

## Технологія і організація виробництва

УДК 628.31

### МОБІЛЬНА ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВА УСТАНОВКА ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ЗВАЛИЩ ПРОМИСЛОВИХ І ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ВІД ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ ОЗОНУ ТА УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

I.I. Назаренко<sup>1</sup>, С.М. Шаляпін<sup>2</sup>, Т.С. Шаляпіна<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Київський національний університет будівництва і архітектури,  
03680, Повітрофлотський просп., 31, Київ, Україна, i\_nazar@i.ua

<sup>2</sup> ТОВ «Харківська інженерна компанія»  
61072, м. Харків, пр-т Науки, 60

**АНОТАЦІЯ.** Доведена висока ефективність роботи мобільної установки для вирішення глобальних проблем охорони навколишнього середовища та ліквідації антропогенних технологічних факторів. Показана ефективність установки при детоксикації стічних вод, яка може бути використана для знешкодження токсичних стоків звалищ побутових та промислових відходів, стічних вод хімічних та фармацевтичних підприємств, утилізації застарілих пестицидів та мінеральних добрив, що прийшли в непридатність, для знешкодження непридатних лікарських препаратів, тощо.

**Ключові слова:** мобільна установка, детоксикація, ефективність, очищення стоків, озон, ультрафіолетове випромінювання

### МОБИЛЬНАЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКА ОЧИСТКИ СТОКОВ СВАЛКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ОТ ТОКСИЧНЫХ Веществ с использованием озона и ультрафиолетового ИЗЛУЧЕНИЯ

I.I. Назаренко<sup>1</sup>, С.Н. Шаляпин<sup>2</sup>, Т.С. Шаляпина<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Киевский национальный университет строительства и архитектуры,  
03680, Воздухофлотский просп., 31, Киев, Украина, i\_nazar@i.ua

<sup>2</sup> ООО «Харьковская инженерная компания»  
61072, м. Харьков, пр-т Науки, 60

**АННОТАЦИЯ.** Доказана высокая эффективность работы мобильной установки для решения глобальных проблем охраны окружающей среды и ликвидации антропогенных технологических факторов. Показана эффективность установки при детоксикации сточных вод, которая может быть использована для обезвреживания токсичных стоков свалок бытовых и промышленных отходов, сточных вод химических и фармацевтических предприятий, утилизации устаревших пестицидов и минеральных удобрений, пришедшие в негодность, для обезвреживания непригодных лекарственных препаратов и тому подобное.

**Ключевые слова:** мобильная установка, детоксикация, эффективность, очистки стоков, озон, ультрафиолетовое излучение

### MOBILE RESEARCH INDUSTRY INSTALLATION OF WASTE CLEANING OF INDUSTRIAL AND DOMESTIC WASTE FROM TOXIC SUBSTANCES WITH USE OF OZONE AND ULFRAPHYOLETE RADIATION

I.I. Nazarenko<sup>1</sup>, S.M. Chaliapin<sup>2</sup>, T.S. Chaliapina<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kyiv National University of Construction and Architecture  
03680, Povitroflotsky ave., 31, Kiev, Ukraine, i\_nazar@i.ua



<sup>2</sup> LLC "Kharkiv Engineering Company"  
61072, Kharkov, Prospect Nauki, 60

**ABSTRACT.** *The high efficiency of the mobile installation for the solution of global environmental problems and the elimination of anthropogenic technological factors has been proved. The efficiency of the unit for detoxification of sewage is shown, which can be used for the disposal of toxic waste from household and industrial wastes, sewage of chemical and pharmaceutical enterprises, utilization of outdated pesticides and mineral fertilizers that have become unfit for the disposal of unfit medicines, etc.*

**Key words:** *mobile installation, detoxification, efficiency, sewage treatment, ozone, ultraviolet radiation*

**Постановка проблеми дослідження.** Однією з найбільш актуальних завдань, пов'язаних з охороною навколишнього середовища є проблема знешкодження токсичних стічних вод, що утворюються в процесі життєдіяльності людини, наприклад, стічні води різних звалищ, полігонів побутових та промислових відходів, стічні води підприємств хімічної і фармацевтичної промисловості та інші. Як правило, такі стічні води містять велику кількість токсичних органічних речовин, отрутохімікатів, пестицидів, фенолів та ін., які не тільки забруднюють навколишнє середовище, а й шкідливо впливають на здоров'я людини. Також велику загрозу для здоров'я людини несуть техногенні аварії, що супроводжуються залповим забрудненням джерел питної води високотоксичними сполуками (наприклад, проблема, пов'язана із забрудненням питної води в містах і населених пунктах). Не слід також забувати про можливість терористичних актів, які можуть призвести до отруєння джерел питної води токсичними речовинами, або патогенними мікроорганізмами.

**Викладення основного матеріалу.** Потенційними забруднювачами навколишнього середовища можуть бути:

- хлорвуглеводні (ДДТ, гексахлорциклогексан, мірекс, ендосульфат і т.д.);
- фосфорорганічні сполуки (такі як дихлофос, карбофос, хлорофос);
- синтетичні піретроїди (перметін, циперметін, децис);
- похідні карбамінової кислоти (карбаріл, карбофуран, кронетон, альдікарб);
- похідні сечовини (хлорсульфурон, хлорімурон тіасульфурон та інші).

Їх небезпека полягає в можливості накопичення в об'єктах живої природи; великому періоді напіврозпаду; метаболізмі і потенційно можливими екологічними катастрофами (людський фактор), які пов'язані з умовами зберігання і використання.

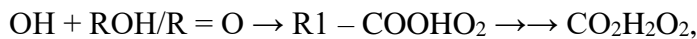
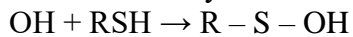
Ефективна робота очисних споруд по очищенню від токсичних забруднень стічних вод звалищ, полігонів побутових та промислових відходів, підприємств хімічної і фармацевтичної промисловості, є важливим завданням. Тому на сьогоднішній день одним із головних завдань, які стоять перед розробками сучасних технологій очищення стічних вод, є завдання, пов'язане з розробкою ефективних і недорогих методів знешкодження токсичних стічних вод.

Метою проведених досліджень є розробка ефективного методу окисної деструкції високотоксичних, з'єднань і дезінфекції стічної води і повітря від патогенних мікроорганізмів, заснованого на застосуванні спільного впливу озону і інтенсивного ультрафіолетового опромінення.

Озон є сильним і екологічно безпечним окиснювачем, який ефективно руйнує токсичні речовини, які знаходяться в стічних водах, здійснюючи при цьому їх знезараження. Досвід застосування озону для очищення господарчо-побутових та промислових стоків показав, що озон ефективно розкладає більшість токсичних органічних речовин. А у сукупності з ультрафіолетовим опромінюванням ефективність руйнуючої дії озону значно збільшується. На цьому принципі засновано відносно новий напрямок очищення рідких токсичних речовин, який має назву методу активного окислення - ADVANCED OXIDATION PROCESSES (AOP). В основі цього методу, знаходиться принцип з'єднання хімічних і фізичних методів окислювального процесу, що значно підвищує ефективність знешкодження розчинених токсичних речовин, які знаходяться в стічних водах, і забезпечують високу ефективність знезараження стоків [1]. Накопичений в різних країнах

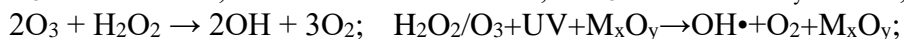
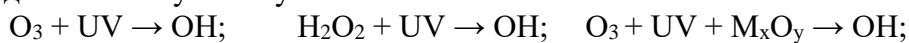
досвід досліджень процесів очищення стічних вод від складних органічних забруднень показує, що до найбільш перспективних методів їх очищення від токсичних речовин, відноситься деструкція, заснована на використанні в якості окиснювача озону, а в якості катализатора, ультрафіолетового випромінювання. Застосування ультрафіолетового випромінювання спільно з озонуванням дозволяє не тільки істотно знизити концентрацію озону, необхідну для розкладання органічної речовини, а й істотно підвищити глибину його розкладання.

Суть методу активного фотохімічного окислення (Advanced Oxidation Process) можна коротенько записати у вигляді:



где R – органічний компонент.

Основним окиснювачем при використанні активного окислення виступають гідроксильні радикали, які утворюються у стоках, за рахунок процесу фотолітичного розкладання молекул озону:



где UV – ультрафіолетове випромінювання;  $\text{M}_x\text{O}_y$  - катализатор.

Радикали, які утворюються в результаті фотолітичного окиснювання, мають значно вищий окиснювальний потенціал (2,6 В), що у 1,25 раз більше окиснювального потенціалу озону (2,07 В), та перевищує окиснювальний потенціал хлору (1,36 В) у 1,91 раз.

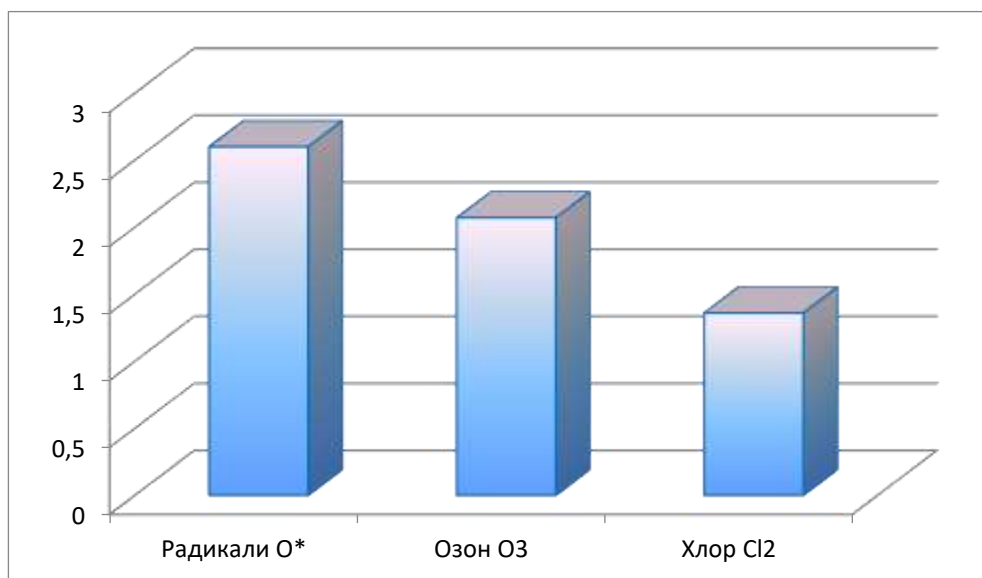


Рис. 1. Окиснювальні потенціали радикалів O\*, озону O<sub>3</sub>, хлору Cl<sub>2</sub>

Табл. 1. Хімічний склад радикалів, які утворюються у процесі фотолітичних реакцій

№	Хімічний склад	Вміст, %
1	Радикали O*+O <sub>3</sub>	66,7
2	Гідроксильні радикали	14,7
3	Діоксид водню HO <sub>2</sub>	6,3
4	Перекис водню H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	5,9
5	Атомарний кисень O	4,4
6	Інші окиснювачі	2
7	Оксиди азоту NO <sub>x</sub>	0,1

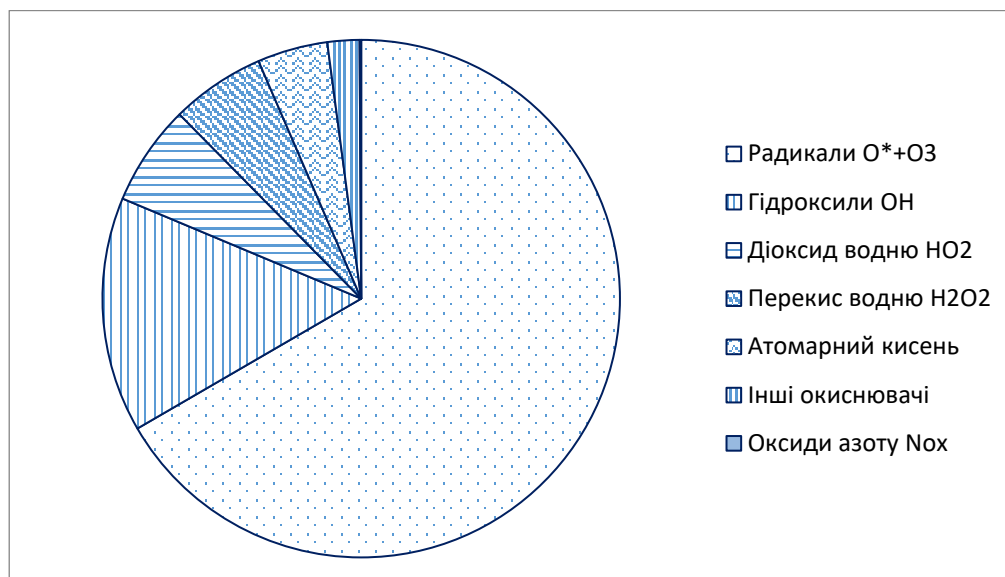


Рис. 2. Хімічний склад радикалів, які утворюються у процесі фотолітичних реакцій

Крім того, озон та радикали, які утворюються в результаті вищезгаданих процесів, можуть ефективно реагувати з органічними сполуками при дуже високих швидкостях реакцій окиснення, що дозволяє суттєво зменшити витрати на знешкодження токсичних стоків. Слід зауважити, що одною з чисельних переваг методу активного окиснювання є можливість повного або часткового руйнування токсичних забруднень у стічних водах при температурі навколишнього середовища шляхом їх перетворення в різні нешкідливі проміжні або кінцеві продукти, такі як: карбонові кислоти, двоокис вуглецю, кисень, вода і інші [1-3].

Метод фотохімічного очищення стічних вод, у складі яких знаходилися токсичні речовини, був випробуваний на мобільній дослідно - промисловій установці, яка наведена на рис. 1.



Рис. 3. Мобільна дослідно-промислова установка очищення стічних вод від токсичних речовин

Установка складалася з реактора, де відбувався первинний контакт стоків з озоном, генератора озону, фотохімічного реактора, фільтрів для попереднього та фінішного очищення стоків, компресору, насосів та шафи управління.

Блок-схема очищення стоків наведена на рис. 4.

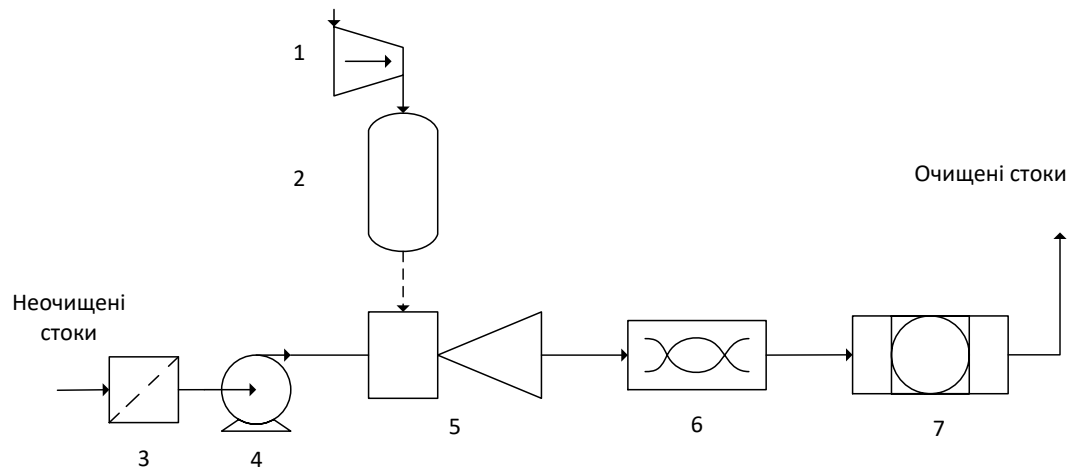


Рис. 4. Технологічна блок-схема очищення токсичних стоків на промислово-дослідній установці:

1 – компресор, 2 – генератор озону, 3 – фільтр, 4 – насос, 5 – інжектор, 6 – камера змішування, 7 – фотохімічний реактор.

На початку очищення стічні води поступають до фільтрувальної установки 3, де відбувається їх очищення від завислих речовин. Далі очищені стоки за допомогою насоса подаються до інжектору 5, де відбувається їх насичення озоном, який утворюється за допомогою озонатора 2. Насичені озоном стоки поступають у камеру змішування 6, де відбувається контакт озону з токсичними органічними речовинами, які присутні у цих стоках. Після цього стічні води поступають до фотохімічного реактору 7, де відбувається процес їх детоксикації, знезараження та знебарвлення.

Для відпрацювання режимів роботи установки було проведено ряд випробувань, метою яких було вивчення ефективності очищення стоків від токсичних речовин. У якості токсичних речовин були вибрані доступні у вільному продажу пестициди. Результати проведених експериментів відображені у таблиці 2.

Табл.2. Обробка стічних вод при комплексній дії УФ опромінювання та озону

№	Параметр	Забруднююча токсична речовина			
		Карбофос	Ампіцилін	Прометрин	2,4-D
1	Початкова концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	78,5	82,7	95,0	89,7
2	Кінцева концентрація, мг/дм <sup>3</sup>	3,06	2,15	4,28	5,0
3	Концентрація озону, мгО <sub>3</sub> /дм <sup>3</sup>	10,0	10,0	10,0	10,0
4	Доза УФ опромінення, кДж/м <sup>2</sup>	250	250	250	250
5	Температура рідини, °С	26,5	25,8	25,7	26,3
6	Ступінь очищення, %	<b>96,1</b>	<b>97,4</b>	<b>95,5</b>	<b>94,3</b>

Як видно з отриманих результатів, при сумісному застосуванні УФ опромінення та озонування ефективність знешкодження токсичних речовин різко збільшується і перевищує 94%. Слід зразу зауважити, що ефективність знешкодження можна значно підвищити, як що використовувати більш велику кількість озону, та підвищити інтенсивність УФ



опромінювання, або збільшити час обробки стічних вод. В результаті роботи мобільної установки відбувається повне або майже повне очищення і знезараження стічних вод, до складу яких входять токсичні забруднення, з отриманням продуктів наступних класів безпеки: тверда фаза - 3 - 4 клас небезпеки; рідинна фаза - нетоксична технічна вода [1-4].

Для оцінки ефективності очищення стоків був також використаний метод контролю ефективності очищення за ХПК.

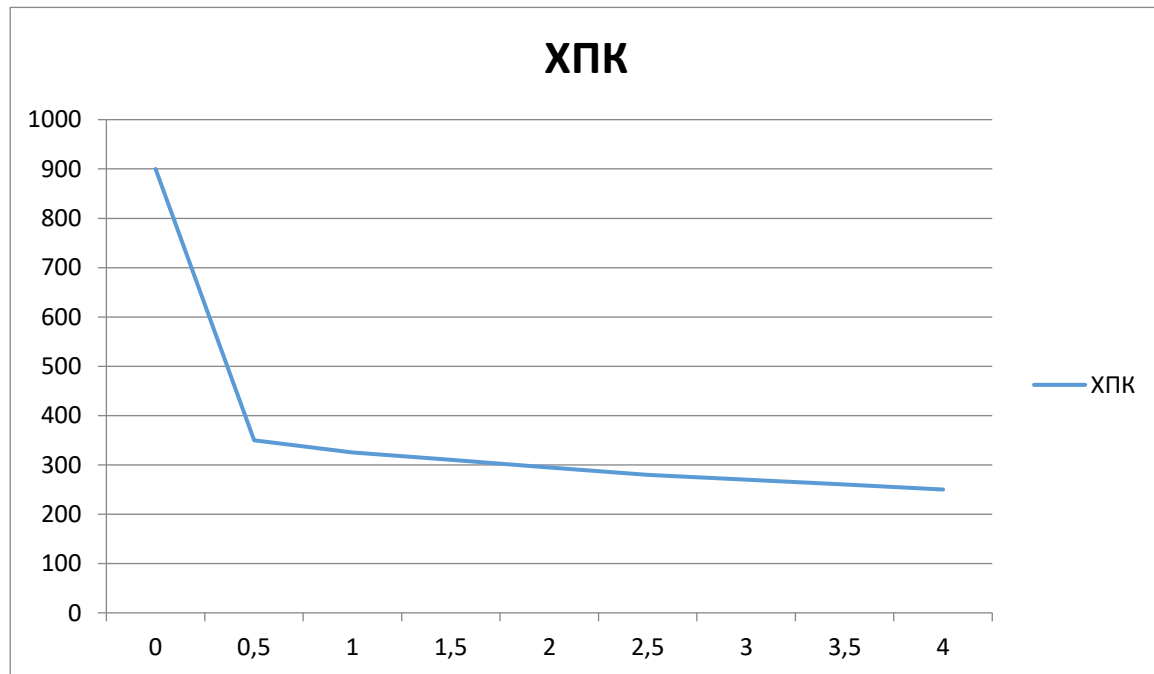


Рис. 5. Зниження ХПК штучно забруднених токсичними речовинами стоків протягом 4 годин роботи мобільної дослідної установки

Як видно з цієї діаграми, на протязі першої півгодини роботи установки відбувається стрибок ХПК з 950 до 350 мг/дм<sup>3</sup>, далі йде поступове, близьке до лінійного, зменшення ХПК. На протязі 4 годин відбувається зменшення ХПК з 350 до 250 мг/дм<sup>3</sup>.

Проведені дослідження показали, що спільне використання ультрафіолетового опромінювання разом з озонуванням забезпечує зниження рівня забруднення стічних вод токсичними речовинами з ефективністю більше 94%. Це дозволяє розглядати цей метод у якості ефективного засобу очищення стічних вод від токсичних органічних речовин. Невеликі витрати електроенергії (1,0 – 1,5) кВт·годин/м<sup>3</sup>, простота та компактність обладнання дозволяють розглядати метод активного окиснювання як такий, що придатний для вирішення проблеми детоксикації та знезараження токсичних стоків.

Проведена робота показала досить високу ефективність роботи мобільної установки при детоксикації стічних вод, що дозволяє її рекомендувати для знешкодження токсичних стоків звалищ побутових та промислових відходів, стічних вод хімічних та фармацевтичних підприємств, утилізації застарілих пестицидів та мінеральних добрив, що прийшли в непридатність, для знешкодження непридатних лікарських препаратів, тощо. А також для вирішення глобальних проблем охорони навколишнього середовища та ліквідації антропогенних технологічних факторів.

За час проведення дослідних робіт були розроблені прототипи озонатора та фотохімічного реактору, які будуть використані при подальших роботах у цьому напрямку. На базі розробленого озонатора розроблена та готується до серійного випуску кілька моделей озонаторів продуктивністю 25, 50, 100, 200, 300, 500 та 1000 гО<sub>3</sub>/годину.

Робота проводилася в ініціативному порядку за рахунок власних коштів.

## Література

1. Тарасов В.В. Фотохимическое окисление органических веществ в водных растворах - Физическая химия растворов / В.В. Тарасов, Г.С. Баранкова. – М.: МИФИ, 2004, С. 173 - 174.
2. Архипов В.П., Камруков А.С., Овчинников П.А., Теленков И.И., Шашковский С.Г., Яловик М.С. Патент РФ RU2031851. Способ очистки сточных вод от органических веществ.
3. Нечаев И.А., Верещагина Л.М.; Байкова С.А.; Логунова А.Ю. Патент РФ 2246450. Способ очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений.
4. Олейник И.С., Шаляпин С.М. Патент на полезную модель № 32038. Система для очистки сточных вод от токсичных веществ.
5. Эпоян С.М. Ультрафіолетові установки для знезараження стічних вод та шляхи їх вдосконалення / С.М. Эпоян, І.Ю. Штонда, С.М. Шаляпин, Т.С. Шаляпина, О.Л. Зубко, Ю.І. Штонда // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. - 2015. - Вип. 1(79). - С. 237 – 241.
6. Шаляпін С.М. Застосування УФ опромінення для знезараження стічних вод на малих очисних спорудах. / С.М. Шаляпін, Ю.І. Штонда, Т. С. Шаляпина // Виробничо – практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – Київ – 2013. - №2/13. – С. 14-19.
7. Шаляпін С.М. Порівняння різних методів знезараження стічних вод / С.М. Шаляпін, Ю.І. Штонда, Т.С. Шаляпина // Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – 2013. – №3/13. – С. 20-25.
8. Штонда Ю.И. Обеззараживание сточных вод на локальных очистных сооружениях / Ю.И. Штонда, С.Н. Шаляпин, И.Ю. Штонда, Т.С. Шаляпина // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, IX міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта 09-13 вересня 2013 р, Збірник наукових статей. Харків: «Райдер». - 2013. - Т. 1. - С. 282 – 287.
9. Эпоян С.М. Обеззараживание сточных вод на локальных очистных сооружениях при использовании ультрафиолетового излучения / С.М. Эпоян, И.Ю. Штонда, Ю.И. Штонда, С.Н. Шаляпин, Т.С. Шаляпина, А.Л. Зубко // Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin - Rzeszow. – 2013. – Volume 15 №6. – С. 85-92.
10. Дегтярь М.В. Деструктивные методы очистки сточных вод полигонов твёрдых бытовых отходов. – Науковий вісник будівництва, С. 172 – 175.

## References

1. Tarasov, V.V., Barankova, G.S. (2004). *Fotokhimicheskoye okisleniye organicheskikh veshchestv v vodnykh rastvorakh. Fizicheskaya khimiya rastvorov [Photochemical oxidation of organic substances in aqueous solutions. - Physical chemistry of solutions]*. Moscow: MIFI, 173 - 174. - (in Russian)
2. Arkhipov, V.P.; Kamrukov, A.S.; Ovchinnikov, P.A.; Telenkov, I.I.; Shashkovskiy, S.G., Yalovik M.S. Patent RF RU2031851. *Sposob ochistki stochnykh vod ot organicheskikh veshchestv*. - (in Russian)
3. Nechayev, I.A., Vereshchagina, L.M.; Baykova, S.A.; Logunova, A.U. Patent RF 2246450. *Sposob ochistki stochnykh vod ot trudnookislyayemykh organicheskikh soyedineniy*. - (in Russian)
4. Oleynik, I.S., Shalyapin, S.M. *Patent na poleznuyu model' № 32038. Sistema dlya ochistki stochnykh vod ot toksichnykh veshchestv*. - (in Russian)
5. Epoyan, S.M., Shtonda, I.U. Shalyapin, S.M., Shalyapina, T.S., Zubko, O.L., Shtonda, U.I. (2015). *Ul'trafiioletovi ustanovki dlya znezarazhennya stichnykh vod ta shlyakhi ikh vdoskonalennya [Ultraviolet devices for disinfection of sewage and ways of their improvement]. Naukoviy visnik budivnitstva [Scientific Bulletin of Construction]. 1(79). 237–241. - (in Ukrainian)*
6. Shalyapin, S.M., Shtonda, U.I., Shalyapina, T.S. (2013). *Zastosuvannya UF oprominennya dlya znezarazhennya stichnykh vod na malikh ochisnykh sporudakh [Application of UV irradiation for disinfection of sewage at small treatment facilities]. Virobnicho – praktichniy zhurnal «Vodopostachannya ta vodovidvedennya» [Production and practical magazine "Water supply and drainage"], 2/13, 14-19. - (in Ukrainian)*
7. Shalyapin, S.M., Shtonda, U.I., Shalyapina, T.S. (2013). *Porivnyannya riznykh metodiv znezarazhennya stichnykh vod [Comparison of various methods of disinfection of sewage]. Virobnicho –*



*praktichnyy zhurnal «Vodopostachannya ta vodovidvedennya» [Production and practical magazine "Water supply and drainage"]*, 3/13, 20-25. - (in Ukrainian)

8. Shtonda, U.I., Shalyapin, S.N., Shtonda, I.U., Shalyapina, T.S. (2013, September).

Obezrazhivaniye stochnykh vod na lokal'nikh ochistnykh sooruzheniyakh [Disinfection of wastewater at local treatment facilities]. *Yekologichna bezpeka: problemi i shlyakhi virishennya, IKH mizhnarodna naukovo-praktichna konferentsiya [Ecological safety: problems and solutions, IX international scientific and practical conference]*. Kharkiv: «Rayder», 1, 282 – 287. - (in Russian)

9. Epoyan, S.M., Shtonda, I.U., Shtonda, U.I., Shalyapin, S.N., Shalyapina, T.S., Zubko, A.L. (2013). Obezrazhivaniye stochnykh vod na lokal'nikh ochistnykh sooruzheniyakh pri ispol'zovanii ul'trafioletovogo izlucheniya [Disinfection of wastewater at local treatment facilities using ultraviolet radiation]. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*, 15 (6), 85-92. - (in Russian)

10. Degtyar', M.V. Destruktivnyye metody ochistki stochnykh vod poligonov tvordykh bytovykh otkhodov [Destructive methods of wastewater treatment of landfills of solid household waste]. *Naukoviy visnik budivnitstva [Scientific Bulletin of Construction]*, 172 – 175. - (in Russian)

Надійшло до редакції 25.04.2016 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Яковенко В.Б.