

РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТИЧНИХ ВОД

Лариса Саблій

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського», Берестейський пр., 37, корпус 4, м. Київ, Україна,
докт. техн. наук, larisasabliy@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4217-3535

DOI: 10.32347/2524-0021.2023.45.62-70

Анотація. Представлено результати проведених в КПІ ім. Ігоря Сікорського на кафедрі біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології досліджень в двох напрямках: 1 – дослідження процесів фізико-хімічного очищення виробничих стічних вод низки промислових підприємств від антибіотиків, іонів важких металів, СПАР та ін. забруднювачів, та розробка технологій локального очищення перед скиданням попередньо очищених стічних вод в мережу водовідведення міста; 2 – дослідження процесів біологічного очищення стічних вод промислових підприємств з глибоким видаленням сполук азоту і фосфору за використання іммобілізованих мікроорганізмів. Найбільше зниження показника ХСК спостерігали в процесах коагуляції і відстоювання стічних вод фармацевтичного підприємства. Ефекти очищення за показником ХСК у випадку використання сульфату заліза III становили 76,0% і 72,2% за початкових значень ХСК неочищених стічних вод, відповідно, 90 і 120 мг/дм³. Для біологічного очищення застосували іммобілізовані на носіях ВІА мікроорганізми в створених в модельних біореакторах кисневих умовах – анаеробних, аноксидних, аеробних. Для нарощування біомаси використовували капронову текстуровану нитку за ТУ 6-06-С116-87 з діаметром волокна – 1,5-2,5 мм, діаметром мікроволокна – 100 мкм. Питома площа поверхні становила 4000-5000 м²/м³. Середня концентрація біомаси в біореакторах за сухою речовиною, г/дм³, становила: в анаеробному I – 30; в анаеробному II – 24; в аноксидному I - 16,8; в аноксидному II - 5,4; в аеробному - 3,2. Біологічне очищення промислових стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів дозволило отримати високі ефектами видалення забруднюючих речовин. Показники очищених стічних вод становили: ХСК - 50-80 мг/дм³; БСК_{повн} – 15-20 мг/дм³; завислі речовини – до 15 мг/дм³; сполуки азоту і фосфору - в межах норми для відведення у природні водойми. Розроблені технології були впроваджені на промислових підприємствах, економія енергетичних витрат становила до 40-45%, було забезпечено високу якість очищеної води у відповідності з чинними нормами скиду в міську систему водовідведення та у природні водойми.

Ключові слова: промислові стічні води, фармацевтичні підприємства, коагуляція, окиснення, іммобілізовані мікроорганізми, гранульований анаеробний мул.

ВСТУП

Більшість промислових підприємств в Україні не мають власних очисних споруд для локального або повного очищення сильно забруднених виробничих стічних вод, що спричиняє вкрай негативні наслідки у разі відведення таких стічних вод на міські очисні станції або у природні водойми. В нормативних документах, що стосуються очищення стічних вод від забруднень, на

відміну від нормативних документів країн ЄС, США та Канади, не враховано кілька важливих показників складу стічних вод, що напряму впливають на ступінь їх очищення, властивості активного мулу та залишкові концентрації екологічно небезпечних забруднень в очищених стічних водах, які відводять у природні водоймища. Це такі показники, як вміст антибіотиків, синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР),

нафти й нафтопродуктів, жирів тощо, а також загального азоту й загального фосфору. Оскільки джерелом забруднення стічних вод зазначеними речовинами є виробнича діяльність промпідприємств, то необхідно проводити їх залучення до вирішення проблем очищення стічних вод за рахунок впровадження технологій локального очищення найбільш забруднених виробничих стічних вод, зокрема, фармацевтичних, машинобудівних, картонно-паперових підприємств, підприємств легкої (шкіряні заводи, заводи по виробництву шерстяних ковдр), харчової (олійні, м'ясопереробні заводи та молокозаводи) галузей.

Робота міських очисних споруд (швидкість окиснення органічних речовин, ефекти очищення й глибина вилучення окремих забруднень, склад продуктів їх окиснення та ін.) залежить від багатьох чинників, серед яких одним із основних є хімічний склад стічних вод. Найбільш чутливою ланкою до негативного впливу забруднень виробничих стічних вод є активний мул аеротенків, а саме його основні технологічні властивості – здатність до окиснення забруднюючих речовин та до його седиментації й відділення від очищеної води в процесі відстоювання. Цей вплив не завжди враховують при контролі складу промислових стічних вод, які відводяться в міську каналізацію, а також не враховують наявність в стічних водах біологічно активних сполук - антибіотиків, біоцидів, інгібіторів та ін. Нехтування вказаними характеристиками спричиняє цілу низку вкрай негативних наслідків саме для водоканалів - зниження ефективності очищення міських стічних вод і збільшення експлуатаційних витрат для досягнення необхідних показників, перевищення ГДС (гранично допустимих скидів) при скиданні очищених стічних вод у природні водойми (показники, які жорстко контролюють екологічні служби), “спухання” активного мулу з перспективою його подальшої втрати тощо.

Для локального очищення стічних вод фармацевтичних підприємств від антибіотиків (зокрема, цефалоспоринового ряду) застосовують фізико-хімічні методи: коагу-

ляцію й флокуляцію [1], хімічне окиснення [2-5], адсорбцію [6-10] та біологічні методи [10-12].

На сьогодні в Україні є кілька підприємств, які забезпечують локальне очищення стічних вод після виробництва рідких медпрепаратів, наприклад, ПАТ “НВЦ “Борщагівський хіміко-фармацевтичний завод” (м. Київ), а також підприємства, які розпочали роботи щодо вирішення питання локального очищення стічних вод від антибіотиків, зокрема ПАТ Хімфармзавод «Червона зірка» (м. Харків). Окрім фармацевтичних заводів локальне очищення почали впроваджувати підприємства з іншим видом діяльності, як-то: машинобудування, виробництво шерстяних ковдр, харчові виробництва: м'ясопродуктів, олії, та ін.

Сьогодні є підприємства, які пішли далі та запровадили комплексну технологію, що включає фізико-хімічне та біологічне очищення з використанням запропонованих кафедрою біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології КПІ ім. Ігоря Сікорського сучасних технологічних рішень з ефективним видаленням органічних забруднюючих речовин, сполук азоту і фосфору та доведенням концентрацій забруднювачів у очищеній воді до ГДС для її відведення у водойми. Як приклад, можна навести шкіряний завод «Світ шкіри» в м. Болехів Івано-Франківської області, де за рекомендаціями кафедри було впроваджено технологію послідовного аноксидно-аеробного біологічного очищення з використанням нітратного рециклу (для забезпечення послідовних процесів денітри- й нітрифікації та «аноксидно-аеробної» схеми) та іммобілізованих мікроорганізмів в діючому аеротенку. Також, на картонно-паперовій фабриці в м. Понінка Хмельницької області за результатами досліджень кафедри впроваджено в проект, виконано реконструкцію первинних відстійників в біокоагулятори з попередньою аерацією в якості I ступеня очищення та запропоновано наступне біологічне очищення в аеротенках з продовженою аерацією (за продуктивності очисної станції 7000 м³/добу). Як додаткове

джерело азоту й фосфору (за відсутності таких елементів у стічних водах) були використані добавки реагентів, які містять ці елементи. В результаті впровадження розробленої технології було досягнуто зниження показників стічних вод фабрики за ХСК (хімічне споживання кисню), $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$, від початкових значень 840-1760 до 70-80; за БСК₅ (біологічне споживання кисню протягом 5 діб), $\text{мг O}_2/\text{дм}^3$, від 510-700 до 10-15. Очевидно, що показники очищеної води не перевищують встановлені нормативи для скидання в річку.

В КПІ ім. Ігоря Сікорського на кафедрі біоенергетики, біоінформатики та екобіотехнології науковою групою під керівництвом д.т.н., професора Саблій Л.А. у складі: Жукова В.С., к.т.н., доц.; Козар М.Ю., к.т.н., доц.; Коренчук М.С., PhD, були проведені дослідження (з практичним впровадженням) у двох напрямках.

Метою досліджень було: 1 – дослідити процеси фізико-хімічного очищення виробничих стічних вод низки промислових підприємств від антибіотиків, іонів важких металів та ін. забруднювачів, які перешкоджають біологічному процесу, та розробити технології локального очищення перед скиданням попередньо очищених стічних вод в мережу водовідведення міста; 2 – дослідити процеси біологічного очищення стічних вод низки промислових підприємств з глибоким видаленням сполук азоту і фосфору за використання іммобілізованих мікроорганізмів для високоефективного очищення стічних вод і безпечного відведення їх у природні водойми.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

По першому напрямку для коагуляції використовували мінеральні коагулянти на основі сульфату заліза III і сульфату алюмінію з коректуванням показника рН для досягнення ізоелектричної області для найбільш повного утворення гідроксидів заліза III й алюмінію, їх коагуляції та очищення стічних вод від органічних забруднюючих речовин за показником ХСК. Досліджували стічні води фармпідпри-

ємства м. Харкова. Дозу коагулянту (сульфату заліза III або сульфат алюмінію) приймали $100 \text{ мг}/\text{дм}^3$, рН 7-7,5 (додавали NaOH), доза флокулянту магнафлок – $2 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

По другому напрямку для біологічного очищення застосували іммобілізовані на носіях ВІА мікроорганізми в створених в модельних біореакторах різних кисневих умовах: анаеробних (концентрація розчиненого $\text{O}_2 = 0$); аноксидних (концентрація O_2 близька до 0 – 0,1-0,2 $\text{мг}/\text{дм}^3$); аеробних (концентрація $\text{O}_2 = 1,5-2 \text{ мг}/\text{дм}^3$). Для нарощування біомаси використовували капронову текстуровану нитку за ТУ 6-06-С116-87 з діаметром волокна – 1,5-2,5 мм, середнім діаметром мікрОВОлокна – 100 мкм. Питома площа поверхні становила $4000-5000 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Інокулятом слугував активний мул Бортиницької станції аерації м. Києва. Середня концентрація біомаси в біореакторах за сухою речовиною, $\text{г}/\text{дм}^3$, становила: в анаеробному I – 30; в анаеробному II – 24; в аноксидному I - 16,8; в аноксидному II - 5,4; в аеробному - 3,2. Досліджували мікроорганізми біообростань в різних кисневих умовах за допомогою мікроскопування, режими роботи біореакторів на стічних водах молокозаводу з показником ХСК - $4000-4500 \text{ мг}/\text{дм}^3$, на експериментальних моделях анаеробного, аноксидного та аеробного біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Як показали результати досліджень, проведених, згідно першого напрямку, на прикладі очищення виробничих стічних вод фармацевтичного підприємства (АТ «Біолік», м. Харків) [13], найбільше зниження показника ХСК, як свідчить рис. 1, спостерігали в процесах коагуляції забруднюючих речовин, що містяться в стічних водах, і відстоювання.

Ефекти очищення за показником ХСК в результаті коагуляції та відстоювання стічних вод у випадку використання сульфату заліза III становили 76,0% і 72,2% за початкових значень показника ХСК неочищених стічних вод, відповідно, 90 і $120 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

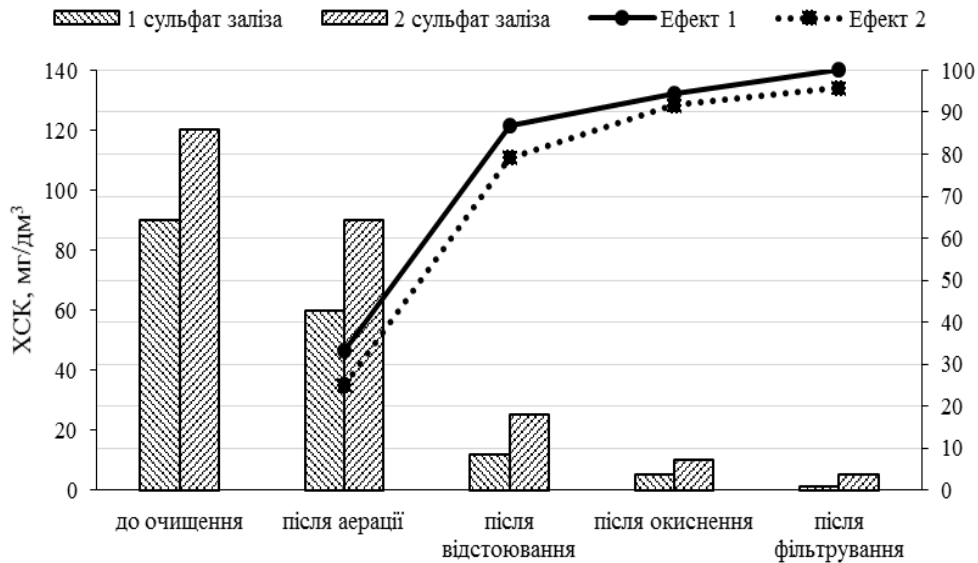


Рис. 1. Зміна показника ХСК виробничих стічних вод фармацевтичного підприємства та ефекту очищення за ХСК за використання для очищення технології «аерація – коагуляція сульфатом заліза III – відстоювання – окиснення – фільтрування»: ефект 1 визначено за ХСК в неочищеній стічній воді 90 мг/дм³ у кожному процесі відносно даного значення; ефект 2 – за ХСК в неочищеній стічній воді 120 мг/дм³

Fig. 1. Change in the COD indicator of industrial wastewater of a pharmaceutical enterprise and the effect of treatment according to COD for the use of technology «aeration – coagulation with iron sulfate III – settling – oxidation – filtering» for purification: effect 1 is determined according to COD in untreated wastewater 90 mg/dm³ in each process relative to a given value; effect 2 – according to HSC in untreated wastewater 120 mg/dm³

Використання для коагуляції сульфату алюмінію показало нижчі ефекти зниження ХСК (відповідно, 74,6% і 69,5%). Отже, певну перевагу має коагулянт на основі сульфату заліза III проти сульфату алюмінію. Очевидно, що збільшення показника ХСК в неочищеній стічній воді зменшує ефект видалення органічних речовин за ХСК при використанні коагулювання і відстоювання на 4-6,5%.

Використання наступних процесів очищення за технологією, яку досліджували, дозволило знизити ХСК на 25-33,3% після аерації, на 58-61% після окиснення пероксидом водню, до 100% в результаті фільтрування.

На підставі отриманих результатів було розроблено технологію, встановлено параметри процесів (тривалість, витрата повітря на аерацію, доза реагентів, швидкість фільтрування, висота фільтрувального завантаження, режим промивки фільтрів, кількість

утвореного осаду та ін.). Технологія включає послідовні процеси фізико-хімічного очищення стічних вод – усереднення, коагуляцію, відстоювання, окиснення пероксидом водню, фільтрування.

Застосування фармацевтичними підприємствами розробленої технології локального очищення стічних вод від антибіотиків та супутніх їм речовин призведе до суттєвого зниження небезпеки перевищення ГДС в місці скиду стічних вод, очищених на міських очисних станціях, зниження експлуатаційних витрат на досягнення ГДС, зменшення загрози “спухання” активного мулу та пов’язаних з ним експлуатаційних та економічних витрат.

Були розроблені технології локального очищення виробничих стічних вод та впроваджені на фармацевтичному, машинобудівному заводах, фабриці по виробництву шерстяних ковдр, олійному та м’ясо-

переробному заводах у м. Харкові в 2020–2022 рр. [13-15].

Згідно другого напрямку, було проведено дослідження з іммобілізації мікроорганізмів активного мулу на носіях та встановлення раціональних технологічних параметрів біологічного очищення стічних вод промислових підприємств з використанням іммобілізованих мікроорганізмів в різних кисневих умовах (анаеробних, аноксидних, аеробних).

Для підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод (від органічних речовин, сполук азоту, фосфору та ін.) було застосовано метод іммобілізації мікроорганізмів-деструкторів органічних речовин [16, 17]. Це дозволило збільшити концентрацію активного мулу в об'ємі аеробного біореактора (аеротенка), за рахунок чого підвищити окисну потужність споруди, зменшити тривалість процесу та забезпечити зниження економічних витрат на очищення стічних вод. Як носії використовують інертні, не розчинні у воді структури, якими заповнюють об'єм очисної споруди, або його частину. Носії повинні мати високорозвинену поверхню, яка є ідеальною для прикріплення й утримання активного мулу.

В якості носіїв іммобілізованих мікроорганізмів було використано капронові волокна (джгутові) з питомою площею поверхні – 4000-5000 м²/м³, діаметром джугу – 1,5-2,5 мм, середнім діаметром мікроволокна – 100 мкм (рис. 2, а).

Очищення промислових стічних вод з високим вмістом органічних речовин (шкіряних заводів, м'ясопереробних, молокозаводів) було запропоновано здійснювати з використанням двоступеневої технології в послідовних анаеробних та аеробних умовах в біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами. На експериментальних моделях біореакторів і стічних водах молокозаводу було встановлено такі раціональні параметри анаеробного біореактора за початкових значень ХСК стічної води 4000-4500 мг/дм³: гідравлічне навантаження – 2-3 м³/(м³·добу); окисна потужність – 7200-8000 г ХСК/(м³·добу); питома швидкість деструкції – 40-45 мг ХСК/(г·год); тривалість – 10-12 год (для

порівняння, в метантенках – 10-20 діб); концентрація іммобілізованої біомаси – 15-20 г/дм³, що забезпечують ступінь очищення за ХСК до 70%. Для окиснення органічних речовин, які залишились в стічній воді після анаеробного процесу, було використано аеробний метод очищення з іммобілізованими мікроорганізмами. Експериментальну перевірку аеробної стадії виконували в моделі аеробного біореактора. В аеробних умовах проходить не тільки окиснення залишкових органічних речовин, а й процеси нітрифікації та дефосфатації. Амонійний азот окиснюється до нітритів і нітратів. Встановлено такі раціональні параметри аеробного процесу за початкового ХСК стічної води 1200-1350 мг/дм³: гідравлічне навантаження – 1,5-2 м³/(м³·добу); окисна потужність – 500-1300 г ХСК/(м³·добу); питома швидкість деструкції – 18-23 мг ХСК/(г·год); тривалість – 12-14 год; концентрація іммобілізованої біомаси – до 10 г/дм³ (для порівняння, в аеротенках з активним мулом – 2-3 г/дм³), що забезпечують ступінь очищення за ХСК до 94-96%. В результаті очищення стічних вод на виході з аеробного біореактора було отримано такі показники: ХСК – 50-80 мг/дм³; БСК_{повн} – 15-20 мг/дм³; завислі речовини – до 15 мг/дм³; сполуки азоту і фосфору - в межах норми для відведення у природні водойми. В результаті перебігу процесів очищення в послідовних анаеробних і аеробних умовах спостерігали зростання мінеральної складової активного мулу, про що свідчило збільшення зольності біомаси, %, в анаеробних умовах – від 30 до 40%, в аеробних – до 60%.

Результати впроваджені на шкіряному заводі в Івано-Франківській обл., картонно-паперовій фабриці в Хмельницькій обл., молокопереробному заводі в Рівненській обл., на газовидобувній станції в Полтавській області [16, 17].

В біореакторах спостерігали утворення біообростань на носіях (рис. 2, б; рис. 3, а), в аеробному спостерігали також вільний активний мул (рис. 3, б - д), в анаеробному біореакторі за тривалої роботи протягом двох років йшов процес формування гранульованого мулу.

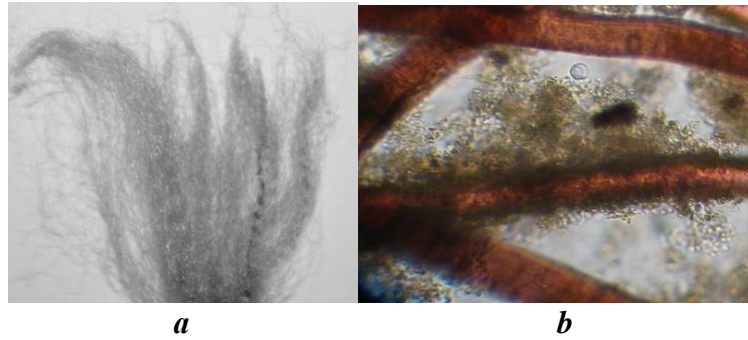


Рис. 2. Знімки носія: *a* – капронових волокон, загальний вигляд; *b* – мікрорознімки волокон з іммобілізованою біомасою, x200

Fig. 2. Photographs of the carrier: *a* – kapron fibers, general view; *b* – micrographs of fibers with immobilized biomass, x200

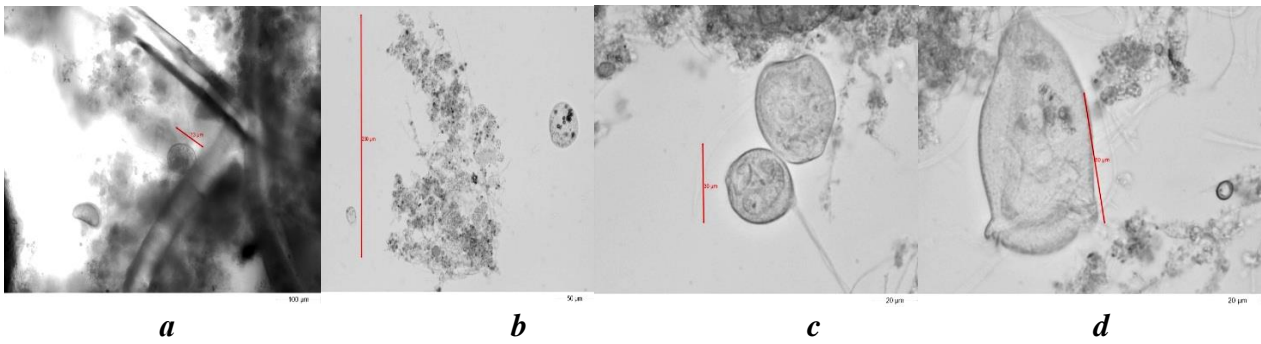


Рис. 3. Мікрорознімки: *a* – біологічних обростань носіїв (x200); *b, c, d* – вільного мулу в аеробних умовах, *b* (x100), *c* (x200), *d* (x400)

Fig. 3. Photomicrographs: *a* – biological growths of carriers (x200); *b, c, d* – free sludge in aerobic conditions, *b* (x100), *c* (x200), *d* (x400)

В біообростаннях носіїв були присутні зооглейні скупчення бактерій на поверхні волокон завтовшки 0,1-0,6 мм. Серед бактерій були представники родів: *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Corinebacterium*, *Thiobacillus*. У вільному активному мулі в аеробних умовах спостерігали бактерій родів *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, також гідробіонтів вищих трофічних рівнів: раковинні корененіжки, круглоїчасті інфузорії (рис. 3, *c, d*), коловертки та ін. За стабільного режиму роботи біореакторів відбувався процес саморегулювання чисельності популяцій гідробіонтів в результаті виїдання у харчових ланцюгах. Внаслідок виїдання бактеріальної частини біомаси мікроорганізмами вищих трофічних ланок відбувається зменшення біомаси та зростання мінеральної складової.

Гідродинамічний режим, створений в анаеробному біореакторі, сприяв формуванню гранульованого мулу з розміром кульок – 2-2,5 мм, високим вмістом сухої речовини – до 50 г/дм³ і малим муловим індексом – до 57 см³/г. Утворення гранульованого мулу дозволяє збільшити дозу анаеробного мулу в споруді, ефективність очищення від органічних речовин і полегшує відокремлення гранул від очищеної води.

Було розроблено методики іммобілізації на носіях мікроорганізмів з активного мулу, відібраного на діючих очисних спорудах, приготування сухих препаратів іммобілізованих мікроорганізмів і досліджено процес біологічного очищення стічних вод з використанням сухих препаратів. Результати були використані під час пуску в роботу ае-

ротенків, для відновлення роботи споруд після перерви (наприклад, на очисних спорудах підприємств із сезонною роботою, баз відпочинку, санаторіїв та ін.) та для реконструкції очисних споруд населених пунктів і баз відпочинку Шацького національного природного парку (сумісно з проектною організацією ТОВ «ОСТВА», м. Рівне).

ВИСНОВКИ

В результаті досліджень було розроблено та впроваджено на промислових підприємствах ефективні технології попереднього локального очищення промислових стічних вод з використанням фізико-хімічних методів (видалення антибіотиків, іонів важких металів, СПАР тощо) і біологічного очищення з використанням іммобілізованих мікроорганізмів з високими ефектами видалення органічних речовин за показниками ХСК і БСК, завислих речовин, сполук азоту, фосфору та ін., економією енергетичних витрат до 40-45%, забезпеченням високої якості очищеної води у відповідності з чинними нормами скиду в міську систему водовідведення та у природні водойми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Angeles L. F., Mullen R. A., Huang I. J., Wilson C., Khunjar W., Sirotkin H. I., McElroy A. E., Aga D. S. Assessing pharmaceutical removal and reduction in toxicity provided by advanced wastewater treatment systems // *Environmental Science: Water Research and Technology*. 2020. Issue. 6, № 1. P. 62–77.
2. Kurt A., Mert B. K., Özengin N., Sivrioğlu Ö., Yonar T. Treatment of Antibiotics in Wastewater Using Advanced Oxidation Processes (AOPs). *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*. 2017.
3. Collivignarelli M. C., Pedrazzani R., Sorlini S., Abbà A., Bertanza G. H₂O₂ based oxidation processes for the treatment of real high strength aqueous wastes // *Sustainability (Switzerland)*. 2017. Issue. 9, № 2. P. 1–14.
4. Ghaly M. Y., Härtel G., Mayer R., Haseneder R. Photochemical oxidation of p-chlorophenol by UV/H₂O₂ and photo-Fenton process. A comparative study // *Waste Management*. 2001. Issue. 21, № 1. P. 41–47.
5. Ribeiro A. R., Sures B., Schmidt T. C. Cephalosporin antibiotics in the aquatic environment: A critical review of occurrence, fate, ecotoxicity and removal technologies // *Environmental Pollution*, 2018. 241, 1153–1166.
6. Ahmed M. B., Zhou J. L., Ngo H. H., Guo W. Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater : Progress and challenges // *Science of the Total Environment*, 2015. Volume. 532. P. 112–126.
7. Choi K. J., Kim S. G., Kim S. H. Removal of antibiotics by coagulation and granular activated carbon filtration // *Journal of Hazardous Materials*. 2008. Volume. 151, № 1. P. 38–43.
8. Carabineiro S. A. C., Thavorn-Amornsri T., Pereira M. F. R., Figueiredo J. L. Adsorption of ciprofloxacin on surface-modified carbon materials // *Water Research*. 2011. Volume. 45, № 15. P. 4583–4591.
9. Adams C., Wang Y., Loftin K., Meyer M. Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment processes // *Journal of Environmental Engineering*. 2002. Volume. 128, № 3. P. 253–260.
10. Elbalkiny H. T., Yehia A. M., Riad S. M., Elsharty Y. S. Removal and tracing of cephalosporins in industrial wastewater by SPE-HPLC: optimization of adsorption kinetics on mesoporous silica nanoparticles // *Journal of Analytical Science and Technology*. 2019. Issue. 10, № 1.
11. Duan H. Study on the Treatment Process of Wastewater from Cephalosporin Production // *Journal of Sustainable Development*. 2009. Volume. 2, № 2. C. 133–136.
12. Watkinson A. J., Murby E. J., Costanzo S. D. Removal of antibiotics in conventional and advanced wastewater treatment: Implications for environmental discharge and wastewater recycling // *Water Research*. 2007. Volume. 41, № 18. C. 4164–4176.
13. Sabliy L., Zhukova V. Effective technology of pharmaceutical enterprises wastewater local treatment from antibiotics // *Biotechnologia acta*, v. 13, No 3, 2020. P. 81-88.
14. Sabliy L., Zhukova V., Konontsev S., Obodovych O., Sydorenko V. Problems of soapstock treatment of vegetable oil productions and their solutions // *Biotechnologia acta*. 2021, V. 14, No 4, P. 80-88.
15. Sabliy L., Zhukova V. Improvement of the technology of local wastewater treatment of the meat plants / *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування: колективна монографія / за ред. проф. Мальованого М.С. Київ, Яроченко Я.В., 2022, 566 с. С. 400-410.*

16. **Sabliy L., Kuzminskiy Y., Zhukova V., et al.** New approaches in biological wastewater treatment aimed at removal of organic matter and nutrients // *Ecol. Chem. Eng. S.*, 2019. 26(2), 331-343.
 17. **Sabliy L.A., Zhukova V.S.** Efficient treatment of industrial wastewater using immobilized microorganisms / *Water Supply and Wastewater Disposal. Designing, Construction, Operation and Monitoring. Monografie* / Edited by Beata Kowalska, Dariusz Kowalski. Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej. Lublin, 2022. P. 248-262.

REFERENCES

1. **Angeles, L. F., Mullen, R. A., Huang, I. J., Wilson, C., Khunjar, W., Sirotkin, H. I., McElroy, A. E., & Aga, D. S. (2020).** Assessing pharmaceutical removal and reduction in toxicity provided by advanced wastewater treatment systems. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 6(1). 62–77. <https://doi.org/10.1039/c9ew00559e>
 2. **Kurt, A., Mert, B. K., Özengin, N., Sivrioğlu, Ö., & Yonar, T. (2017).** Treatment of Antibiotics in Wastewater Using Advanced Oxidation Processes (AOPs). *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*. <https://doi.org/10.5772/67538>
 3. **Collivignarelli, M. C., Pedrazzani, R., Sorlini, S., Abbà, A., & Bertanza, G. (2017).** H₂O₂ based oxidation processes for the treatment of real high strength aqueous wastes. *Sustainability*, 9(2). 1–14. <https://doi.org/10.3390/su9020244>
 4. **Ghaly, M. Y., Härtel, G., Mayer, R., & Haseneder, R. (2001).** Photochemical oxidation of p-chlorophenol by UV/H₂O₂ and photo-Fenton process. A comparative study. *Waste Management*, 21(1). 41–47. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(00\)00070-2](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(00)00070-2)
 5. **Ribeiro, A. R., Sures, B., Schmidt, T. C. (2018).** Cephalosporin antibiotics in the aquatic environment: A critical review of occurrence, fate, ecotoxicity and removal technologies. *Environmental Pollution*, 241, 1153–1166. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.040>
 6. **Ahmed, M. B., Zhou, J. L., Ngo, H. H., & Guo, W. (2015).** Adsorptive removal of antibiotics from water and wastewater: Progress and challenges. *Science of the Total Environment*, 532. 112–126. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.130>
 7. **Choi, K. J., Kim, S. G., & Kim, S. H. (2008).** Removal of antibiotics by coagulation and granular activated carbon filtration. *Journal of Hazardous Materials*, 151(1). 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.05.059>

8. **Carabineiro, S. A. C., Thavorn-Amornsri, T., Pereira, M. F. R., & Figueiredo, J. L. (2011).** Adsorption of ciprofloxacin on surface-modified carbon materials. *Water Research*, 45(15). 4583–4591. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.06.008>
 9. **Adams, C., Wang, Y., Loftin, K., Meyer, M. (2002).** Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment processes. *Journal of Environmental Engineering*, 128(3). 253–260. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9372\(2002\)128:3\(253\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9372(2002)128:3(253))
 10. **Elbalkiny, H. T., Yehia, A. M., Riad, S. M., & Elsharty, Y. S. (2019).** Removal and tracing of cephalosporins in industrial wastewater by SPE-HPLC: optimization of adsorption kinetics on mesoporous silica nanoparticles. *Journal of Analytical Science and Technology*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s40543-019-0180-6>
 11. **Duan, H. (2009).** Study on the Treatment Process of Wastewater from Cephalosporin Production. *Journal of Sustainable Development*, 2(2). 133–136. <https://doi.org/10.5539/jsd.v2n2p133>
 12. **Watkinson, A. J., Murby, E. J., & Costanzo, S. D. (2007).** Removal of antibiotics in conventional and advanced wastewater treatment: Implications for environmental discharge and wastewater recycling. *Water Research*, 41(18). 4164–4176. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.04.005>
 13. **Sabliy, L., & Zhukova, V. (2020).** Effective technology of pharmaceutical enterprises wastewater local treatment from antibiotics. *Biotechnologia acta*, 13(3). 81-88. <https://doi.org/10.15407/biotech13.03.081>
 14. **Sabliy, L., Zhukova, V., Konontsev, S., Obodovych, O., & Sydorenko, V. (2021).** Problems of soapstock treatment of vegetable oil productions and their solutions. *Biotechnologia acta*, 14(4). 80-87. <https://doi.org/10.15407/biotech14.04.080>
 15. **Sabliy, L., & Zhukova, V. (2022).** Improvement of the technology of local wastewater treatment of the meat plants. *Sustainable development: environmental protection. Energy saving. Balanced nature management: collective monograph*. Kyiv, Yarochenko Ya. V. 400-410. Retrieved from <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2022/dec/29428/staliyrozvitokzahistnavkolishnogoseredovishchaenergooshchadnistzbalansovaneprirodokoristuvannyakolek.pdf> [in Ukrainian]
 16. **Sabliy, L., Kuzminskiy, Y., Zhukova, V., Kozar, M., & Sobchuk, H. (2019).** New approaches in biological wastewater treatment

aimed at removal of organic matter and nutrients. *Ecol. Chem. Eng. S.*, 26(2), 331-343. <https://doi.org/10.1515/eces-2019-0023>

17. Sabliy, L. A., Zhukova, V. S. (2022). Efficient treatment of industrial wastewater using immobilized microorganisms. *Water Supply and*

Wastewater Disposal. Designing, Construction, Operation and Monitoring. – Monografie. Lublin, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej. 248-262. Retrieved from https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/47916/1/Water_Supply_and_Wastewater_Disposal_2022.pdf

Development and implementation of industrial wastewater treatment technologies

Larysa Sabliy

Abstract. The results of the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute the Department of Bioenergetics, Bioinformatics and Ecobiotechnology researches in two directions: 1 - research into the processes of physical and chemical purification of industrial wastewater of a number of industrial enterprises from antibiotics, heavy metal ions, synthetic surfactants, etc. pollutants, and the development of local cleaning technologies before discharging pre-treated wastewater into the city's drainage network; 2 – study of processes of biological wastewater treatment of industrial enterprises with deep removal of nitrogen and phosphorus compounds using immobilized microorganisms. The greatest decrease in the COD index was observed in the processes of coagulation and settling of wastewater of a pharmaceutical enterprise. The effects of purification according to the COD indicator in the case of using ferrous sulfate III were 76.0% and 72.2% for the initial values of COD of untreated wastewater, respectively, 90 and 120 mg/dm³. For biological purification, microorganisms immobilized on VIA carriers were used in oxygen conditions created in model bioreactors - anaerobic, anoxic, aerobic. To increase the biomass, we used nylon textured thread according to TU 6-06-S116-87 with a fiber diameter of 1.5-2.5 mm and a microfiber diameter of 100 μm. The specific surface area was 4000-5000 m²/m³. The average concentration of biomass in bioreactors by dry matter, g/dm³, was: in anaerobic I – 30; in anaerobic II – 24; in anoxic I - 16.8; in anoxic II - 5.4; in aerobic - 3.2. Biological treatment of industrial wastewater using immobilized microorganisms made it possible to obtain high pollutant removal effects. The indicators of purified wastewater were: COD - 50-80 mg/dm³; BOD_{full} - 15-20 mg/dm³; suspended substances - up to 15 mg/dm³; compounds of nitrogen and phosphorus - within the norm for discharge into natural water bodies. The developed technologies were implemented at industrial enterprises, the savings in energy costs amounted to 40-45%, the high quality of purified water was ensured in accordance with the current standards for discharge into the city drainage system and into natural reservoirs.

Key words: industrial wastewater, pharmaceutical enterprises, coagulation, oxidation, immobilized microorganisms, granular anaerobic sludge.

Стаття надійшла до редакції 18.11.2023