

Розроблення моделі процесу анаеробного очищення стічних вод

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.044>

Андрій Сафоник

Навчально-науковий інститут енергетики,
автоматики та водного господарства
Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
a.p.safonyk@nuwm.edu.ua

Сергій Полухович

Навчально-науковий інститут енергетики,
автоматики та водного господарства
Національний університет водного господарства та
природокористування
м. Рівне, Україна
s.o.polyukhovych@nuwm.edu.ua

Анотація—Розроблено математичну модель системи анаеробного біологічного очищення стічних вод у біореакторах, включаючи різні аспекти процесу очищення. Побудовано алгоритм розв'язання відповідної модельної задачі. На основі отриманого розв'язку, проведено класифікацію станів системи біологічного очищення стічних вод та сформульовано рекомендації для керування та оптимізації процесу очищення.

Ключові слова—модель анаеробної очистки; біомаса; біореактор; алгоритм розв'язання задачі біологічної очистки; рдере.

I. ВСТУП

Процеси очищення стічних вод є важливою складовою сучасних систем забезпечення якості очисних споруд та збереження водних ресурсів. Серед численних методів очищення, анаеробна біологічна очистка стала однією з найефективніших інженерних стратегій для видалення забруднень зі стічних вод.

Оптимізація процесів, що відбуваються в анаеробних біореакторах, має велике значення для підвищення їх продуктивності та забезпечення стабільності функціонування. Для досягнення цих цілей важливим є розробка математичних моделей та алгоритмів, які дозволяють аналізувати та керувати процесами очищення стічних вод у біореакторах.

Метою роботи була розробка моделі анаеробної очистки стічних вод, розширення розуміння та можливостей керування процесом очищення стічних вод у біореакторах, для підвищення ефективності та стабільності відповідних очисних систем.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Відповідно до теоретико-множинного підходу [1, 2] систему біологічного очищення (СБО) можна розглядати як вхідно-вихідний перетворювач, де вхідний потік стічної води піддається впливу допустимого керування та зовнішніх впливів і в результаті формуються вихідні потоки очищеної води $X_{out}^{(OB)}$ та біогазу $X_{out}^{(G)}$, як показано на рис. 1.



Рисунок 1. Опис процедури очищення стічних вод в біореакторі

Взаємодія і взаємовплив різних аспектів системи, включаючи технічні, біохімічні та фізичні процеси, може бути зручно представлена на основі аналізу взаємозв'язків внутрішніх змінних системи. Це вимагає декомпозиції процесу очищення для виділення основних факторів взаємодії між локальними підпроцесами.

Сталий стан системи анаеробного біологічного очищення включає як вимірювані параметри, так і ті, що складно або неможливо виміряти під час постійного моніторингу.

Серед таких невимірюваних характеристик можна вказати Q_{in} – концентрація речовини в очищуваній воді на вході системи анаеробного очищення, B_{in} – стан біомаси на вході системи θ_{in} – показник теплових потоків на вході системи C_{in} – концентрація біологічно неокисненої речовини, $X_{out}^{(OB)}$ – вихідні характеристики стічної води, $X_{out}^{(G)}$ – вихідні характеристики біогазу.

Комплексна зміна біомаси, концентрації забруднення та біологічно неокисненої речовини з урахування теплових потоків описується системою диференціальних рівнянь (1) за умов (2) (див. наприклад [3]). Для врахування різноманітних взаємовпливів характеристик середовища та процесу доцільно використовувати запізнення за часом у відповідних рівняннях. Це дозволяє розщепити початкову "сильно нелінійну" задачу на більш прості нелінійні задачі. Запізнення завжди присутне у реальних системах, викликане різними причинами, наприклад, перенесення забрудненої речовини вимагає часу. У цій модельній задачі з урахуванням запізнення, будь-яка зміна зовнішніх факторів, така як збільшення концентрації забруднення чи біомаси, відбувається лише після закінчення певного часу (часу запізнення $\tau > 0$).

$$\begin{cases} \frac{\partial Q}{\partial t} = -\frac{1}{q} \Phi(Q(x, t - \tau)) B - \frac{v\sigma}{\rho} \frac{\partial C}{\partial x}, \\ \frac{\partial B}{\partial t} = \Phi(Q(x, t - \tau)) B - \lambda B - \frac{v}{\sigma_e} \frac{\partial B}{\partial x}, \\ \frac{\partial \Theta}{\partial t} = -v \frac{\partial^2 \Theta}{\partial x^2} + \Psi(Q(x, t - \tau)), \\ \sigma \frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{\rho q_s} \Phi(Q(x, t - \tau)) B - v \frac{\partial C}{\partial x} - \beta C + D_c \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Q|_{x=0} &= Q^*(t), B|_{x=0} = B^*(t), \Theta|_{x=0} = \Theta^*(t), C|_{x=0} = 0, \\ \frac{\partial Q}{\partial x}|_{x=L} &= 0, \frac{\partial B}{\partial x}|_{x=L} = 0, \frac{\partial \Theta}{\partial x}|_{x=L} = 0, \frac{\partial C}{\partial x}|_{x=L} = 0, \\ Q|_{t=\tilde{t}} &= 0, -\tau \leq \tilde{t} \leq 0, B|_{t=0} = 0, \Theta|_{t=0} = 0, C|_{t=0} = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де L – довжина біореактора, $\Phi(Q) = \frac{\mu_{\max} Q}{Q + K_s}$, μ_{\max} , K_s , λ , q , q_s , β – коефіцієнти детермінації біомаси, v – швидкість руху речовини, σ_e – ефективна пористість, Ψ – кількість теплоти, Також в рівнянні присутній коефіцієнт дифузії – D_c і $D_c = b_c \varepsilon$, $0 < b_c \leq 1$, ε – малий параметр.

III. ВИРШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

Алгоритм розв'язання задачі (1) – (2) наступний:

1. Формулюється задача, включаючи рівняння, початкові умови та граничні умови.
2. Задаємо кількість систем рівнянь n , на основі асимптотичного методу.
3. Застосовуючи асимптотичний метод отримуємо систему PDE.
4. Вибираємо часовий інтервал.
5. Знаходимо розв'язок системи PDE з пункту 4 за допомогою `pdepe` в `Matlab`.
6. У разі виникнення помилки в процесі розрахунку, намагатимемося скоротити часовий інтервал з пункту 4 для отримання задовільного розв'язку на більш короткому часовому інтервалі.
7. Отримуємо значення шуканої функції на всіх часових інтервалах, абсолютні та відносні

похибки на точному розв'язку (якщо він відомий), графіки та анімації числового розв'язку (з точним розв'язком, якщо він відомий).

ВИСНОВКИ

Було надано детальний опис методології для моделювання та аналізу системи анаеробного біологічного очищення стічних вод у біореакторах.

Визначено послідовність дій для розв'язання задач, пов'язаних з аналізом та оптимізацією процесу анаеробного очищення стічних вод.

Розроблена узагальнена модель дозволила створити універсальний підхід до опису процесів у різних біореакторах, що дозволить виділити загальні закономірності процесу та розробити конкретні рекомендації для їх застосування у відношенні до конкретної конструкції біореакторів.

Цей підхід дозволяє систематично досліджувати та аналізувати процес анаеробного очищення стічних вод, розглядаючи різні аспекти системи враховуючи біохімічні та фізичні взаємозв'язки. Результати такого моделювання можуть використовуватися для оптимізації роботи очисних систем і покращення керування процесом очищення стічних вод, що є важливим завданням для збереження довкілля та водних ресурсів.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] A. Balla, M. M. Adamou, "Etude des effets d'une surcharge organique sur le fonctionnement d'un réacteur anaérobie à biomasses fixées," *Sud sciences & technologies*, vol. 14, 2009, pp. 13–19.
- [2] D. Batstone, J. Keller, I. Angelidaki, S. Kalyuzhnyi, S. Pavlostathis et al, "The IWA anaerobic digestion model No 1 (ADM1)," *Wat. Sci. Technol.*, vol. 45(10), 2002, pp. 65–73.
- [3] Сафоник А.П., Присяжнюк О.В., Ільків І.В. Моделювання процесу очищення стічних вод з урахуванням зміни температури. Вісник Національного університету водного господарства і природокористування: зб. наук. пр. Рівне : НУВГП, 2022. Вип. 2(98). С. 275–285.
- [4] Сафоник А. П., Ільків І. В. Оптимізація системи автоматизованого керування процесом очищення води. Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Івано-Франківськ, 5–10 лип. 2021 р.). Івано-Франківськ, 2021. С. 164–165.
- [5] Сафоник А.П., Грицюк І.М., Таргоній І.М. Динамічна оптимізація системи автоматичного керування технологічним процесом очищення води. Біоніка інтелекту: наук.-техн. журнал. 2021. Вип. 2(97). С. 50–61.