

УДК 628.54

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД У КОРИДОРНИХ АЕРОТЕНКАХ

А. І. Святенко, Н. М. Дяденко, О. Ю. Кравченко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

Наведено експлуатаційні дані споруд з очищення міських стоків. Виконано розробку математичної моделі процесу біологічного очищення стічних вод у коридорних аеротенках. Проведено дослідження параметрів математичної моделі для визначення їх оптимальних значень, що дає змогу адекватно описати реальні технологічні режими процесу біоочистки стоків. Виконано розрахунки оцінки відносної похибки вимірювань для величини концентрації за БСК_n на виході з аеротенку та дози мулу для перевірки достовірності отриманих значень. Встановлено, що при кількості комірок ідеального змішування дванадцять обрана модель має найвищу точність розрахунку.

Ключові слова: аеротенк, біологічна очистка, комірка ідеального змішування, математична модель.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В КОРИДОРНЫХ АЭРОТЕНКАХ

А. И. Святенко, Н. Н. Дяденко, О. Ю. Кравченко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

Приведены эксплуатационные данные сооружений по очистке городских стоков. Выполнена разработка математической модели процесса биологической очистки сточных вод в коридорных аэротенках. Проведено исследование параметров математической модели для определения их оптимальных значений, что позволяет адекватно описать реальные технологические режимы процесса биоочистки стоков. Выполнены расчеты оценки относительной погрешности измерений для величины концентрации по БПК_n на выходе из аэротенка и дозы ила для проверки достоверности полученных значений. Установлено, что при количестве ячеек идеального смешения двенадцать выбранная модель имеет высокую точность расчета.

Ключевые слова: аэротенк, биологическая очистка, ячейка идеального смешивания, математическая модель.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На теперішній час у зв'язку з погіршенням якості води відкритих водойм постає проблема зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти. Одним з ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є підвищення ефективності роботи очисних споруд. Біологічне очищення стічних вод займає домінуюче положення, що пояснюється його універсальністю та відносно низькими експлуатаційними витратами. В Україні утворюється щодоби близько 8 млн. м³ стоків, левова частина яких піддається біологічному очищенню в аеротенках чи біофільтрах. Значно підвищити ефективність роботи споруд біологічного очищення стічних вод можливо завдяки розробці та впровадженню оптимальних технологічних режимів процесу біологічного очищення стоків. Позитивний ефект при цьому дає оптимізація режиму роботи аеротенка та вторинного відстійника. У силу своїх особливостей процес біоочистки стічних вод в аеротенках відрізняється багатофакторністю та значною складністю.

Аеротенки, що застосовуються при біологічному очищенні стічних вод, поділяють на аеротенки-змішувачі, в яких стоки та активний мул подаються по всій довжині споруди, аеротенки-витискувачі, в яких стічні води та активний мул подаються в голову споруди, на їх проміжні форми, в яких стоки та активний мул подаються назустріч один одному, або один із компонентів подається по довжині споруди, а інший – в голову споруди. У літературі [1, 2] вказується на необхідність обліку структури потоків в аеротенках при дослідженнях. Дані підтверджують вплив гідродинамічного режиму на швидкість спо-

живання органічного забруднення шляхом біохімічного окиснення при очищенні стоків в аеротенках. Без урахування особливостей гідродинамічного режиму не вдається адекватно описати процес біологічної очистки в аеротенках, тому даному питанню необхідно приділити особливу увагу.

Метою роботи є дослідження процесу біологічного очищення стічних вод у реальних аеротенках з урахуванням особливостей гідродинамічного режиму.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Режим роботи аеротенка визначається значеннями технологічних параметрів: об'ємом аеротенка, значенням коефіцієнта рециркуляції мулу, концентрацією розчиненого кисню, дозою активного мулу, гідродинамічним режимом потоку рідини в аеротенках, інтенсивністю аерації та ін. [3].

Режим роботи аеротенка може бути описаний за допомогою системи рівнянь, що наводять закономірність зміни концентрації основних компонентів процесу біологічного очищення, тобто математичною моделлю. Математична модель процесу біологічного очищення стоків є системою балансових рівнянь за концентрацією органічних забруднень, активного мулу та розчиненого кисню.

Математична модель біохімічного окиснення забруднень повинна бути доповнена емпіричними залежностями, які характеризують гідродинамічний режим в аеротенках. Облік гідродинаміки та швидкостей біохімічного окиснення в аеротенку дозволяє більш раціонально здійснити аерацію, максимально використати об'єм аеротенка на його початку та уникнути надлишкових витрат енергії на кінцевій стадії процесу.

Для характеристики гідродинамічного режиму процесу очищення стоків в аеротенках дослідники використовують дифузійний критерій Пекле, який характеризує співвідношення між інтенсивністю переносу маси дифузійною та конвекційною у рухомому потоці та визначається виразом:

$$Pe' = W \cdot L / D, \quad (1)$$

де L – довжина аеротенку, м; D – коефіцієнт молекулярної дифузії, m^2/s ; W – кількість речовини, що переноситься через одиницю площі в одиницю часу, $m^3/m^2 \cdot c$.

Значення $Pe' = 0$ відповідає ідеальному змішуванню, при якому масопередача відбувається в основному за рахунок молекулярної дифузії, а значення $Pe' = \infty$ відповідає ідеальному витісненню, де головна роль у масопередачі належить конвекції. Досліди які були проведені вченими [2] на моделі коридорного аеротенка, показали що при варіюванні конструктивних та технологічних параметрів число Пекле змінювалось у межах 1,43–33,3. Це свідчить про неможливість створити режим ідеального витіснення у коридорних аеротенках.

Для дослідження було прийнято двокоридорні аеротенки, що експлуатуються на очисних спорудах правобережної частини міста Кременчука. Загальний об'єм однієї секції аеротенка складає 1758,3 m^3 , довжина – 39 м, ширина коридору 6,5 м. Схема організації потоків в аеротенках функціонує наступним чином. В аеротенк одночасно подається активний мул та стоки. Активний мул після відстоювання у вторинних відстійниках з витратою G_2 і початковою концентрацією X_0 подається на початку коридору, куди здійснюється зосереджена подача стічних вод з концентрацією S_0 . Залишкова концентрація забруднень в активному мулі складає S_{01} .

Враховуючи дані практичних досліджень аеротенків на Крюківських очисних спорудах, перший та другий коридор аеротенку опишемо декількома послідовними комірками ідеального змішування. Концентрація забруднень у кожній комірці буде зменшуватись за рахунок окислення субстрату мікроорганізмами активного мулу, внаслідок чого концентрація останніх буде збільшуватися.

Виходячи з цих міркувань, матеріальний баланс за субстратом для аеротенку має вигляд:

$$V_i \frac{dS_i}{dt} = (G_2 + Q_1)(S_{i-1} - S_i) - V_i W_i, i = 1, n, \quad (2)$$

де n – загальна кількість комірок ідеального змішування; V_i – об'єм комірок, m^3 ; S_i – концентрація субстрату на виході із комірок; W_i – кінетика вилучення субстрату в комірці.

Перепишемо рівняння балансу з урахуванням кінетики вилучення субстрату:

$$V_i \frac{dS_i}{dt} = (G_2 + Q_1) \cdot (S_{i-1} - S_i) - \frac{r_{max} \cdot S_i \cdot C_0}{(S_1 C_0 + K_L C_0 + K_0 S_1)} \times \left(\frac{1}{1 + j X_i} \right) i = 1, n \quad (3)$$

– S_0 – концентрація за БСК_n вихідної води, мг/л; X_0 – початкова величина дози мулу, г/л; K_L – константа, що характеризує властивості органічних забруднень, мг·БСК_{повне}/л; K_0 – константа, що характеризує вплив кисню, мг/л; ϕ – коефіцієнт інгібування активного мулу продуктами розпаду, г/л; r_{max} – максимальна швидкість окислення, мг/(г·год); G_2 – витрати активного мулу, $m^3/год$; C_0 – концентрація розчиненого кисню, мг/л; Q_1 – витрати стічних вод, $m^3/год$.

Аналогічно можна записати матеріальний баланс за активним мулом для зони біоокислення аеротенка:

$$V_i \frac{dX_i}{dt} = (G_2 + Q_1) \cdot (X_{i-1} - X_i) + y \frac{r_{max} \cdot S_i \cdot C_0}{(S_1 C_0 + K_L C_0 + K_0 S_1)} \times \left(\frac{1}{1 + j X_i} \right) i = 1, n \quad (4)$$

де X_{01} – концентрація активного мулу у вихідних стоках, г/дм³; y – економічний коефіцієнт.

Для стаціонарного процесу дану математичну модель можна представити у вигляді:

$$G_2 X_0 + Q_1 X_{01} - (G_2 + Q_1) X_1 + y \frac{r_{max} \cdot S_1 \cdot C_0}{(S_1 C_0 + K_L C_0 + K_0 S_1)} \cdot \left(\frac{1}{1 + j X_1} \right) = 0 \quad (5)$$

$$(G_2 + Q_1) \cdot (X_{i-1} - X_i) + y \frac{r_{max} \cdot S_i \cdot C_0}{(S_1 C_0 + K_L C_0 + K_0 S_1)} \cdot \left(\frac{1}{1 + j X_i} \right) = 0$$

Виконаємо перетворення системи (5) і введемо позначення:

$$K_{0i} = \frac{r_{max} \cdot S_i}{(S_1 C_0 + K_L C_0 + K_0 S_1)} \cdot \left(\frac{1}{1 + j X_i} \right) \cdot \frac{V_i}{G_2 + Q_1} \quad (6)$$

Після перетворення системи (5) маємо:

$$S_0 = \frac{1}{Q_1} \left[(G_2 + Q_1) S_1 - G_2 S_{01} - \frac{r_{max} \cdot S_1 \cdot C_0}{(S_1 C_0 + K_L C_0 + K_0 S_1)} \times \left(\frac{1}{1 + j \cdot X_1} \right) \right]$$

$$X_0 = \frac{1}{G_2} \left[(G_2 + Q_1) X_1 - Q_1 X_{01} - y \frac{r_{max} \cdot S_1 \cdot C_0}{(S_1 C_0 + K_L C_0 + K_0 S_1)} \times \left(\frac{1}{1 + j \cdot X_1} \right) \right]$$

$$S_{i-1} = S_i + K_{0i-1} X_i \quad (7)$$

$$X_{i-1} = X_i - y K_{0i-1} X_i$$

$$K_{0i} = \frac{r_{max} \cdot S_i}{(S_1 C_0 + K_L C_0 + K_0 S_1)} \cdot \left(\frac{1}{1 + j X_i} \right) \times \frac{V_i}{G_2 + Q_1}, i = \overline{2, n}$$

Розрахунок за моделлю (5) дозволяє визначити

значення концентрації субстрату та активного мулу на виході з аеротенку. Число комірок ідеального змішування при виконанні розрахунків за моделлю (7) повинно прийматися у кожному окремому випадку залежно від наступних факторів: відношення довжини коридору аеротенка до його ширини, секціонування аеротенку по довжині, розташування аераторів у плані аеротенка, інтенсивності аерації мулової суміші в аеротенку, способу подачі стічних вод та активного мулу.

Для проведення ідентифікації обраної математичної моделі було виконано необхідні розрахунки режимів процесу біологічного очищення стічних вод в аеротенках на очисних спорудах правобережної частини м. Кременчука. Як режимні параметри процесу було прийнято реальні значення дози активного мулу та забруднень стоків за БСК_n.

Дані з експлуатації очисних споруд для проведення розрахунків: $S = 128,2$ мг/л, $X_{i1} = 1,2$ г/л, $K_L = 33$ мг БСК_{повне}/л, $K_0 = 0,625$ мг/л, $\varphi = 0,07$ г/л, $\rho_{\max} = 85$ мг/ (г·год), $G_2 = 53,2$ м³/год, $Q_1 = 177,3$ м³/год, $V_{i1} = 439,6$ м³, $V_{i2} = 219,8$ м³, $V_{i3} = 146,5$ м³.

У розрахунках обрано три варіанти розподілу аеротенка на однакові за розміром комірки ідеального змішування: чотири, вісім та дванадцять.

Для перевірки достовірності отриманих значень проведені розрахунки відносного відхилення між розрахунковими та фактичними даними експлуатації для величини концентрації за БСК_n на виході з аеротенка та дози мулу.

Встановлено, що найбільш точні результати отримані при кількості комірок ідеального змішування – дванадцять. При яких досягається 5,85 %. Залежність відносної похибки розрахунку відхилення розрахункових та фактичних даних – БСК_n стічної води від кількості комірок ідеального змішування представлено на рис. 1.

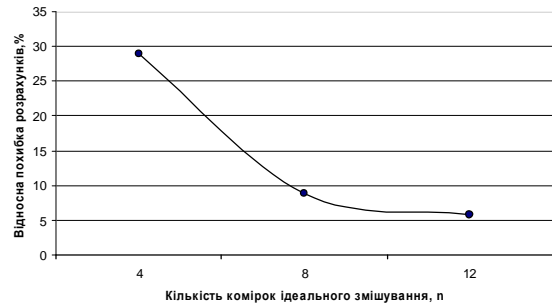


Рисунок 1 – Залежність відносної похибки розрахунку БСК_n стічної води від кількості комірок ідеального змішування

ВИСНОВКИ. Результати досліджень показали, що за допомогою коміркової моделі при кількості комірок дванадцять можна адекватно розраховувати режимні параметри процесу біологічного очищення стічних вод в аеротенках, довжиною до 40 м. Отримані дані можна застосовувати на очисних спорудах біологічного очищення стоків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. – М.: Высш. шк., 1978. – 268 с.
2. Карелин Я.А., Жуков Д.Д., Репин Б.Н. Очистка производственных сточных вод в аэротенках. – М.: Стройиздат, 1973. – 223 с.
3. Яковлев С.В., Карелин Я.А., Ласков Ю.М., Воронов Ю.В. Очистка производственных сточных вод: Учебное пособие для вузов / Под ред. С.В.Яковлева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1985. – 535 с.

MATHEMATICAL MODELING OF BIOLOGICAL WASTE WATER TREATMENT IN A TUNNEL AERATION TANK

A. Svyatenko, N. Dyadenko, O. Kravchenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: ecol@kdu.edu.ua

The operational data of urban wastewater treatment facilities are presented. The mathematical model of biological wastewater treatment in tunnel aerotanks is developed. The mathematical model parameters are studied in order to determine their optimal values for adequate assessment of real conditions of the wastewater bioremediation process. Calculation of the relative measurement error estimation for the aerotank output total BOD concentration and sludge doses is performed to verify the reliability of the values obtained. It was found that the model described has a high calculative accuracy for the number of cells of ideal mixing being equal twelve.

Key words: aerotanks, biological treatment, cell of ideal mixing, mathematical model.

REFERENCES

1. Golubovska E.K. *Biological basis of water purification*. – Moscow: Vyssh. schools, 1978. – 268 p. [in Russian]
2. Karelin Y.A., Zhukov D.D, Repin B.N. *Purification of waste water in aeration tanks*. – Moscow: Stroizdat, 1973. – 223 p. [in Russian]

3. Yakovlev S.V., Karelin J.A., Laskov Y.M., Voronov Y.V. *Industrial wastewater treatment: A manual for school* / Ed. S.V. Yakovleva. – Moscow: Stroizdat, 1985. – 535 p. [in Russian]

Стаття надійшла 26.11.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Бахаревим В.С.