

Інноваційні підходи до керування та моніторингу систем біологічного очищення стічних вод

<https://doi.org/10.31713/MCIT.2023.067>

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

Дмитро Ластовецький

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

Анотація—Розглянуто сучасний стан досліджень та інноваційні підходи до керування та моніторингу систем біологічного очищення стічних вод. Визначено основні напрями досліджень у світовій науці та здійснено огляд методів керування, що базуються на системних аналізах, математичних моделях, інформаційних системах та алгоритмах керування. Запропоновано аспекти взаємодії системи моніторингу стану очищення стічних вод та системи керування, що допомагають забезпечити ефективне та надійне керування процесом очищення стічних вод.

Ключові слова—системи біологічного очищення стічних вод, керування, моніторинг, нелінійність, збурення, методи адаптивного керування оптимальним регулятором, нейромережеві системи, екологічна безпека.

І. ВСТУП

Промислові системи біологічного очищення стічних вод являють собою складну, багатокomпонентну та багатозв'язну біотехнічну систему, для забезпечення безпеки, надійності та ефективності якої необхідно здійснювати безперервний контроль стану. Найскладнішим і найменш вивченим з точки зору розробки модельно-алгоритмічного забезпечення та апаратно-програмної реалізації інформаційної системи біологічної очистки та підтримки прийняття рішень елементом є біореактор. Сучасні підходи до моніторингу та аналізу стану в аналізованій предметній галузі використовуються недостатньо. Основні аспекти керування та моніторингу систем біологічного очищення стічних вод [1]:

1. Ефективність очищення: основною метою систем біологічного очищення є видалення забруднень зі стічних вод. Моніторинг включає в себе перевірку рівня забруднень

перед і після очищення для визначення ефективності процесу.

2. Запобігання аваріям: збій в системі біологічного очищення може призвести до викиду неочищених стічних вод. Моніторинг стану обладнання та автоматичне виявлення аномалій допомагають запобігти аваріям.
3. Мінімізація збитків від екологічних контамінацій: у випадку аварій або неправильної роботи системи, моніторинг може допомогти швидко виявити проблеми і вжити заходів для мінімізації збитків для довкілля.
4. Скорочення часу реакції на аварійні ситуації: автоматичні системи моніторингу та керування дозволяють реагувати на аварійні ситуації швидко і ефективно, зменшуючи потенційні наслідки для навколишнього середовища.
5. Оптимізація процесу очищення: сучасні технології дозволяють оптимізувати процес біологічного очищення шляхом аналізу даних і регулювання параметрів, таких як температура, рівень кисню та інші.

Методи досліджень у контексті керування процесами біологічної очистки включають в себе:

1. Математичне моделювання: використання математичних моделей для прогнозування роботи системи та оптимізації процесу.
2. Використання сучасних сенсорів та аналіз даних: збір даних про різні параметри системи (температура, рівень кисню, рівень забруднень) за допомогою сенсорів та їх аналіз для виявлення аномалій та вдосконалення керування.
3. Автоматизація інтегрованих систем керування і моніторингу: сполучення систем

моніторингу і керування для автоматичного регулювання процесу очищення.

4. Використання інтелектуальних алгоритмів: застосування штучного інтелекту та машинного навчання для покращення точності та швидкості процесу моніторингу та керування.

Усі ці методи допомагають підвищити ефективність біологічного очищення стічних вод, знизити негативний вплив на довкілля та забезпечити відповідність нормам якості досліджуваного об'єкту.

II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Внаслідок складності об'єкта дослідження, відсутність загальної методології системного аналізу, оцінки стану та керування складними технічними системами, включаючи біологічні очисні споруди, було створено велику кількість методів управління, заснованих на нелінійних різницевих або диференціальних рівняннях [1–2]. Деякі з цих методів включають:

1. Використання принципу максимуму Понтрягіна для синтезу оптимального керування за температурою.
2. Використання релейного керування зі зворотним мультиплікатором для моделі Лотки-Вольтерра з метою впливу на зміну чисельності популяцій.
3. Оптимальне керування зміною кількості включених повітрорудок для подачі кисню в коридорному реакторі.
4. ПІ-регулювання та порівняння з алгоритмом Nonlinear Model Predictive Control (NMPC).
5. Нелінійне спостережувальне NMPC-керування, яке вимагає лінеаризації моделі об'єкта на кожному кроці оптимізації.
6. NMPC-керування для лінеаризованої моделі об'єкта.
7. Двоконтурне керування киснем і нітратами щодо витрати повітря та мулової суміші у зворотному потоці, не враховуючи можливий взаємозв'язок між керованими параметрами.
8. Умови стійкості за Ляпуновим для деяких біохімічних моделей.
9. Ковзні режими швидкості розчинення для регулювання концентрації субстрату.
10. Керування процесом біоочищення з одночасним спостерегачем стану.

Ці методи використовуються для вирішення задач керування біохімічними системами в біологічних очисних спорудах.

Складні системи біологічного очищення стічних вод представляють собою високо нелінійні та динамічні процеси, що піддаються збуренням і мають велику кількість параметрів. Для ефективного керування такими системами необхідно враховувати їх складність та особливості. Основні положення існуючих підходів до керування складними системами біологічного очищення можна розглянути так:

- Класичні методи оптимального керування: ці методи часто ґрунтуються на лінеаризації системи, що дозволяє застосовувати

класичні алгоритми керування, такі як PID-регулятори. Однак ці методи ефективні лише для лінеаризованих об'єктів, та не завжди можуть враховувати всі нелінійні та некеровані аспекти біологічної очистки.

- Нелінійний характер систем біологічного очищення: біологічні очисні споруди мають нелінійний опис, а це означає, що зміни в одному параметрі можуть мати нелінійний інтерактивний ефект на інші параметри системи. Також системи піддаються збуренням від змін зовнішнього середовища.
- Відсутність універсальних підходів до керування: складність реалізації та нефізичність результатів лінеаризації часто призводять до відсутності універсальних підходів до керування біологічними очисними системами. Це включає в себе питання про адаптивність керування до змінних умов і потреб системи.
- Мотивація застосування методів адаптивного керування: методи адаптивного керування та оптимального регулятора можуть допомогти вирішити ці проблеми. Вони дозволяють створювати системи керування, які забезпечують ефективність, точність та стійкість до змін умов. Адаптивні методи дозволяють системі самостійно адаптуватися до змін у процесі очищення, що робить їх ефективними в реальному часі.
- Аналітичний конструювання векторного регулятора: використання адаптивних методів дозволяє аналітично конструювати векторні регулятори, які можуть оптимізувати багато параметрів системи одночасно, що підвищує ефективність та точність керування.

Враховуючи усі ці аспекти, методи адаптивного керування та нелінійної адаптації виявляються перспективними для застосування в системах біологічного очищення стічних вод, оскільки вони дозволяють враховувати складність та нелінійність цих систем та забезпечують оптимальні результати в умовах змінних параметрів та збурень.

III. ВИРІШЕННЯ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

До основних найбільш ідейно близьких досліджень слід віднести приклади синтезу безперервних нелінійних регуляторів на основі керування в ковзному режимі та на базі адаптивного керування оптимальним регулятором, однак отриманих в умовах повного опису в просторі станів для часткових процесів, істотно відмінних від моделі біореактора (за складністю математичного опису) [2].

Задача синтезу системи керування у просторі станів для динамічного об'єкта виду (Рисунок 1), функціонуючого за умов невизначеностей, на характер яких впливає і неповнота опису, і наявність внутрішніх та зовнішніх збурень має наступний вигляд:

$$\frac{dx}{dt} = f(x, P, \zeta, t) + u, \hat{x} = h(x),$$

$$u = u(\psi, \hat{x}), \psi = \psi(\hat{x}), \dim(u) = \dim(\psi) = m < n,$$

де \hat{x} – вектор оцінки стану, $h()$ – функція отримана на основі вимірюваних змінних (спостерігач стану), $\psi(\hat{x})$ – цільова макрозмінна, умова $\psi(\hat{x}(t)) = 0, t \rightarrow \infty$ визначає так званий цільовий макростан (різноманітність або інваріант системи у разі його аттрактивних властивостей) для об'єкта керування

$\frac{dx}{dt} = f(x, P, \zeta, t) + u; u$ – керування, конструкція якого має забезпечувати асимптотичну стійкість системи керування (1) загалом із заданим часом перехідних процесів у ній.

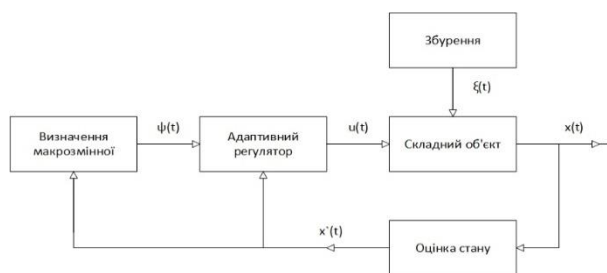


Рисунок 1. Структурна схема системи адаптивного керування

Керування системою біологічної очистки стічних вод, яка є складним об'єктом, охоплює багато важливих аспектів та завдань для забезпечення ефективного та надійного функціонування такої системи.

- Запобігання передаварійним або аварійним станам:
 - Коригування технологічного процесу: це включає в себе внесення змін у хід технологічного процесу для уникнення несприятливих умов.
 - Увімкнення резервних потужностей: в разі виникнення несподіваних ситуацій, таких як відмова основного обладнання, резервні ресурси або обладнання можуть бути автоматично увімкнені для підтримки процесу очищення без перерви.
 - Технічне обслуговування та ремонт обладнання: регулярне технічне обслуговування та надання ремонтних послуг дозволяють забезпечити нормальну роботу обладнання та мінімізувати ризик відмови.
- Цілеспрямована зміна стану $x(t)$ для досягнення заданих характеристик цільової системи:
 - Зміна керуючих параметрів: включає в себе активний вплив на різні параметри об'єкта, такі як температура, витрата стічної води, концентрація субстрату та додавання реагентів. Зміни в цих параметрах можуть бути виконані в реальному часі для досягнення певних показників якості очищення.
 - Моніторинг і зворотний зв'язок: важливо встановлювати датчики та системи моніторингу, які можуть надавати інформацію про стан системи в реальному часі. За результатами моніторингу виконуються коригуючі дії, такі як

- зміна керуючих параметрів, щоб забезпечити оптимальну ефективність системи.
- Цілеспрямоване керування системою біологічної очистки стічних вод вимагає глибокого розуміння процесів та параметрів, що впливають на якість очищення. Для досягнення цієї мети використовуються різноманітні методи керування, а також сучасні технології моніторингу та збору даних [3, 4].

ВИСНОВКИ

Виходячи із основних аспектів керування та моніторингу систем біологічного очищення стічних вод було отримано наступні висновки:

- Системи біологічного очищення стічних вод є складними технічними об'єктами, які піддаються впливу різноманітних зовнішніх та внутрішніх збурень. Їх нелінійність та складність робить застосування класичних методів керування обмеженим.
 - Системи моніторингу стану біологічного очищення стічних вод відіграють важливу роль у виявленні аномалій та забезпеченні ефективного керування. Вони дозволяють оперативно реагувати на зміни в параметрах процесу та запобігати аваріям.
 - Викликами у керуванні та моніторингу системи біологічного очищення стічних вод є нелінійність процесу та наявність збурень. Ці фактори ускладнюють застосування класичних методів керування та вимагають інноваційних підходів.
 - Інноваційні методи, такі як методи адаптивного керування оптимальним регулятором та використання нейромережових систем, можуть допомогти вирішити зазначені проблеми. Вони забезпечують більшу стійкість та точність управління нелінійними системами біологічного очищення стічних вод.
 - Застосування інноваційних підходів до керування та моніторингу очищення стічних вод може покращити якість очищення та зменшити вплив зовнішніх збурень на роботу системи.
- У майбутньому, дослідження та розробка інноваційних методів керування та моніторингу системи біологічного очищення стічних вод залишається актуальною задачею для покращення ефективності та стійкості цих систем у вирішенні важливих екологічних завдань.

ЛІТЕРАТУРА

- S.I. Kolesnikova, "Synthesis of the control system for a second order non-linear object with an incomplete description," Automation and Remote Control, vol. 79(9), 2018, pp. 1556–1566.
- P. Kazemi, C. Bengoa, J.-P. Steyer, and J. Giralt, "Data-driven techniques for fault detection in anaerobic digestion process," Process Safety And Environmental Protection, vol. 146, 2021, pp. 905–915.
- Сафоник А. П. Комп'ютерне моделювання процесу біологічного очищення води у регенераторі аеротенка. Вісник Національного університету водного господарства і природокористування: зб. наук. пр. Рівне: НУВГП, 2014. Вип. 2(66). С. 114–122.
- Сафоник А. П. Комп'ютерне моделювання та автоматизація процесу фільтрування та регенерації в магнітному фільтрі. Вісник Інженерної академії України. 2015. Вип. 1. С. 202–208.