

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ КРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

БІОТЕХНОЛОГІЯ: ДОСВІД, ТРАДИЦІЇ ТА ІННОВАЦІЇ



**BIOTECHNOLOGY: EXPERIENCE, TRADITIONS AND
INNOVATIONS**

***МАТЕРІАЛИ І МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ***

***MATERIALS I INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL
INTERNET-CONFERENCE***

14-15 грудня 2016 р.

Київ 2016

І МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЯ
«БІОТЕХНОЛОГІЯ: ДОСВІД, ТРАДИЦІЇ ТА ІННОВАЦІЇ»

Ткачук Костянтин, Дядюша Людмила

Аналіз сучасного асортименту полімерної упаковки, здатної до біодеструкції 234

Задира Світлана

Міграція та розподіл свинцю в основних компонентах екосистеми грабової діброви 241

Івахнюк Микола, Вороненко Андрій

Синтез мікробного полісахариду етаполану на олієвмісних промислових відходах 247

Каландирець Тетяна, Красінько Вікторія, Андріяш Ганна, Тігунова Олена, Бейко Наталія

Отримання ліпідів дріжджів *Rhodotorula gracilis* IMB Y-5075 як джерела біопалива 254

Лабовка Іван

Вплив норовірусу на загальну кількість спалахів гостро-кишкової інфекції 260

Ломберг Маргарита, Красінько Вікторія, Мірошніченко Марія, Талько Ольга

Гриби роду *Hericium* як перспективні біологічні агенти природоохоронних біотехнологій 267

Михалевська Тетяна, Береза-Кіндзерська Людмила

Математична модель процесів біологічного очищення стічних вод 274

Павлюковець Ірина

Інтенсифікація біосинтезу поверхнево-активних речовин *Acinetobacter calcoaceticus* IMB B-7241 на відпрацьованій соняшниковій олії 282

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСІВ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Тетяна Михалевська

Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна

Людмила Береза-Кіндзерська

Національний університет харчових технологій, м. Київ, Україна

Abstract. A mathematical model is in-process worked out, that allows to optimize the component structure of higher water plants with application of algorithms of the nonlinear mathematical programming that provides the maximal degree of cleaning of wastewaters of megalopolis taking into account specific cleansing ability of different higher water plants and possibilities them root system to purification of flows in a cold season.

Keywords: wastewater, biological pond, higher water plants, biological cleaning, mathematical model

Вступ. В сучасних умовах урбанізації та зростання культури людей збільшується споживання питної води та відповідно утворюється така ж кількість стічних вод, з яких більшість потрапляють у поверхневі водойми – головне джерело централізованого господарсько-питного водопостачання населення. Тому захист поверхневих водойм від антропогенного забруднення є актуальною проблемою гігієнічної науки. Дана проблема тісно пов'язана з розробкою методів як покращення якості природних вод, так і доочищення промислових та господарсько-побутових стічних вод. Існуючі методи доочищення води не забезпечують зростаючих вимог до якості вод, які потрапляють у відкриті водойми. Тому пошук методів вдосконалення біологічного доочищення стічних вод від органічних та мінеральних забруднень з одночасним зменшенням вмісту патогенної мікрофлори привертає все більшу увагу дослідників до вивчення механізмів глибокого доочищення води в біоствах.

Матеріали і методи дослідження. Матеріалами роботи служать експериментальні лабораторні дослідження у штучно створеній моделі каскаду біоствітків з вищими водними рослинами (ВВР) та обчислювальні експерименти на основі математичного моделювання третинного біологічного очищення стоків. В роботі були обрані такі методи дослідження як розрахунковий метод на основі прямих вимірювань та експериментальних досліджень із застосуванням попередньої статистичної обробки отриманих даних, методи матричної алгебри і нелінійної оптимізації процесів і систем, що мають адекватний математичний опис.

Результати і обговорення. При очистці стічних вод використовують такі види вищих водних рослин (ВВР) [1-2], як комиш, очерет озерний, рогоз вузьколистий і широколистий, родест гребінчастий і курчавий, спіродела багатокорінева, елодея, водний гіацинт (ейхорнія), касатик жовтий, сусак, стрілолист звичайний, гречиха земноводна, різуха морська, уруть, хара, ірис.

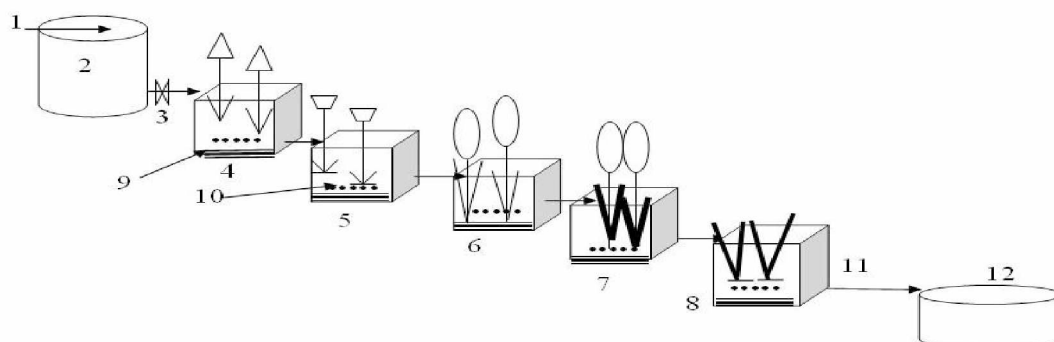


Рис.1. Технологічна схема біоствітків з вищими водяними рослинами для третинного очищення стічних вод. 1) поверхнева подача біологічно очищених промислових стічних вод; 2) ємність для прийняття біологічно очищених промислових стічних вод; 3) регулюючий вентиль; 4) біоствітків, засаджений очеретом звичайним; 5) біоствітків, засаджений комишем озерним; 6) біоствітків, засаджений рогозом вузьколистим; 7) біоствітків, засаджений рогозом широколистим; 8) біоствітків, засаджений лепехою болотяною; 9) дренажні труби; 10) щєбінь; 11) скид доочищених стічних вод із біоствітків; 12) ємність для випуску третинно очищених стічних вод.

Для більш детального вивчення процесів третинного очищення стічних вод у промислових біоствах з ВВР була використана технологічна схема біостваку [3], представлена на рис. 1.

Основними вихідними даними служать БСК і ХСК стічних вод, тип виробництва, витрата води в одиницю часу й значення верхньої границі по БСК або ХСК в очищеній воді, обумовлене існуючими санітарними нормами.

Уведемо наступні позначення: X_{0j} — початкова концентрація ВВР j -го типу у вуглецевих одиницях; S_{0j} — концентрація j -го органічної речовини у вуглецевих одиницях у забрудненій воді; v — коефіцієнт утилізації; a_{ij} — питома швидкість росту ВВР j -го типу на i -му субстраті. Пронумеруємо органічні компоненти в порядку зростання їхньої стійкості до біологічного очищення. Тоді S_{01} — концентрація найбільш легкоочищуваної фракції, а S_{0n} — найбільш важкоочищуваної. Матрицю A , що характеризує інтенсивність процесів росту ВВР, запишемо в наступному вигляді:

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 0 & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ 0 & 0 & \dots & a_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_{nn} \end{vmatrix}$$

Такий вид матриці A відповідає наступним біологічним властивостям: 1) для кожної органічної речовини є тип рослини, яка здатна окислювати цю сполуку; 2) рослини, що засвоюють j -і сполуку, здатні також утилізувати і більш легкоочищувані компоненти, тобто окислюють сполуки з номером, меншим ніж j . Цілий ряд різних біологічних досліджень показує, що в рослин існують регуляторні механізми, що дозволяють їм перемикаати свою ферментативну систему зі споживання одного субстрату на іншій. Як правило, спочатку споживається найбільш легкоочищувані сполуки, а потім — важкоочищувані. Тому в моделі приймемо суворо фіксований порядок

утилізації компонентів вихідного субстрату від першої до останньої (зростанням їхніх номерів). Оскільки за час проходження одиниці об'єму рідини через біоставок приріст біомаси ВБР становить лише кілька відсотків первісної кількості, будемо вважати, що протягом цього часу біомаса сильно не зміниться. Вираз для визначення швидкості очистки запишеться у вигляді:

$$\dot{S}_j = -\frac{1}{y} \cdot \sum_{l=j}^m a_{jl} x_{0l},$$

де x_{0l} — концентрація біомаси l -го виду ВБР на початку очищення. Для оцінки тривалості процесів у 1-й, у 2-й і наступних ступенів очищення одержуємо наступні вирази:

$$T_1 = \frac{y \cdot S_{01}}{\sum_{i=1}^n a_{1j} x_{0j}}; \quad T_2 = \frac{y \cdot S_{02}}{\sum_{i=2}^n a_{2j} x_{0j}}; \quad T_k = \frac{y \cdot S_{0k}}{\sum_{i=k}^n a_{kj} x_{0j}}.$$

Позначимо через $I = \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot S_j$ інтегральний показник забруднення (наприклад, ХСК). Тоді коефіцієнт β_j чисельно дорівнює витраті кисню при окисленні однієї вуглецевої одиниці органічної речовини j -го типу. Для стоку конкретного виробництва можна записати: $S_{0j} = \frac{m_j}{\beta_j} \cdot I_0$, де $I_0 = \sum_{j=1}^n \beta_j \cdot S_{0j}$, а $\sum_{j=1}^n m_j = 1$.

Будемо розглядати систему лише в дискретні моменти часу. Через $\gamma(t) = I(t)/I_0$ позначимо показник ступеня очищення, досягнутої до моменту часу t . Взагалі ж $\gamma(t)$ у процесі очищення безупинно змінюється від 1 до 0, а моменту часу t_k (часу вилучення k перших компонентів) відповідає певне значення γ_k :

$$\gamma_k = \frac{\sum_{k=j+1}^n \beta_k \cdot S_{0k}}{I_0} = \frac{I_0 \cdot \sum_{k=j+1}^n m_k}{I_0} = \sum_{k=j+1}^n m_k.$$

Для досягнення вилучення γ_j ; потрібен час перебування одиниці об'єму стічної рідини в у біостватку $t_j = \sum_{l=1}^j T_l$. Тут p_{0j} — щільність посадки ВВР j -го типу ($\sum_{j=1}^n p_{0j} = 1$), а x_0 — початкова біомаса ВВР. Для t_j маємо наступне вираження:

$$t_j = \frac{I_0}{x_0} \cdot \frac{y \cdot \sum_{l=1}^j \frac{m_l}{\beta_l}}{\sum_{l=1}^j \sum_{i=1}^n a_{lj} p_{0i}} = c_j \cdot \frac{I_0}{x_0}$$

Тепер можна сформулювати деяке загальне твердження. Дійсно, з вираження видно, що $\frac{t_j x_0}{I_0} = c_0 = \text{const}$.

Таким чином, множини всіх можливих режимів роботи очисного спорудження, що задовольняють останній умові, відповідає той самий ефект очищення γ_j . Цей висновок узгоджується із практикою експериментальних досліджень роботи очисних споруджень. Безпосередньо з наведених рівнянь видно, що при фіксованому забрудненні I_0 і фіксованій концентрації ВВР час очищення істотно залежить від видового складу біостватку, тобто від вектора p_0 .

Позначимо через v - витрата води через біостваток в одиницю часу. Оскільки його об'єм безпосередньо залежить від часу T , необхідного для очищення заданого ступеня: $V = v \cdot T$, то зниження часу очищення T спричиняє зменшення об'єму очисного спорудження.

Визначимо прирости окремих видів ВВР для спорудження з ефектом ступеневого очищення γ_j :

$$\begin{cases} \Delta x_1 = a_{11} T_1 p_1 x_0 \\ \Delta x_2 = (a_{12} T_1 + a_{22} T_2) p_2 \cdot x_0 \\ \dots\dots\dots \\ \Delta x_j = (a_{1j} T_1 + a_{2j} T_2 + \dots + a_{jj} T_j) p_j \cdot x_0 \\ \dots\dots\dots \\ \Delta x_n = (a_{1n} T_1 + a_{2n} T_2 + \dots + a_{jn} T_j) p_n \cdot x_0 \end{cases}$$

Підсумовуючи всі Δx_i , для $\Delta x = \sum_{i=1}^n \Delta x_i$ одержимо: $\Delta x = y \cdot I_0 \cdot \hat{m}_j (1 - \alpha)$.

Використовуючи попередні рівняння одержимо наступну систему алгебраїчних рівнянь для відшукування векторів рівноважних частот p :

$$\begin{cases} a_{11}T_1p_1 = y \cdot \hat{m}_j \frac{I_0}{x_0} (1 - \alpha)p_1 \\ (a_{12}T_1 + a_{22}T_2)p_2 = y \cdot \hat{m}_j \frac{I_0}{x_0} (1 - \alpha)p_2 \\ \dots \\ (a_{1j}T_1 + a_{2j}T_2 + \dots + a_{jj}T_j)p_j = y \cdot \hat{m}_j \frac{I_0}{x_0} (1 - \alpha)p_j \\ \dots \\ (a_{1n}T_1 + a_{2n}T_2 + \dots + a_{jn}T_j)p_n = y \cdot \hat{m}_j \frac{I_0}{x_0} (1 - \alpha)p_n \end{cases}$$

Оскільки $T_1, T_2, \dots, T_j$ залежать від компонентів вектора P , тобто остання система являє собою систему n нелінійних рівнянь відносно n невідомих $P_1, P_2, \dots, P_n$. На елементи матриці A можна накласти наступні умови:

$$a_{ij} > a_{ij+1} \text{ при будь-яких } i, j, \text{ або } a_{ij} > a_{i+1,j} \text{ при будь-яких } i, j.$$

Ця умова відбиває той факт, що на будь-якому фіксованому субстраті вид ВВР з вузькою спеціалізацією росте і функціонує більш ефективно, ніж вид із широкою спеціалізацією. Остання нерівність вказує на те, що конкретний вид ВВР швидше розмножується на легкозасвоюваних органічних речовинах, чим на важкозасвоюваних. Тепер легко довести, що в такій системі в рівновазі не можуть одночасно існувати два види з номерами, більшими або рівними j . Отже, у стані рівноваги: $P_{j+1} = P_{j+2} = \dots = P_n = 0$. Тепер основна система рівнянь має вигляд:

$$P_k \sum_{i=1}^j a_{ik} T_i = y \cdot \hat{m}_i \frac{I_0}{xx_0} (1 - \alpha) P_k, \quad k = \overline{1, i}.$$

Якщо припустити, що всі $P_k \neq 0$ при $1 \leq k \leq j$, то одержимо систему лінійних рівнянь щодо тривалості послідовного вилучення компонент

субстрату: $A^* \cdot T = y \cdot \hat{m}_j \frac{I_0}{xx_0} (1 - \alpha)$, де A^* — транспонована матриця, а T — вектор, i -я компонента якого означає час вилучення i -ї фракції субстрату.

Побудовану модель можна застосувати для одержання якісних висновків у порівнянні як різних технологічних схем очисних споруджень, так і різних режимів їхньої експлуатації. Одним з можливих напрямків подальшого розвитку моделі служить розрахунок залежності елементів матриці A від концентрації розчиненого кисню. Ця залежність може носити досить складний характер, тому що в багатьох бактеріальних клітин, як правило, існує механізм перемикання з аеробного типу життєдіяльності на анаеробний і навпаки. Тому сталість елементів матриці в ході очищення може бути реалізована лише при досить високій забезпеченості системи розчиненим киснем.

Висновки. Результати математичного моделювання та оптимізації очисних процесів було випробувано у лабораторних умовах на каскаді штучних ставків з ВВР, що виявило підвищення ступеню очистки у системах структурованих згідно оптимізаційного розрахунку [4].

Викладена модель процесу біологічного очищення якісно добре узгоджується з відомими даними про роботу реальних біоставків. Так, наприклад, багато дослідників відзначали, що основні характеристики процесу очищення залежать від відношення I_0/x_0 , а не від I_0 і x_0 окремо. Можна сподіватися, що побудована модель виявиться корисним інструментом у руках інженерів, що займаються проектуванням й експлуатацією очисних споруджень.

Список літератури

1. *Алексеев В.С.* Патогенные микроорганизмы в подземных водах систем питьевого водоснабжения // Водоснабжение и сан. техника. – 2003. – № 11. – С. 5-9.
2. *Гаркавий С.І., Кравець В.В., Попенко В.М., Грищенко Н.В., Гузь В.Г.* Інтенсифікація процесів доочищення та знезараження стічних вод за допомогою вищих водяних рослин // Гігієна населених місць. – 2002. – Випуск 39. – С. 80-86.

3. *Кравець В.В., Шаповал О.Є., Попенко В.М. та інші.* Доочищення та безреагентне знезаражування стічних вод у біоставку, засадженому вищими водяними рослинами // Довкілля та здоров'я. – 2005. - № 2(33). – С. 13-18.

4. *Михалевська Т.В. та інші.* Патент Українина корисну модель - Спосіб очистки води від органічних забруднювачів №59144. Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.05.2011р.