

РОЗРАХУНОК ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД НА ОСНОВІ ПРОГРАМИ GPS-X

Кириченко К.С., Саблій Л.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, kyrychenko.kyryll@ill.kpi.ua

Вступ. У реаліях, які диктують умови обмеженості в часі та фінансах, інженер часто звертається до використання математичних моделей для подальшого визначення можливого простору проектування. Він може розробити емпіричні моделі, які включають статистичний підхід для імітації кінцевих результатів, отриманих у дослідженнях фізичної моделі. Ці імітаційні моделі є більш гнучкими, тому що вони дають змогу екстраполювати модель на умови, що виходять за межі тих, які досліджують на пілотній установці. Таким чином, багато потенційних рішень з вибору технологій очищення стічних вод можна оцінити швидко та недорого, що дає змогу вибрати лише найбільш перспективні для фактичного тестування на фізичній моделі.

Історія використання математичних моделей для проектування станцій очищення стічних вод почалася в 1982 році зі створення першої моделі для проектування очисної станції (ASM1) робочою групою IAWQ (Міжнародної асоціації з дослідження та контролю забруднення води). Ця модель складається зі стехіометричних і кінетичних виразів, які описують біохімічні перетворення розчинних і нерозчинних (колоїдних, дрібнодисперсних) забруднюючих речовин мікроорганізмами активного мулу, а саме, процеси вуглецевого окиснення, нітрифікації та денітрифікації. Перетворення, описані ASM1, включають аеробний ріст гетеротрофів і автотрофів, безкисневий ріст гетеротрофів, процеси деструкції забруднюючих речовин як для гетеротрофів, так і для автотрофів і гідроліз розчинної біологічно деградабельної фракції ХСК і органічних сполук азоту [1].

У 1995 році з'явилася модель ASM2, яка включає поглиблене біологічне видалення фосфору. Основні доповнення до ASM2 включають визнання частини гетеротрофів як фосфоракумулюючих організмів (ФАО), які поглинають джерела ферментованого вуглецю, такі як леткі жирні кислоти (ЛЖК), і зберігають їх як полігідроксиалканоати (ПГА). ASM2 не включає одночасне видалення сполук фосфору та денітрифікацію за участі ФАО. Цей факт дав змогу створити розширену версію, відому як ASM2d, у 1999 році, яка відображає біологічне видалення фосфоровмісних сполук у процесі денітрифікації, а також безкисневий ріст ФАО [2].

У 1998 році група з IAWPRC розробила модель ASM3, яку було представлено для усунення недоліків ASM1. Модель ASM3 припускає, що всі органічні речовини за ХСК, які біологічно легко розкладаються, спочатку поглинаються та зберігаються бактеріями внутрішньоклітинно, що веде до зростання біомаси. Було також замінено модель "ріст-розпад" на модель "ріст-ендогенне дихання", що полегшило розрахунок швидкості ендogenous розпаду на основі респірометрії [3].

Модель Mantis компанії Hydromantis, яка розробила програмне забезпечення для моделювання GPS-X, є адаптацією ASM1, яка включає такі модифікації: два додаткові процеси росту, один стосується автотрофних організмів, а інший – гетеротрофних, обидва відбуваються за низького вмісту амонійного азоту та високого вмісту нітратів. Кінетичні параметри вважають залежними від температури. Також було введено аеробну денітрифікацію. Mantis

2 є останньою моделлю, яка містить велику кількість інформації, опублікованої в літературі за останнє десятиліття, а саме, процеси очищення, такі як осадження струвіту або анамокс (для видалення сполук азоту) та інші процеси [4].

Усі моделі, згадані раніше, в основному, застосовують для міських систем водовідведення, але їх можна легко адаптувати до конкретних ситуацій, наприклад, до наявності промислових стічних вод. Зокрема, моделі ASM було використано в різноманітних комерційних програмних забезпеченнях для моделювання біологічних процесів, таких як EFOR (DHI), Simulink, BioWin (EnviroSim Associates Ltd., Канада), SIMBA (програми моделювання для біологічних процесів, SKion Water Inc., Німеччина), STOAT (оптимізація та аналіз очищення стічних вод у часі, Великобританія), WEST (двигуни очисних споруд для моделювання та навчання, Бельгія) та GPS-X (Hydromantis Inc., Канада) [5].

Метою дослідницької роботи є аналіз практичних моделей для їх використання у проектуванні та експлуатації технологій біологічного очищення стічних вод.

Матеріали та методи. У ході роботи використовували програмне забезпечення GPS-X (v8.0, Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc., Hamilton, ON, Canada). У ході симуляції програма використовує метод Рунге–Кутта–Фельберга (або метод Фельберга) – алгоритм для чисельного розв’язування звичайних диференціальних рівнянь.

Результати та обговорення. Програмне забезпечення GPS-X дає змогу вирішувати такі задачі на основі динамічного аналізу та аналізу Монте-Карло:

1) Динамічний аналіз:

Умова: необхідно визначити чутливість нітрифікації до температури стічної води у разі синусоїдальної витрати стічних вод на вході в аеротенк-нітрифікатор.

Обговорення: динамічний аналіз дає змогу задавати часовий інтервал (наприклад, 5 діб), у якому програма буде постійно розраховувати параметри системи.

Результат: з графіка, наведеного на рис. 1 [4], можна сформулювати такі висновки:

- нітрифікація відбувається краще за більш високої температури.
- концентрація амонійного азоту на виході з аеротенка-нітрифікатора з часом зазнає зміни внаслідок синусоїдальних коливань витрат стічних вод на вході в очисну споруду.

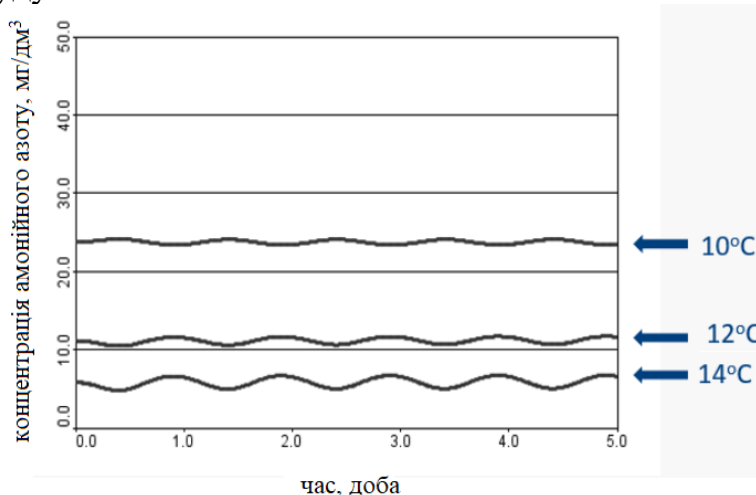


Рис. 1. Залежність концентрації амонійного азоту на виході з аеротенка-нітрифікатора від тривалості роботи споруди за різних температур стічних вод [4]

2) Аналіз Монте-Карло:

Умова: необхідно визначити діапазон концентрацій амонійного азоту в очищених стічних водах за невідомої фактичної швидкості росту бактерій-нітрифікаторів.

Обговорення: аналіз Монте-Карло дає змогу знаходити вірогідність набуття системою тих чи інших значень параметрів. В ході розрахунків інженер встановлює граничну межу параметра, який він досліджує (для даної задачі нехай концентрація амонійного азоту в очищених стічних водах повинна становити 3 мг/дм³). На основі алгоритму програма підбирає різні коефіцієнти для швидкості росту нітрифікаторів і в результаті розраховує вірогідність очищення стічних вод за амонійним азотом з необхідною ефективністю.

Результат: з рис. 2 [4], видно, що вірогідність очищення стічних вод за амонійним азотом нижче установленної межі, а саме, 3 мг/дм³, складає 88,3 %, у той час як вищі значення – 11,7%.

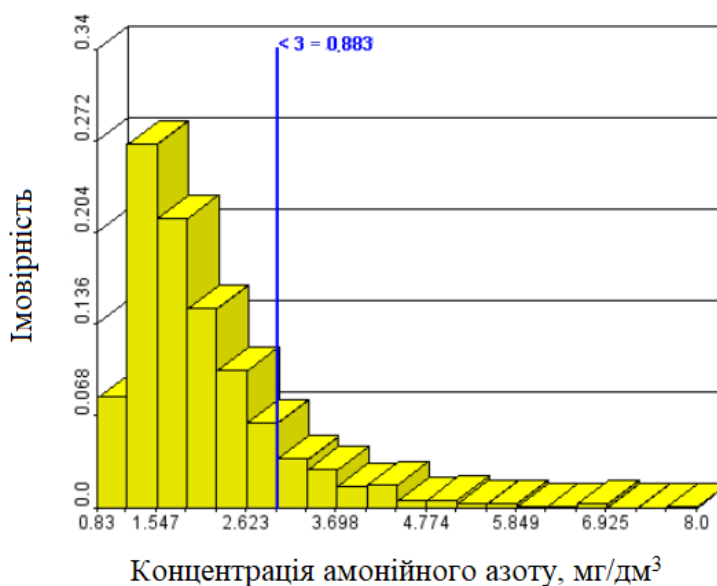


Рис. 2. Імовірність очищення за амонійним азотом залежно від його концентрації в очищеній стічній воді [4]

Висновки. У даній роботі було розглянуто історію розвитку математичних моделей. Було проаналізовано модель Mantis та висвітлено задачі, які ця модель допомагає розв'язати.

Використання програмного забезпечення GPS-X на основі вищезгаданої моделі дає змогу інженеру-проектанту визначати технологічні параметри та показники вихідних концентрацій забруднюючих речовин. Також інженер може оптимізувати отримані технологічні параметри з метою зменшення експлуатаційних витрат (наприклад, витрата енергії на роботу насосів чи повітродувки).

Список використаної літератури:

1. Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2D, ASM3 / M. Henze et al. 2000. Vol. 5. URL: [10.2166/9781780402369](https://doi.org/10.2166/9781780402369).
2. Activated Sludge Model No.2d, ASM2d. Water Science and Technology. 1999. Vol. 39, no. 1. URL: [https://doi.org/10.1016/s0273-1223\(98\)00829-4](https://doi.org/10.1016/s0273-1223(98)00829-4).
3. Limitations of ASM1 and ASM3: a comparison based on batch oxygen uptake rate profiles from different full-scale wastewater treatment plants / A. Guisasola et al. Water Science and Technology. 2005. Vol. 52, no. 10-11. P. 69–77. URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0680>.
4. GPS-X Technical Reference - v8.0. URL: <https://www.hydr mantis.com/help/GPS-X/docs/8.0/Technical/index.html> (дата звернення: 28.04.2023).
5. Pombo S. C. Contributo para a utilização de Modelos de Simulação Dinâmica no Dimensionamento de Processos de Lamas Activadas : магістерська дисертація. Lisboa, 2010.