

## УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ БІОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

І.С. ЄРЕМЄЄВ, А.О. ДИЧКО

Заропоновано підхід до менеджменту процесу очищення стічних вод, який базується на використанні методів теорії нечітких множин. Для запровадження методу експертної оцінки функцій належності визначено керуючі правила з вибору методу підвищення ефективності процесу, а також лінгвістичні змінні, які характеризують процес очищення. Наведено приклад розбудови функції належності та евристики для процедур інтенсифікації біохімічного очищення стоків. Якісний моніторинг процесу біохімічного очищення стічних вод пропонується забезпечити шляхом використання теореми Байєса з метою визначення і уточнення ймовірності дійсності прийнятої гіпотези розподілу контрольних параметрів процесу в умовах невизначеності.

### ВСТУП

Ефективне управління процесами очищення стічних вод (СВ) зустрічається з низкою проблем, серед яких однією з головних є відсутність можливості точного й оперативного вимірювання якісних та кількісних показників СВ. Це, у свою чергу, не дозволяє адекватно реагувати на зміни цих показників під час надходження в очисні споруди та на їхньому виході. Отже, необхідно змінити підхід до інформаційного забезпечення процесів поводження з СВ.

Останнім часом як альтернативу замість детермінованих функцій, які зв'язують між собою вхідні дані, змінні, зовнішні чинники та параметри з виходами, використовують функції належності (ФН), які спираються на методи теорії нечітких множин та теорії можливостей [1, 2]. У практиці нечітких множин замість детермінованих цифрових даних користуються лінгвістичними змінними, які, наприклад, можуть мати такі значення: відсутнє (В), мале (М), середнє (С) та багато (Б). Середнє, як правило, відповідає такому, яке спостерігається у більшості випадків протягом значного часу. Тоді функцію належності до тієї чи іншої лінгвістичної змінної можна подати у такому вигляді:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a, d \leq x, \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 1, & b \leq x \leq c, \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d, \end{cases}$$

де  $a_i \leq b_i \leq c_i \leq d_i$  — відповідають експертним оцінкам меж, в яких перебувають відповідні ( $i$ -ті) лінгвістичні змінні В, М, С та Б. Такий підхід дозволяє використовувати нечіткі ФН замість детермінованих залежностей, що суттєво спрощує проблему інформаційного забезпечення процесів пово-

дження із СВ і, у той же час сприяє підвищенню ефективності управління. Справа у тому, що показники СВ визначаються як усереднені за період до 30 діб. У той же час потік крізь очисні споруди коливається у часі протягом доби: близько 35 % потоку проходить у ранкові години (06:00 – 11:00), 25 % від 11:00 до 17:00, а решта (близько 40 %) — у вечірні години (17:00 – 22:00) [3], які відповідно можна зазначити як С, М та Б і далі використовувати їх для визначення режиму очищення СВ. Такі ж лінгвістичні змінні можна визначити і для інших показників СВ.

**Мета роботи** — використання теорії нечітких множин для оцінювання ефективності методів інтенсифікації очищення СВ та розробка евристик, які б сприяли застосуванню раціонального методу підвищення ефективності очисних споруд з мінімізацією витрат та максимізацією безпеки довкілля.

### ФУНКЦІ НАЛЕЖНОСТІ ТА ЕВРИСТИКИ ДЛЯ ПРОЦЕДУР ІНТЕНСИФІКАЦІЇ БІОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ

Будь-яке керуюче правило з вибору методу інтенсифікації очищення стоків можна подати у формі «ЯКЩО» {умови}, «ТО» {наслідки} [4].

Наприклад, доцільність попереднього коригування рівня рН (водневого показника) СВ можна сформулювати таким чином:

**ЯКЩО**  $\{(PPH\_C) \text{ ТА } (ШПС\_C)\}$ , **ТО**  $\{HKP\_B\}$ ,

**ЯКЩО**  $\{(PPH\_M) \text{ ТА } (ШПС\_B)\}$ , **ТО**  $\{HKP\_B\}$ ,

**ЯКЩО**  $\{(PPH\_B) \text{ ТА } (ШПС\_M)\}$ , **ТО**  $\{HKP\_C\}$ ,

де  $PPH$  — рівень рН,  $ШПС$  — швидкість протоку стоків у споруді,  $HKP$  — необхідність коригування рівня рН, а В, М, С, Б — відповідні оцінки.

Необхідне співвідношення біогенних елементів в аеротенку має становити  $BCK_{повн}: N:P = 100:5:1$ . Евристики для здійснення підживлення активного мулу сполуками азоту та фосфору мають такий вигляд:

**ЯКЩО**  $\{(BCK\_C) \text{ ТА } (BAC\_C) \text{ ТА } (BFC\_C)\}$ ,

**АБО**  $\{(BCK\_M) \text{ ТА } (BAC\_C) \text{ ТА } (BFC\_C)\}$ , **ТО**  $\{ПAM\_B\}$ ,

**ЯКЩО**  $\{(BCK\_B) \text{ ТА } (BAC\_C) \text{ ТА } (BFC\_M)\}$ , **ТО**  $\{ПAM\_C\}$ ,

**ЯКЩО**  $\{(BCK\_B) \text{ ТА } (BAC\_M) \text{ ТА } (BFC\_M)\}$ , **ТО**  $\{ПAM\_B\}$ ,

де  $BCK$  — значення біологічного споживання кисню ( $BCK_{повн}$ ) у стоках,  $BAC$  — вміст азоту в стоках,  $BFC$  — вміст фосфору в стоках,  $ПAM$  — підживлення активного мулу.

Евристики для застосування методів інтенсифікації процесу можна сформулювати таким чином:

**ЯКЩО**  $\{(ШПС\_C) \text{ ТА } (BCK\_C) \text{ ТА } (КАМ\_C) \text{ ТА } (ІAM\_C)\}$ ,

**АБО**  $\{(ШПС\_M) \text{ ТА } (BCK\_B) \text{ ТА } (КАМ\_B) \text{ ТА } (ІAM\_C)\}$ , **ТО**  $\{НП\_B\}$ ,

**ЯКЩО**  $\{(ШПС\_C) \text{ ТА } (BCK\_B) \text{ ТА } (КАМ\_B) \text{ ТА } (ІAM\_C)\}$ , **ТО**  $\{НП\_C\}$ ,

**ЯКЩО**  $\{(ШПС\_B) \text{ ТА } (BCK\_C) \text{ ТА } (КАМ\_C) \text{ ТА } (ІAM\_B)\}$ , **ТО**  $\{НП\_B\}$ ,

де *ШПС* — швидкість потоку СВ, *КАМ* — концентрація активного мулу, *ІАМ* — індекс активного мулу (відображає його властивості), *НПП* — необхідність інтенсифікації процесу очищення.

Процедура використання евристик під час оцінки процесу очищення активним мулом полягає у цьому (рис.). Якщо певна характеристика, що використовується для оцінки необхідності інтенсифікації процесу (*ШПС*, *БСК*, *ІАМ* тощо), приймає деяке значення  $X_1$ , то її належність до лінгвістичних змінних визначається в точці перетину такого значення із лініями належності —  $X_{1C}$  (функцією належності до змінної *C*) та  $X_{1M}$  — функцією належності до змінної *M*). Очевидно, що  $X_{1C} < X_{1M}$ . Звідси це значення  $X_1$  можна віднести до лінгвістичної змінної *M*.

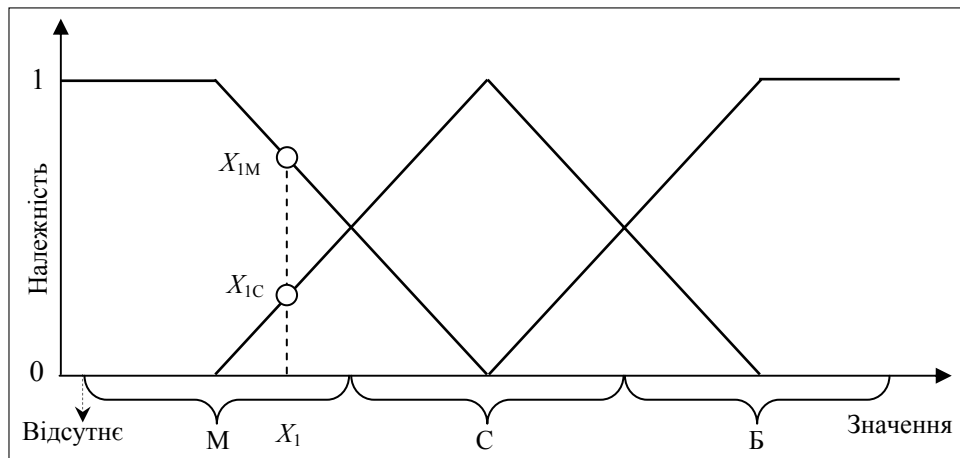


Рисунок. Визначення належності значення  $X$  до відповідних лінгвістичних змінних

Таким чином, прийняття рішень щодо впровадження додаткових заходів із підвищення ефективності трансформації забруднюючих речовин у СВ вимагає експертної оцінки функцій належності тих чи інших лінгвістичних змінних (аналогів функцій розподілу випадкових величин) із урахуванням таких даних, як щоденні та усереднені (щомісячні, щорічні): швидкості потоку СВ у споруді з урахуванням співвідношення кількості надходження промислових та комунальних стоків; показники якісного складу стоків; характеристики активного мулу.

Таке оцінювання можна виконати, користуючись теоремою Байєса [5], яка дозволяє визначити ймовірність того, що прийнята гіпотеза розподілу випадкових величин відповідає дійсності, якщо є лише непрямі підтвердження (дані), які не є вичерпними (непредставницькі вибірки) й можуть бути неточними, як це й має місце під час моніторингу очищення стічних вод. Отриману за формулою Байєса ймовірність можна при цьому далі уточнювати, приймаючи до уваги дані нових спостережень  $a_i \leq b_i \leq c_i \leq d_i$ . Таким чином, за формулою Байєса ймовірність *НПП*:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)},$$

де  $P(A)$  — апіорна ймовірність гіпотези,  $A$  — функції розподілу лінгвістичної змінної (*НПП*);  $P(A|B)$  — апостеріорна ймовірність гіпотези  $A$  (*НПП*)

за умов здійснення події;  $B$  (БСК) — визначення реального розподілу;  $P(B|A)$  — імовірність здійснення події  $B$  (БСК) за умов істинності гіпотези  $A$  (НІП);  $P(B)$  — імовірність здійснення події  $B$  (БСК) або:

$$P(\text{НІП} | \text{БСК}) = \frac{P(\text{БСК} | \text{НІП})P(\text{НІП})}{P(\text{БСК})}.$$

Важливим наслідком теореми Байєса є формула повної ймовірності події, яка залежить від декількох несумісних гіпотез:

$$P(B) = \sum_{i=1}^N P(A_i)P(B|A_i) \quad \text{або} \quad P(\text{НІП}) = \sum_{i=1}^N P(\text{БСК}_i)P(\text{НІП} | \text{БСК}_i).$$

Ймовірність здійснення події  $B$  (НІП) залежить від низки гіпотез  $A_i$  (БСК\_М, БСК\_С, БСК\_В), якщо відомі ступені достовірності цих гіпотез (наприклад, отримані експериментальні дані), до того ж за робочу гіпотезу варто прийняти  $P(B_k)$ , яка задовольняє умові:

$$P(B_k) = \max \{P(A_1)P(B|A_1), P(A_2)P(B|A_2), \dots, P(A_N)P(B|A_N)\}.$$

## ВИСНОВКИ

Використання теорії нечітких множин із визначенням достовірних меж, в яких можуть знаходитися відповідні оцінки тих чи інших параметрів, дозволяє забезпечити оптимальний менеджмент процесу біохімічного очищення СВ.

Прийняття рішень щодо впровадження заходів інтенсифікації процесу біотрансформації забруднюючих речовин у СВ вимагає експертної оцінки функції належності лінгвістичних змінних із урахуванням основних характеристик процесу очищення — показників якісного складу стоків, швидкості їх протоку в споруді, характеристик активного мулу тощо.

Використання теореми Байєса дозволяє визначити, а надалі й уточнювати, ймовірність дійсності прийнятої гіпотези розподілу параметрів процесу в умовах невизначеності, яка існує під час моніторингу очищення СВ.

## ЛІТЕРАТУРА

1. *Nikolaos V. Karadimos, Vassili Loumos, Alessandra Orsoni*. Municipal Solid Waste Generation Modeling based on Fuzzy Logic // Proceedings 20-th European Conference on Modelling and Simulation. — 2006. — 68 p.
2. *Fuzzy Image Processing: Fuzzy sets*. — <http://pami.uwaterloo.ca/tizhoosh/set.htm>.
3. *Protocol for the verification of residential wastewater treatment technologies for nutrient reduction*. U.S. EPA, November 27. — 2000. — P. 1–41.
4. *Єремєєв І.С.* Проблеми прийняття рішень в умовах невизначеності під час моніторингу доквілля // Системний аналіз та інформаційні технології, матеріали X міжнар. наук.-техн. конф. 20–24 трав. — 2008. — С. 187.
5. *Hoeting J.A., Madigan D., Raftery A.E, Volinsky Ch.T.* Bayesian Model Averaging: A Tutorial // Statistical Science. — 1999. — 14, № 4 — P. 382–417.

*Надійшла 01.04.2011*