

ДОСЛІДЖЕННЯ АДАПТАЦІЇ АКТИВНОГО МУЛУ ДО АНАЕРОБНО-АЕРОБНИХ УМОВ БІОРЕАКТОРІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Л.А. Саблій¹, В.С. Жукова¹, Г. Собчук², А. Бегановський³, Г. Лагуд⁴, К. Яромін-Глень³

1 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ;

2 – Представництво Польської академії наук в м. Києві;

3 – Інститут агрофізики ім. Богдана Добжанського Польської академії наук, м. Люблін, Польща;

4 – Державний університет «Люблінська політехніка», м. Люблін, Польща
e-mail: larisasabliy@mail.ru

Наведено результати експериментальних досліджень пуску установки біологічного очищення стічних вод з високим вмістом органічних речовин, сполук азоту та ін. при послідовному застосуванні анаеробних і аеробних умов та оснащенні біореакторів волокнистими носіями для іммобілізації мікроорганізмів.

Одержаний на 4-й день роботи системи біореакторів ступінь очищення стічних вод за ХСК склав 57,3 %, концентрацією загального азоту – 65,3 %, амонійного азоту – 70,8 %, підтвердив ефективну роботу мікроорганізмів-деструкторів і окисників сполук азоту.

Для адаптації мікроорганізмів, створення необхідних біоценозів та нарощування біомаси на поверхні носіїв в анаеробних і аеробних біореакторах необхідна тривалість роботи системи складає не менше 22 днів. В цьому разі ефект очищення стічних вод за ХСК досягає понад 90 % при початковому ХСК понад 1000 мг/дм³.

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, біореактор, анаеробні умови, аеробні умови, носій іммобілізованих мікроорганізмів

Вступ

Для ефективного очищення стічних вод від органічних речовин, сполук азоту та фосфору, навіть таких висококонцентрованих стічних вод, як стічні води підприємств харчової, легкої та інших галузей промисловості, все більшого поширення набуває використання технологій біологічного очищення, які ґрунтуються на використанні різних умов залежно від концентрації розчиненого у воді кисню: від анаеробних, аноксидних – до аеробних [1-3]. Поєднання цих умов в певній послідовності із дотриманням потрібних для очищення технологічних режимів дозволяє одержати якість очищеної води у відповідності до вимог скидання у природні водойми і водотоки. Для забезпечення ефективної роботи очисних споруд – біореакторів з різними кисневими умовами, наприклад, анаеробних за відсутності розчиненого кисню чи аеробних з достатнім насиченням води киснем, та зменшення їх розмірів водночас із збільшенням деструктивної потужності споруд і зменшенням витрат на експлуатацію все частіше застосовують різноманітні носії для іммобілізації мікроорганізмів. Серед відомих видів носіїв найбільшу активну поверхню мають волокнисті носії зі штучного (капронового) волокна, які дозволяють досягти високих концентрацій біомаси мікроорганізмів, зокрема, в анаеробних умовах – понад 20 г/дм³ [1] і значно інтенсифікувати процеси очищення стічних вод в біологічних очисних спорудах.

Постановка задачі

Метою досліджень було встановлення адаптаційних можливостей активного мулу в біологічних очисних спорудах (біореакторах) з різними кисневими умовами: анаеробними чи аеробними; для селекції мікроорганізмів на різних стадіях очищення стічних вод і забезпечення ефективного їх очищення від органічних речовин та сполук азоту.

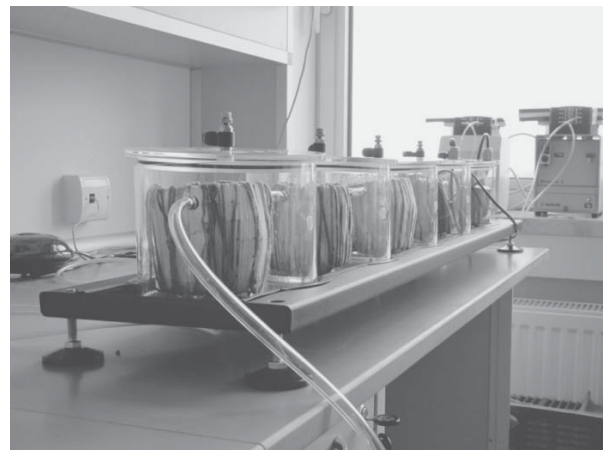
Об'єкти і методи досліджень

В лабораторії відділу біогеохімії природного середовища Інституту агрофізики ім. Богдана Добжанського Польської академії наук (зав. відділом dr hab. Andrzej Bieganski, prof. IA PAN) за сприяння Представництва Польської академії наук в м. Києві (директор prof. dr hab. Henryk Sobczuk) в лютому 2015 року були проведені сумісні дослідження українськими та польськими науковцями з кафедри екобіотехнології та біоенергетики НТУУ «КПІ» (м. Київ, Україна), Інституту агрофізики Польської академії наук (м. Люблін, Польща) і Державного університету «Люблінська політехніка» (м. Люблін, Польща).

Для реалізації технології біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів [3, 4] було використано модельну установку (рис. 1, а, б), яка представляла собою проточну систему анаеробно-аеробних біореакторів з іммобілізованими на носіях ВІЯ мікроорганізмами і складалась з 5 послідовно з'єднаних біореакторів: двох анаеробних I та II ступенів з рециркуляційними насосами і трубками з перфорацією для зрошування носіїв (рис. 1, в), трьох аеробних I, II та III ступенів (рис. 1, г).



а)



б)



в)



г)

Рис.1. Експериментальна установка біологічного очищення стічних вод:
а, б – загальний вигляд; в - анаеробний біореактор; г - аеробний біореактор.

В аеробних біореакторах обладнано аератори для дрібнобульбашкової аерації води. Діаметр біореакторів - 15 см, висота води - 9 см. В усіх біореакторах встановлено волокнисті капронові носії ВІЯ з діаметром волокна 3 мм для іммобілізації мікроорганізмів з висотою 0,09 м. Для видалення газів із анаеробних секцій в кришках встановлено крани. Для роботи в проточному режимі з витратою води 2 дм³/год було використано перистальтичний насос Gilson Minipuls.

Для моделювання стічних вод молокозаводу використовували молочну сироватку, в складі органічних речовин якої містяться всі компоненти стічних вод у таких самих співвідношеннях. Показник ХСК сироватки становив 61700 мг О₂/дм³. В кожному секцію

додавали по 10 см³ молочної сироватки для досліджень в стаціонарних умовах. Для забезпечення роботи в проточних умовах модельний розчин готували із розрахунку 50 см³ сироватки на 3 дм³ води.

В проточному режимі з бака-дозатора модельний розчин за допомогою перистальтичного насоса подавали в анаеробний біореактор I ступеня, з якого самопливом розчин послідовно проходив через всі наступні біореактори, очищався і витікав в збірник очищеного розчину.

Для швидкого запуску установки біологічного очищення до чистих волокон носія, установлених на каркасах в кожній секції, було додано носії з висушеними іммобілізованими мікроорганізмами. Носії були взяті з біореакторів експериментальної установки, яка протягом 5 років працювала в режимі очищення стічних вод в лабораторії кафедри екобіотехнології та біоенергетики НТУУ «КПІ». Для нарощування біомаси на носіях також в кожен секцію було додано по 250 см³ активного мулу, відібраного на діючих очисних спорудах біологічного очищення стічних вод міста Люблін (Польща). Концентрація активного мулу за сухою речовиною становила 5,2 г/дм³. Для забезпечення нормального метаболізму мікроорганізмів в установку додали 5 г К₂НРО₄. Проби активного мулу мікроскопували для встановлення наявності показових мікроорганізмів, які характеризують роботу споруд біологічного очищення. Для цього було використано автоматизований мікроскоп Malvern Morphologi G3 S (рис. 2, а). Результати спостережень показали (рис. 2, б-г) присутність в активному мулі великої кількості інфузорій: черевовійчастих (*Aspidisca*), рівновійчастих (*Paramecium*, *Hemiophrys*), круглівійчастих (*Vorticella* – див. рис. 2, г, *Opercularia* - рис. 2, в); черепашкових амеб (*Arcella* - рис. 2, б); коловерток, що свідчить про хорошу роботу аеротенків (достатню аерацію стічної води, ефективні процеси бактеріальної деструкції органічних речовин та високий ступінь очищення стічних вод за органічними речовинами).

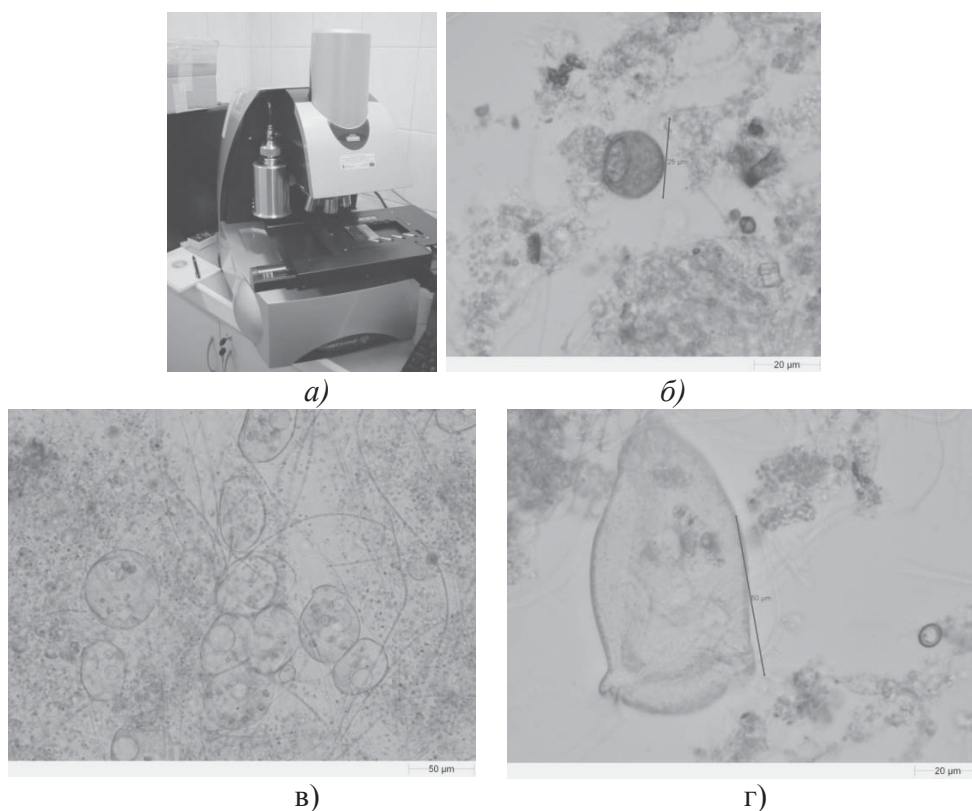


Рис. 2. Мікроскопування вільноплаваючого активного мулу в біореакторах: а – загальний вигляд мікроскопа Malvern Morphologi G3 S; б, в, г - мікрофотознімки вільноплаваючого активного мулу в біореакторах.

Спочатку установку заповнили модельним розчином і досліджували її роботу в статичних умовах. Через дві доби було реалізовано проточний режим, здійснено включення насосів (подаючого та двох рециркуляційних в анаеробних біореакторах), коригування витрати стічних вод через установку та витрат повітря в аеробних біореакторах, та проведено аналіз роботи біореакторів. В секціях спостерігали обростання ВІЙ і проводили їх мікроскопування (рис. 3). Поблизу обростань утримуються найпростіші, коловертки, які використовують різного роду речовини для своєї життєдіяльності.

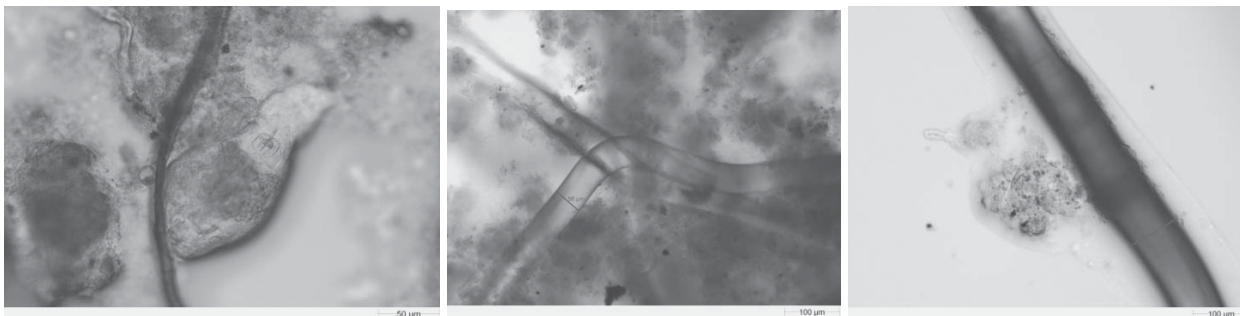


Рис.3. Мікрофотознімки біообростань носіїв в біореакторах.

Аналіз кількісних показників модельних розчинів проводили за допомогою таких приладів фірми HACH LANGE: NT 200S та DR 2800 для визначення показника ХСК, концентрації загального і амонійного азоту з використанням наборів реактивів для відповідних аналізів; HACH HQ 40d multi для визначення рН, концентрації розчиненого кисню.

Результати досліджень та їх обговорення

Після забезпечення проточного режиму роботи експериментальної установки при сталій витраті модельного розчину на 4 добу встановлено низку показників, які наведено в таблиці.

В експериментальній установці (рис. 4) були прийняті однакові розміри ємностей біореакторів (2 дм³) для можливості моделювання анаеробної (2 біореактори) і аеробної (3 біореактори) стадій очищення. Також прийнята однакова висота носіїв, але різна маса волокон: більша на початку очищення в анаеробних біореакторах і, по мірі очищення стічної води, менша. Цим досягали зменшення активної площі поверхні носія в біореакторах і зменшення біомаси мікроорганізмів при зниженні концентрації органічних речовин в стічній воді при послідовному її перетіканні від одного ступеня до іншого.

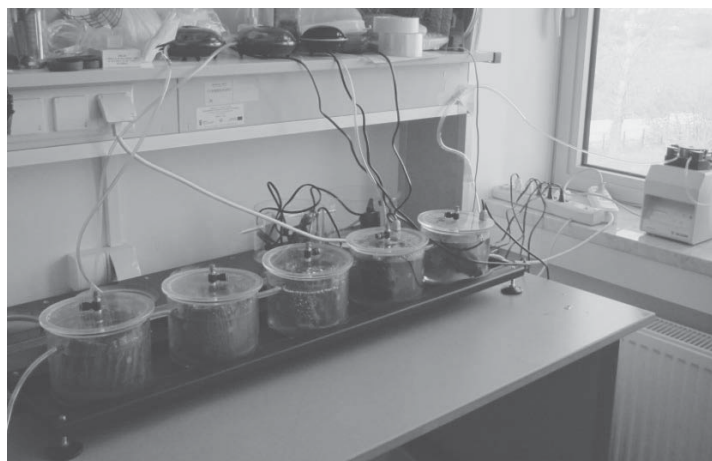


Рис. 4. Установка в роботі у проточному режимі.

Для іммобілізації мікроорганізмів використовували капронове волокно, середній діаметр якого - 3 мм, що складається з близько 100 мікріволокон середньої товщини 60 мкм кожне.

Як видно із таблиці 1, протягом 4 діб було нарощено необхідну для роботи аеробних біореакторів концентрацію мікроорганізмів, що дозволило знизити ХСК від 922 мг/дм³ до 429 мг/дм³ (ступінь зниження ХСК становить 53,5%), чого не можна сказати про анаеробну стадію (ступінь зниження ХСК всього 8,2%). За вказаний час не було створено достатні умови для ефективного очищення, адже концентрація біомаси в анаеробних біореакторах становила 800 мг/дм³, тоді як для ефективної деструкції органічних забруднюючих речовин потрібно здійснити нарощування біомаси мікроорганізмів на носіях до 15-20 г/дм³. Як показали раніше проведені дослідження, для досягнення такого показника в анаеробних біореакторах потрібен довший час роботи – до 45 днів [1].

Таблиця 1. Конструктивні та технологічні показники експериментальної установки

| Найменування показника | Анаеробний біореактор I ступеня | Анаеробний біореактор II ступеня | Аеробний біореактор I ступеня | Аеробний біореактор II ступеня | Аеробний біореактор III ступеня |
|--|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Об'єм, дм ³ | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Об'єм води, дм ³ | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 | 1,6 |
| Висота носіїв ВІЯ, м | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 | 0,09 |
| Маса носіїв (мокрих), г | 170 | 127 | 116 | 117 | 92 |
| Діаметр волокна носія, мм | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Витрата модельного розчину, дм ³ /год. | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| ХСК на вході, мг/дм ³ | 1005 | 950 | 922 | 815 | 630 |
| ХСК на виході, мг/дм ³ | 950 | 922 | 815 | 630 | 429 |
| Ефект очищення за ХСК, % | - | 8,2 | - | - | 53,5 |
| Концентрація загального азоту, мг/дм ³ : - на вході | 8,45 | - | - | - | - |
| - на виході | - | - | - | - | 2,92 |
| Ефект очищення за загальним азотом, % | - | - | - | - | 65,3 |
| Концентрація амонійного азоту, мг/дм ³ : - на вході | 1,37 | - | - | - | - |
| - на виході | - | - | - | - | 0,4 |
| Ефект очищення за амонійним азотом, % | - | - | - | - | 70,8 |
| Концентрація розчиненого кисню, мг О ₂ /дм ³ | 0,21 | 0,92 | 4,17 | 6,44 | 6,95 |
| pH | 5,7 | 6,0 | 7,07 | 7,2 | 7,36 |

Зниження концентрації загального азоту в системі біореакторів становило 65,3% при початковій - 8,45 мг/дм³, амонійного азоту – 70,8% при початковій - 1,37 мг/дм³.

Крім того, на створення анаеробних умов впливає повне видалення розчиненого кисню із стічної води. Як видно із наведених в таблиці результатів, в анаеробних секціях концентрація розчиненого кисню становила: в I біореакторі – 0,21 мг O₂/дм³, в II – 0,92 мг O₂/дм³, що свідчить про наявність розчиненого кисню, хоча й у малих кількостях. Можливо це пов'язано із порушенням герметичності біореакторів при налагодженні режимів їх роботи. В подальшому при встановлених режимах відкривати кришки анаеробних біореакторів не рекомендується для забезпечення строгих анаеробних умов із концентрацією розчиненого кисню рівною 0. Тоді як в аеробних умовах концентрація розчиненого кисню, як показали дослідження, є достатньою для процесу аеробного окиснення забруднюючих речовин мікроорганізмами відповідних біореакторів

Проведено дослідження мікроорганізмів, іммобілізованих на волокнистих носіях (рис. 3). Присутність численних найпростіших в аеробних біореакторах вказує на те, що в них були створені умови для реалізації біоконвеєра - від організмів нижчих трофічних рівнів до вищих: від бактерій, дрібних джгутикових, інфузорій до коловерток. Робота всіх ланок трофічного ланцюга біоценоза, створеного в біореакторах за підтримки певних умов процесу очищення стічної води, забезпечує як ефективне очищення стічних вод від органічних забруднюючих речовин, сполук азоту та ін., так і регулювання чисельності мікробних популяцій. Внаслідок виїдання бактеріальної частини біомаси гідробіонтами вищих трофічних ланок харчових ланцюгів, які утворюються в біоценозах споруд, відбувається зменшення кількості біомаси по мірі очищення води та збільшення її мінеральної частини.

Для створення потрібних умов – анаеробних на початковій стадії очищення (в перших двох біореакторах), ємності були герметично закриті, обладнані трубками для підведення і відведення води, пристроєм для видалення газів. Перемішування здійснювали за допомогою насоса. Одержані результати показують (рис. 5), що концентрація розчиненого у воді кисню в I анаеробному біореакторі на 3 день роботи становила 0,21 мг O₂/дм³ і в подальшому була незмінною. В II анаеробному біореакторі на 3 день роботи одержано 2,44 мг O₂/дм³, що не відповідає анаеробним умовам.

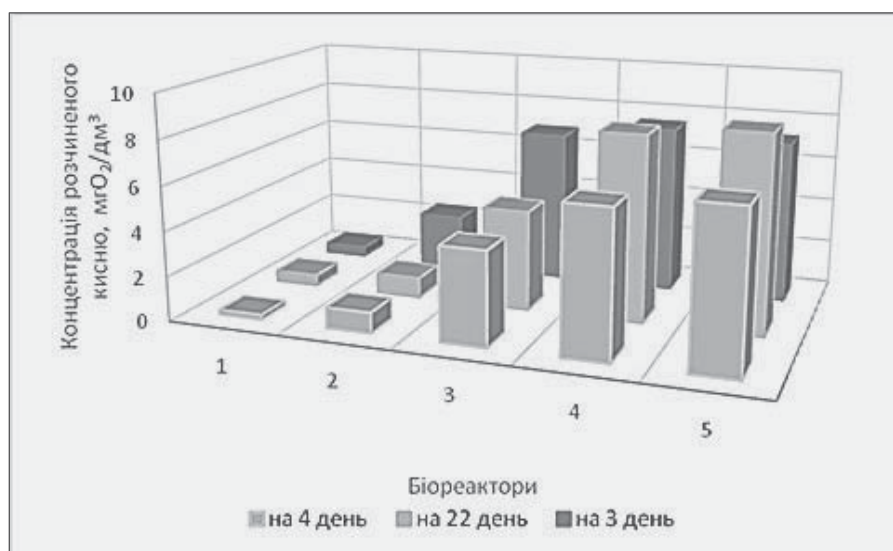


Рис. 5. Зміна концентрації розчиненого кисню в біореакторах: 1, 2 – анаеробних, відповідно, I і II ступеня; 3-5 – аеробних I – III ступенів (за даними, одержаними на 3, 4 і 22 дні роботи установки).

Але вже на 4 день при дотриманні проточних умов роботи і забезпеченні герметичності установки було досягнуто 0,92 мг O₂/дм³. Отже, при подальшій роботі потрібно ретельне

витримування анаеробних умов, що дозволить здійснити деструкцію складних органічних речовин, в тому числі й азотовмісних.

Забезпечення аеробних умов було здійснене на наступній стадії (в трьох наступних біореакторах) за допомогою дрібнобубашкових аераторів, встановлених в ємностях. Концентрація розчиненого кисню в них досягала $4,17-8,8 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, що забезпечило хороші умови для аеробного біологічного окиснення органічних речовин, нітрифікації і життєдіяльності мікроорганізмів вищих трофічних рівнів.

Результати визначення показника рН в біореакторах, наведені на рис. 6, свідчать про утворення в анаеробних біореакторах під час роботи системи слабкокислого середовища з рН 5,7-6,0, а в аеробних – нейтрального з рН 7,07-7,4 на початку роботи з подальшим збільшенням до 8,1 на 22 день.

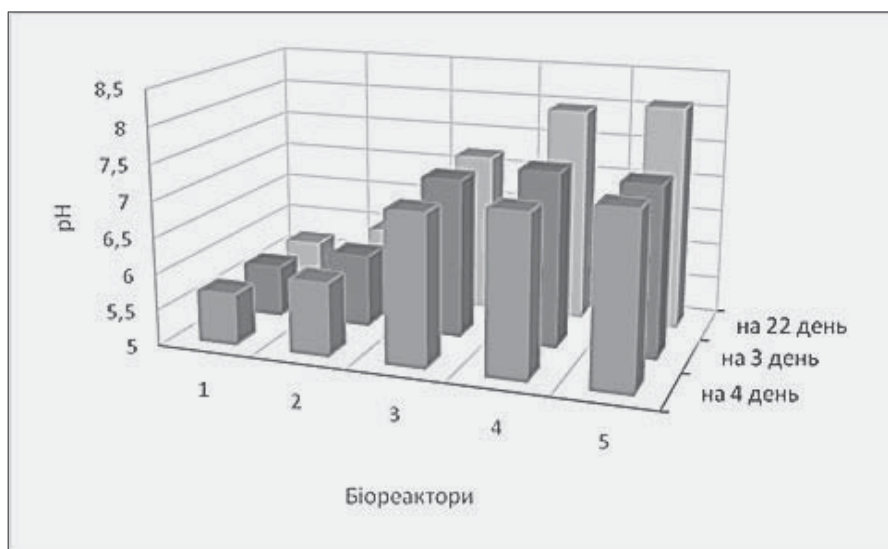


Рис. 6. Зміна рН в біореакторах: 1, 2 – анаеробних, відповідно, I і II ступеня; 3-5 – аеробних I – III ступенів (за даними, одержаними на 3, 4 і 22 дні роботи установки).

Ступінь очищення стічних вод від органічних речовин встановили за зміною показника ХСК (рис. 7).

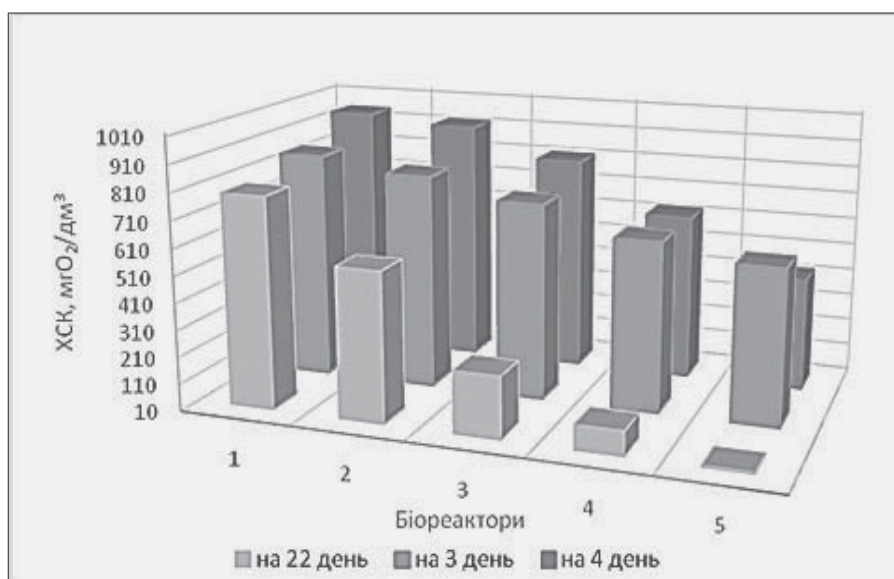


Рис. 7. Зміна показника ХСК на виході з біореакторів: 1, 2 – анаеробних, відповідно, I і II ступеня; 3-5 – аеробних I – III ступенів

(за даними, одержаними на 3, 4 і 22 дні роботи установки).

При початковому ХСК модельного розчину $1005 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ на виході з II анаеробного біореактора цей показник становив $922 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, на виході з III аеробного – $429 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ (на 4 день роботи установки) і, відповідно, 567 та $16 \text{ мг O}_2/\text{дм}^3$ (на 22 день роботи). Ефект очищення стічних вод за ХСК в системі біореакторів становив $57,3\%$ на 4 день роботи і $98,4\%$ на 22 день роботи (на анаеробній стадії, відповідно, $8,2\%$ і $43,6\%$).

Зниження концентрації загального та амонійного азоту показано на рис. 8.

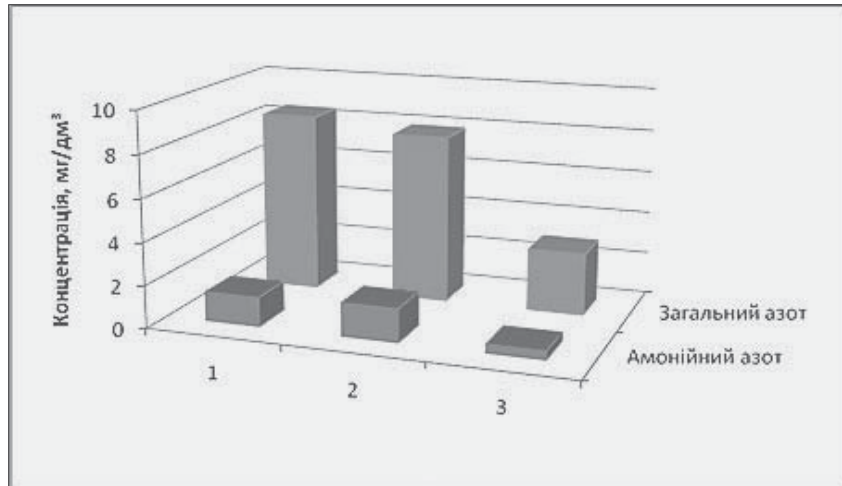


Рис. 8. Зміна концентрації загального і амонійного азоту:

1 – на вході в установку; 2 – на виході з анаеробного біореактора II ступеня;
3 – на виході з установки (за даними, одержаними на 4 день роботи установки).

Результати свідчать про те, що частина сполук азоту в процесі денітрифікації переходить в газову фазу (зменшується концентрація загального і амонійного азоту у модельному розчині), частина – засвоюється мікроорганізмами для синтезу клітинних речовин. Амонійний азот частково окиснюється мікроорганізмами в процесі нітрифікації до нітритів та нітратів.

Висновки

Підтверджено можливість адаптації мікроорганізмів активного мулу діючих міських очисних споруд біологічного очищення стічних вод до анаеробних і аеробних умов, створених в біореакторах, і якості стічної води, яку необхідно очистити, наприклад, від органічних речовин, сполук азоту тощо. Для цього необхідно забезпечити в системі біореакторів спочатку статичні умови з контролем концентрації розчиненого кисню в кожному біореакторі, а потім – динамічні, з контролем показника ХСК, концентрації сполук азоту та ін. забруднюючих речовин, рН, концентрації біооброствань, а також мікроскопуванням біооброствань та вільноплаваючого активного мулу.

За наявності волокнистих носіїв зі штучного (капронового) волокна відбувається іммобілізація мікроорганізмів на їх поверхні. В біореакторах при проточному режимі роботи утворюються і підтримуються біоценози мікроорганізмів різних трофічних рівнів. Це забезпечує деструкцію органічних речовин, денітрифікацію на анаеробній стадії і окиснення та нітрифікацію – на аеробній. Наявність в біоценозах найпростіших і коловороток забезпечує зменшення кількості утвореної в системі біомаси.

Отриманий на 4 день роботи системи біореакторів ступінь очищення стічних вод за концентрацією загального азоту – $65,3\%$, амонійного азоту – $70,8\%$ підтверджує ефективну роботу мікроорганізмів-деструкторів і окисників сполук азоту.

Проте, для збільшення ефективності очищення стічної води в анаеробних біореакторах потрібна більша тривалість нарощування біооброствань, адже за 4 дні роботи концентрація біомаси становила 800 мг/дм³, тоді як потрібно 15-20 г/дм³. Тому ефект за ХСК на анаеробній стадії був невисокий (8,2%). При роботі протягом 22 днів ефект очищення стічних вод зріс до 43,6%, що свідчить про достатню кількість біооброствань в анаеробних біореакторах.

Таким чином, для адаптації мікроорганізмів, створення необхідних біоценозів та нарощування біомаси на поверхні носіїв в анаеробних і аеробних біореакторах при проточному режимі роботи очисних споруд потрібна тривалість не менше 22 днів в умовах очищення стічних вод з високими концентраціями органічних речовин.

ИССЛЕДОВАНИЕ АДАПТАЦИИ АКТИВНОГО ИЛА К АНАЭРОБНО-АЭРОБНЫМ УСЛОВИЯМ БИОРЕАКТОРОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Л.А. Саблий¹, В.С. Жукова¹, Г. Собчук², А. Бегановский³, Г. Лагуд⁴, К. Яромин-Глень³

1 – Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев;

2 – Представительство Польской академии наук в г. Киеве;

3 – Институт агрофизики им. Богдана Добжанского Польской академии наук, г. Люблин, Польша;

4 – Государственный университет «Люблинская политехника», г. Люблин, Польша
e-mail: larisasabliy@mail.ru

Представлены результаты экспериментальных исследований по запуску установки биологической очистки сточных вод с высоким содержанием органических веществ, соединений азота и др. при использовании последовательно созданных анаэробных и аэробных условий, оборудовании биореакторов волокнистыми носителями для иммобилизации микроорганизмов.

Полученная на 4 день работы системы биореакторов степень очистки сточных вод по ХПК составила 57,3 %, по концентрации общего азота – 65,3 %, аммонийного азота – 70,8 %, подтвердила эффективную работу микроорганизмов-деструкторов и окислителей соединений азота.

Для адаптации микроорганизмов, создания необходимых биоценозов и наращивания биомассы на поверхности носителей в анаэробных и аэробных биореакторах требуемая продолжительность работы системы составляет не менее 22 дней. При этом эффект очистки сточных вод по ХПК достигает более 90% при начальном ХПК более 1000 мг/дм³.

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, биореактор, анаэробные условия, аэробные условия, носитель иммобилизованных микроорганизмов.

RESEARCH OF ACTIVATED SLUDGE ADAPTATION TO ANAEROBIC-AEROBIC CONDITIONS OF BIOREACTORS FOR WASTEWATER TREATMENT

L. Sabliy¹, V. Zhukova¹, G. Sobczuk², A. Bieganski³, G. Lagod⁴, K. Jaromin-Glen³

1 - National Technical University of Ukraine 'Kyiv polytechnic Institute', Kyiv, Ukraine;

2 – Polish Academy of Sciences, Scientific Center in Kyiv, Ukraine;

3 – Bohdan Dobrzański Institute of Agrophysics of the Polish Academy of Sciences, Lublin, Poland;

4 - Lublin University of Technology, Poland.

e-mail: larisasabliy@mail.ru

The results of experimental researches of starting of wastewater biological treatment establishment with high contaminants of organic matter, nitrogen are presented. Consecutive

anaerobic and aerobic conditions, the fibrous carrier for microorganism's immobilization in bioreactors are using.

The obtained effects of wastewater treatment on COD – 57,3%, on total nitrogen – 65,3%, on ammonium nitrogen – 70,8% present that it was confirmed effective work of microorganisms- destructors and oxidators of nitrogen.

For microorganism's adaptation, necessary biocenoses creation and biomass growing on carrier surface in anaerobic and aerobic bioreactors duration of system work must be not less than 22 days. For this condition, the effect on COD is over 90% at initial COD – over 1000 mg/dm³.

Key words: wastewater, biological treatment, bioreactor, anaerobic conditions, aerobic conditions, carrier for microorganisms immobilization

Список літератури

1. *Саблій Л.А.* Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: монографія / Л.А. Саблій - Рівне: НУВГП, 2013. – 292 с.

2. Sabliy, Y. Anaerobic and aerobic treatment of wastewater of milk plants [Електронний ресурс] / L. Sabliy, Y. Kuzminskiy, P. Gvozdyak, G. Lagód // SEChE, Proceedings of ESOpole. – 2009. – № 2. – Vol. 3. – P. 373–378. – Режим доступу до журн.:

http://tchie.uni.opole.pl/ecoproc09b/SabliyKuziminskiy_PECO09_2.pdf

3. Zhukova V. Biotechnology of the food industry [Електронний ресурс] / V. Zhukova, L. Sabliy, G. Lagód /Biotechnology of the food industry wastewater treatment from nitrogen compounds / Proceedings of ESOpole, 2011.-Vol.5.-No.1.- p.133-138. – Режим доступу до журн.: http://tchie.uni.opole.pl/PECO11_1/EN/ZhukovaSabliy_PECO11_1.pdf

4. Пат. 94856 України, МПК C02F 3/30. Спосіб біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П.І., Кузьмінський Є.В., Саблій Л.А., Жукова В.С. – № а 2010 06126; заявл. 20.05.10, опубл. 10.06.11, Бюл. № 5.

5. Пат. 97747 України, МПК C02F 3/02. Спосіб аеробного біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П.І., Глоба Л.І., Саблій Л.А., та ін. – № а 2010 14394; заявл. 01.12.10, опубл. 12.03.12, Бюл. № 5.