

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МАГНІТНИХ ТА ЕЛЕКТРИЧНИХ ПОЛІВ

А. О. Дичко, канд. техн. наук (НТУУ «КПІ»)

Приведен анализ современных методов интенсификации работы биологических очистных сооружений с применением магнитных и электрических полей. Показано, что такие методы позволяют повысить эффективность биоочистки при одновременном увеличении нагрузки на активный ил и расширении спектра биоразложимых отложений, а также снизить себестоимость очистки, затрат на строительство очистных сооружений и занимаемых ими площадей.

Питання незадовільної роботи існуючих споруд з очищення стічних вод пов'язане з багатьма факторами (рис. 1). Якість очищення стічних вод не відповідає встановленим нормативам, а скидання недоочищених стоків у відкриті водоймища веде до погіршення екологічного стану довкілля. Тому питання інтенсифікації процесів очищення стічних вод постає особливо актуальним.

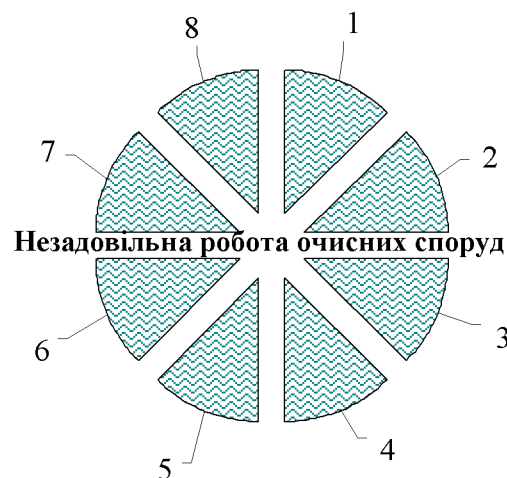


Рис. 1. Фактори, що впливають на погіршення роботи споруд з очищення стічних вод: 1 – збільшення об'єму стічних вод; 2 – підвищення концентрації забруднень в стічних водах; 3 – підвищення навантаження на очисні споруди; 4 – зниження ефективності очищення стоків; 5 – значні затрати коштів на будівництво, ремонт та експлуатацію існуючих очисних споруд; 6 – велика енергоємність існуючих методів очищення; 7 – збільшення кількості надлишкового активного мулу; 8 – збільшення площ під очисні споруди

В практиці очищення стічних вод застосовують такі методи стимулювання процесів біорозкладання забруднюючих речовин, присутніх в стоках, як гомогенізація активного мулу фізичними (дезінтеграція, центрифугування, висушування) або хімічними способами, ведення процесу біоочищення в магнітному або електричному полях тощо (рис. 2) [1].

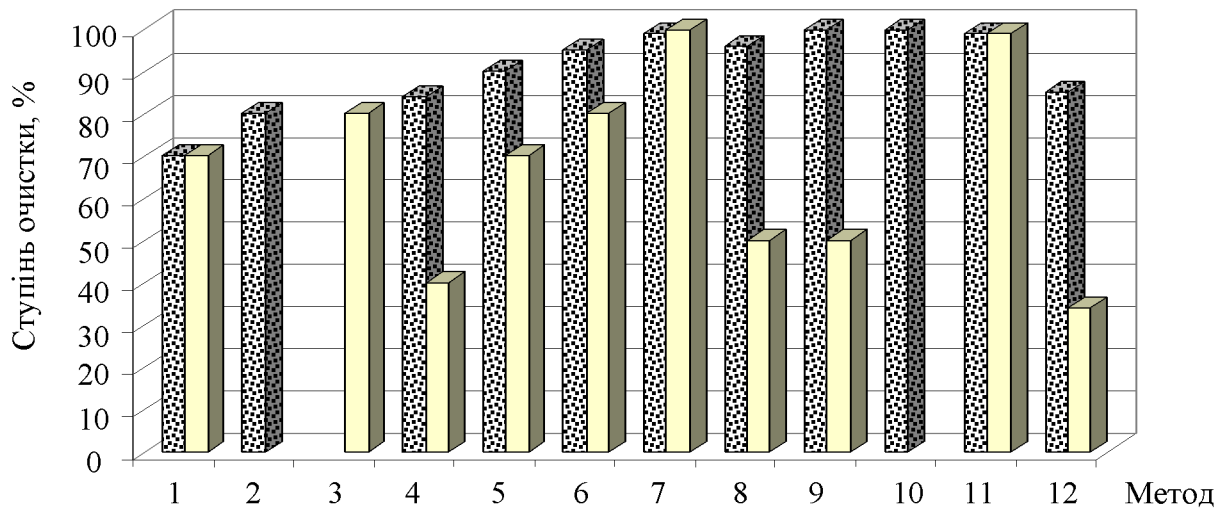


Рис. 2. Ефективність методів інтенсифікації процесів біоочищення: 1 – гомогенізація активного мулу; 2 – адсорбція висушеним мулом; 3 – термофільний аеробний режим; 4 – термодеструкція мулу; 5 – збільшення тиску повітря в газовій фазі; 6 – озонування; 7 – послідовне озонування та окислення в аеротенку з активованим карбоном; 8 – обробка зворотного мулу двоокисом хлору; 9 – ультразвукова обробка мулу; 10 – послідовна обробка мулу гідроксидом натрію і ультразвуком та гомогенізація мулу; 11 – обробка мулу магнітним полем; 12 – обробка мулу в електричному полі

Серед методів підвищення ефективності роботи біологічних очисних споруд особливий інтерес викликає вплив магнітних полів на мікроорганізми активного мулу. Ефект впливу магнітного поля на бактерії залежить від фізіологічного стану клітинної популяції і тривалості дії поля. Магнітне поле змінює швидкість і характер росту мікроорганізмів внаслідок впливу на процеси поділу клітин. Крім того, здатне змінювати термотолерантність, антибіотикорезистентність, чутливість до фагу та вірулентність штамів мікроорганізмів [2–6].

Електричні поля і заряджені частки використовують в практиці мікробіологічних досліджень і технічній мікробіології з метою отримання стимулюючого ефекту. Відомо, що постійний електричний струм впливає на метаболічну і рушійну діяльність, підвищує інтенсивність мутагенезу і росту клітин. За певних умов електрообробки збільшується синтез білку і вміст нуклеїнових кислот в клітині, підвищується резистентність мікробних клітин по відношенню до зневоднення, термошоку, дії ряду хімічних реагентів [3, 7].

Метою дослідження було вивчення існуючих методів обробки мікроорганізмів активного мулу магнітними та електричними полями і визначення оптимальних параметрів інтенсифікації роботи біологічних очисних споруд.

Численними експериментами [2–5] встановлено, що біологічний ефект магнітного поля поступово зростає із збільшенням напруги поля. Найбільшу біологічну активність мають магнітні поля високочастотного та мікрохвильового діапазонів. Сумарний вплив специфічних і теплових факторів високоінтенсивних (потужністю більше 1 кВт) понадвисокочастотних полів

приводить до бактерицидних ефектів, які мають місце навіть при виключенні розігріву зовнішньоклітинного середовища. При низьких інтенсивностях обробки понадвисокочастотними полями поряд з летальними ефектами спостерігається також активація життєдіяльності мікроорганізмів [3, 4].

Під впливом магнітного поля ефективність біологічного очищення стічних вод збільшується [6]. Для ведення процесу біологічного очищення в магнітному полі пропонується біореактор, що складається з вертикального циліндричного корпусу, заповненого завантаженням двох типів: намагнічені елементи, навколо кожного з яких створюється постійне магнітне поле, і п'єзокерамічні елементи. В місцях розміщення п'єзокварцевого завантаження на поверхні реактора встановлюють обмотку, в яку подається напруга частотою 20...40 кГц. Такі умови стимулюють прискорене утворення біоплівки на поверхні завантаження, при цьому інтенсивність біодеструкції забруднень зростає [8].

Імобілізація в магнітоуправляючі альгінатні носії бактеріального штаму *Pseudomonas pickettii*, який є основним представником бактеріальної мікрофлори активного мулу аеротенків, значно інтенсифікує ріст культури, а також процеси вилучення нею забруднень, присутніх в стічних водах [9]. Для ефективного відокремлення біомаси від очищених стоків використовують магнітні носії біоплівки. За пропонованим способом носієм біоплівки є гранулят, при виготовленні якого використовуються порошок магнетиту та будь-який полімер; в процесі адаптації гранулят обростає біоплівкою. При подачі напруги до електромагніту, захищеного від рідини в реакторі, гранулят фіксується на його поверхні, після чого очищені стоки видаляються. Цей метод забезпечує постійну концентрацію біомаси в реакторі (до 50 г/л) і ефективність денітрифікації більше 99% [10].

Введення магнітної затравки (зазвичай порошкоподібного заліза) в аеротенк приводить до появи магнітного моменту у частинок активного мулу, які адсорбували важкі метали і частинки заліза. Потім такі стоки пропускають крізь магнітне поле з напругою, що поступово зростає. При цьому відбувається активне видалення агрегатів мулу з потоку рідини [11].

Модуль електромагнітної активації, включений в систему аеробного очищення стоків, дозволяє збільшити швидкість ендogenousного дихання мулу в 2,0...3,2 рази і ферментативну активність мікроорганізмів – на 50%. Таким чином можна збільшити навантаження на мул за органічними забрудненнями із збереженням необхідного ступеня очищення [12].

Причини впливу магнітного поля на життєдіяльність мікробних клітин на даний час не виявлені. Магнітобіологічні ефекти пояснюють такими припущеннями: існуванням вільних радикалів, що взаємодіють з магнітним полем; напівпровідниковими ефектами в молекулах ДНК і білків у магнітному полі; зміною ротаційної поляризації молекул, що мають активний центр; зміною валентних кутів зв'язку в парамагнітних молекулах; зміною швидкості або механізму процесу дифузії (зокрема, крізь клітинну мембрану) тощо [3, 9, 13].

Стимулюючий ефект електричного струму на процеси життєдіяльності активного мулу залежить від сили струму, напруги і тривалості впливу, а також

від густини суспензії бактерій, водневого показника (рН) і провідності поживного середовища [14, 15].

Електричний струм 12–22 мкА стимулює, а струм, вищий за 24 мкА, пригнічує дегідрогеназну активність мулу очисних споруд. Максимальний стимулюючий вплив на мул спостерігається після обробки струмом силою 15,2 мкА, густиною 1,21 мкА/см² і напругою на електродах 3,25 мВ протягом трьох годин. Дегідрогеназна активність мулу при цьому перевищує контрольну величину в чотири рази, причому максимальне збільшення дегідрогеназної активності і максимальний ріст мікроорганізмів активного мулу спостерігаються за різних параметрів електричного струму (15,2 і 19,7 мкА відповідно). Максимум активності дегідрогеназ відповідає більш низькому значенню сили струму, що свідчить про високу чутливість ферментативних процесів до впливу електричного струму [14].

Збільшення дегідрогеназної активності мулу пов'язують із значним підвищенням активності субстратних дегідрогеназ. Так, після електрообробки протягом двох годин субстратна активність мулу перевищувала контрольну в 32 рази. При цьому ендогенна активність збільшилась майже вдвічі. При напівнеперервному процесі культивування мікроорганізмів мулу дегідрогеназна активність була в 1,7 рази більша за контрольну [15]. Таким чином, у проточному процесі очищення активність мулу можна довгий час підтримувати на високому рівні за допомогою електричного струму.

З метою інтенсифікації процесу очищення застосовують електромагнітне поле напругою до 100 кВ/см² з імпульсним режимом частотою до 2000 Гц [16]. Пропускання через активний мул змінного струму високої частоти приводить до збільшення ефекту очищення та розширення спектру забруднень, що видаляються [17].

Обробку мулової суміші проводять також в електричному полі з горизонтальними силовими лініями в змішувачі та/або реакційному просторі після дозування в неї поліелектролітів або іонообмінних матеріалів та біогенних елементів для коригування рН. При величині подаваної напруги 2...30 В кількість вертикальних паралельних електродів та відстань між ними визначають з умови, що напруга на 1 мм міжелектродного простору становить 0,5...2,0 В (переважно 1 мм/В). При цьому відстань між електродами в реакційному просторі приймають, як правило, більшою, ніж у змішувачі, а клемова напруга в змішувачі вища за напругу в реакційному просторі [18].

Підвищити активність зворотного мулу дозволяє технологія, що поєднує електрообробку мулу з процесом насичення мулової суміші киснем повітря. За пропонованою технологією потік зворотного мулу перед надходженням в аеротенк під залишковим напором проходить крізь ежектор та вихоровий електрогідродинамічний пристрій. При перекачуванні через ежектор потік додатково ежектує атмосферне повітря, в результаті чого на виході з апарату утворюється муло-повітряна суміш. При проходженні цієї суміші через електрогідродинамічний пристрій процес насичення мулової суміші киснем повітря інтенсифікується [19].

Фізико-хімічний склад повітря, що подається в аеротенк, вважають

суттєвим фактором, який впливає на ефективність біологічного очищення стічних вод. Причому після проходження крізь компресори, повітродувки і повітроводи повітря втрачає свої властивості. Температура повітря, що подається до аеротенку, сягає іноді 60...70 °С, отже, в ньому різко знижується концентрація негативних іонів. Збільшити концентрацію легких негативних іонів, що мають стимулюючий вплив на процес очищення, а також зменшити концентрацію важких негативних іонів, що пригнічують біологічний процес, дозволяє озонування повітря. Так, при аерації мулу озono-повітряною сумішшю час обробки, необхідний для зниження концентрації фенолу з 400 до 2...5 мг/л, вдвічі менший, ніж при аерації повітрям [20].

Дослідженнями із засвоєння кисню біоценозом активного мулу було доведено, що мікроорганізми в процесах життєдіяльності більше використовують молекулярний або атомарний кисень із негативним електричним зарядом. У зв'язку з цим доцільним вважається використання іонізаційних камер на напірних лініях ежекторів для збагачення кисневого середовища в аеротенках аероіонами (молекулами повітря з електричним зарядом), що стимулюють поділ клітин та прискорення обмінних процесів всередині кожної клітини. Теоретично ефект застосування аероіонізації стоків становить 20...25% від існуючої потужності аеротенку за мінералізацією органічних сполук у стічних водах. Пропонується також обробляти аероіонізаторами стоки перед подачею їх у біоставки на очищення [21].

Життєдіяльність мікроорганізмів активного мулу посилюється під впливом аероіонів як позитивної, так і негативної полярності. Проте максимальний ефект спостерігається при барботажі суспензії мікроорганізмів повітрям, що містить негативно заряджені аероіони при силі струму 8...10 мкА. За даних умов приріст біомаси становить 66%. Позитивні аероіони мають найбільший вплив при силі струму 32...34 мкА, посилюючи інтенсивність росту культури на 40% [13, 22, 23].

Введення до конструкції біологічних очисних споруд іонізатора для подачі іонізованого повітря дозволяє знизити собівартість очищення стічних вод в аеротенку на 23%, в біофільтрах – на 85%. Інтенсифікація процесів очищення під дією іонізованого повітря дозволяє знизити капітальні затрати на будівництво очисних споруд на 32...40% і зменшити площі, що займають споруди, на 33–38% [13].

Висновки

Магнітні та електричні поля значно підвищують ефективність біологічного очищення стічних вод. Біологічне очищення стічних вод у магнітному полі дозволяє збільшити активність мікроорганізмів мулу в 2...3 рази, ефективність очищення при використанні магнітних носіїв біоплівки становить більше 99%. Використання магнітного поля дозволяє також підтримувати постійну концентрацію біомаси в аеротенку.

Максимальний стимулюючий вплив на активний мул спостерігається після обробки струмом силою 15,2 мкА, густиною 1,21 мкА/см² і напругою на електродах 3,25 мВ протягом трьох годин. Стимулюючий ефект електричного

поля при збільшенні проникності біологічних мембран та активізації транспорту речовин всередину і за межі клітини полягає в підвищенні активності мікроорганізмів мулу в 4 рази та якості очищення стоків до 85%.

Подальше дослідження впливу магнітного та електричного полів на мікроорганізми активного мулу дозволить визначити оптимальні режими впливу полів, за яких активність клітин та їх складових буде максимальна, а якість очищених стічних вод – найвища.

1. Дичко А. О. Застосування біоцидних технологій в практиці інтенсифікації процесів біохімічного очищення стічних вод // Водне господарство України. – 2007. – №1. – С. 43–49.

2. Калганова С. Г., Архангельский Ю. С. Нетепловое действие СВЧ электромагнитного поля на диэлектрические объекты / Электротехнологические СВЧ установки: Межвузовский научный сборник. – Саратов, 2000. – С. 53–56.

3. Попов В. Г., Андреев В. С., Дронова Н. В. Микроорганизмы и электрические поля // Успехи микробиологии. – 1987. – Вып. 21. – С. 180–212.

4. Влияние магнитных полей на биологические объекты / Под ред. Ю. А. Холодова. – М.: Наука, 1971. – 215 с.

5. Shodo M. Effect of high magnetic field on microbial growth // J. Radiat. Res. – 1995. – 36, № 4. – P. 282.

6. Han Q., Shao F. Fushun shiyou xueyuan xuebao // J. Fushun Petrol Inst. – 2002. – 22, № 3. – С. 8–10.

7. Баран А. Н. Об описании стимулирующего действия электрического тока на процессы биосинтеза // Электронная обработка материалов. – 1994. – №3. – С. 58–62.

8. Uphoff C. Bioreactor. Заявка 10119939 Германия, МПК⁷ С 02 F 3/10, С02F 1/36. Опубл. 24.10.2002.

9. Федотова Л. В., Колотова О. В. Лабораторное моделирование очистки сточных вод иммобилизованными магнитоуправляемыми микроорганизмами // 7-я Регион. конф. молодых исследователей Волгоград. обл. Тез. докл. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСА. – 2002. – С. 142–143.

10. Пат. 6290851 США, МПК⁷ С 02 F 1/48. Maekawa T., Kuroshima M. Microorganisms-immobilized magnetic carriers, a process for producing the carriers and a method of treating wastewater. – Опубл. 18.09.2001.

11. Azaki H. Удаление растворенных тяжелых металлов с помощью химической коагуляции. Введение магнитной затравки // Jap. J. Water Pollut. Res. – 1987. – 10, №6. – С. 337.

12. Белопольский Л. М., Никифорова Л. О. Влияние ионов железа и марганца на процессы биохимической очистки стоков // Вода и экол.: пробл. и реш. – 2001. – № 2. – С. 28–32.

13. Интенсификация роста микроорганизмов активного ила сооружений биологической очистки / О. В. Колотова, И. В. Владимцева, А. Б. Голованчиков, Л. В. Федотова // Экологические системы и приборы. – 2003. – №9. – С. 20–22.

14. *Ткачук Н. Г.* Влияние электрического тока на рост и ферментативную активность микроорганизмов активного ила // Электронная обработка материалов. – 1978. – № 4. – С. 78–79.

15. *Brown G., Morrison W.* // Trans. IRE Med. Electronics, PGME. – 1956. – Vol. 4. – P. 16–20.

16. *Заявка 2792207 Франция, МПК⁷ А 61 L 2/03, С 02 F 1/48.* Vernhes M. C., Cabanes P. A. R., Teissie J. Procédé de traitement d'un flux aqueux par electropulsation. – Оpubл. 20.10.2000.

17. *Доскина Э. П., Мещерякова Ю. С.* Проблемы повышения окислительной мощности биологической очистки в аэротенках / Безопасность жизнедеятельности, 21 век: Материалы Междун. научн. симпозиума. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСА. – 2001. – С. 147.

18. *Пат. 386187 Австрия, МКИ С 02 F 11/02.* Treso V., Puschenjak E., Hanke R. Verfahren zur biologischen Umsetzung von Substraten. – Оpubл. 11.07.88.

19. *Повышение активности потока* возвратного ила аэротенков за счет насыщения воздухом и электрообработки / Б. М. Гришин, С. Ю. Андреев, С. Н. Хазов, Идрисов М. А. Водохозяйственный комплекс и экология гидросферы в регионах России: Сборник материалов 5 Международной научно-практ. конф. – Пенза: Изд-во ПГСХА. – 2002. – С. 60–62.

20. *Хабаров О. С.* Безреагентная интенсификация очистки сточных вод. – М.: Металлургия, 1982. – 150 с.

21. *Партылов В. С.* Методы улучшения технологии очистки сточных вод // Изв. акад. пром. экол. – 2001. – №1. – С. 40–42.

22. *Пат. 772772 Австралия, МПК⁶ С 02 F 001/40, С 02 F 001/24.* Oyabu T. Defoaming and airwater treating device. Оpubл. 6.05.2004.

23. *Колотова О. В., Федотова Л. В.* Интенсификация биоэкологических процессов при аэробной биологической очистке городских сточных вод // 7-я Региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области. Тезисы докл. – Волгоград: Изд-во ВолгГАСА. – 2002. – С. 140–142.