

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»



ЖУКОВА ВЕРОНІКА СЕРГІЇВНА

УДК 628.358

**ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД СПОЛУК АЗОТУ З
ВИКОРИСТАННЯМ ІММОБІЛІЗОВАНИХ МІКРООРГАНІЗМІВ**

05.17.21 – Технологія водоочищення

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2013

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі екобіотехнології та біоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» МОН України

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Саблій Лариса Андріївна
Національний університет водного господарства та природокористування, професор кафедри водовідведення, теплогазопостачання та вентиляції

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кочетов Геннадій Михайлович
Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри хімії

кандидат технічних наук
Хижняк Ольга Олександрівна
Національний університет харчових технологій, доцент кафедри експертизи харчових продуктів

Захист відбудеться « 24 » квітня 2013 р. о 16³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.002.13 у Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, Київ 56, пр. Перемоги, 37, корпус № 4, велика хімічна аудиторія.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці ім. Г.І. Денисенка Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» за адресою: 03056, Київ 56, пр. Перемоги, 37.

Автореферат розісланий « 11 » березня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



Т. І. Мотронюк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основною причиною забруднення водних басейнів є скид неочищених та недостатньо очищених стічних вод різного походження. Відповідно до Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні 2011 р., у природні водойми потрапляє 34-46% стічних вод, якість яких не відповідає гранично-допустимим нормам.

Підвищення концентрації сполук азоту в стічних водах призвело до погіршення якості води у поверхневих водоймах, які є основним джерелом господарсько-питного водопостачання для переважної більшості українців. У ряді водойм на території України зафіксовано перевищення норм за азотом амонійним – у 2-15 разів, нітратами - у 7-20 разів. Наслідками забруднення сполуками азоту є евтрофікація, яка обумовлюється гіпертрофованим розвитком водоростей («цвітіння»); зниження вмісту кисню. Аміак, амонійні сполуки, нітрити, а особливо нітрати, створюють несприятливі умови для життєдіяльності біоценозів водойм. Підземні води містять надмірні концентрації нітратів (100-500 мг/дм³), постійне вживання такої води призводить до негативного впливу на здоров'я людини.

У порівнянні з минулим десятиліттям зріс вміст сполук азоту в стічних водах, які надходять на очищення, щонайменше у 5-7 разів. Проте переважна більшість існуючих станцій біологічного очищення стічних вод не може сьогодні забезпечити необхідну якість очищеної води за сполуками азоту.

Сучасні зарубіжні технології біологічного очищення стічних вод від сполук азоту, такі як Ludzak-Ettinger, Bardenpho, Bidentro, Carrousel, JNB, УСТ, МУСТ, А²/О, характеризуються значними енерго- та матеріаловитратами, об'ємами відходів, тому актуальною є розробка нової технології, яка забезпечить високу ефективність очищення стічних вод від сполук азоту відповідно до діючих нормативів з мінімальними витратами як економічних, так і матеріальних ресурсів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано на кафедрі екобіотехнології та біоенергетики Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» у рамках держбюджетних тем №2264-П «Біотехнологія очищення стічних вод різноманітного походження з одночасним одержанням електрики» (номер держреєстрації НДР 0109V000974, 01.01.2009р. – 31.12.2010 р.) та №2444-П «Біотехнологічне отримання енергії та енергоносіїв з відходів різноманітного походження» (номер держреєстрації НДР 0111U000672, 02.01.2011 р. – 31.12.2012р.).

Метою роботи було обґрунтування та розробка технології очищення стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів з високою ефективністю видалення сполук азоту при забезпеченні діючих нормативів, з мінімальними енерговитратами та малим об'ємом відходів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- виявити особливості і систематизувати існуючі методи і технології очищення стічних вод від сполук азоту;

- дослідити ефективність очищення стічних вод від амонійного азоту, нітритів та нітратів в прямоточних біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами;
- дослідити вплив гідравлічного навантаження та початкової концентрації амонійного азоту на швидкість окиснення амонійного азоту, навантаження на біореактор та його окисну потужність за амонійним азотом;
- вивчити вплив розміщення системи аерації в біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами на окисну потужність та ефективність очищення стічних вод від амонійного азоту;
- провести дослідження складу біоценозу іммобілізованої на волокнистому носії біоплівки за допомогою оптичного мікроскопіювання;
- дослідити у виробничих умовах гідробіонтів біологічної плівки при періодичній роботі споруд та зміні температури зовнішнього повітря;
- розробити математичну модель процесу аеробного очищення стічних вод від амонійного азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів та провести її апробацію у лабораторних та виробничих умовах;
- розробити анаеробно-аеробну технологію очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів та провести серію досліджень на виробництві.

Об'єкт дослідження – процеси анаеробно-аеробного очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів.

Предмет дослідження – стічні води, що містять сполуки азоту.

Методи дослідження. В експериментах використано фотоколориметрію, потенціометрію, гравіметрію, рН-метрію, оптичне мікроскопіювання. Моделювання процесів та обробку результатів вимірювань статистичними методами здійснено із застосуванням програмного забезпечення персональних комп'ютерів (Mathcad, Excel).

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Встановлено закономірності перебігу процесів очищення стічних вод від сполук азоту в біореакторах з використанням іммобілізованих мікроорганізмів з високою окисною потужністю (80-110 г/(м³·доб)) та на їх основі розроблено технологію очищення стічних вод з ефективністю видалення амонійного азоту 98,2-99,6%.

2. Вперше встановлено, що використання в біореакторах перпендикулярного руху струменів повітря відносно напрямку руху стічних вод та поздовжнього по відношенню до носія іммобілізованих мікроорганізмів дозволяє збільшити швидкість окиснення амонійного азоту на початковій аеробній стадії на 30-40% у порівнянні із поздовжнім розміщенням системи аерації.

3. Розроблено математичну модель процесу аеробного очищення стічних вод від амонійного азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів, яка дозволяє визначити кінцеву концентрацію амонійного азоту на кожній стадії аеробного процесу при відомих величинах початкової концентрації амонійного азоту, гідравлічного навантаження та площі носія.

4. Встановлено, що процес очищення стічних вод в біореакторах з

іммобілізованими мікроорганізмами може здійснюватися в умовах періодичної роботи очисних споруд та при низьких температурах зовнішнього повітря (до -32°C) з самовідновленням біомаси гідробіонтів при забезпеченні необхідних технологічних режимів роботи споруд.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено анаеробно-аеробну технологію очищення стічних вод від сполук азоту, яка реалізується постадійно у спорудах з іммобілізованими на волокнистому носії мікроорганізмами. Запропоновано раціональні технологічні режими очищення стічних вод від сполук азоту, параметри волокнистого носія «ВІЯ» (питома маса волокон, площа поверхні), конструктивні і технологічні параметри біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами для реалізації технології на станціях очищення стічних вод.

Застосування біореакторів із запропонованим перпендикулярним розміщенням системи аерації по відношенню до напрямку руху стічних вод (патент України на винахід №97747) дозволяє збільшити окисну потужність біореактора, а отже і ефективність видалення сполук азоту зі стічних вод.

Розроблену анаеробно-аеробну технологію біологічного очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів впроваджено на очисних спорудах ВАТ «Славутський солодовий завод» (акт впровадження). Проведено серію пілотних випробувань дослідно-промислової установки для глибокого очищення стічних вод солодового заводу від сполук азоту.

Результати проведених досліджень впроваджено в початковий процес підготовки фахівців напряму 051401 «Біотехнологія» за програмою професійного спрямування 05140105 «Екологічна біотехнологія та біоенергетика» за дисциплінами: «Біотехнології очищення води», «Гідроекологія» (акт впровадження).

Особистий внесок здобувача. Дисертантом виконано критичний аналіз стану проблеми, комплекс теоретичних та експериментальних досліджень для розробки технології ефективного очищення стічних вод від сполук азоту, узагальнення результатів, визначення технологічних режимів процесів; розроблено математичну модель для визначення лімітуючого фактору біоплівки при аеробному очищенні стічних вод. Особисто здобувачем узагальнено літературні і експериментальні дані та оформлено результати роботи у вигляді тез доповідей і статей.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи доповідались та обговорювались на студентській науковій конференції (м. Рівне, 2009), III Міжнародній науково-практичній конференції «Вода. Екологія. Суспільство» (м. Харків, 2010), IV науково-практичній конференції викладачів, студентів та аспірантів, присвяченій «Дню науки ФБТ», «Біотехнологія XXI ст.» (м. Київ, 2010), XIII Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, 2010), IX Міжнародній науково-практичній конференції «Ресурси природних вод Карпатського регіону» (м. Львів, 2010), XIX щорічній центральноєвропейській конференції ESOpole (Польща, м. Szklarska Poreba, 2010), 66-й науково-практичній конференції ХНТУБА (м. Харків, 2011), VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Співробітництво у видаленні відходів» (м. Харків, 2011), Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі

технології в природокористуванні» (м. Київ, 2011), Міжнародному симпозиумі студентів та молодих вчених «Досягнення в хімічній галузі та машинобудуванні» (Польща, м. Гданськ, 2011), V регіональній науково-практичній конференції викладачів, науковців, аспірантів, молодих вчених та студентів «Біотехнологія XXI ст.» (м. Київ, 2011), Міжнародному молодіжному науковому форумі «Ломоносов–2011» (Росія, м. Москва, 2011), XIV Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ, 2011), Міжнародному конгресі «ЕТЕВК–2011» (м. Ялта, 2011), Міжнародній науково-практичній конференції «Вода і довкілля» IX Міжнародного водного форуму AQUA Ukraine (м. Київ, 2011), семінарі молодих вчених і спеціалістів водного сектору СНГ «Модернізація споруд очищення стічних вод» (Росія, м. Москва, 2010), українсько-польському семінарі «NTUU «KPI»-WUT. New horizons in research cooperation» (м. Київ, 2011), XIV виставці-ярмарку «Екологія–2011» у павільйоні ЕКСПОЦЕНТРУ «Наука» НАН України (м. Київ, 2011).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 23 наукові праці, у тому числі 5 статей у фахових виданнях, 13 статей та тез, 2 патенти України на винахід та 3 патенти України на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел та додатків. Обсяг дисертації складає 145 сторінок, у тому числі 21 таблиця, 55 ілюстрацій, і 15 додатків на 41 сторінці. Список використаних джерел включає 152 найменування на 17 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, представлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, сформульовано мету та завдання роботи.

У першому розділі проведено критичний огляд літературних джерел за темою дисертації, виявлено особливості та систематизовано існуючі технології очищення стічних вод від сполук азоту.

Вагомий вклад у вивчення процесів біологічного очищення стічних вод внесли Н.А. Базякіна, Н.А. Залетова, А.А. Бондарев, В.Н. Швецов, Н.А. Яковлев, І.В. Скірдов, Ц.І. Роговська, В.А. Вавілін, Т.А. Карюхіна, Ю.А. Феофанов, Є.С. Разумовський, П.І. Гвоздяк, М.І. Куліков, О.Я. Олійник, І.М. Таварткіладзе, М. Henze, Р. Harremoës, W. Guijer, W. Abma, J. Mulder та ін. Аналіз сучасних технологій очищення стічних вод від сполук азоту показав, що використання почергово різних кисневих умов (анаеробних, аеробних) при біологічному очищенні є найбільш ефективним способом вилучення із стічних вод сполук азоту, підвищення концентрації біомаси в очисній споруді досягається за рахунок використання іммобілізованих мікроорганізмів.

На основі аналізу літературних джерел сформульовано напрям досліджень: вивчення закономірностей перебігу процесів очищення стічних вод від сполук азоту

з використанням іммобілізованих мікроорганізмів і розробка на цій основі ефективної технології анаеробно-аеробного очищення.

В другому розділі наведено характеристику основних методів і методик досліджень очищення стічних вод від сполук азоту на експериментальних установках. Для дослідження використовували фотокolorиметричні, потенціометричні методи для визначення концентрацій амонійного азоту, нітритів та нітратів, гравіметричні методи – завислих речовин, концентрації біомаси, біхроматний метод – ХСК. Для визначення складу біоценозу біоплівки носія використовували оптичне мікроскопіювання за допомогою біологічного мікроскопу дослідницького класу ULAB XSP-139TP з фото-відеовиходом.

Для дослідження процесів та технологічних параметрів біологічного очищення стічних вод від сполук азоту використовували експериментальну установку №1 (рис. 1), яка складалась з двох анаеробних та наступних трьох аеробних біореакторів, в яких були встановлені волокнисті носії «ВІА». Схема руху води в лабораторних біореакторах – прямоточна. В анаеробних біореакторах забезпечували герметичність, перемішування та відведення газу. Аеробні біореактори обладнані системами подачі повітря через дрібнобульбашковий розпилювач з абразивного матеріалу.

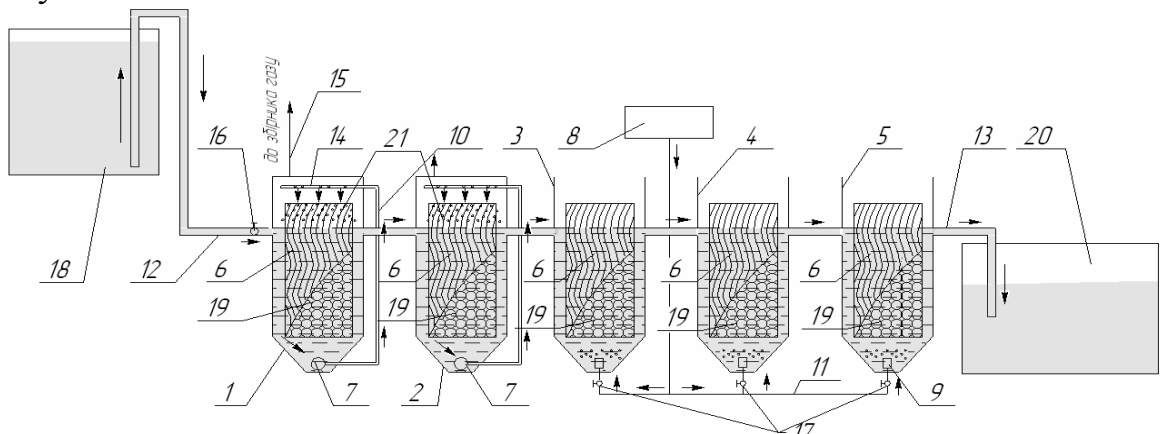


Рис. 1 Схема лабораторної установки №1:

- 1, 2 - анаеробні біореактори; 3, 4, 5 - аеробні біореактори; 6 - волокнистий носій «ВІА»;
- 7 - циркуляційний насос; 8 - компресор; 9 - дрібнобульбашковий аератор-розпилювач;
- 10 - рециркуляційний трубопровід; 11- повітропровід; 12 - трубопровід подачі стічної води;
- 13 - трубопровід для відведення очищеної води; 14 - перфорована трубка; 15 - газову трубку до збірника газу; 16 - вентиль; 17 - вентиль для регулювання подачі повітря; 18 - витратний бак;
- 19 - опорний каркас; 20 - збірник очищеної води; 21 - газова фаза

Дослідження проводили на штучно створеному модельному розчині на основі полісолодового екстракту «ПОЛІСОЛ», який імітував стічні води солодового заводу та характеризувався показником ХСК – $600-1400 \text{ мг/дм}^3$, концентраціями органічного азоту – $8-20 \text{ мг/дм}^3$, амонійного азоту – $6-14 \text{ мг/дм}^3$.

Вивчення впливу розміщення системи аерації на окисну потужність біореактора, швидкості окиснення амонійного азоту та ефективність очищення від амонійного азоту досліджували на експериментальній установці № 2 (рис. 2), яка складалась з трьох аеробних секцій.

Схема руху стічних вод – прямоточна. Аератори розміщені перпендикулярно

руху стічних вод та паралельно до касет з волокнистим носієм. У кожній секції встановлено волокнисті носії «ВІА».

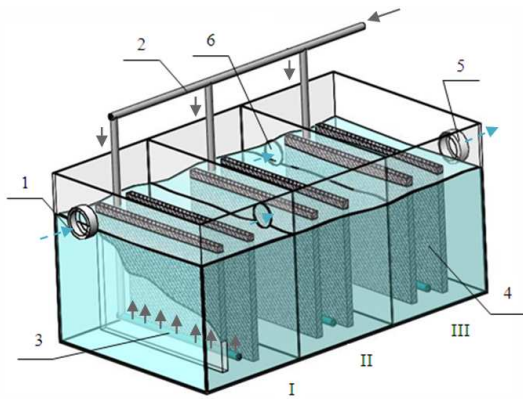


Рис. 2 Схема лабораторної установки №2:

- 1- підведення стічної води; 2 – повітропровід з вентилями регулювання витрати повітря від компресора; 3 – перфорований повітропровід;
- 4 - касети з волокнистим носієм «ВІА»;
- 5 - відведення очищеної води у зливний бак;
- 6 – отвори для протоку води через секції;
- I, II, III - відповідно 1, 2, 3 аеробні секції

В третьому розділі наведено результати досліджень процесів перетворення амонійного азоту, нітритів, нітратів за анаеробно-аеробною технологією та визначено раціональні технологічні параметри. Встановлено, що при очищенні стічних вод, які містять сполуки азоту, з використанням анаеробно-аеробної технології після анаеробної стадії концентрація амонійного азоту, яка надходить в аеробні біореактори, зростає у 2-3 рази (рис. 3).

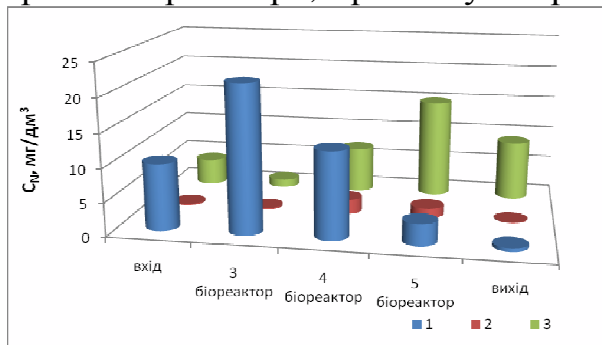


Рис. 3 Зміна концентрацій сполук азоту C_N в процесі очищення стічних вод при гідравлічному навантаженні $4,3 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$:
1 - NH_4^+ ; 2 - NO_2^- ; 3 - NO_3^-

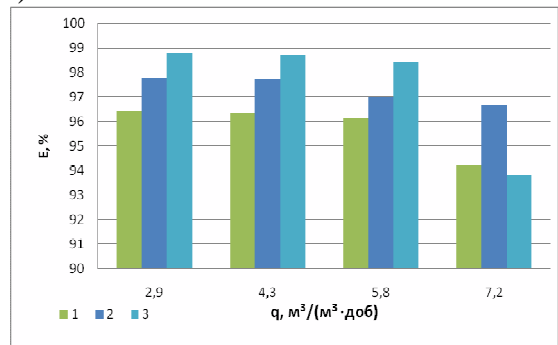


Рис. 4 Залежність ефективності видалення амонійного азоту E від гідравлічного навантаження q при концентраціях амонійного азоту на початку аеробної стадії $C_{\text{NH}_4^+}^{\text{поч}}$:
1 - 11 мг/дм^3 ; 2 - 22 мг/дм^3 ; 3 - 32 мг/дм^3

Встановлено, що при використанні анаеробно-аеробної технології загальний ефект очищення за амонійним азотом становить 96,3-98,5%, а концентрації нітратів і нітритів в очищеній воді відповідають нормам скиду в природні водойми рибогосподарського призначення. За результатами досліджень концентрації сполук азоту становили: амонійного – $0,5\text{-}1,5 \text{ мг/дм}^3$, нітритів – $0,01\text{-}0,04 \text{ мг/дм}^3$ та нітратів – $8\text{-}12 \text{ мг/дм}^3$.

При зменшенні величини гідравлічного навантаження збільшується тривалість очищення, а отже і об'єм споруди. Вибір раціонального гідравлічного навантаження базується на поєднанні мінімальної тривалості очищення з максимальним ефектом видалення амонійного азоту. Встановлено, що ефективність очищення стічних вод за амонійним азотом досягає 98,2-98,5% (рис. 4) та забезпечується такими значеннями технологічних показників: гідравлічне навантаження – $5,5\text{-}5,8 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$; загальна тривалість очищення – 20-22 год; тривалість на кожній

стадії – 4-4,4 год; навантаження за амонійним азотом – 8-20 мг/(г·доб); швидкість окиснення амонійного азоту – 4-12 мг/(г·доб); окисна потужність до 80 г/(м³·доб).

Концентрація амонійного азоту в аеробних умовах залежить від тривалості очищення у біореакторах. Основна кількість амонійного азоту видаляється саме на перших стадіях аеробного процесу (3, 4-ий біореактори) (рис. 5, 6). Зменшення величини окисної потужності у п'ятому біореакторі, як і швидкості окиснення, пояснюється низькою концентрацією амонійного азоту (5-10% від максимальної $C_{NH_4^+}^{поч}$). Окисна потужність при високому навантаженні за амонійним азотом (24-26 мг/(г·доб)) становить 100-110 г/(м³·доб) (рис. 6), що перевищує величини окисної потужності за амонійним азотом в аеротенках – 20-50 г/(м³·доб).

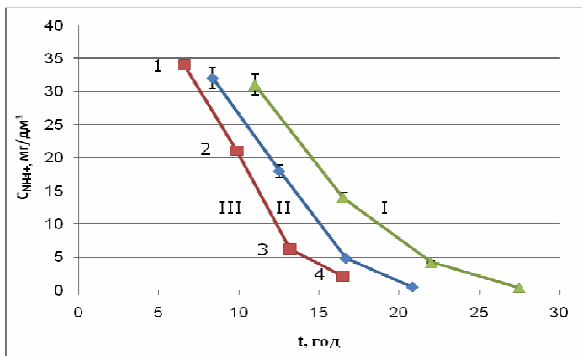


Рис. 5 Залежність концентрації амонійного азоту $C_{NH_4^+}$ від тривалості очищення t при

$C_{NH_4^+}^{поч} = 14$ мг/дм³ і гідравлічних навантажень:
 I - 4,3 м³/(м³·доб); II - 5,8 м³/(м³·доб); III - 7,2 м³/(м³·доб) *

* Точки на графіках: 1, 2, 3 – на вході у 3, 4, 5 аеробні біореактори відповідно; 4 – в збірник очищеної води.

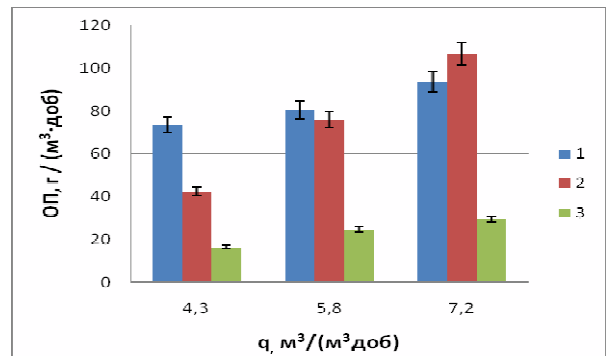
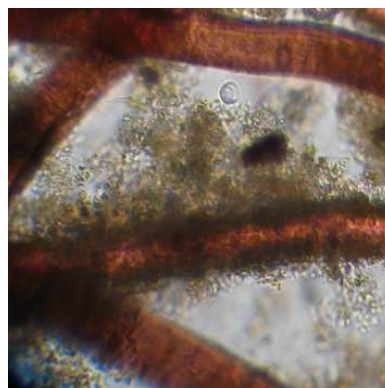


Рис. 6 Залежність окисної потужності ОП за амонійним азотом від гідравлічного навантаження q при $C_{NH_4^+}^{поч} = 14$ мг/дм³ в аеробних біореакторах:
 1 - третьому; 2 - четвертому; 3 - п'ятому

Встановлено, що середня товщина біоплівки іммобілізованих на носії «ВІЯ» мікроорганізмів становить 1,5-3 мм (рис. 7). В результаті гідробіологічного аналізу



а) x200



б) x1000

Рис. 7 Мікрофотознімки біоплівки іммобілізованих мікроорганізмів: а) у четвертому аеробному біореакторі; б) іммобілізованої на мікроволокнах носія, товщина якого становить 30 μm

виявлено, що на першій аеробній стадії біоценоз складався в основному з інфузорій, саркодові були представлені видом *Arcella*. У наступному біореакторі збільшилася чисельність коловороток, що свідчить про проходження обох ступенів нітрифікації. Наявність малоцетинкових черв'яків вказує на високу мінералізацію біомаси та утворення трофічного ланцюга вищого

рівня. На останній стадії аеробного процесу активну участь в очищенні стічних вод та переробці біомаси приймають коловоротки, малоцетинкові черви та декілька рядів

інфузорій. Гідробіоценоз анаеробно-аеробних біореакторів становить собою просторову сукцесію мікроорганізмів, і очищення води від органічних сполук здійснюють гідробіонти, склад яких змінюється в об'ємі очисної споруди, і які утворюють трофічний ланцюг.

В результаті дослідження на лабораторній установці №2 визначено, що перпендикулярний рух струменів повітря відносно руху стічних вод та поздовжній

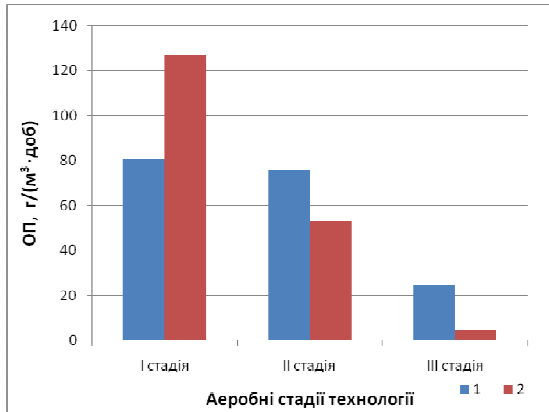


Рис. 8 Залежність окисної потужності ОП від стадії аеробної технології при значенні гідравлічного навантаження $5,8 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$ для установки №1 (1) і установки №2 (2)

по відношенню до носія мікроорганізмів забезпечує збільшення окисної потужності на 30-40% на початковій стадії аеробного процесу та ефективність видалення амонійного азоту до 98,4-99,6% при $C_{\text{NH}_4^+}^{\text{поч}} - 30-32 \text{ мг/дм}^3$, гідравлічному навантаженні $5,5-5,8 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$ у порівнянні з поздовжнім розміщенням аераторів при таких же умовах процесу, що дозволяє зменшити розміри споруд та збільшити ефективність видалення сполук азоту зі стічних вод (рис. 8).

Окисна потужність збільшується на першій стадії аеробного процесу (установка №2) через вище значення швидкості окиснення амонійного

азоту завдяки тому, що іммобілізовані на носії мікроорганізми мають більший доступ до розчиненого кисню при ламінарному руху бульбашок повітря від аераторів, розташованих паралельно касетам з носіями та перпендикулярно руху стічних вод.

В результаті проведення досліджень доведено, що застосування саме прямої схеми та іммобілізованих мікроорганізмів для видалення сполук азоту із стічних вод дозволяє відмовитися від рециркуляції активного мулу та стічних вод, а створення в біореакторах просторової сукцесії мікроорганізмів і трофічного ланцюга іммобілізованих гідробіонтів забезпечує малі концентрації надлишкової біомаси $50-70 \text{ г/м}^3$, з високою мінеральною складовою – 38-51%.

В четвертому розділі на основі рівняння масового балансу для аеробних стадій

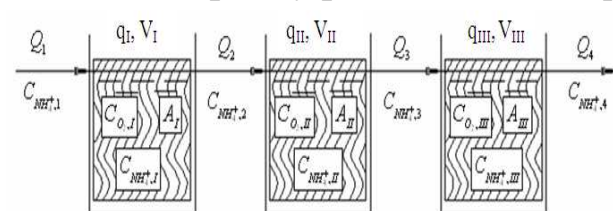


Рис. 9 Схема до розрахунку масового балансу при очищенні стічних вод від сполук азоту в аеробних біореакторах

технології виведено рівняння за умов обмеженого доступу кисню або низьких концентрацій амонійного азоту у біоплівці для біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами, які працюють за принципом ідеального змішування (рис. 9). Швидкість процесу визначається субстратом, який проникає в біоплівку на

меншу глибину. Рівняння масового балансу при обмеженому доступі кисню:

$$V_1 \cdot q_1 \cdot C_{\text{NH}_4^+,1} - A_1 \cdot \left(\frac{k_{\text{O}_2}^{1/2}}{v_{\text{O}_2, \text{NH}_4^+}} \right) \cdot C_{\text{O}_2,1} = V_2 \cdot q_2 \cdot C_{\text{NH}_4^+,2}; \quad C_{\text{NH}_4^+,2} = C_{\text{NH}_4^+,1} - \frac{A \cdot \left(\frac{k_{\text{O}_2}^{1/2}}{v_{\text{O}_2, \text{NH}_4^+}} \right) \cdot C_{\text{O}_2,1}}{V \cdot q} \quad (1)$$

Рівняння масового балансу при низьких концентраціях амонійного азоту:

$$V_3 \cdot q_3 \cdot C_{\text{NH}_4^+,3} - A_3 \cdot k_{\text{NH}_4^+}^{1/2} \cdot C_{\text{NH}_4^+,III} = V_4 \cdot q_4 \cdot C_{\text{NH}_4^+,4}; C_{\text{NH}_4^+,4} = \frac{-(A_3 \cdot k_{\text{NH}_4^+}^{1/2}) + \sqrt{(A_3 \cdot k_{\text{NH}_4^+}^{1/2})^2 + 4 \cdot V^2 \cdot q^2 \cdot C_{\text{NH}_4^+,3}}}{2 \cdot V \cdot q \cdot C_{\text{NH}_4^+,3}}, \quad (2)$$

де V – об'єм біореактора, м^3 ; q – гідравлічне навантаження на біореактор, $\text{м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{доб})$; $C_{\text{NH}_4^+,1,3}, C_{\text{NH}_4^+,2,4}$ – концентрація амонійного азоту на вході та на виході з біореактора, відповідно, $\text{мг}/\text{дм}^3$; A – площа поверхні волокон носія для іммобілізації мікроорганізмів у біореакторі, м^2 ; C_{O_2} – концентрація кисню, $\text{мг}/\text{дм}^3$; $k_{\text{O}_2}^{1/2}$ – константа швидкості реакції для кисню, $\text{г}/(\text{м} \cdot \text{доб})$; v_{O_2} – стехіометричний коефіцієнт, $\text{г}_{\text{O}_2}/\text{г}_{\text{NH}_4^+}$; $k_{\text{NH}_4^+}^{1/2}$ – константа швидкості реакції для амонійного азоту, $\text{г}/(\text{м} \cdot \text{доб})$.

Для кожної стадії аеробного процесу проведено розрахунки із визначенням лімітуючого фактору біоплівки, які показали, що перші дві стадії працюють при обмеженому доступі кисню у біоплівку, а третя – при низьких концентраціях амонійного азоту. Це свідчить про те, що на перших двох стадіях у глибині біоплівки, де обмежений доступ кисню, відбуваються аноксидні та аеробні процеси за умови достатньої кількості нітрату, органічних речовин (денітрифікація) або нітриту (анамокс).

На підставі результатів експериментальних досліджень процесів анаеробно-аеробного очищення стічних вод від сполук азоту здійснено перевірку адекватності математичної моделі. Отже, одержана величина похибки 0,2-3,4% свідчить про те, що запропонована математична модель процесу видалення амонійного азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів у прямоочних біореакторах підтверджується експериментальними даними, отриманими у лабораторних умовах. Застосування рівнянь (1, 2) дає можливість визначити кінцеву концентрацію амонійного азоту на кожній стадії аеробного процесу при відомих величинах початкової концентрації амонійного азоту, гідравлічного навантаження та площі носія.

В розділі 5 наведено результати і аналіз виробничих досліджень розробленої біотехнології очищення стічних вод від сполук азоту. Експериментальні дослідження очищення стічних вод проводили на виробничій установці, яку було встановлено на очисних спорудах ВАТ «Славутський солодовий завод». Установа складалась з п'яти біореакторів, які працювали в різних кисневих умовах, загальним об'ємом 250 дм^3 при витратах $215-720 \text{ дм}^3/\text{доб}$. Ефективність видалення амонійного азоту становить 98,2-99,6%, ХСК – 93-96% (табл. 1).

Таблиця 1

Концентрації забруднень в стічних водах солодового заводу на вході та виході з виробничої установки

Показник	На вході в установку	На виході з установки
ХСК, $\text{мг}/\text{дм}^3$	900 - 1100	40-80
Амонійний азот, $\text{мг}/\text{дм}^3$	5-15	0,1-0,6
Нітратний азот, $\text{мг}/\text{дм}^3$	1-3	7-15
Нітритний азот, $\text{мг}/\text{дм}^3$	0-3	0-0,05
pH	6,71-7,25	7,45-8,0
Завислі речовини, $\text{мг}/\text{дм}^3$	80-150	10-15
t, °C	10-16	10-16

В період нарощування біомаси, який тривав близько 30 днів, проводили дослідження її видового складу за допомогою мікроскопа-біокуляра ULAB XSP137BP. Технологія реалізується послідовно у біореакторах з різними кисневими умовами: анаеробними та аеробними, за прямою схемою руху води. На кожній ступені очищення стічних вод утворюється специфічний біоценоз мікроорганізмів, який спроможний виконувати свої функції саме в даних умовах. Для прикріплення та утримання біоценозу у всіх секціях багатоступеневої схеми влаштовано волокнисті носії «ВІА». В анаеробних біореакторах влаштовано носії у стічній воді та у газовій фазі, що дозволяє при використанні системи зрошування збільшити площу контакту мікроорганізмів із стічною водою (патент України на винахід №94856).

Використання на перших стадіях (1, 2 біореактор) анаеробного процесу дає можливість видалити основну кількість органічних забруднень і зменшити витрати повітря у порівнянні з початковою аеробною стадією. Наступну стадію здійснювали в біореакторах з аеробними умовами (3, 4, 5 біореактори). Після проходження стічних вод через анаеробні біореактори концентрація органічних речовин значно



Рис. 10 Зміна концентрацій сполук азоту в процесі очищення в біореакторах

знижується, що й обумовлює перебіг першої стадії нітрифікації. Потрібно зазначити, що наявність в середовищі органічних речовин сповільнює розвиток бактерій-нітрифікаторів, тому нітрифікація амонійного азоту починається тільки після практично повного окиснення органічних сполук (рис. 10).

Розчинений кисень у реакціях біохімічного окиснення амонійного азоту є акцептором електронів, при перенесенні яких і виділяється енергія, що витрачається на біосинтез клітинної речовини і підтримку життєдіяльності мікроорганізмів (концентрація кисню в аеробних біореакторах 1,5-2 мг/дм³). У товщі волокон носія, де відсутній доступ кисню, але є органічні речовини, створено умови для перебігу процесів денітрифікації.

При низьких концентраціях або відсутності органічних речовин в аноксидних умовах відбувається процес анаеробного окиснення амонійного азоту за умов високих концентрацій сполук амонію, нітриту і низьких концентрацій органічного вуглецю.

В результаті досліджень встановлено концентрації амонійного азоту, нітратів та нітритів в залежності від початкового хімічного складу і витрати стічних вод, які надходять у виробничу установку. Амонійний азот надходить у концентраціях 5-15 мг/дм³, але після анаеробних процесів у перших двох біореакторах його концентрація зростає у 2-4 рази внаслідок деструкції азотвмісних органічних сполук. На вході в аеробний біореактор спостерігається зменшення концентрації органічних речовин і збільшення концентрації неорганічних, в тому числі амонійних сполук. В аеробних біореакторах внаслідок активного процесу нітрифікації відбувається окиснення амонійного азоту до нітритів і нітратів, крім того у глибині волокон проходить анаеробне окиснення амонію з утворенням молекулярного азоту,

на виході в очищеній воді спостерігається зниження концентрацій сполук азоту до діючих нормативів. Завдяки використанню волокнистих носіїв «ВІЯ» з іммобілізованими мікроорганізмами в усіх біореакторах досягнуто високої окисної потужності за амонійним азотом – 80-110 г/(м³·доб).

За два роки роботи установки (2010-2012 рр.) було проведено дві зупинки у жовтні-листопаді та два проміжних запуски після зимового періоду. Зниження температур повітря зимового періоду 2011 року досягало -10 – -12°C, а 2012 р. – -30 – -32°C. На період зупинки установку звільняли від води та демонтували циркуляційні насоси, носії іммобілізованої біомаси залишали в біореакторах відкрито.

Повторні пуски установки тривали 35 і 48 днів, відповідно. Гідробіологічний аналіз проб підтвердив спроможність мікроорганізмів при періодичній роботі споруд і низьких зимових температурах (-30 – -32°C) відновлювати життєдіяльність при створенні їм необхідних умов. Серед гідробіонтів біоценозу були у наявності саркодові, рівновійчасті, черевовійчасті та кругловічасті інфузорії, коловертки (рис. 11).

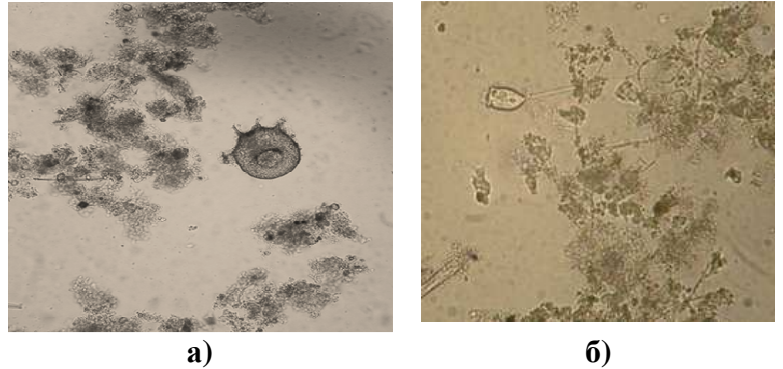


Рис. 11 Мікрофотознімки біомаси після зимового періоду на 3 день (а) і на 7 день (б) після пуску виробничої установки

Розділ 6 містить раціональні технологічні параметри, режими, техніко-економічні показники розробленої анаеробно-аеробної технології біологічного очищення стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів, яка призначена для очищення стічних вод, що містять сполуки азоту та органічні забруднення у своєму складі, до нормативних значень (рис. 12).

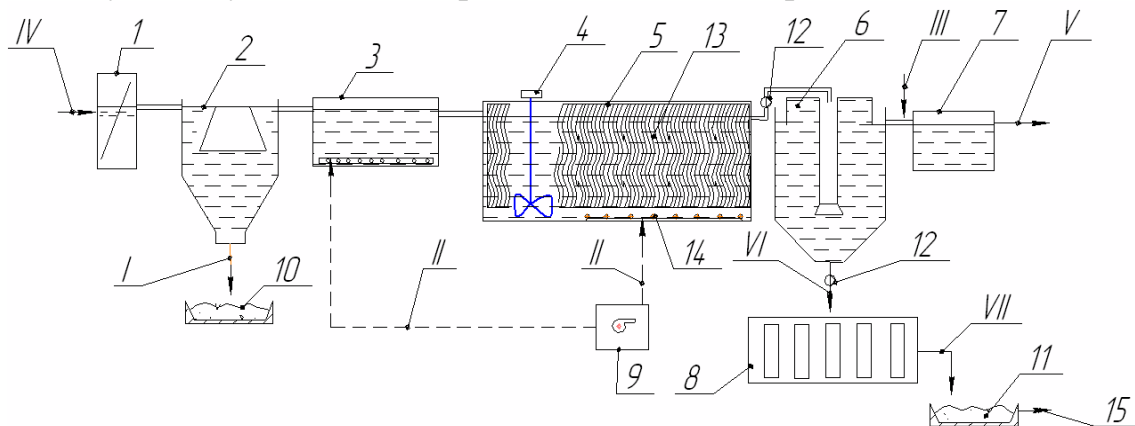


Рис.12 Технологічна схема очищення стічних вод від сполук азоту із використанням іммобілізованих мікроорганізмів:

- 1 – решітка; 2 – пісковловлювач; 3 – усереднювач; 4 – мішалки з двигуном у анаеробній зоні аеротенка; 5 – аеротенк; 6 – вторинний відстійник; 7 – контактний резервуар; 8 – фільтр - преси; 9 – повітродувна станція; 10 – піскові майданчики; 11 – майданчики для зневодненого осаду; 12 – насосна станція; 13 – волокнистий носій; 14 – система аерації, яка влаштована поперечно до руху стічних вод у аеробній зоні аеротенка; 15 – зневоднений осад на вивезення; I – піщана пульпа; II – повітря; III – подача гіпохлориту натрію; IV – подача стічних вод на очищення; V – очищена стічна вода; VI – осад; VII – зневоднений осад

Технологічні параметри даної технології було досліджено у лабораторних умовах та підтверджено на виробничій установці при витратах стічних вод до $720 \text{ дм}^3/\text{доб}$, початкових концентраціях амонійного азоту – $5\text{-}15 \text{ мг}/\text{дм}^3$, концентраціях біомаси у біореакторах за сухою речовиною – $9\text{-}23 \text{ г}/\text{дм}^3$ ($5\text{-}11 \text{ г}/\text{дм}^3$ за беззольною речовиною) (табл. 2).

Таблиця 2

Технологічні параметри аеробної стадії розробленої технології очищення стічних вод солодового заводу від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів

Параметри	Од. виміру	Значення
Навантаження за амонійним азотом	мг/(г·доб)	8-20
Швидкість окиснення амонійного азоту	мг/(г·доб)	4-12
Окисна потужність за амонійним азотом	г/(м ³ ·доб)	80-110
Ефективність видалення амонійного азоту	%	98,2-99,6
Гідравлічне навантаження	м ³ /(м ³ ·доб)	5,5-5,8

В результаті розрахунку економічних збитків, заподіяних внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання водних ресурсів у випадку недостатньо ефективного видалення сполук азоту, а саме амонійного, нітритів та нітратів, на очисних спорудах солодового заводу продуктивністю $2000 \text{ м}^3/\text{доб}$ встановлено, що розмір щорічного відшкодування становить 24820 грн, 18615 грн та 1460 грн, відповідно. Найбільша маса забруднюючої речовини, яка надходить щодоби у водний об'єкт при недостатній ефективності технології очищення стічних вод, приходиться на нітрати і становить 50 кг.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-технічне завдання – дослідження закономірностей перебігу процесів очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів та розробка на цій основі технології анаеробно-аеробного очищення з високою ефективністю видалення сполук азоту при забезпеченні діючих нормативів, з мінімальними енерговитратами та малим об'ємом відходів.

1. В результаті досліджень встановлено, що при використанні розробленої технології ефективність очищення стічних вод за амонійним азотом становить 98,2-98,5% та забезпечується такими значеннями технологічних показників: гідравлічне навантаження - $5,5\text{-}5,8 \text{ м}^3/(\text{м}^3\cdot\text{доб})$; загальна тривалість очищення – 20-22 год; тривалість на кожній стадії – 4-4,4 год; навантаження за амонійним азотом в аеробних біореакторах – $8\text{-}20 \text{ мг}/(\text{г}\cdot\text{доб})$; швидкість окиснення за амонійним азотом – $4\text{-}12 \text{ мг}/(\text{г}\cdot\text{доб})$, при початкових концентраціях амонійного азоту на аеробній стадії $11\text{-}32 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

2. Встановлено, що використання в біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами перпендикулярного руху струменів повітря відносно напрямку руху стічних вод впливає на ефективність процесу очищення. Забезпечується збільшення окисної потужності на 30-40% на початковій стадії аеробного процесу та ефективність видалення амонійного азоту 98,4-99,6% при $C_{\text{NH}_4^+}^{\text{поч}}$ до $30 \text{ мг}/\text{дм}^3$,

гідравлічному навантаженні 5,5-5,8 м³/(м³·доб) у порівнянні із поздовжнім розміщенням аераторів при таких же умовах процесу, що дозволяє зменшити розміри споруд.

3. В результаті дослідження іммобілізованої на волокнистому носії біоплівки за допомогою оптичного мікроскопіювання було встановлено, що при використанні запропонованої технології забезпечується створення біоценозу гідробіонтів в анаеробних, аеробних умовах на різних стадіях очищення, які забезпечують не тільки очищення стічних вод від сполук азоту, а й зменшення концентрації надлишкової біомаси до 50-70 г/м³.

4. Біоценоз біореакторів з іммобілізованими на носіях мікроорганізмами спроможний до періодичної роботи та зберігає здатність до очищення стічних вод навіть при досить низьких зимових температурах (-30 – -32 °С).

5. Розроблена математична модель процесу аеробного очищення стічних вод від амонійного азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів дає можливість визначити кінцеву концентрацію амонійного азоту на кожній стадії процесу при відомих значеннях початкової концентрації амонійного азоту, гідравлічного навантаження та площі носія.

6. Запропонована технологія у виробничих умовах забезпечує високу ефективність очищення стічних вод солодового заводу: від органічних забруднень за ХСК – 93-96% при початкових концентраціях 900-1100 мг/дм³; від азоту амонійного – 98,2-99,6% при його початкових концентраціях 5-15 мг/дм³. Якість очищених стічних вод відповідає ГДС у р. Горинь. Одержано високі значення окисної потужності за амонійним азотом – 80-110 г/(м³·доб) за рахунок створення послідовних анаеробно-аеробних умов, влаштування носіїв «ВІЯ» з питомою масою волокон 500-650 г/м².

7. Встановлено, що в процесі очищення стічних вод від сполук азоту в аеробних умовах по мірі очищення стічних вод відбувається зменшення концентрації іммобілізованої біомаси за сухою речовиною від 22 до 10 г/дм³ при збільшенні мінеральної складової до 51%.

8. Розроблено анаеробно-аеробну технологію очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів та проведено її апробацію в умовах діючого виробництва. Показано, що впровадження технології на ВАТ «Славутський солодовий завод» є економічно доцільним і обґрунтованим.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Саблій Л. А. Анаеробно-аеробна технологія очищення промислових стічних вод / Л. А. Саблій, В. С. Жукова // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. – Рівне, 2009. – Вип. 3 (47). – Ч. 2. – С. 291–296.

Особистий творчий внесок здобувача полягає у визначенні процесів перетворення та видалення сполук азоту з стічних вод в процесі очищення за новою біотехнологією.

2. Саблій Л. А. Сучасні біотехнології видалення азоту із стічних вод / Л. А. Саблій, В. С. Жукова // Вісник Національного університету водного

господарства та природокористування : зб. наук. праць. – Рівне, 2010. – Вип. 1 (49) : Технічні науки. – С. 25–31.

Здобувачеві належить узагальнення, систематизація та аналіз даних літературних джерел і постановка завдань досліджень.

3. Жукова В. С. Біологічне очищення промислових стічних вод / В. С. Жукова, Л. А. Саблій, О. М. Бунчак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 5. – Т.3.– С. 42-46.

Здобувачем розроблено конструкцію лабораторної установки, проведено серію досліджень та оброблено їх результати.

4. Саблій Л. А. Очищення стічних вод від сполук азоту /Л. А. Саблій, В. С. Жукова // Науковий вісник будівництва / Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 63. – С. 431–435.

Особистий внесок здобувача – в теоретичному аналізі процесів біологічного видалення сполук азоту в анаеробних та аеробних умовах в розробленій новій біотехнології.

5. Жукова В. С. Виробничі дослідження очищення промислових стічних вод в біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами / В. С. Жукова, Л. А. Саблій // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2011. – № 1 (3). – С.45-49.

Здобувачем розроблено конструкцію виробничої установки, проведено серію досліджень та оброблено їх результати.

6. Патент України на винахід № 94856, МПК C02F 3/30. Спосіб біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П.І., Кузьмінський Є. В., Саблій Л. А., Жукова В. С.: заявник та патентоутримувач Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». –№ a201006126; заявл. 20.05.10 ; опубл. 10.06.11, Бюл. №11.

Здобувачем здійснено патентний пошук та визначено умови реалізації розробленого способу.

7. Патент України на винахід № 97747 , МПК C02F 3/02. Спосіб аеробного біологічного очищення стічних вод / Гвоздяк П. І., Глоба Л. І., Саблій Л. А., Капарник А. І., Борисенко О. О. , Жукова В. С.: заявник та патентоутримувач Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». –№ a201014394; заявл. 01.12.10 ; опубл. 12.03.12, Бюл. №5.

Здобувачем здійснено патентний пошук та розроблено схему розміщення системи аерації.

8. Патент України на корисну модель № 61650, МПК C02F 3/02. Пристрій для аеробного біологічного очищення стічних вод / Кузьмінський Є. В., Саблій Л. А., Жукова В. С.: заявник та патентоутримувач Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». –№ u201015914; заявл. 29.12.10 ; опубл. 25.07.11, Бюл. №14.

9. Патент України на корисну модель № 64416, МПК C02F 3/34, C02F 3/28. Анаеробний біореактор для очищення стічних вод / Саблій Л. А., Жукова В. С.: заявник та патентоутримувач Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут». – № u201103743; заявл. 28.03.11 ; опубл. 10.11.11, Бюл. №21.

10. Патент України на корисну модель № 64417, МПК C02F 3/02. Аеробний біореактор / Саблій Л. А., Жукова В. С.:заявник та патентоутримувач Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – № u201103744; заявл. 28.03.11 ; опубл. 10.11.11, Бюл. №21.

11. Жукова В. С. Анаэробно-аэробная технология очистки сточных вод [Электронный ресурс] / В. С. Жукова, Л. А. Саблий // [«Проекты развития инфраструктуры города»]: сб. науч. тр. / ОАО «МосводоканалНИИпроект». – М. : Изд-во «Прима-пресс. Экспо», 2010. – Вып. 10 : Проектирование городских инженерных систем. – С. 120–124. – 1 електрон. опт. диск (CD-R) : кольор. ; 12 см. – Систем. вимоги : Pentium ; 32 Mb RAM ; CD-ROM ; Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з контейнера.

Здобувачу належить постановка завдань досліджень та визначення параметрів процесів очищення стічних вод від сполук азоту.

12. Zhukova V. Biotechnology of the food industry wastewater treatment from nitrogen compounds / V. Zhukova, L. Sabliy, G. Łagód // Proceedings of ECOpole, 2011.-Vol.5.-No.1.- p.133-138.

Здобувачем проведено комплекс виробничих досліджень, оброблені результати та отримані висновки.

13. Жукова В. С. Біологічне очищення стічних вод від сполук азоту / В. С. Жукова, Л. А. Саблій // Тези доповідей учасників IV науково-практичної конференції [«Біотехнологія XXI століття»], (Київ, 19–23 квіт. 2010 р.) / Національний технічний університет України «КПІ». – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – С. 49.

Здобувачем систематизовано існуючі новітні технології біологічного видалення сполук азоту і запропоновано анаэробно-аэробну технологію.

14. Жукова В.С. Анаэробно-аэробная технология очищения стічних вод / В. С. Жукова, Л. А. Саблій //Збірка тез XIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (19-23 травня 2010р.)/Національний технічний університет України «КПІ». – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – С. 318-319.

15. Саблій Л. А. Біотехнологія очищення стічних вод підприємств харчової промисловості від сполук азоту/ Л. А. Саблій, В. С. Жукова // Збірник матеріалів 9-ої Міжнародної науково-практичної конференції [«Ресурси природних вод Карпатського регіону»] (Проблеми охорони та раціонального використання). – Львів, 2010. – С. 131–133.

16. Саблій Л. А. Біотехнологія очищення промислових стічних вод / Л. А. Саблій, В. С. Жукова // Матеріали VIII Міжнародної конференції [«Сотрудничество для решения проблемы отходов»], (Харків, 23–24 лют. 2011 р.) / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – Харків : «Экоинформ», 2011. – С. 91.

17. Саблій Л. А. Експериментально-виробничі дослідження очищення стічних вод від сполук азоту / Л. А. Саблій, В. С. Жукова // Тези доповідей V регіональної

науково-практичної конференції викладачів, науковців, аспірантів, молодих вчених та студентів [«Біотехнологія ХХІ століття»], (Київ, 26 квіт. 2011 р.) / Національний технічний університет України «КПІ». – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – С. 87.

Особистий внесок здобувача – у визначенні напрямів досліджень на експериментально-виробничій установці в умовах виробництва та аналізі результатів.

18. Жукова В. С. Биотехнология очистки сточных вод от соединений азота [Электронный ресурс]/ Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2011» / Отв. ред. А. И. Андреев, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов, М. В. Чистякова. — М.: МАКС Пресс, 2011., ст. 298-299.-1 електрон. опт. диск (CD-R) : кольор. ; 12 см. – Систем. вимоги : Pentium ; 32 Mb RAM ; CD-ROM ; Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з контейнера.

19. Жукова В. С. Використання іммобілізованих мікроорганізмів для очищення стічних вод від сполук азоту / В. С. Жукова, Л. А. Саблій // Зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні екологічно безпечні та енергозберігаючі технології в природокористуванні»], (Київ, 26–28 квіт. 2011 р.) / Київський національний університет будівництва та архітектури. – К. : КНУБА, 2011. – Ч. 2. – С. 117–119.

Здобувачем проведено дослідження іммобілізованих на носії мікроорганізмів в умовах розробленої анаеробно-аеробної технології.

20. Жукова В. С. Виробничі дослідження очищення стічних вод від сполук азоту// В. С. Жукова, Л. А. Саблій // Збірка тез XIV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство» (18-22 травня 2011р.)/Національний технічний університет України «КПІ». – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – С. 56.

21. Жукова В. С. Біологічне очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів / В. С. Жукова, Л. А. Саблій // Збірка доповідей Міжнародного Конгресу «ЕТЕВК-2011», (Ялта,6-10 черв. 2011р.)/- К, 2011. – С.217-221.

22. Жукова В. С. Механізм іммобілізації мікроорганізмів на волокнистому носії при очищенні стічних вод від сполук азоту [Электронный ресурс] / П. І. Гвоздяк, Л. А. Саблій, В. С. Жукова// Міжнародна науково-практична конференція «Вода і довкілля» ІХ Міжнародного водного форуму AQUA Ukraine (Київ, 8-11 листопада 2011р.). - К.-2011.- С.217-218.– 1 електрон. опт. диск (CD-R) : кольор. ; 12 см. – Систем. вимоги : Pentium ; 32 Mb RAM ; CD-ROM ; Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з контейнера.

Здобувачем визначено математичні моделі, які описують аеробні процеси видалення сполук азоту зі стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів.

23. Жукова В. С. Применение иммобилизированных микроорганизмов для очистки сточных вод от соединений азота / Материалы Международного молодежного научного форума «ЛОМОНОСОВ-2012» / Отв. ред. А. И. Андреев, А. В. Андриянов, Е. А. Антипов, М. В. Чистякова. [Электронный ресурс] — М.: МАКС Пресс, 2012., С. 220.-1 електрон. опт. диск (DVD-ROM); 12 см. – Систем.

требования: ПК с процессором 486+; Windows 95; дисковод DVD-ROM; Adobe Acrobat Reader.

АНОТАЦІЯ

Жукова В. С. Очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів. - На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.21 – технологія водоочищення. – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, 2013.

Дисертація присвячена розробці технології очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів з високою ефективністю видалення сполук азоту при забезпеченні діючих нормативів, мінімальними енерговитратами, малим об'ємом відходів.

Встановлено діапазон величин технологічних параметрів роботи біореакторів з іммобілізованими на волокнистому носії мікроорганізмами для ефективного видалення сполук азоту: гідравлічного навантаження, тривалості процесу, товщини біоплівки, концентрації біомаси, навантаження за амонійним азотом, швидкості окиснення амонійного азоту, окисної потужності.

Розроблено математичну модель процесу аеробного очищення стічних вод від амонійного азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів, яка дозволяє визначити лімітуючий фактор на кожній стадії процесу очищення стічних вод.

Встановлено, що перпендикулярний рух струменів повітря відносно напрямку руху стічних вод та поздовжній по відношенню до носія мікроорганізмів дозволяє збільшити окисну потужність біореактора з іммобілізованими мікроорганізмами на початковій стадії аеробного процесу на 30-40%. Показано, що процес очищення стічних вод в споруді з іммобілізованими мікроорганізмами може здійснюватися в умовах періодичної роботи та зміни температури зовнішнього повітря з відновленням біомаси гідробіонтів.

Практично реалізована постадійна анаеробно-аеробна технологія очищення стічних вод від сполук азоту з іммобілізованими на волокнистому носії мікроорганізмами. Встановлено технологічні режими, параметри волокнистого носія «ВІА», конструктивні і технологічні параметри біореакторів з іммобілізованими мікроорганізмами для реалізації технології на станціях очищення стічних вод.

Розроблену анаеробно-аеробну технологію біологічного очищення стічних вод від сполук азоту з використанням іммобілізованих мікроорганізмів впроваджено на очисних спорудах ВАТ «Славутський солодовий завод» (акт впровадження).

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, анаеробний метод, аеробний метод, біореактор, носій іммобілізованих мікроорганізмів.

АННОТАЦИЯ

Жукова В. С. Очистка сточных вод от соединений азота с использованием иммобилизованных микроорганизмов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.21 - технология водочистки. - Национальный технический

университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев, 2013.

Диссертация посвящена разработке технологии очистки сточных вод от соединений азота с использованием иммобилизованных микроорганизмов с высокой эффективностью удаления соединений азота при обеспечении действующих нормативов, минимальными энергозатратами, малым объемом отходов.

Установлено диапазон величин технологических параметров работы биореакторов с иммобилизованными на волокнистом носителе микроорганизмами для эффективного удаления соединений азота: гидравлической нагрузки, длительности процесса, толщины биопленки, концентрации биомассы, нагрузки по аммонийному азоту, скорости окисления аммонийного азота, окислительной мощности.

Разработана математическая модель процесса аэробной очистки сточных вод от аммонийного азота с использованием иммобилизованных микроорганизмов, которая позволяет определить лимитирующий фактор биопленки на каждой стадии процесса очистки сточных вод.

Установлено, что перпендикулярное направление движения струй воздуха относительно направления движения сточных вод и продольное по отношению к носителю микроорганизмов позволяет увеличить окислительную мощность биореактора с иммобилизованными микроорганизмами на начальной стадии аэробного процесса на 30-40%. Показано, что процесс очистки сточных вод в сооружении с иммобилизованными микроорганизмами может осуществляться в условиях периодической работы и изменении температуры внешнего воздуха с восстановлением биомассы гидробионтов.

Определено, что средняя толщина биопленки иммобилизованных на носителе «ВИЯ» микроорганизмов составляет 1,5 – 3 мм. Удельная масса волокон носителя – 500-650 г/м². В результате исследования биоценоза иммобилизованных на волокнистом носителе микроорганизмов с помощью оптического микроскопирования было установлено, что при использовании анаэробно-аэробной технологии обеспечивается создание групп гидробионтов на различных по условиям и составу сточных вод стадиях очистки и удаление избыточной биомассы трофической цепью микроорганизмов до 50-70 г/м³.

Анаэробно-аэробная технология очистки сточных вод от соединений азота иммобилизованными на волокнистом носителе микроорганизмами реализована на практике. Установлено технологические режимы, параметры волокнистого носителя «ВИЯ», конструктивные и технологические параметры биореакторов с носителями иммобилизованных микроорганизмов для реализации технологии на станциях очистки сточных вод.

На основе технико-экономического сравнения двух вариантов установлено, что использование разработанной технологии позволит получить экономический эффект в 2137 тыс. грн/год и экономить 52% электроэнергии. Использование разработанной анаэробно-аэробной технологии позволит снизить годовые капитальные, эксплуатационные расходы и себестоимость 1 м³ очищенных сточных вод на 40-50% за счет использования носителей для иммобилизации микроорганизмов и перпендикулярного расположения аэраторов относительно

движения сточных вод.

Разработанную анаэробно-аэробную технологию биологической очистки сточных вод от соединений азота с использованием иммобилизованных микроорганизмов внедрено на очистных сооружениях ОАО «Славутский солодовый завод» (акт внедрения).

Ключевые слова: сточные воды, биологическая очистка, анаэробный метод, аэробный метод, биореактор, носитель иммобилизованных микроорганизмов.

SUMMARY

Zhukova V. S. Wastewater treatment from nitrogen compounds using immobilized microorganisms. – Manuscript.

Thesis for the candidate degree in technical sciences in specialty 05.17.21 - technology of water treatment. - National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, 2013.

The thesis deals with the development of wastewater treatment technology from nitrogen compounds using immobilized microorganisms with high efficiency removal of nitrogen compounds in ensuring effective rules, minimal power consumption and small wastes volume. The technological parameters of the bioreactors with immobilized microorganisms in fibrous media for effective removal of nitrogen compounds has been determined: hydraulic load, duration the process, the thickness of biofilm, biomass concentration, the load for ammonia nitrogen, the rate of oxidation of ammonia nitrogen, oxidative capacity.

The mathematical model of the aerobic process of wastewater treatment from ammonium nitrogen using immobilized microorganisms has been developed, which allows determining the limiting factor at each stage of the process of wastewater treatment. It has been determined that the perpendicular direction of the air jets movement of wastewater and longitudinal in relation to the carrier of microorganisms allows to increase the oxidative capacity of the bioreactor with immobilized microorganisms in the initial stage of the aerobic process by 30-40%. It has been presented, that the wastewater treatment process in the construction with immobilized microorganisms can be carried out periodically and with changes of ambient temperature with the restoration of aquatic biomass.

The anaerobic-aerobic wastewater treatment technology from nitrogen compounds with immobilized on fibrous medium microorganisms is proved to be practicable. The technological regimes, parameters of the fibrous media "VIA", constructive and technological parameters of bioreactors with immobilized microorganisms have been determined ensuring the implementation of the technology at wastewater treatment plants.

The anaerobic-aerobic technology of biological wastewater treatment from nitrogen compounds using immobilized microorganisms has been implemented at the treatment plant company "Slavutskiy malting plant" (act of introduction).

Keywords: wastewater, biological treatment, anaerobic method, aerobic method, bioreactor, carrier of immobilized microorganisms.