1. УФ-опромінення в поєднанні з хлоруванням. 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, одночасне знезараження води, і, крім того, не потрібні витратні матеріали і т. п.

Обробка хлорованої води ультрафіолетовим опроміненням приводить до зниження концентрації сполук хлору за рахунок фотолізу. Зниження концентрації цих сполук залежить від УФ-спектру та дози опромінення. Процес фотоліза 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 з цих типів сполук хлору має свій пік поглинання УФ-випромінювання [6, 7].

Пік поглинання енергії сполуками хлору становить: монохлораміна — 245 нм; діхлораміна — 297 нм; трихлораміна — 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 в 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 на 0,1 мг/л в середньому;
- 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.

До речі, при оцінці ефекту спільної дії хлору і УФ-випромінювання при різних дозах показано відсутність взаємопідсилення знезаражувальної здатності [5].

4.2. УФ-опромінення в поєднанні з ультразвуковими технологіями. Спільне використання УФ- та УЗ-обробки не володіє синергетичним ефектом [15, 16]. Внесок УЗ в інактивацію мікроорганізмів у порівнянні з УФ-впливом незначний. Механізм впливу УЗ-обробки стічної води до стадії УФ-знезараження полягає в тому, що УЗ руйнує великі зважені частинки, і ефективність знезараження УФ-випромінюванням мікроорганізмів, які перебували всередині, зростає [15]. 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 [16]. УЗ-обробка стічної води протягом 5 с зменшувала кількість зважених часток з розмірами більше 50 мкм на 60 % при 310 Вт/л. Це енергія 1550 Дж/л, що відповідає витратам 0,42 (кВт·год)/м³. Як випливає з цих досліджень, енергетичні витрати на додаткову УЗ-обробку в багато разів перевищують витрати на використання УФ-знезараження — 0,05 (кВт·год)/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 дешевшим чином забезпечують в 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 в 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 стоїть так гостро, як в системах підготовки води в промислових масштабах.

При використанні УЗ слід також враховувати процеси, що можуть вплинути на конструкцію установок, режим експлуатації, експлуатаційні витрати. Із 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, відмітимо, що строк служби УФ-ламп низького тиску, що використовуються в більшості систем УФ-знезараження, під дією ультразвуку можуть мати значно менший ресурс.

4.3. Комбіноване опромінення УФ та НВЧ-хвилями.

На основі численних досліджень було встановлено, що бактерії в 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 вище сказане, 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.

4.4. УФ-опромінення в поєднанні з озонуванням. При УФ-опроміненні молекул розчиненого у воді озону призводить до його часткового розкладання з утворенням радикалів атомарного кисню і ОН [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 $\bullet OH$ через утворення збуджених атомів кисню, перекису водню і пергідроксильних 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.

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 в систему водопостачання.

5. Обговорення результатів дослідження комбінованих методів

Отримані результати дають уявлення про особливості використання кожного із комбінованих методів.

З представлених результатів дослідження комбінованих методів — комбінації УФ-випромінювання з різними фізичними і хімічними технологіями: ультразвук, озон, хлорування, НВЧ-хвилями слідує, що досягти бажаних результатів бактерицидного знезараження води можна при використанні кожного з них, але їх застосування потребує вивчення і розуміння технологічного процесу, що вимагає детальних досліджень.

Ефективність кожного із досліджених методів визначається за результатами бактеріологічного аналізу і об'єкта, його чистоти, кількості зважених частинок, наявних домішок, ступеня знезараження і т. д. Запропоновані УФ-комбіновані методи бактерицидного знезараження можуть бути використанні для знезараження не тільки питної і сточної води, а для різних об'єктів агропромислового комплексу, харчової і медичної промисловостей.

В попередніх роботах [3, 4] авторами статті проведені дослідження використання УФ-випромінювання при бактерицидному знезараженні води, в подальшому планується провести дослідження використання комбінованих методів для знезараження води, а також знезараження різних об'єктів у водній суспензії з розміром частинок кілька мікрон.

6. Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено:

1. При оцінці ефекту спільної дії хлору і УФ-випромінювання показано відсутність взаємопідсилення знезаражування. Дози УФ-опромінення для помітного зниження хлорвмісних речовин в кілька разів перевищують УФ-دوزи, необхідні для знезараження, що економічно не вигідно. Крім того, фотоліз сполук хлору не супроводжується утворенням небажаних побічних продуктів.

2. Спільне використання УФ- та УЗ-обробки не володіє синергетичним ефектом, що дає можливість проводити УЗ-обробку до УФ-опромінювання, але великі енергетичні затрати та відсутність нормативних документів, що регламентують використання методу, роблять спосіб УЗ-знезараження неконкурентоспроможним для промислового використання.

3. Бактерицидний ефект при використанні струмів високої частоти (ВЧ) пояснюється взаємодією електромагнітного поля з життєво важливими елементами клітини. Основна частина електромагнітної енергії перетворюється на теплову. Застосування цього методу виявилось дорожчим, ніж традиційні методи, тому він не для широкого практичного використання.

4. Використання озонування води забезпечує первинний бар'єр від мікробного забруднення і дозволяє знизити кількість реагентів. Процес знезараження води комбінованим методом УФ-випромінювання в поєднанні з озоном застосовується при очищенні певних типів води для розкладання складних органічних домішок і може успішно використовуватися в промислових масштабах.

Таким чином комбіновані методи УФ-випромінювання з іншими фізичними і хімічними технологіями (ультра-

звук, хлорування, НВЧ-хвилі) дають можливість вирішувати складні, конкретні задачі в лабораторних умовах, а для промислового використання можна застосовувати тільки озонування з УФ-опроміненням. Найбільшого ефекту і безпечності використання можна досягти при їх послідовному застосуванні, озонування, а потім УФ-опромінення.

Література

1. Мейер, А. Ультрафиолетовое излучение. Получение, измерение и применение в медицине, биологии и технике [Текст]: пер. с нем. / А. Мейер, Э. Зейтц. — М.: Издательство иностранной литературы, 1952. — 574 с.
2. Кармазинов, Ф. В. Ультрафиолетовые технологии в современном мире [Текст]: коллективная монография / Ф. В. Кармазинов, С. В. Костюченко, Н. Н. Кудрявцев, С. В. Храменков. — Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2012. — 392 с.
3. Semenov, A. A. Device for germicidal disinfection of drinking water by using ultraviolet radiation [Text] / A. A. Semenov, G. M. Kozhushko, T. V. Sakhno // Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика». — 2016. — № 1(81). — С. 77–80.
4. Semenov, A. Ultraviolet disinfection of drinking water: Role of the camera's geometry and degree of mixing water during irradiation in laminar flow [Text] / A. Semenov, T. Sakhno, N. Barashkov // 251st American Chemical Society National Meeting and Exposition «Division of Environmental Chemistry». — San Diego, 13–17 March 2016.
5. Гончарук, В. В. Современное состояние проблемы обеззараживания воды [Текст] / В. В. Гончарук, Н. Г. Потапченко // Химия и технология воды. — 1998. — Т. 20, № 2. — С. 191–217.
6. Ахмедова, О. О. Повышение эффективности локальных очистных сооружений сточных вод за счет применения комбинированных электрофизических методов воздействия [Текст] / О. О. Ахмедова, С. Ф. Степанов, А. Г. Сошитов, К. Н. Бахтияров // Современные проблемы науки и образования. — 2009. — № 5. — С. 56–60.
7. Загорский, В. А. Обеззараживание сточных вод [Текст] / В. А. Загорский, М. Н. Козлов, Д. А. Данилович // Третий международный конгресс ЭКВАТЕК-98 «Вода: экология и технология». — Москва, 1998. — С. 400–401.
8. Бергман, Л. Ультразвук и его применение в науке и технике [Текст]: пер. с нем. / Л. Бергман; под ред. В. С. Григорьева, Л. Д. Розенберга. — 2-е изд. — М.: Издательство иностранной литературы, 1957. — 726 с.
9. Шахматова, Р. А. Исследование биологической активности озона для гидробактерий [Текст]: тез. докл. / Р. А. Шахматова, П. В. Курилкин // 7 Всесоюзный симпозиум по современной проблеме прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования. — Таллин, 1985. — С. 78–79.
10. Алексеева, Л. П. Применение озона в технологии подготовки питьевой воды [Текст] / Л. П. Алексеева, В. Л. Драгинский // Башкирский химический журнал. — 1994. — Т. 1, № 4. — С. 35–40.
11. Трухачева, Т. В. Кинетические закономерности микроорганизмов под действием озона [Текст] / Т. В. Трухачева, В. Б. Гаврилов, Г. А. Малама, В. А. Астахов // Микробиология. — 1992. — Т. 61, № 4. — С. 660–665.
12. Blume, T. Improving chlorine disinfection of wastewater by ultrasound application [Text] / T. Blume, U. Neis // Water Sci. Technol. — 2005. — Vol. 52, № 10–11. — P. 139–144.
13. Farshbaf Dadjour, M. Disinfection of Legionella pneumophila by ultrasonic treatment with TiO₂ [Text] / M. Farshbaf Dadjour, C. Ogino, S. Matsumura, S. Nakamura, N. Shimizu // Water Research. — 2006. — Vol. 40, № 6. — P. 1137–1142. doi:10.1016/j.watres.2005.12.047
14. Иванова, О. Е. Инактивация энтеровирусов в сточной воде озонем [Текст] / О. Е. Иванова, М. В. Богданов, В. А. Казанцева // Вопросы вирусологии. — 1983. — Т. 28, № 6. — С. 693–697.
15. Нижник, Т. Ю. Про застосування полімерного реагента неокислювальної дії для обробки стічних вод та створення системи оборотного водопостачання на підприємстві [Текст] / Т. Ю. Нижник // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. — 2010. — № 2. — С. 35–42.
16. Пащенко, А. В. Перспективы применения растворимых биоцидных полимеров для обеззараживания городских сточных вод [Текст] / А. В. Пащенко // Научный вестник строительства. — 2002. — Вып. 18. — С. 264–268.
17. Шлифер, Э. Д. Устройство комбинированной СВЧ УФ озонной бактерицидной обработки жидких, газообразных и твердофазных объектов [Текст] / Э. Д. Шлифер // Светотехника. — 2004. — № 6. — С. 46–50.
18. Іванько, О. М. Знезараження стічних вод — сучасний погляд на проблему [Текст] / О. М. Іванько, В. В. Бабієнко, Г. В. Кримець // Актуальні проблеми транспортної медицини. — 2013. — № 2(32). — С. 54–63.

ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ ВОДЫ КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ — УФ-ИЗЛУЧЕНИЕ В СОЧЕТАНИИ С ДРУГИМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

В работе представлены результаты исследования обеззараживания воды УФ-излучением в сочетании с другими физическими безреагентными и химическими реагентными технологиями. Проведены исследования УФ-метода в сочетании с хлорированием, озонированием, с использованием ультразвука и высоких и низких частот. Указаны преимущества и недостатки комбинированных методов.

Ключевые слова: УФ-излучение, УФ-обеззараживание, комбинированные методы, озонирование, хлорирование, ультразвук, СВЧ-частоты.

Семенов Анатолий Олексійович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, кафедра товарознавства непродовольчих товарів, Полтавський університет економіки і торгівлі, Україна, e-mail: a-semenov@li.ru.

Кожушко Григорій Мефодійович, доктор технічних наук, професор, кафедра товарознавства непродовольчих товарів, Полтавський університет економіки і торгівлі, Україна.

Сахно Тамара Вікторівна, доктор хімічних наук, професор, кафедра товарознавства непродовольчих товарів, Полтавський університет економіки і торгівлі, Україна.

Семенов Анатолий Алексеевич, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра товароведения непродовольственных товаров, Полтавский университет экономики и торговли, Украина.

Кожушко Григорий Мефодиевич, доктор технических наук, профессор, кафедра товароведения непродовольственных товаров, Полтавский университет экономики и торговли, Украина.

Сахно Тамара Викторовна, доктор химических наук, профессор, кафедра товароведения непродовольственных товаров, Полтавский университет экономики и торговли, Украина.

Semenov Anatoly, Poltava University of Economics and Trade, Ukraine, e-mail: a-semenov@li.ru.

Kozhushko Gregory, Poltava University of Economics and Trade, Ukraine.

Sakhno Tamara, Poltava University of Economics and Trade, Ukraine