

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



Вронська Наталія Юріївна

УДК 628.166: 628.166.085: 66.067.8.081.3

**ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ БАКТЕРІАЛЬНОГО
ЗАБРУДНЕННЯ ГІДРОСФЕРИ КОМПЛЕКСНИМИ
ФІЗИКО-АДСОРБЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ
ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД**

21.06.01 - Екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка»
Міністерства освіти та науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мальований Мирослав Степанович,
Національний університет «Львівська
політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри екології та збалансованого
природокористування

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Вамболь Сергій Олександрович,
Національний університет цивільного захисту
України
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри прикладної механіки

кандидат технічних наук
Стокалюк Олег Володимирович,
Львівський державний університет безпеки
життєдіяльності
Державної служби України з надзвичайних
ситуацій,
начальник відділу заочного та дистанційного
навчання

Захист відбудеться 05 липня 2016 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.22 в Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 130, аудиторія 105.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «01» червня 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради к.т.н., доцент



В.В. Сабадаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У зв'язку із розширеним спектром забрудників водних ресурсів традиційно застосовувані технології обробки води стали, у більшості випадків, недостатньо ефективними. В значній мірі це пов'язано і з тим, що очисні споруди не завжди забезпечують необхідну ефективність очищення стоків, а недостатньо очищені стоки в свою чергу створюють значне антропогенне навантаження на гідросферу. Значною мірою це стосується бактеріального забруднення води, яке спричиняє розвиток хвороботворних бактерій і, відповідно, виникнення різноманітних захворювань у людей не тільки в процесі використання води та продуктів харчування, у виробництві яких вона використовувалась, але й під час контакту людини із поверхневими водами. Відомо, що для будь-якої екосистеми не допустиме введення не властивих для неї мікроорганізмів, небезпечними для гідросфери є і понаднормове збільшення кількості мікроорганізмів, які в ній існують, оскільки це порушує баланс в екосистемі та призводить до негативних наслідків. Тому дослідження доцільності впровадження сучасних технологій знезараження стічних вод, які потрапляють після очисних споруд у гідросферу, а також очищення зворотної води для потреб промисловості (зокрема харчової) є актуальним завданням для забезпечення екологічної безпеки гідросфери (у першому випадку) та продуктів харчування (у другому). Важливим є використання таких технологій очищення, які б не вносили додаткових забруднень у процесі реалізації та були енергетично ефективними. Виходячи з цього, досліджувались технології очищення води від бактеріальних забруднень із застосуванням ультрафіолетового опромінювання (УФО), ультразвукової кавітації (УЗК), адсорбції природними сорбентами, а також інтегровані технології, які включають поєднання цих процесів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає науковому напрямку кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» і виконувалась згідно з тематикою науково-дослідницької роботи кафедри «Природоохоронні технології очищення рідинних середовищ адсорбційними (селективними) методами», № державної реєстрації 0111U003993.

Мета і задачі дослідження. Мета роботи – підвищення екологічної безпеки гідросфери шляхом впровадження сучасних технологій очищення стічних вод від бактеріальних забруднень.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

– провести аналіз методів очищення стоків від бактеріальних забруднень;

- експериментально дослідити процес інактивації мікроорганізмів різних видів шляхом застосування перспективних технологій очищення (УЗК та УФО);
- побудувати математичну модель процесу очищення стоків від бактеріальних забруднень із застосуванням найбільш перспективного методу;
- дослідити ефективність очищення стоків від бактеріальних забруднень різними типами природних сорбентів;
- дослідити перспективні комплексні технології інактивації мікроорганізмів із використанням УЗК, УФО та адсорбційного доочищення із застосуванням природних сорбентів;
- провести апробацію технології очищення від бактеріальних забруднень реальних стічних вод;
- розробити технологічні схеми та алгоритм розрахунку процесів промислового очищення стоків від бактеріальних забруднень та апробувати процес у промислових умовах.

Об'єкт дослідження – екологічна безпека поверхневих вод.

Предмет дослідження – УФО, УЗК, адсорбційні та комбіновані процеси очищення стічних вод від бактеріальних забруднень.

Методи досліджень. Методологічна основа теоретичних досліджень базується на використанні системного науково-обґрунтованого аналізу систем управління екологічною безпекою. В експериментальних дослідженнях використовувалося визначення загальної кількості мікроорганізмів за показниками загального мікробного числа та титру кишкової палички трифазним бродильним методом. Обробка результатів експериментів проводилась з використанням математичного програмування в пакеті MS Excel. Для оцінки адекватності математичної моделі досліджуваним процесам використовувались статистичні оцінки отриманих залежностей.

Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і результатів. Наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертаційній роботі, є теоретично обґрунтованими, а їх достовірність підтверджено результатами експериментальних досліджень. Адекватність експериментальних досліджень теоретичним моделям підтверджується задовільними статистичними оцінками відхилень експериментальних залежностей від теоретичних. Достовірність результатів підтверджується застосуванням сучасної виміральної техніки та відтворюваністю експериментальних даних. Отримані автором результати корелюються із результатами інших авторів.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі досліджень дисертантом отримано такі наукові результати:

1. Уперше запропоновано комбіновану УФО-адсорбційну технологію для очищення стічних вод від бактеріальних забруднень, що дає можливість значно підвищити ступінь очищення і мінімізувати екологічну небезпеку забруднення гідросфери.

2. Уперше запропоновано математичну модель процесу знезараження стоків ультрафіолетовим опромінюванням, ідентифікація якої експериментальним даним дозволила встановити значення коефіцієнтів інактивації дією УФО, які можуть бути використані для розрахунку реальних процесів.

3. Уперше встановлено оптимальні параметри реалізації УФО та комбінованої УФО-адсорбційної технології очищення стічних вод від мікробіологічних забруднень на основі аналізу експериментальних даних, що дає можливість розробити технічні рішення для реалізації технологій на практиці з ціллю забезпечення екологічної безпеки гідросфери.

4. Набули подальшого розвитку дослідження технологічних аспектів процесів очищення стоків від бактеріальних забруднень із застосуванням ультрафіолетового опромінювання та ультразвукової кавітації.

Практичне значення одержаних результатів. Аналіз даних експериментальних досліджень дав змогу розробити та запропонувати для впровадження комплексну УФО-адсорбційну технологію очищення стічних вод від бактеріальних забруднень, на що отримано 1 патент України. Результати дисертаційної роботи передано у ВАТ «ГРХІМПРОМ» для використання в проектуванні нових технологій знезараження стічних вод, що підтверджується відповідним актом впровадження. Результати дисертаційних досліджень використані в лекційних курсах та практичних роботах з дисципліни «Технології та устаткування для очищення промислових стічних вод» кафедри екології та збалансованого природокористування Національного університету «Львівська політехніка» для студентів спеціальності 7.04010601 «Екологія та охорона навколишнього середовища».

Особистий внесок здобувача. Здобувачем опрацьовано аналіз літературних джерел за темою дисертаційної роботи. Особисто проведено лабораторні та експериментальні дослідження, математично оброблено й опрацьовано експериментальні дані, сформульовано науково обґрунтовані висновки, підготовлено та отримано патент на корисну модель України. Окреслення проблеми, розроблення методик дослідження процесів очищення стоків, обговорення визначених завдань та отриманих наукових результатів проводились під керівництвом д.т.н., проф. Мальованого М. С.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології та обладнання харчових виробництв», 29 - 30 вересня 2011 р., м. Тернопіль;

III Міжнародна науково-методична конференція «Безпека людини у сучасних умовах», 8 - 9 грудня 2011 р., м. Харків; 13th Meeting of European Society of Sonochemistry, July 01-05, 2012, Lviv, Ukraine; 2-ий Міжнародний конгрес «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», 19 - 22 вересня 2012 р., м. Львів; П'ята міжнародна студентська науково-практична конференція «Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування», 2012 р., м. Львів; XXI (щорічна) міжнародна науково-технічна конференція «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів», 25 - 26 квітня 2013 р., м. Харків; V Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю, 23 - 26 вересня 2015 р., м. Вінниця; Міжнародна науково-практична конференція «Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки», 4 грудня 2015 р., м. Харків.

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 15 друківаних наукових праць, у тому числі: 1 стаття у виданнях, що входять до наукометричних баз даних; 1 стаття в наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію; 4 статті у фахових виданнях з технічних наук України; 1 стаття в інших виданнях; 7 тез доповідей на міжнародних наукових конференціях; 2 доповіді на міжнародній науково-технічній конференції та 1 деклараційний патент України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Матеріали дисертаційної роботи викладено на 149 сторінках машинописного тексту, ілюстровано 41 рисунком, текст містить 12 таблиць, у бібліографії наведено 160 літературних джерел, дисертація містить 17 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, висвітлено наукове та практичне значення отриманих результатів, поставлено мету та визначено напрями її досягнення, дано загальну характеристику дисертаційної роботи.

У першому розділі здійснено аналіз науково-технічної літератури за темою дисертації. Проведено оцінку екологічного ризику технології знезаражування стічних вод від бактеріального забруднення. Здійснено критичний аналіз технологій очищення стічних вод. Проаналізовано сучасні методи та процеси очищення стічних вод. Проведено огляд та аналіз технологій очищення від бактеріальних забруднень.

У другому розділі приведено характеристику об'єкту та предмета дослідження, наведено характеристики матеріалів досліджень, методів та методик проведення експериментальних досліджень, описано експериментальні установки. Приведено характеристику бактерій родів *Bacillus*,

Sarcina, *Pseudomonas*, *Diplococcus*, які є причиною бактеріальних забруднень, згідно літературних джерел та природних сорбентів – бентоніту, цеоліту та глауконіту, які використовувались в експериментальних дослідженнях. Описано методику визначення загальної кількості мікроорганізмів, методику визначення титру кишкової палички трифазним бродильним методом. Описано методику підрахунку колоній мікроорганізмів.

У третьому розділі проведені дослідження перспективних методів очищення стоків від бактеріальних забруднень – УФО, УЗК та адсорбції природними сорбентами. В процесі досліджень ефективності очищення штучно інфікованих стоків методом УФО аналізувався вплив товщини шару рідини на зміну мікробного числа (МЧ) інфікованих бактерій за різного фіксованого часу опромінення. Отримані експериментальні результати приведені на рис. 1.

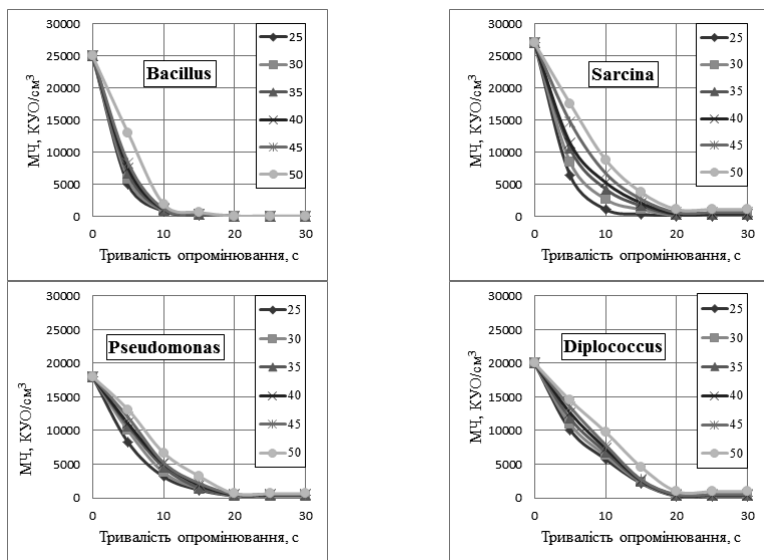


Рисунок 1. Залежність МЧ від тривалості опромінення УФВ для різних видів бактерій та різної товщини шару стоків (згідно з легендою, мм).

Як свідчать результати досліджень, на кожен вид мікроорганізмів УФО діє по-різному. Оптимальні параметри очищення досягаються за умови часу опромінення 20 с і максимальної товщини шару стоків, які піддаються очищенню, 45 мм. Збільшення часу обробки зазвичай зменшує величину МЧ, але це зменшення не таке суттєве, а тому з метою мінімізації енергетичних затрат на очищення найбільш доцільно

обмежитись часом опромінювання 20 с. Найкраще із використанням УФО вдалось очистити інфіковану воду, яка містила бактерії роду *Bacillus*.

Мірою ефективності процесу знезараження стічних вод є ступінь очищення, який визначається за формулою:

$$N_{оч} = \frac{MЧ_0 - MЧ_1}{MЧ_0} = 1 - \frac{MЧ_1}{MЧ_0}, \quad (1)$$

де $MЧ_1$ – кількість мікроорганізмів, які залишилися у воді після дії УФО, КУО/см³; $MЧ_0$ – кількість мікроорганізмів, які знаходились у воді перед початком її опромінювання, КУО/см³.

Отримані експериментальні дані приведено на рис.2.

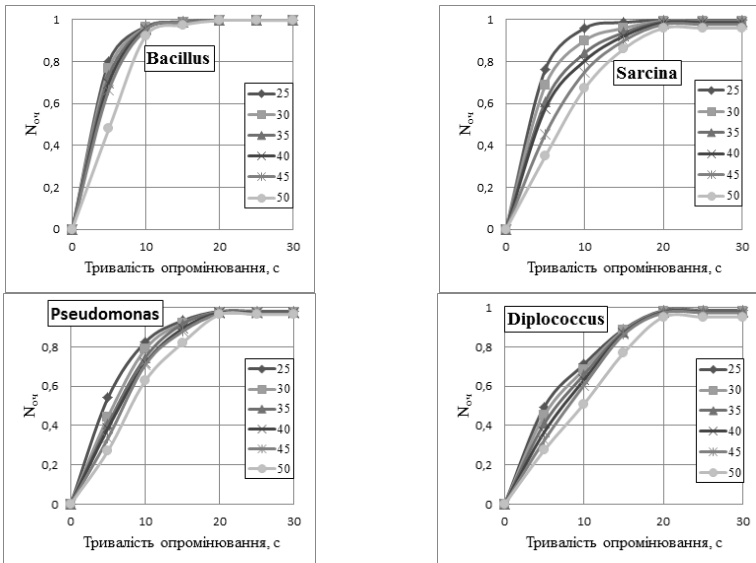


Рисунок 2. Залежність ступеня очищення від тривалості дії УФО для різних видів бактерій та різної товщини шару води (згідно з легендою, мм)

Приведені на рис. 2 дані показали, що ступінь очищення для бактерій роду *Bacillus* в межах шару рідини від 25 мм до 50 мм за 20 секунд опромінення становить від 0,9986 до 0,99648 відповідно. Аналогічно для бактерій роду *Sarcina* – від 0,9981 до 0,9593, для бактерій роду *Pseudomonas* – від 0,9822 до 0,9650, для бактерій роду *Diplococcus* – від 0,9870 до 0,9525. Для математичного опису процесу очищення стоків від бактеріальних забруднень за допомогою УФО та встановлення кінетичних констант, які в подальшому можуть використовуватись для проектування та практичної реалізації процесу, нами був запропонований математичний опис процесу.

Рівняння (1) можна представити у вигляді:

$$\frac{MЧ_1}{MЧ_0} = 1 - N_{оч}, \quad (2)$$

Кількість мікроорганізмів, які залишились у воді після дії УФО, визначається виразом:

$$MЧ_1 = MЧ_0 \exp\left(-\frac{Et}{k}\right), \quad (3)$$

де E – інтенсивність УФО, яке було поглинуто шаром води, мВт/см²; k – коефіцієнт, який характеризує стійкість мікроорганізмів певного виду до дії УФО; t – тривалість опромінення, с.

Із рівняння (3) отримаємо:

$$\frac{MЧ_1}{MЧ_0} = \exp\left(-\frac{Et}{k}\right), \quad (4)$$

Прологарифмувавши обидві частини рівняння (4), підставивши у отриманий вираз значення $\frac{MЧ_1}{MЧ_0}$ із рівняння (2) і позначивши $\frac{E}{k} = \chi$, отримаємо:

$$\ln(1 - N_{оч}) = \chi t \quad (5)$$

де χ – коефіцієнт інактивації дією УФО (коефіцієнт, який характеризує кількість поглинутого УФО, яке було затрачено для інактивації певного типу мікроорганізмів).

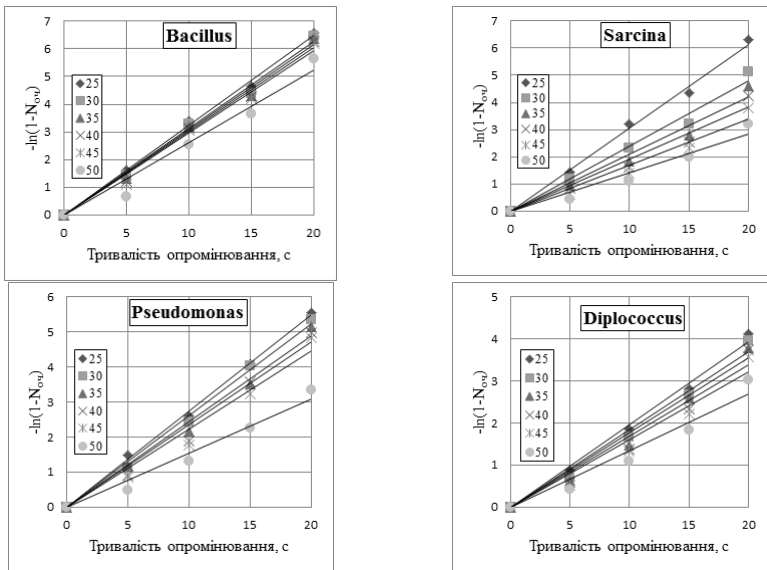


Рисунок 3. Залежність $\ln(1 - N_{оч}) = f(t)$ для різних видів бактерій від тривалості опромінення

Як видно із рівняння (5) між t і комплексом $\ln(1 - N_{оч})$ повинна існувати лінійна залежність. Для перевірки цього твердження із використанням експериментальних даних, приведених на рис. 2, будувалась залежність, представлена на рис. 3.

Розраховані із використанням програми *Excel* значення коефіцієнтів кореляції представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Лінеаризація залежностей $\ln(1 - N_{оч}) = f(t)$ для різних видів бактерій

Види бактерій	Товщина шару води, мм					
	25	30	35	40	45	50
<i>Bacillus</i>	$y=0,324x$ $R^2=0,9968$	$y=0,3138x$ $R^2=0,9931$	$y=0,3078x$ $R^2=0,9923$	$y=0,3023x$ $R^2=0,9906$	$y=0,2974x$ $R^2=0,9885$	$y=0,2624x$ $R^2=0,9679$
<i>Sarcina</i>	$y=0,307x$ $R^2=0,9951$	$y=0,2391x$ $R^2=0,9829$	$y=0,2093x$ $R^2=0,9701$	$y=0,192x$ $R^2=0,9651$	$y=0,1699x$ $R^2=0,9576$	$y=0,1425x$ $R^2=0,95$
<i>Pseudomonas</i>	$y=0,2741x$ $R^2=0,998$	$y=0,2625x$ $R^2=0,9943$	$y=0,2439x$ $R^2=0,9889$	$y=0,2355x$ $R^2=0,9779$	$y=0,2224x$ $R^2=0,9692$	$y=0,1548x$ $R^2=0,9691$
<i>Diplococcus</i>	$y=0,1971x$ $R^2=0,9921$	$y=0,1853x$ $R^2=0,9832$	$y=0,177x$ $R^2=0,9763$	$y=0,1691x$ $R^2=0,9614$	$y=0,161x$ $R^2=0,9599$	$y=0,1348x$ $R^2=0,9508$

Достовірність апроксимацій експериментальних даних лінійною регресійною залежністю підтверджується тим, що мінімальне значення коефіцієнта детермінації, ($R^2 = 0,95$), більше від нормованого значення коефіцієнта детермінації для заданого ступеня свободи з достовірністю 99,5% (0,8432). Це дає можливість за тангенсом кута нахилу отриманих лінеаризацій (лінійний коефіцієнт регресії) встановити значення коефіцієнта інактивації дією УФО χ . На рис. 4 відображено значення зміни коефіцієнта інактивації дією УФО для різних видів бактерій

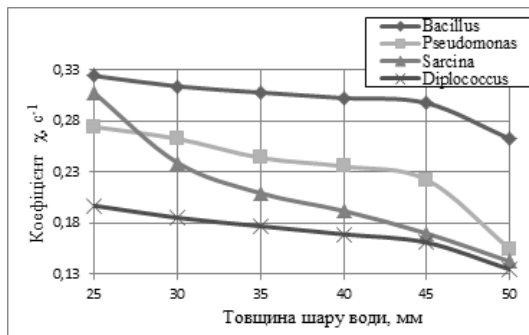


Рисунок 4. Залежність коефіцієнтів інактивації дією УФО від товщини шару води, що очищається, для різних видів бактерій.

Як видно із рис. 4, залежності коефіцієнтів інактивації дією УФО від товщини шару води, яка піддається очищенню, мають різний характер для різних видів бактерій. Це, ймовірно, пов'язано з різною природою цих бактерій, впливом зовнішньої структури мікроорганізмів на ефективність дії УФО та різним ступенем їх опірності дії УФО. Отримані значення коефіцієнтів інактивації дією УФО можуть бути використані для розрахунку реальних процесів знезараження стоків УФО.

Також досліджувалось очищення стічних вод методом УЗК. Було встановлено, що найбільша ефективність процесу знезараження досягається за умови використання в ультразвуковому реакторі як газової фази аргону та кисню. Проте ступінь очищення за допомогою ультразвукової обробки достатньо низький (не перевищує 0,9125 за умови часу обробки – 2 години в середовищі кисню). Тому метод недоцільно застосовувати самостійно для знезараження стічних вод.

Проводились дослідження очищення інфікованих стоків шляхом адсорбції бактеріального забруднення природними сорбентами. Для досліджень використовували бактерії роду *Bacillus* за різних концентрацій трьох видів сорбенту ідентичного гранулометричного складу (фракція + 2 - 3 мм) – бентоніт, цеоліт та глауконіт. Отримані експериментальні дані приведено на рис. 5.

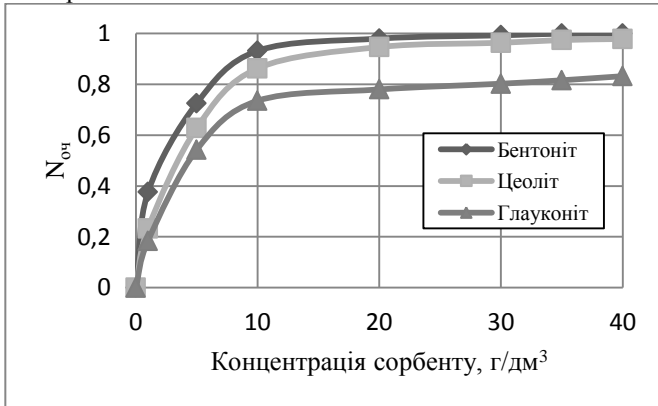


Рисунок 5. Залежність ступеня очищення стоків від бактерій *Bacillus* різними сорбентами та їх концентраціями у рідині

Знезаражуючий вплив природних сорбентів досягається за рахунок адсорбції бактерій. Результати дослідження продемонстрували, що найбільший знезаражувальний ефект властивий бентоніту, хоча й у випадку використання інших типів сорбентів спостерігається зменшення кількості мікроорганізмів. Оптимальні результати досягаються за умови використання концентрації сорбенту 10 г/дм³, за цих умов ступінь

очищення у випадку використання бентоніту складає 93,11%, у випадку використання цеоліту – 86,22%, а глауконіту – 73,47%.

Четвертий розділ присвячений комбінованим процесам очищення стічних вод від бактеріальних забруднень (УФО-адсорбційна та УЗК-адсорбційна технології).

На першому етапі досліджень УФО-адсорбційної технології встановлювався ступінь знезаражування під дією ультрафіолету. Дослідження першого етапу проводились для двох варіантів товщини шару стоків, які потрапляли на УФО: 25 та 45 мм. На другому етапі встановлювалась ефективність доочищення стоків від мікроорганізмів шляхом адсорбції залишкових кількостей мікроорганізмів різними видами сорбентів (концентрація кожного із сорбентів – 20 г/дм³, тривалість процесу – 1 год за умови постійного перемішування). За результатами досліджень будувались залежності зміни МЧ різних видів бактерій для двох товщин шару стоків, які піддавались очищенню упродовж фіксованого часу опромінювання. Результати досліджень представлені на рис.6.

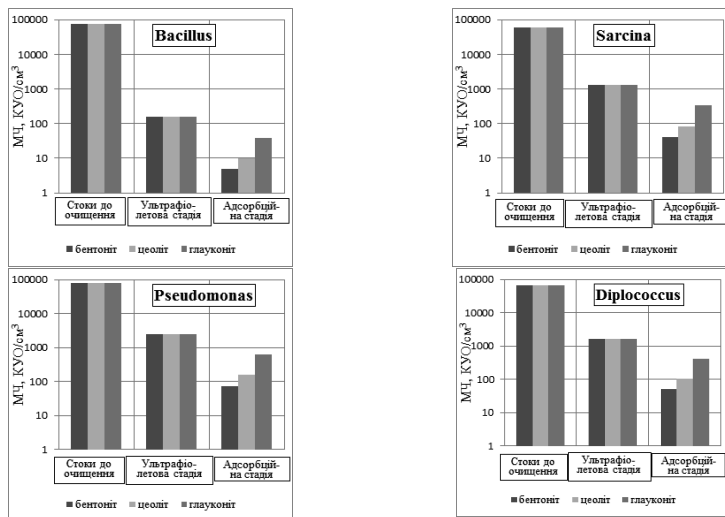


Рисунок 6. Залежність МЧ від особливості реалізації комбінованої УФО-адсорбційної технології очищення стоків від бактеріального забруднення для товщини шару води 45 мм

Як видно із рис. 6, основне очищення проходить на стадії УФО. Але застосування стадії додаткового адсорбційного доочищення дозволяє значно зменшити загальну кількість бактеріального забруднення.

Результати досліджень свідчать, що і за товщини шару води 25 мм, і за товщини 45 мм досягається необхідний ступінь знезараження методом УФО для всіх досліджуваних типів мікроорганізмів. За ефективністю використання різних типів природних сорбентів на стадії доочищення стоків від бактеріального забруднення ці сорбенти можна розмістити в ряд: бентоніт \Rightarrow цеоліт \Rightarrow глауконіт.

Аналіз даних експериментальних досліджень комплексної УЗК-адсорбційної технології знезараження стічних вод свідчить, що хоч у випадку використання на першій стадії очищення УЗК-технології і вдається отримати досить значний ступінь очищення, але в порівнянні із отриманими результатами УФО-адсорбційної технології цей ступінь очищення недостатній, у той же час енергії на його досягнення затрачається значно більше. Тому, цей результат із урахуванням складності реалізації процесу та відсутності на сьогодні промислових апаратів, де можна було б реалізувати УЗК-технологію очищення, змусив нас відмовитись надалі від досліджень промислового впровадження як самостійної УЗК-технології, так і комплексної УЗК-адсорбційної технології.

В п'ятому розділі проведено дослідження щодо очищення стоків, які надходили на каналізаційні очисні споруди № 2 (КОС-2) м. Львова від бактеріальних забруднень методом УФО. Було встановлено, що для реальних стоків загальне мікробне число (ЗМЧ) в процесі очищення методом УФО змінюється за залежностями, які аналогічні очищенню штучно інфікованих стоків (рис. 7 та рис. 8).

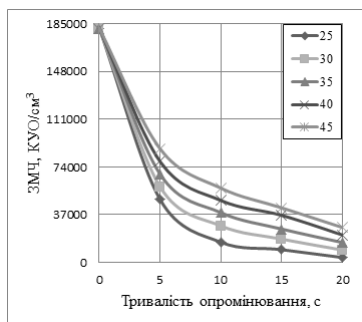


Рисунок 7. Залежність ЗМЧ від тривалості УФО та різної товщини шару стоків (мм)

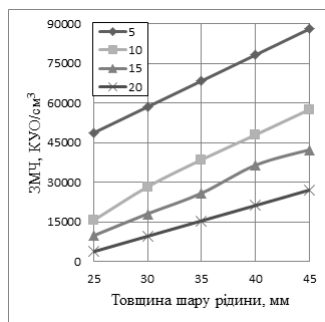


Рисунок 8. Залежність ЗМЧ від товщини шару води, яка піддається очищенню методом УФО, упродовж фіксованого часу опромінення (с)

Для результатів, представлених на рис. 7 та рис. 8, будувалась залежність $\ln(1 - N_{оч}) = f(t)$. Достовірність апроксимацій даних експериментів лінійною регресією підтверджується тим, що мінімальне значення коефіцієнта детермінації, ($R^2 = 0,9475$), більше нормованого значення коефіцієнта детермінації для заданого ступеня свободи з достовірністю 99,5% (0,8432), що дало можливість за тангенсом кута нахилу отриманих лінеаризацій встановити значення коефіцієнта інактивациі дією УФО χ . На рис. 9 відображено значення зміни коефіцієнта інактивациі дією УФО для стічних вод КОС-2.

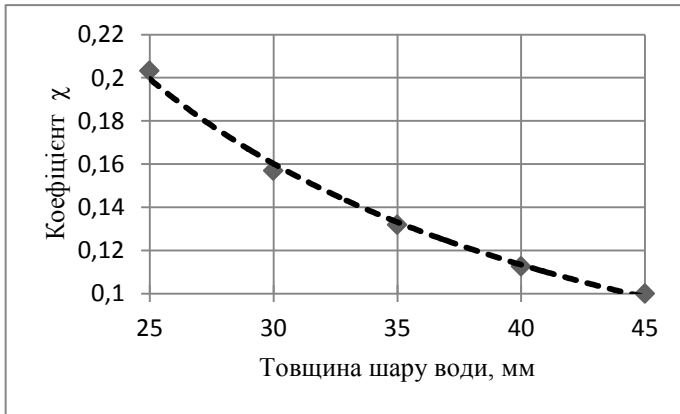


Рисунок 9. Залежність коефіцієнта інактивациі дією УФО від товщини шару стоків КОС-2, які піддаються очищенню

Залежність, представлена на рис. 9, із високим ступенем достовірності ($R^2 = 0,9962$) описується експоненціальною залежністю:

$$\chi = 9,5677x^{-1.203}, \quad (6)$$

де x – товщина шару стоків, які піддаються очищенню, мм.

Нами встановлювалась також динаміка зміни індексу бактерій групи кишкової палички (БГКП), який характеризує кількість загальних коліморфних та термотолерантних поліморфних бактерій. В процесі біологічного очищення на очисних спорудах КОС-2 індекс БГКП зменшується в 10 разів. У випадку введення додаткової стадії УФО в існуючу технологію очищення стоків вдасться досягти зменшення початкового значення індексу БГКП у 100 разів.

За результатами досліджень розроблено модернізовану схему Львівських каналізаційних очисних споруд, яка включає стадію знезараження стоків УФО, яка представлена на рис. 10.

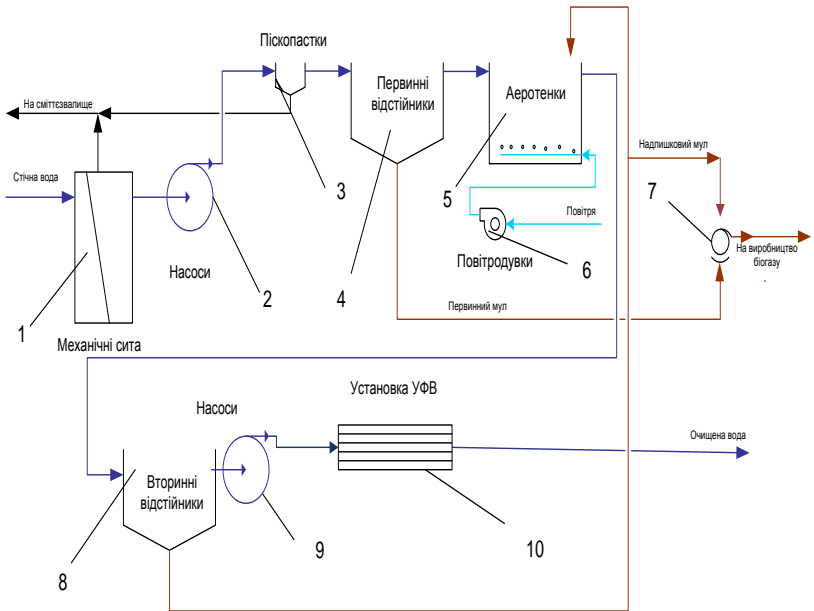


Рисунок 10. Модернізована технологічна схема Львівських міських очисних споруд: 1 – механічні сита; 2, 9 – насосна група; 3 – піскопастки; 4 – первинні відстійники; 5 – аеротенки; 6 – повітродувки; 7 – центрифуги; 8 – вторинні відстійники; 10 – установка знезараження

Також розроблено принципову схему технології, яка може застосовуватись для знезараження стічних вод, які потім будуть використовуватись у системі зворотного водопостачання з посиленими вимогами до залишкового бактеріального забруднення (харчові, фармакологічні, переробні підприємства і т. п.), яка представлена на рис. 11.

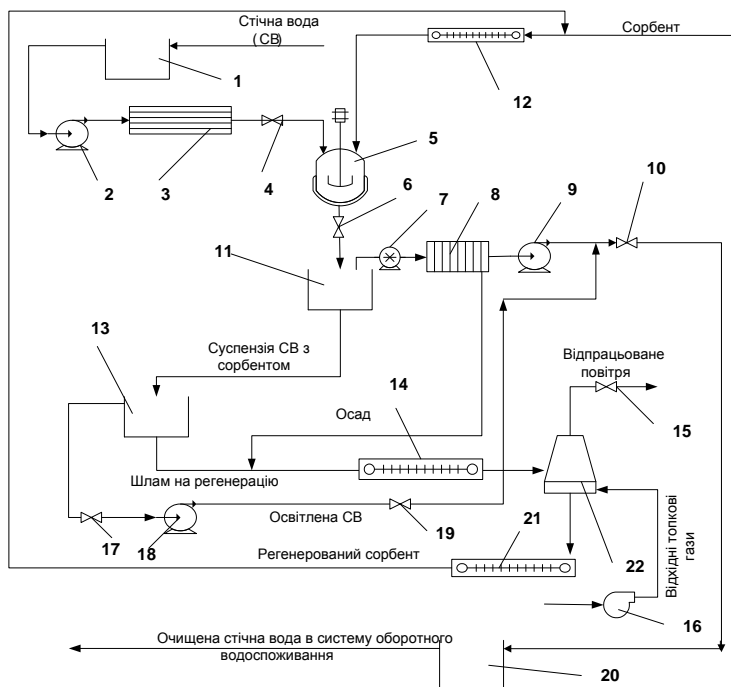


Рисунок 11. Технологічна схема інтегрованої УФО-адсорбційної технології знезараження стоків: 1, 11, 13, 20 – ємності; 2, 7, 9, 18 – насоси; 3 – установка УФВ; 4, 6, 10, 15, 17, 19 – вентилі; 5 – апарат з мішалкою; 8 – фільтр; 12, 14, 21 – шнекові транспортери; 16 – вентилятор; 22 – сушарка киплячого шару

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи розв'язано актуальне науково-практичне завдання підвищення рівня екологічної безпеки гідросфери шляхом впровадження фізико-адсорбційних методів очищення стічних вод від бактеріальних забруднень.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1. Експериментально досліджено процес інактивації мікроорганізмів різних видів шляхом застосування перспективних технологій знезараження (УЗК та УФО). Встановлено, що оптимальні параметри очищення УФО досягаються за умови часу опромінювання 20 с і товщини шару стоків, які піддаються очищенню 45 мм. Найбільша ефективність

процесу знезараження методом УЗК спостерігається в разі застосування кисню, але ступінь очищення з допомогою УЗК достатньо низький, тому економічно й технологічно невиправдано використовувати його як самостійну технологію знезараження стічних вод.

2. Розроблено математичну модель процесу знезараження стоків УФО. Ідентифікація отриманих теоретичних залежностей експериментальним даним дозволила встановити значення коефіцієнтів інактивації дією УФО χ , які можуть бути використані для розрахунку реальних процесів; для різних видів бактерій.

3. Встановлено, що оптимальні результати адсорбційного очищення досягаються за умови використання концентрації сорбенту 10 г/дм^3 . Ступінь очищення у випадку використання різних типів природних сорбентів складає: для бентоніту – 93,11%, для цеоліту – 86,22%, для глауконіту – 73,47%.

4. Встановлено, що перспективною для очищення стоків, які можуть бути використані в системах зворотного водопостачання, є УФО-адсорбційна технологія. Водночас застосування УЗК-адсорбційної технології не дозволяє досягти необхідного ступеня очищення.

5. Дослідження знезараження методом УФО реальних стоків із КОС-2 Львівських муніципальних очисних споруд довели, що за умови 20-секундного опромінювання і товщини шару води 45 мм вдається досягти ступеня очищення 0,85. Значення коефіцієнтів інактивації дією УФО χ описуються експоненціальною залежністю (6). У випадку введення додаткової стадії УФО в існуючу технологію очищення стоків вдається досягти зменшення початкового значення індексу БГКП у 100 разів, що забезпечить екологічну безпеку гідросфери.

6. Для обох рекомендованих технологій (використання для знезараження тільки УФО та використання для знезараження інтегрованої УФО-адсорбційної технології) запропоновано принципові технологічні схеми та обладнання для реалізації основних процесів очищення.

7. Розроблено алгоритм вибору оптимальних параметрів роботи установки УФО стічних вод від бактеріальних забруднень. Встановлено оптимальні параметри роботи установки, які забезпечують необхідний ступінь знезараження стічних вод.

Список опублікованих праць за темою дисертації:

Статті у наукових періодичних виданнях інших держав з напрямку, з якого підготовлено дисертацію

1. Vronska N. On the use of natural sorbents for removal of microbial contaminants from water solutions / Nataliya Vronska, Myroslav Malovanyy // Sustainable development. International journal, Bulgaria, 2015. – Vol. 4 (25). – P. 113-116. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень процесу очищення води природними сорбентами.*

Статті у виданнях, що входять в наукометричні бази даних

2. Вронська Н.Ю. Дослідження ефективності застосування ультрафіолетово-адсорбційної технології для очищення стічної води від мікробіологічного забруднення / Н.Ю. Вронська, М.С. Мальований, Г.М. Сакалова // Науковий вісник НЛТУ України. Збірник науково-технічних праць. – 2015. – № 25.8. – С. 146-149. *Особистий внесок – дослідження та аналіз ефективності ультрафіолетово-адсорбційного очищення стоків від мікробіологічних забруднень.*

Статті у фахових виданнях з технічних наук

3. Мальований М.С. Комплексна адсорбційно-ультразвукова технологія водоочищення / М.С. Мальований, В.Л. Старчевський, Н.Ю. Вронська, Л.І. Шевчук, Г.В. Сакалова // Науково-виробничий журнал «Хімічна промисловість України». – 2012. – № 6 (113). – С. 49-52. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень процесу очищення стоків адсорбційно-ультразвуковим методом від мікробіологічних забруднень.*

4. Мальований М.С. Порівняльні дослідження перспективних методів очищення природних вод / М.С. Мальований, Н.Ю. Вронська, І.З. Коваль, Г.М. Сакалова // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2013. – № 761. – С. 280-284. *Особистий внесок – проведення порівняльних експериментальних досліджень при очищенні стоків від бактеріальних забруднень трьома різними методами (УЗК, УФО і використання природних сорбентів).*

5. Вронська Н.Ю. Очищення стічної води методом ультрафіолетового опромінення / Н.Ю. Вронська, М.С. Мальований, О.Р. Попович // Науково-виробничий журнал «Хімічна промисловість України». – 2015. – № 6 (131). – С. 29-33. *Особистий внесок – аналіз та дослідження очищення стоків від мікробіологічних забруднень ультрафіолетовим опроміненням.*

Статті у інших наукових виданнях

6. Malovanyu M. Integrated adsorption and ultrasonic technology for water treatment processes / Myroslav Malovanyu, Volodymyr Starchevskyy, Nataliya Vronska, Iryna Koval // Environmental Problems. – 2016. – Vol. 1. – P. 65-68. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень процесу очищення стоків адсорбційно-ультразвуковим методом від мікробіологічних забруднень та аналіз отриманих результатів.*

Патенти

7. Пат. № 93545 на корисну модель України МПК C02F 1/32, C02F 1/28. Спосіб очищення стічних вод / Вронська Н.Ю., Мальований М.С.; заявник і патентовласник Національний університет «Львівська політехніка». – № u104617; заявл. 27.07.2015; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 3, 2016 р. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень процесу очищення стоків адсорбційно-ультразвуковим методом від мікробіологічних забруднень.*

Матеріали конференцій

8. Мальований М.С. Комплексні адсорбційно-ультразвукові технології для процесів водоочищення харчових виробництв / М.С. Мальований, В.Л. Старчевський, Л.І. Шевчук, Н.Ю. Вронська, І.З. Коваль // Сучасні технології та обладнання харчових виробництв : Міжнародна науково-технічна конференція, 29-30 вересня 2011 р. Тернопіль : тези доповідей. – 2011. – С. 231. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень процесу очищення стоків адсорбційно-ультразвуковим методом від мікробіологічних забруднень.*

9. Мальований М.С. Комплексна адсорбційно-ультразвукова технологія для процесів водоочищення / М.С. Мальований, В.Л. Старчевський, Н.Ю. Вронська, І.З. Коваль, Л.І. Шевчук, Г.В. Сакалова // Безпека людини у сучасних умовах : III Міжнародна науково-методична конференція, 8-9 грудня 2011 р. : тези доповідей. – 2011. – С. 90-91. *Особистий внесок – проведення лабораторних досліджень зміни мікробного числа за умови використання різних видів сорбенту.*

10. Malovanyu M. Microbial pollutants removal from water with use of complex adsorption-ultrasound technology / Myroslav Malovanyu, Nataiya Vronska, Iryna Koval, Halyna Sakalova // 13th Meeting of European Society of Sonochemistry, July 01-05, 2012 : theses. – 2012. – P. 185. *Особистий внесок – проведення експериментальних досліджень процесу очищення стоків адсорбційно-ультразвуковим методом від мікробіологічних забруднень.*

11. Вронська Н.Ю. Дослідження ефективності застосування ультрафіолету для очищення водних розчинів від мікробіологічного забруднення / Н.Ю. Вронська, М.С. Мальований // Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : 2-ий Міжнародний конгрес, 19-22 вересня 2012 р. : тези доповідей. – 2012. – С. 151. *Особистий внесок – експериментальне дослідження очищення стоків від мікробіологічних забруднень ультрафіолетовим опроміненням.*

12. Вронська Н.Ю. Оцінка ефективності різних методів очищення води від мікробіологічного забруднення / Вронська Н.Ю., Захірі Сана, Мальований М.С. // Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування : п'ята міжнародна студентська науково-практична конференція : тези доповідей. – 2012 р. – С. 38-39. *Особистий внесок – проведення порівняльних експериментальних досліджень очищення стоків від бактеріальних забруднень.*

13. Вронська Н.Ю. Порівняльні дослідження ефективності різних методів очищення природних вод / Н.Ю. Вронська, М.С. Мальований // Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів : XXI (щорічна) міжнародна науково-технічна конференція, 25-26 квітня 2013 р. : тези доповідей. – 2013. – С. 77-78. *Особистий внесок – аналіз можливості використання трьох методів для очищення стоків від мікробіологічних забруднень.*

14. Вронська Н.Ю. Вплив УФ-випромінювання на різні види монокультур роду *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Sarcina*, *Diplococcus* / Н.Ю. Вронська, М.С. Мальований // V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з Міжнародною участю, 23-26 вересня 2015 р. : тези доповідей. – 2015. – С. 148. *Особистий внесок – аналіз експериментальних досліджень при очищенні стоків від бактеріальних забруднень ультрафіолетовим опромінюванням.*

15. Вронська Н.Ю. Аналіз фізичних методів для очищення стічних вод від мікробіологічного забруднення / Н.Ю. Вронська, М.С. Мальований // Прикладні аспекти техногенно-екологічної безпеки : Міжнародна науково-практична конференція, 4 грудня 2015 р. : тези доповідей. – 2015. – С. 131. *Особистий внесок – аналіз перспективних методів очищення стоків від мікробіологічного забруднення та проведення експериментальних досліджень.*

АНОТАЦІЯ

Вронська Наталія Юрївна. Зниження рівня бактеріального забруднення гідросфери комплексними фізико-адсорбційними методами очищення стічних вод. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека. – Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

Дисертаційну роботу присвячено забезпеченню екологічної безпеки гідросфери шляхом впровадження сучасних технологій очищення стічних вод від бактеріальних забруднень. екологічного ризику технології знезаражування стічних вод від бактеріального забруднення. Досліджено в лабораторних умовах ефективність процесу очищення стоків УФО, УЗК та за допомогою природних дисперсних сорбентів за різної тривалості знезараження та товщини шару стоків, а також за різної концентрації сорбентів. На основі отриманих даних побудовано математичну модель процесу знезараження стоків УФО. Ідентифікація отриманих теоретичних залежностей експериментальним даним дозволила встановити значення коефіцієнтів інактивації дією УФО χ , які можуть бути використані для розрахунку реальних процесів, для різних видів бактерій. Досліджено в лабораторних умовах ефективність процесу очищення стоків комплексними методами – УФО-адсорбційний та УЗК-адсорбційний. Досліджено знезараження методом УФО реальних стоків із КОС-2 Львівських муніципальних очисних споруд м. Львова. Розроблено принципову технологічну схему знезараження стічних вод.

Ключові слова: екологічна безпека, міські каналізаційні очисні споруди, ультрафіолетове опромінювання, природні дисперсні сорбенти, ультразвукова кавітація, знезараження.

АННОТАЦИЯ

Вронская Наталия Юрьевна. Снижение уровня бактериального загрязнения гидросферы комплексными физико-адсорбционными методами очистки сточных вод. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 - Экологическая безопасность. - Национальный университет «Львівська політехніка» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2016.

Диссертация посвящена обеспечению экологической безопасности гидросферы путем внедрения современных технологий очистки сточных вод от бактериальных загрязнений. Проведена оценка опасности бактериального загрязнения стоков. Исследованы в лабораторных условиях три метода очистки сточных вод –УФО, УЗК и адсорбция различными видами сорбентов. Для исследования были искусственно созданы модельные растворы с определенным содержанием бактерий, которые чаще всего встречаются в сточных водах. Исследования проводились при различной продолжительности облучения и разной толщине слоя стоков, подвергаемых очистке, а также при различной концентрации сорбентов. На основе полученных данных разработана математическая модель процесса обеззараживания стоков методом УФО. Идентификация полученных теоретических зависимостей экспериментальным данным позволила установить значения коэффициентов инактивации действием УФО χ , которые могут быть использованы для расчета реальных процессов для различных видов бактерий. Установлены оптимальные параметры очистки стоков методом УФО: при времени облучения 20 с. и толщине слоя стоков, подвергаемых очистке, 45 мм. В процессе очистки стоков методом УЗК установлено, что наибольшая эффективность наблюдается при использовании в качестве газовой фазы кислорода и аргона. Для адсорбционной очистки оптимальные результаты достигаются при использовании концентрации сорбента 10 г/дм³. В лабораторных условиях исследована эффективность процесса очистки стоков комплексными методами – УФО-адсорбционным и УЗК-адсорбционным. Исследования проходили в два этапа. Для УФО-адсорбционного метода очистки стоков первый этап исследований проводили при продолжительности облучения 20 с. и толщине слоя стоков, подвергаемых очистке, 25 мм и 45 мм. Концентрация сорбентов на втором этапе исследования составляла 20 г/дм³. Для УЗК-адсорбционного метода для первого этапа исследований через сточную воду барботировали кислород в УЗ реакторе. Установлено, что степень очистки стоков при использовании УФО-адсорбционной технологии значительно выше по сравнению со степенью очистки стоков УЗК-адсорбционной технологией. Исследована интенсивность обеззараживания методом УФО реальных стоков с КОС-2 Львовских

муниципальных очистных сооружений. Исследования проводились при различной продолжительности облучения и различной толщине слоя стоков, подвергаемых очистке. Исследования показали, что при 20-секундном облучении и толщине слоя стоков, которые подвергаются облучению, 45 мм, удастся достичь необходимой степени очистки. Исследовано динамику изменения индекса БГКП. Установлено, что в случае дополнительного введения стадии УФО удастся достичь уменьшения начального значения индекса БГКП в 100 раз, а это гарантирует необходимый уровень экологической безопасности гидросферы. Разработана модернизированная схема Львовских канализационных очистных сооружений, которая включает стадию обеззараживания стоков УФО. Разработана также принципиальная технологическая схема, которая может применяться для обеззараживания сточных вод с целью повторного использования их в системе оборотного водоснабжения.

Ключевые слова: экологическая безопасность, городские канализационные очистные сооружения, ультрафиолетовое облучение, природные дисперсные сорбенты, ультразвуковая кавитация, обеззараживания.

ABSTRACT

Vronska Natalia Yuriiivna. Reduction of the level of hydrosphere bacterial contamination by the complex physical and adsorption methods of wastewater treatment. – On the rights of manuscript.

The thesis for the degree obtaining of candidate of technical sciences on specialty 21.06.01 - Ecological safety. - Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

The thesis is devoted to the ensuring of the hydrosphere ecological safety through the implementation of modern technologies of waste water treatment from the bacterial contamination, ecological risk of disinfection technology of wastewater from the bacterial contamination. The efficiency of wastewater treatment UV, USC (ultra sonic cavitation) is investigated in laboratory environment with using the natural dispersed sorbents at different disinfecting duration and thickness of wastewater layer as well as at different sorbents concentrations. Based on the received data the mathematical model of UV disinfection of wastewater is built. Identification of the theoretical dependences of experimental data allowed to set inactivation coefficients meaning by UV effect that may be used to calculate the actual processes for different types of bacteria. The efficiency of wastewater treatment by complex methods - UV-adsorption and USC-adsorption is investigated in laboratory environment. The disinfection by UV real effluents from WWTP-2 Lviv municipal treatment facilities of Lviv is studied. The principled technological scheme of wastewater disinfection is developed.

Keywords: ecological safety, urban waste water treatment plants, ultraviolet radiation, natural dispersed sorbents, ultrasound cavitation, disinfection.