

УДК 628.33

АНАЕРОБНО-АЕРОБНЕ ОЧИЩЕННЯ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНИХ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД

Л. А. Саблій

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ
e-mail: larisasabliy@mail.ru

Для очищення висококонцентрованих за органічною речовиною стічних вод запропонована ефективна технологія ступеневого анаеробно-аеробного очищення. Досліджено швидкості окислення органічних речовин, біомасу мікроорганізмів, іммобілізованих на носіях, на різних ступенях очищення.

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, біореактор, іммобілізовані мікроорганізми, швидкість окислення.

Вступ

Споруди біологічного очищення стічних вод, які традиційно використовують в наш час на очисних станціях промислових підприємств і міст в Україні: аеротенки, біофільтри, циркуляційні окислювальні канали та інші, працюють неефективно через нерівномірність надходження стічних вод за витратою і складом забруднень, підвищені вимоги до якості очищеної води, великі об'єми осадів, що потребують утилізації.

Висококонцентровані стічні води молокозаводів, концентрації органічних речовин в яких досягають 3700 мг/л за ХСК, можна очищати з використанням аеробного біологічного очищення в аеротенках продовженої аерації, високонавантажуваних біофільтрах, циркуляційних окислювальних каналах, в двохступінчастих схемах з аеротенками та ін.

Недоліками технологій аеробного біологічного очищення стічних вод молокозаводів є високі витрати електроенергії на подачу повітря в аеротенки, високонавантажуваних біофільтри та інші споруди; високий приріст надлишкової біомаси активного мулу, що погано віддає вологу і потребує стабілізації; нестійкість до періодичної і сезонної роботи підприємств (наприклад, на молокозаводах середня добова витрата влітку може досягати 100 м³ і більше, а взимку знижується до 20 м³); спухання активного мулу через високі концентрації органічних речовин, які спричинюють перевантаження мулу, порушення роботи вторинних відстійників [1-4].

Постановка задачі

Для біологічного очищення висококонцентрованих за органічною речовиною стічних вод молокозаводів пропонується багатоступенева анаеробно-аеробна технологія з використанням багатомулової системи, реалізованої на п'яти модельних біореакторах: двох анаеробних (I та II ступенів) і трьох аеробних (I, II і III ступенів), з'єднаних послідовно з перетоком води між ними. Використання для очищення висококонцентрованих стічних вод анаеробного процесу на перших ступенях дозволяє суттєво зменшити питомий приріст біомаси мікроорганізмів, а кількість розкладених органічних речовин в анаеробному процесі значно збільшити, порівняно з аеробним [5]. Розділення процесів очищення на ступені дозволяє при зменшенні концентрації органічних речовин на кожному наступному ступені досягти глибокого очищення висококонцентрованих стічних вод.

На кожному ступені відбувається розвиток специфічного біоценозу за рахунок автоселекції мікроорганізмів (найбільш пристосованих до даних умов) і мутаційних змін культури. З метою збільшення концентрації біомаси в біореакторах установлені носії з штучного волокна, на яких іммобілізуються селекціоновані на даному ступені очищення мікроорганізми [6].

В анаеробних біореакторах вилучення і розщеплення органічних речовин здійснюють гетеротрофні бактерії-анаероби. В аеробних відбуваються такі процеси: окислення органічних речовин, утворених в анаеробних умовах, бактеріями-аеробами в I ступені аеробного біореактора; і нітрифікація – в II і III ступенях аеробних біореакторів в процесі життєдіяльності автотрофних бактерій, найпростіших та дрібних тварин. В товщі біомаси мікроорганізмів в аноксидних умовах відбувається процес денітрифікації під дією гетеротрофних бактерій. Присутність мікроорганізмів різних трофічних ланок призводить до саморегулювання чисельності біоценозів, мінералізації органічної речовини біомаси і, як результат, зменшення біомаси в останньому ступені очищення.

В даній роботі було досліджено питомі швидкості окислення органічних речовин за ХСК в біореакторах з різними кисневими умовами з іммобілізованими на носіях типу ВІА мікроорганізмами в залежності від концентрацій органічних речовин за ХСК.

Об'єкти і методи досліджень

Для проведення дослідів використовували модельні розчини, приготовлені з молочної сироватки, яка містить всі інгредієнти виробничих стічних вод молокозаводу, тільки у більших концентраціях. Для приготування модельних розчинів молочну сироватку розбавляли відстояною водопровідною водою. Концентрації органічних речовин у модельних розчинах, визначені за показником хімічного споживання кисню (ХСК) [7], становили 940-4400 мг/дм³. Модельний розчин із заданою концентрацією органічних речовин подавали в перший анаеробний біореактор (I ступеня), звідки він самопливом надходив на очищення в наступний анаеробний (II ступеня) і далі в аеробні біореактори: послідовно I, II і наприкінці III ступенів.

В анаеробних біореакторах за допомогою насосів, установлених в нижній частині, і рециркуляційного трубопроводу з отворами для розбризкування води і зрошування носіїв, здійснювалось перемішування реагуючих мас.

В аеробні секції подавали повітря за допомогою мікрокомпресора для підтримування концентрації розчиненого кисню в межах 1,6-2,5 мг/дм³.

Для іммобілізації біомаси в біореакторах влаштовані носії завантаження типу ВІА [6].

Анаеробні і аеробні біореактори мали об'єм 785 см³ кожний. Кількість носіїв змінювали від анаеробних до аеробних біореакторів. Питома маса носія становила: в I анаеробному - 20,9 г/дм³, в II анаеробному біореакторах - 20,5 г/дм³; в I аеробному - 6,6 г/дм³, в II аеробному - 2,4 г/дм³, в III аеробному біореакторах - 2,1 г/дм³.

Дослідження проводили в проточному режимі: витрата модельного розчину становила 125-7776 см³/добу, гідравлічне навантаження - 0,36-9,9 м³/(м³·добу)

Для нарощування біомаси на початку роботи установки в біореактори вносили інокулят – активний мул з діючих очисних споруд Бортницької станції аерації міста Києва.

Для визначення концентрації органічних речовин у стічній воді на різних ступенях очищення використовували показник хімічного споживання кисню (ХСК), що визначається за методикою [7] - титриметричним методом з біхроматом калію.

Концентрацію біомаси, іммобілізованої на носіях, і вільноплаваючого активного мулу визначали ваговим методом за сухою і беззольною речовиною.

В анаеробних біореакторах загальна концентрація біомаси мікроорганізмів за сухою речовиною досягала 15-20 г/дм³, в аеробних - 4-5 г/дм³. Зольність біомаси становила в анаеробних біореакторах 0,3, в аеробних від I до III ступеня змінювалась від 0,3 до 0,5.

Питому швидкість окислення органічних речовин визначали в мг ХСК на 1 г беззольної речовини біомаси за годину.

Установка працювала наступним чином. Модельний розчин подавали в I анаеробний біореактор, звідки він надходив в II анаеробний біореактор. В них процес очищення здійснювався біоценозом анаеробних мікроорганізмів, іммобілізованих на носіях типу ВІА. Висота носіїв становила 32 см, кількість ниток – 260 шт. у I біореакторі і 255 шт. – у II. У розпушеному стані кількість ворсинок у одній нитці становить 110-120 шт. Носії частково занурені у стічну воду (на

12 см), частково знаходились у зоні розбрикування рециркуляційної рідини (20 см). Питома маса носія становила 20,9 г/дм³ у I біореакторі і 20,5 г/дм³ – у II. Для досягнення оптимальних умов масообміну між рідиною та іммобілізованими на поверхні носія мікроорганізмами в анаеробних біореакторах здійснювали рециркуляцію води і зрошування поверхні носіїв.

Для визначення швидкості окислення органічних речовин в анаеробних біореакторах проводили визначення показника ХСК в модельному розчині на вході в I анаеробний біореактор і на виході з I і II анаеробних біореакторів. Дослідження проводили при сталій витраті модельного розчину. В I і II анаеробних біореакторах визначали біомасу іммобілізованих на носіях мікроорганізмів за сухою речовиною та її зольність.

З анаеробного біореактора II ступеня очищена вода поступала в аеробні секції. В них процес очищення здійснювався біоценозом аеробних мікроорганізмів, іммобілізованих на волокнах носіїв. Висота завантаження становила 12 см, кількість ниток – 220 шт. у I біореакторі, 80 шт. – у II і 70 шт. – у III біореакторі. У розпушеному стані кількість ворсинок у одній нитці становила 110-120 шт. Носії повністю занурені у стічну воду (12 см). Питома маса носія становила 6,6 г/дм³ у I біореакторі, 2,4 г/дм³ – у II і 2,1 г/дм³ – у III біореакторі. В аеробних біореакторах I, II і III на дні влаштовані аератори системи аерації, які забезпечували необхідну для біоценозу мікроорганізмів концентрацію розчиненого кисню у воді в межах 1,6-2,5 г/м³, оптимальні умови для масообміну з метою одержання мікроорганізмами прикріпленого біоценозу потрібної кількості органічних речовин з стічної води, що омиває волокнистий носій, а також підтримування у завислому стані вільноплаваючого активного мулу аеробних біореакторів.

Для визначення швидкості окислення органічних речовин в аеробних біореакторах проводили визначення показника ХСК в стічній воді на вході в I аеробний біореактор і на виході з I, II і III аеробних біореакторів. Дослідження проводили при сталій витраті модельного розчину. В I, II і III аеробних біореакторах визначали біомасу іммобілізованих на носіях мікроорганізмів і вільноплаваючого активного мулу за сухою речовиною та її зольність. Для розрахунків використовували сумарну величину біомаси.

Результати досліджень та їх обговорення

Результати досліджень наведені на рис. 1-5.

Рис. 1 і 2 представляють графіки залежності питомої швидкості розкладення органічних речовин в анаеробних ступенях установки від концентрації органічних речовин за ХСК на виході з ступенів. Як видно, питома швидкість окислення в I ступені досягала 40-45 мгХСК/(г·год), тоді як в другому зменшилась до показників - 20-24 мгХСК/(г·год). Ефективність очищення за ХСК досягала: в I секції – 70-80 %, в II секції – 63-74 %. Окисна потужність за ХСК

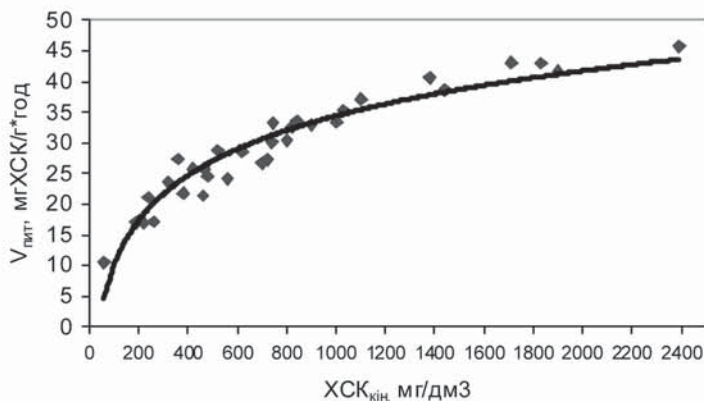
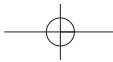


Рис.1. Залежність питомої швидкості окислення в анаеробному біореакторі I ступеня від концентрації органічних речовин в очищеній воді.



досягала: в I секції – 7200-7700 г/(м³·добу), в II секції – 5200-6400 г/(м³·добу).

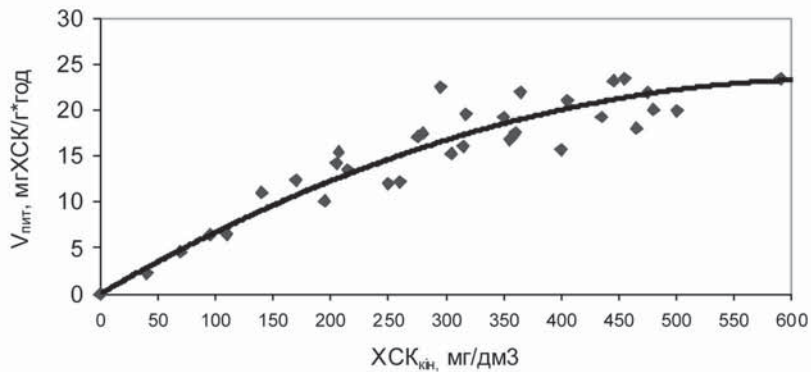


Рис.2. Залежність питомої швидкості окислення в анаеробному біореакторі II ступеня від концентрації органічних речовин в очищеній воді.

Рис. 3, 4 і 5 представляють графіки залежності питомої швидкості окислення органічних речовин в аеробних ступенях установки від концентрації органічних речовин за

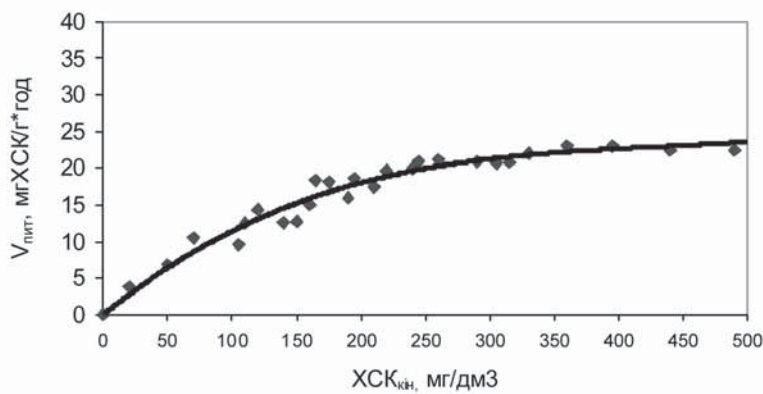


Рис. 3. Залежність питомої швидкості окислення в аеробному біореакторі I ступеня від концентрації органічних речовин в очищеній воді.

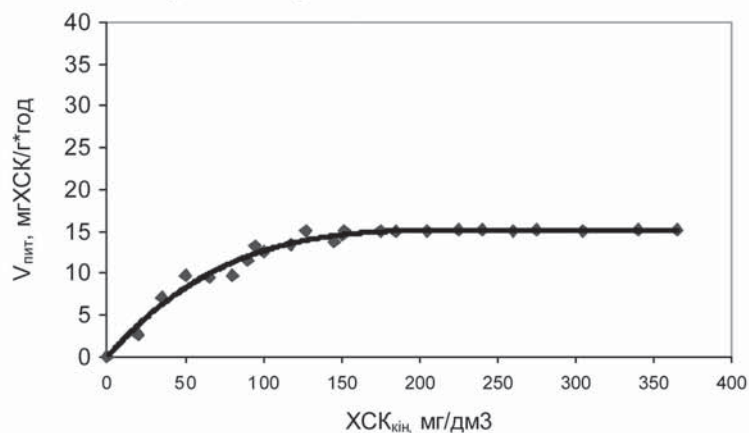
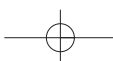


Рис.4. Залежність питомої швидкості окислення в аеробному біореакторі II ступеня від концентрації органічних речовин в очищеній воді.



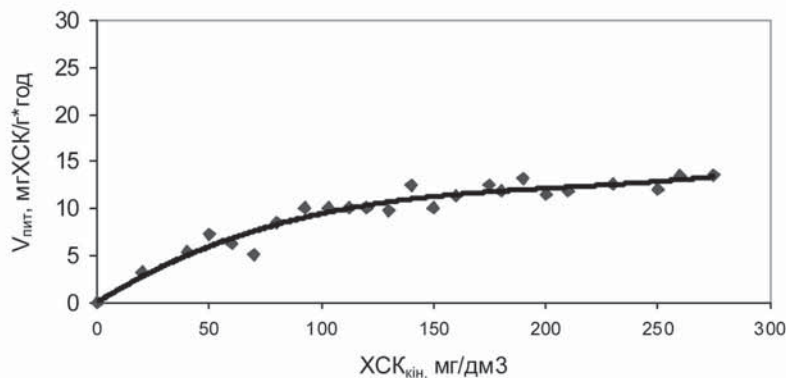


Рис.5. Залежність питомої швидкості окислення в аеробному біореакторі III ступеня від концентрації органічних речовин в очищеній воді.

ХСК на виході з ступенів.

Як видно, потома швидкість окислення в I ступені досягала 21-23 мгХСК/(г·год), тоді як в другому зменшилась і становила 13-15 мгХСК/(г·год), а в третьому – 10-13 мгХСК/(г·год). Ефективність очищення за ХСК досягала: в I секції – 64-71%, в II секції – 60-69%, і III секції – 56-60%. Окисна потужність досягала: в I секції – 1000-1500 г/(м³·добу), в II секції – 500-650 г/(м³·добу) і в III секції – 200-300 г/(м³·добу).

Зменшення швидкості окислення органічних речовин на II і III ступенях аеробного очищення можна пояснити тим, що мікроорганізми біоценозу цих біореакторів відчувають нестачу органічних речовин, адже їх концентрація в кожному наступному ступені зменшується. Крім того, гальмування швидкості окислення органічних речовин можна пояснити присутністю продуктів метаболізму, а також конкурентними за кисень реакціями нітрифікації, що відбуваються в II і III ступенях.

Було досягнуто високого ступеня очищення від органічних речовин. Концентрації органічних речовин за ХСК в очищеній стічній воді при початковому ХСК на вході в анаеробний біореактор I ступеня 2350 мг/дм³ становили: після анаеробного біореактора II ступеня - 360 мг/дм³, після аеробного III ступеня - 20 мг/дм³.

Як показали результати проведених на лабораторній установці досліджень, були одержані високі показники ефективності очищення стічних вод молокозаводу: по ХСК – 97-99 %, амонійному азоту - 96,5-100 %, нітратам - 99,7-100 %, нітратам - 77,3-84,8 %.

Показники якості очищеної води свідчать про ефективність анаеробно-аеробного методу в багатоступеневій системі біореакторів з іммобілізованими на носіях мікроорганізмами. Завдяки влаштуванню ступенів і протоку води через них в окремих біореакторах утворюються біоценози мікроорганізмів, характерних для даних умов і даної якості води, що поступає в біореактор. В біореакторі кожного ступеня створюється «біоконвеєр» [6], завдяки якому очищується вода і зменшується приріст біомаси мікроорганізмів. Адже між мікроорганізмами біоценозу утворюються трофічні ланцюги типу «хижак – жертва», що регулюють біомасу і зменшують її надлишок. Чим вище трофічний рівень хижаків, тим менше їх чисельність в популяції [8].

Результати гідробіологічних досліджень свідчать про те, що в I аеробному ступені, де ще міститься велика кількість органічних речовин, утворених в результаті анаеробної деструкції білків, вуглеводів, спостерігали велику кількість бактерій, найпростіших: *Bodo*, *Vorticella microstoma*, *Arcella discoides*, малочетинкових черв'яків. По мірі очищення води від органічних речовин в II і III аеробних ступенях дрібні джугтикові видаються червовійчастими, круговійчастими, хижими інфузоріями, коловертками та іншими гідробіонтами.

Концентрація органічних речовин і біомаса мікроорганізмів по мірі очищення води зменшуються. На виході з установки кількість біомаси невелика внаслідок її самоокислення-саморегуляції, виїдання організмами вищих ланок трофічних ланцюгів. Спостерігали таке зниження концентрацій біомаси по мірі очищення води: в I анаеробному біореакторі - 20,9 г/дм³, в II анаеробному біореакторі - 20,5 г/дм³; в I аеробному - 6,6 г/дм³, в II аеробному - 2,4 г/дм³, в III аеробному біореакторах - 2,1 г/дм³, а також збільшення її зольності: в анаеробних біореакторах - 0,3, в аеробних від I до III ступеня від 0,3 до 0,5.

Висновки

Для очищення висококонцентрованих за органічною речовиною стічних вод доцільно використовувати багатоступеневе анаеробно-аеробне очищення. Проведені дослідження питомої швидкості окислення органічних речовин за ХСК в біореакторах з іммобілізованими на носіях типу ВІА мікроорганізмами показали, що питома швидкість досягає значних величин в анаеробному біореакторі - 40-45 мгХСК/(г·год) при високих концентраціях органічних речовин і зменшується по мірі зменшення концентрації органічних речовин: в останньому аеробному - 10-13 мгХСК/(г·год). При цьому досягається глибоке очищення стічних вод від залишку органічних речовин. В багатоступеневих системах утворюються біоценози мікроорганізмів за принципом «біоконвеєра», що дозволяє зменшити приріст біомаси мікроорганізмів за рахунок виїдання мікроорганізмів в ланцюгах «хижак-жертва»: від бактерій, дрібних джгутикових до хижих інфузорій, коловороток, черв'яків та інших гідробіонтів. Як результат, зменшується кількість осадів, покращуються їх властивості, зменшуються витрати на їх утилізацію.

АНАЭРОБНО-АЭРОБНАЯ ОЧИСТКА ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Л. А. Саблий

Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев
e-mail: larisasabliy@mail.ru

Для очистки высококонцентрированных по органическому веществу сточных вод предложена эффективная технология ступенчатой анаэробно-аэробной очистки. Исследованы скорости окисления органических веществ, биомасса микроорганизмов, иммобилизованных на носителях, на различных ступенях очистки.

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, биореактор, иммобилизованные микроорганизмы, скорость окисления.

ANAEROBIC-AEROBIC TREATMENT OF HIGHCONCENTRATED INDUSTRIAL WASTEWATER

L. Sabliy

National technical university of Ukraine "KPI", Kiev
e-mail: larisasabliy@mail.ru

The effective staged anaerobic-aerobic technology is proposed for treatment of wastewater with high concentration of organic matters. The organic matters oxidation rates and the biomass of the microorganisms immobilized on carriers at different treatment stage were investigated.

Key words: wastewater, biological treatment, bioreactor, immobilized microorganisms, oxidation rate.

**Список літератури:**

1. *Саблій Л. А.* Вдосконалення роботи каналізаційних очисних споруд / *Л. А. Саблій, В. С. Жукова* // Водопостачання та водовідведення. – 2008. – №5. – С. 33-36.
2. *Саблій Л. А.* Біотехнологія очищення стічних вод підприємств молочної промисловості / *Л. А. Саблій, С. В. Кононцев* // Вісник УДУВГП. – 2003. – Вип. 2 (21). – С. 142-150.
3. *Горбань Н. С.* Очистные сооружения предприятий мясной и молочной промышленности / *Н. С. Горбань* // Матеріали науково-практичної конференції «Вода та Довкілля» V Міжнародного Водного Форуму «AQUA UKRAINE - 2007», 9-11 жовтня 2007, Київ. – К.: 2007. – с. 109-110.
4. *Дятлова Т. В.* Очистка сточных вод молокозаводов / *Т. В. Дятлова, С. Г. Певнев, Т. Г. Федоровская* // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008. – № 2. – С. 12-15.
5. *Яковлев С. В.* Биологическая очистка производственных сточных вод: Процессы, аппараты и сооружения / [*С. В. Яковлев, И. В. Скирдов, В. Н. Швецов и др.*] ; под ред. С. В. Яковлева. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.
6. *Гвоздяк П. І.* За принципом біоконвеєра (Біотехнологія охорони довкілля) / *П. І. Гвоздяк* // Вісн. НАН України. – 2003. – № 3. – С. 29-36.
7. Унифицированные методы анализа вод. Под ред. Ю.Ю. Лурье. – М.: Химия, 1973. – 375 с.
8. *Мацнев А. І.* Моніторинг та інженерні методи охорони довкілля / *А. І. Мацнев, С. Б. Проценко, Л. А. Саблій.* – Рівне : ВАТ “Рівненська друкарня”, 2000. – 504 с.

