

ВИБІР, РОЗРОБКА ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД

Саблій Л.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, larisasabliy@ukr.net

На сьогодні в Україні більшість промислових підприємств 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 ефекти очищення стічних вод, властивості активного мулу та залишкові концентрації екологічно небезпечних забруднень в очищених стічних водах, які скидають у природні водойми. Серед таких показників - вміст специфічних речовин: антибіотиків, СПАР (синтетичних поверхнево-активних речовин), нафти та нафтопродуктів, жирів та жирних кислот тощо, а також вміст загального азоту і загального фосфору. Оскільки джерелом забруднення стічних вод такими речовинами є діяльність промислових підприємств, то необхідно проводити їх залучення до вирішення проблем очищення стічних вод шляхом впровадження технологій локального очищення найбільш забруднених виробничих стічних вод, зокрема, фармацевтичних, машинобудівних підприємств, підприємств деревообробної, легкої (шкірзаводи, заводи по виробництву шерстяних ковдр), харчової (олійні, м'ясопереробні та молокопереробні заводи) галузей.

Ефективність роботи міських очисних споруд (швидкість, ефекти очищення й глибина вилучення окремих забруднень, склад продуктів їх окиснення та ін.) залежить від багатьох чинників, серед яких одним з основних є хімічний склад стічних вод. Найчутливішою ланкою до негативного впливу виробничих стічних вод є активний мул аеротенків, а саме його основні технологічні властивості – здатність до окиснення забруднюючих речовин та до седиментації й відділення від очищеної води в процесі відстоювання. Цей вплив не завжди враховується 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 контролюються екологічними службами), “спухання” активного мулу з перспективою його подальшої втрати.

В Україні є підприємства, 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, що спрямовані на вирішення питання локального очищення стічних вод від антибіотиків (цефалоспоринової групи), зокрема ПАТ Хімфармзавод «Червона зірка» (м. Харків). Окрім фармацевтичних заводів локальне очищення почали впроваджувати підприємства з таким видом діяльності, як машинобудування, виробництво шерстяних ковдр, харчові виробництва: м'ясопродуктів, олії, та ін. Низка підприємств пішла далі та запровадила комплексну технологію, що включає попереднє фізико-хімічне та наступне біологічне очищення з використанням запропонованих нами сучасних технологічних рішень з глибоким видаленням органічних забруднюючих речовин, сполук азоту і фосфору та доведенням концентрацій забруднювачів у очищеній воді до нормативних вимог для її відведення у природні водойми. Як приклад, можна навести шкіряний завод «Світ шкіри» в м. Болехів Івано-Франківської області, де за нашими рекомендаціями впроваджено технологію послідовного аноксидно-аеробного біологічного очищення з використанням нітратного рециклу та іммобілізованих мікроорганізмів в діючому аеротенку. Також на картонно-паперовій фабриці в м. Понінка Хмельницької області за результатами наших досліджень впроваджено в проєкт та виконано реконструкцію первинних відстійників в біокогулятори з попередньою аерацією в якості I ступеня очищення і запропоновано наступну біологічну стадію з продовженою аерацією стічних вод та активного мулу в аеротенку та регенераторі для очищення стічних вод підприємства (за продуктивності очисної станції 7000 м³/добу). Як додаткове джерело азоту і фосфору (за відсутності таких елементів у стічних водах) були використані добавки реагентів, які містять ці елементи. В результаті впровадження розробленої нами технології було досягнуто зниження показників стічних вод фабрики за ХСК (хімічне споживання кисню), мг О₂/дм³, від початкових значень 840-1760 до 70-80; за БСК₅ (біологічне споживання кисню протягом 5 діб), мг О₂/дм³, 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: 1 – дослідження процесів фізико-хімічного очищення виробничих стічних вод низки промислових підприємств (результати впроваджені на фармацевтичному, машинобудівному заводах, фабриці по виробництву шерстяних ковдр, олійному та м'ясопереробному заводах у м. Харкові в 2020–2022 рр.) від антибіотиків, іонів важких металів та ін. забруднювачів, які перешкоджають біологічному процесу, та розробка технологій локального очищення перед скиданням попередньо очищених стічних вод в мережу водовідведення міста [1-3]; 2 – дослідження процесів 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 [4,5] (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).

Як показали результати досліджень, проведених, згідно першого напрямку, на прикладі очищення виробничих стічних вод фармацевтичного підприємства (АТ «Біолік», м. Харків) [1], найбільше зниження показника ХСК, як свідчить рис. 1, спостерігали в процесах коагуляції забруднюючих речовин, що містяться в стічних водах, і відстоювання. 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. 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 мг/дм³.

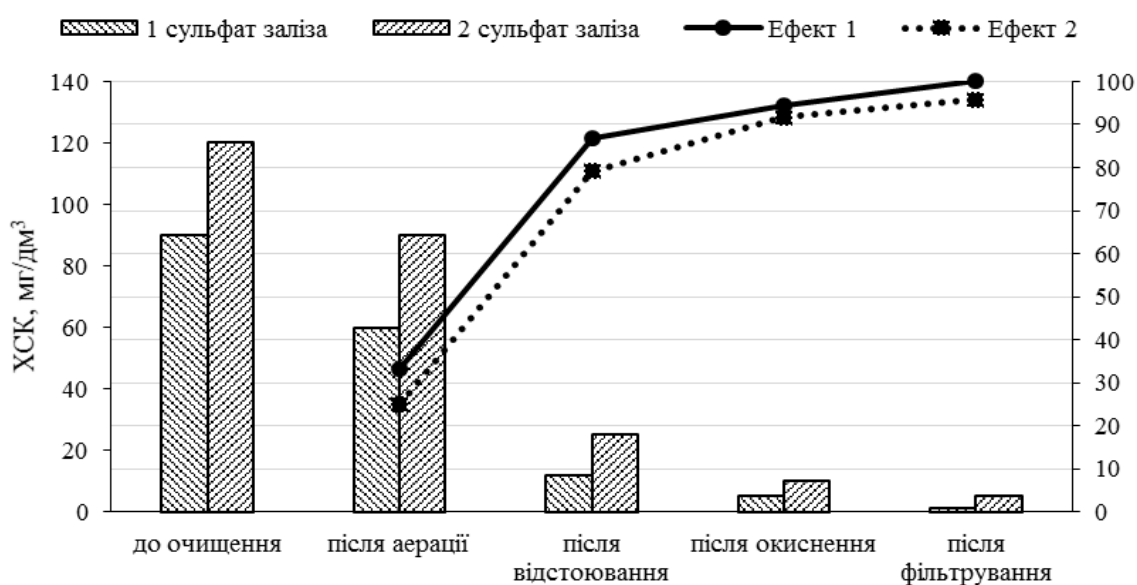


Рис. 1. Зміна показника ХСК виробничих стічних вод фармацевтичного підприємства і ефекту очищення за ХСК за використання для очищення технології «аерація – коагуляція сульфатом заліза III – відстоювання – окиснення – фільтрування»: ефект 1 визначено за ХСК в неочищеній стічній воді 90 мг/дм³ у кожному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

Результати досліджень за використання сульфату алюмінію показали менші ефекти очищення за показником ХСК – 71,9 і 65,5%, коли початкові ХСК були, відповідно, 90 і 120 мг/дм³. Отже, певну перевагу має коагулянт на основі сульфату заліза III проти сульфату алюмінію. Збільшення початкової величини показника ХСК в неочищеній стічній воді зменшує ефект видалення органічних речовин за ХСК при використанні коагулювання і відстоювання на 4-6,5%.

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

На основі отриманих результатів 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.

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

Одним із шляхів підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод (від органічних речовин, сполук азоту, фосфору та ін.) є збільшення концентрації активного мулу в об'ємі аеробного біореактора (аеротенка), що дозволяє підвищити окисну потужність споруди, зменшити тривалість процесу та забезпечує зниження економічних витрат на очищення стічних вод. Для цього використовують іммобілізовані, прикріплені до носіїв мікроорганізми [5]. Як носії слугують 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 (в джгутах) з питомою площею поверхні – 4000-5000 м²/м³, діаметром джгуту – 1,5-2,5 мм, середнім діаметром мікрОВОлокна – 100 мкм (рис. 2).

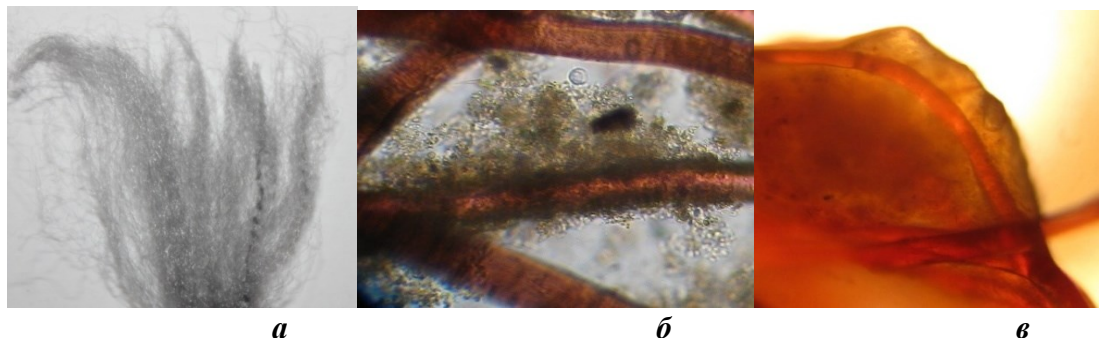


Рис. 2. Носій: а – знімок капронових волокон; б, в - мікрознімки волокон з іммобілізованою біомасою, x200 (б), x100 (в)

Для очищення промислових стічних вод з високим вмістом органічних речовин (шкірзаводів, м'ясопереробних та молокозаводів) було запропоновано двохстадійну технологію біологічного очищення з використанням іммобілізованих мікроорганізмів в послідовних анаеробних і аеробних умовах. Дослідження параметрів проводили на стічних водах молокозаводу на експериментальних моделях анаеробного та аеробного біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами. В результаті було встановлено такі раціональні параметри роботи анаеробного біореактора за початкового 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 (в метантенках потрібно 10-20 діб); концентрація іммобілізованої біомаси – 15-20 г/дм³, що забезпечують ступінь очищення за ХСК до 70%. Для окиснення органічних речовин, які залишилися в стічній воді після проходження анаеробного процесу, було використано аеробний метод очищення з іммобілізованими мікроорганізмами. Експериментальну перевірку аеробної стадії виконували в моделі аеробного біореактора. В аеробних умовах відбувається не тільки окиснення залишкових органічних речовин, а й процеси нітрифікації та дефосфотації. Амонійний азот окиснюється до нітритів і нітратів. В результаті було 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 (в аеротенках 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 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%.

В анаеробному та аеробному біореакторах спостерігали утворення біообростань на носіях (рис. 2, б; 2, в; 3, 1), в анаеробному за тривалої роботи (протягом 2 років) відбувалось формування гранульованого мулу (рис. 3, 3), в аеробному був присутній також вільноплаваючий активний мул (рис. 3, 2).

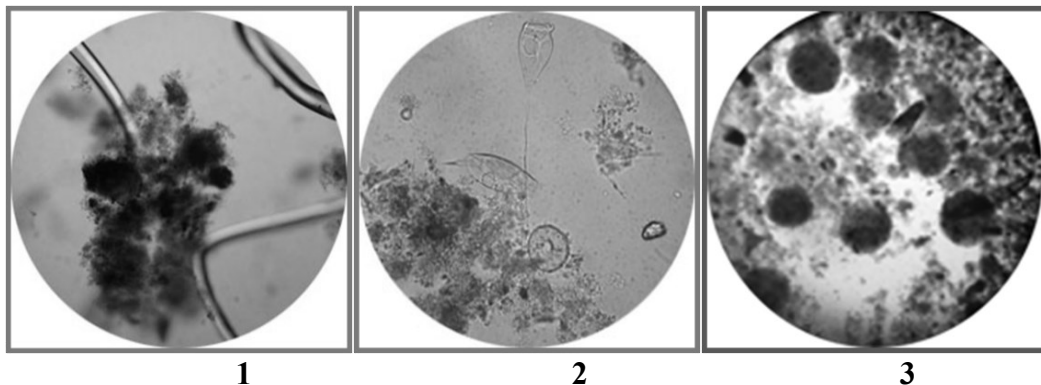


Рис. 3. Мікроснімки (x200):

1 – біообростань носіїв; 2 – вільноплаваючого активного мулу в аеробних умовах; 3 – гранульованого активного мулу в анаеробних умовах

В біообростаннях носіїв спостерігали зооглейні скупчення бактерій на поверхні волокна завтовшки 0,1-0,6 мм. Серед бактерій були численні представники родів: *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Corinebacterium*, *Thiobacillus*. У вільноплаваючому активному мулі в аеробних умовах були присутні бактерії родів *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, також спостерігали гідробіонтів вищих трофічних рівнів: раковинні корененіжки, кругловічасті інфузорії, коловертки (рис. 3, 2) та ін., – типових представників активного мулу. За стабільного режиму роботи відбувалось саморегулювання

чисельності популяцій гідробіонтів в результаті виїдання їх у харчових ланцюгах по типу «хижак-жертва». Внаслідок виїдання бактеріальної частини біомаси гідробіонтами вищих трофічних ланок харчових ланцюгів біоценозу очисної споруди відбувається зменшення біомаси та збільшення мінеральної частини, що було підтверджено результатами досліджень.

Утворений в анаеробному біореакторі гідродинамічний режим сприяв формуванню гранульованого активного мулу (рис. 3, 3) з розміром гранул 2-2,5 мм, високою концентрацією сухої речовини – до 50 г/дм³ і малим муловим індексом – до 57 см³/г. Утворення гранульованого активного мулу дозволяє збільшити концентрацію активного мулу в споруді, ефективність очищення від органічних речовин і полегшує відокремлення гранул мулу від очищеної води.

На підставі отриманих результатів 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 аеротенків, 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).

В результаті проведених нами 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 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.

Список використаної літератури:

1. Sabliy L., Zhukova V. Effective technology of pharmaceutical enterprises wastewater local treatment from antibiotics / *Biotechnologia acta*, v. 13, No 3, 2020. – P. 81-88.
2. 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.
3. Sabliy L., Zhukova V. Improvement of the thechnology 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.*
4. 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.
5. 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.*