

- регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К., 2013. – 172 с.
3. Корінько І.В. Інноваційні технології водопідготовки / І.В. Корінько, Ю.О. Понасенко – Харків: ХНАМГ. 2012. – 208 с.
 4. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод: Навч. посібник / С.М. Епоян, В.Д. Колотило, О.Г. Друшляк, Г.І. Сухоруков, Т.С. Айрапетян – Х.: Фактор. 2010. – 192 с.
 5. Сухоруков Д. Г. Експериментальні дослідження роботи горизонтального відстійника з пористою полімербетоною перегородкою // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА. ХОТВ АБУ. - 2009. - Вип. 51. С.150-155.
 6. ДБН Д.1.1-1-2000. Правила определения стоимости строительства. – Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины. – К., 2000. – 180 с.
 7. Сборник текущих единичных расценок на строительные работы по состоянию на 1 января 2014 года. – К., 2014. – 284 с.
 8. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предположений. – М: ВНИИПИ, 1982. – 41с.
 9. Журба М.Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений. – в 3-х т. Т. 2. Очистка и кондиционирование природных вод: Учебное пособие / М.Г. Журба, Л.И. Соколов, Ж.М. Говорова. – изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Изд. АСВ. 2010. – 552 с.
 10. Зинь Э.А. Эффективность использования капитальных вложений в водохозяйственном строительстве / Э.А. Зинь, О.М. Шичко – К.: Будівельник. 1984. – 86 с.
 11. Пат. №95968 Україна. МПК СО2F 1/00. Спосіб регенерації пористих перегородок горизонтального відстійника / Епоян С.М., Сухоруков Д.Г., заявник та власник ХНУБА-№ u2014 08700, заявл.31.07.2014, опубл. 12.01.2015. Бюл.№1.

УДК 628.35

Олійник О.Я.

Інститут гідромеханіки НАН України, Київ

Айрапетян Т.С.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ ЗА РАХУНОК ЗВАЖЕНОГО ТА ЗАКРІПЛЕНОГО БІОЦЕНОЗУ

Як відомо в сучасних системах споруд біологічної очистки стічних вод основною спорудою є біореактор-аеротенк [1, 2]. Проте в зв'язку з підвищеними вимогами до якості очистки роботи аеротенка в зазначених системах потребує подальшого вдосконалення. Проведений аналіз показав, що ефективність вилучення органічних забруднень в аеротенках можна значно підвищити, якщо поряд зі зваженим біоценозом (активним мулом) влаштувати в об'ємі аеротенка додаткове завантаження (сітки, насадки і т.п.), на поверхні якого утворюється біоплівка з високою концентрацією мікроорганізмів.

Таке комбіноване біологічне очищення стічних вод у спорудах із додатковим використанням закріпленої біомаси

(біоплівки) на думку багатьох фахівців має ряд істотних технологічних переваг і при цьому ефективність їх роботи може бути значно підвищена [1-3].

Для оцінки й аналізу спільного видалення органічних забруднень (ОЗ) зваженим і закріпленим біоценозом в аеротенках будь-якої конструкції була побудована загальна математична модель у вигляді рівнянь матеріального балансу, які описують зміну концентрацій ОЗ в об'ємі аеротенка [4-7]. При цьому вважається, що процес біохімічного окиснювання в достатній кількості забезпечений киснем, тобто надходження кисню не буде лімітувати кінетику окиснювання, як зваженого, так і закріпленого біоценозу.

Стосовно умов реалізації цієї моделі були враховані гідродинамічні характеристики аеротенків, в яких він проходить.

На практиці широке поширення одержали аеротенки-змішувачі, у яких стічні води й активний мул, що надходять до них миттєво перемішуються між собою й тому концентрація мікроорганізмів і забруднень, а також розчиненого кисню приймаються однаковими по всьому об'єму реактора. Особливості видалення органічних й інших забруднень у системах біологічного очищення в аеротенках-змішувачах зваженим біоценозом (активним мулом) описані в численній літературі, зокрема [2, 8].

Стосовно аеротенка-змішувача рішення задачі буде залежати від розташування систем завантаження в об'ємі (площі) аеротенка. При цьому можливі варіанти, коли елементи завантаження (насадки, сітки й т.п.) рівномірно розташовані по всьому об'єму (довжині) аеротенка або тільки на окремих його ділянках.

У цій статті розглянемо технологічну схему аеротенка, у якій елементи завантаження (насадки, сітки й т.п.) на ділянці, яка розташована наприкінці аеротенка (рис. 1). Аеротенк складається із двох частин, які будемо вважати реакторами 1 і 2. В першій частині розташований реактор 1, в якому вилучення ОЗ відбувається тільки за рахунок зваженого біоценозу (активного мулу), тобто працює як звичайний аеротенк-змішувач (рис. 1), а в другій частині – реактор 2, в якому вилучення ОЗ відбувається переважно закріпленим біоценозом, який формується на встановленому завантаженні, з можливим врахуванням при необхідності дії активного мулу, який знаходиться в реакторі 2.

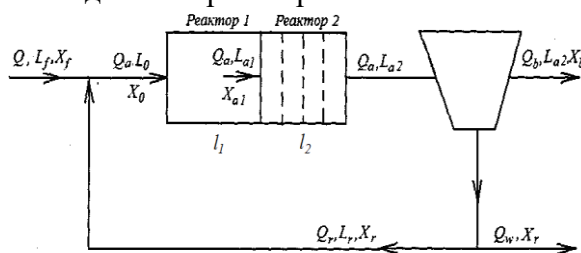


Рис. 1. Балансова схема аеротенка-змішувача з розташованим в реакторі 2 закріпленим біоценозом

Зазначимо, що в обох частинах аеротенка реактори працюють як реактори-змішувачі.

Для стаціонарних умов загальне рівняння матеріального балансу забруднень в аеротенку-змішувачу має вигляд [4]:

$$L_0 - L_a - \frac{F_{\delta_2}}{Q_a} N - (R_a - R_c)T_a = 0, \quad (1)$$

де L_0 – концентрація ОЗ на вході у аеротенк, L_a – концентрація ОЗ в аеротенку;

$T_a = \frac{W_p}{Q_a}$, F_{δ_2} – загальна площа поверхні

біоплівки (завантаження) в реакторі 2 довжиною l_2 , W_p – об'єм рідини в аеротенку; Q_a – витрата стічних вод; R_a , R_c – відповідно, швидкості реакцій утилізації ОЗ активним мулом та речовин, що утворилися при відмиранні мулу; N – потік ОЗ крізь поверхню біоплівки для їх утилізації закріпленим біоценозом.

Для 1-го реактора рівняння (1) при знехтуванні впливом речовин, що утворилися при відмиранні мулу та з умови, що швидкість реакції R_a описується рівнянням нульового порядку $R_a = \omega_a$, має вигляд [4]

$$L_{a1} = L_0 - \omega_a T_{a1}. \quad (2)$$

Для розрахунку 2-го реактора визначимо потік забруднень N , що надходять у біоплівку

$$N = -D_L \frac{\partial L}{\partial z} = K_L (L_a - L|_{z=0}), \quad (3)$$

$$L|_{z=0} = L_{\delta},$$

де L , L_{δ} – відповідно, концентрації ОЗ у біоплівці та на її поверхні; D_L – коефіцієнт молекулярної дифузії у біоплівці; K_L – коефіцієнт масопереносу ОЗ у рідинній плівці; δ – товщина біоплівки.

Для концентрації L_{δ} в [9] з умови, що швидкість реакції в біоплівці приймається першого порядку $R_L = kL$, отримано залежність

$$L_{\delta} = L_{a2}(1-A), \quad (4)$$

де

$$A = \frac{1 + e^{-\varphi}}{(1 + e^{-\varphi}) + \eta(1 + e^{-\varphi})}, \quad \varphi = 2\sqrt{\alpha}, \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{k\delta^2}{D_L}, \quad \eta = \frac{\sqrt{kD_L}}{K_L}.$$

Таким чином, потік ОЗ у біоплівку буде дорівнювати

$$N = K_L L_{a2} (1 - A). \quad (6)$$

З урахуванням залежності (6) для концентрації ОЗ на виході з 2-го реактору з рівняння (1) з врахуванням дії активного мулу для реактора 2 отримаємо залежність

$$L_{a2} = \frac{L_{a1} - T_{a2} \omega_a}{1 + \frac{F_{\delta_2}}{Q_a} K_L (1 - A)}. \quad (7)$$

З урахуванням залежності (2)

$$L_{a2} = \frac{L_0 - T_{a1} \omega_a - T_{a2} \omega_a}{1 + \frac{F_{\delta_2}}{Q_a} K_L (1 - A)} = \frac{L_0 - T_a \omega_a}{1 + \frac{F_{\delta_2}}{Q_a} K_L (1 - A)}, \quad (8)$$

де

$$T_{a1} = \frac{W_{a1}}{Q_a}, \quad T_{a2} = \frac{W_{p2}}{Q_a} = \frac{\varepsilon W_{a2}}{Q_a},$$

$$T_a = T_{a1} + T_{a2}. \quad (9)$$

Для 1-го реактору об'єм рідини приймається рівним об'єму реактора $W_{p1} = W_{a1}$. Для 2-го реактора необхідно враховувати об'єм завантаження з біоплівкою W_{δ} , тому

$$W_{p2} = \varepsilon W_{a2}, \quad \varepsilon = 1 - \frac{W_{\delta}}{W_{a2}}. \quad (10)$$

Питома площа завантаження з біоплівкою в реакторі 2 визначається за формулою

$$F_{\delta_2} = \frac{F_{\delta_2}}{W_{a2}}. \quad (11)$$

Введемо позначення $\tau = \frac{T_a W_a}{L_0}$,

$\gamma = \frac{F_{\delta_2}}{Q_a} K_L (1 - A)$ та формулу (8) перепишемо у вигляді

$$\frac{L_{a2}}{L_0} = \frac{1 - \tau}{1 + \gamma}, \quad (12)$$

Якщо аеротенки працюють в режимі рециркуляції, то при коефіцієнті рециркуляції r значення вихідних параметрів слід розраховувати за залежностями, що отримано з рівнянь матеріального балансу [6, 10].

На рис.2 представлено графіки функції $\frac{L_{a2}}{L_0} = f(\tau, \gamma)$, побудовані за залежністю (12). При цьому приймалося, що об'єми першого та другого реакторів співпадають $W_{a1} = W_{a2}$.

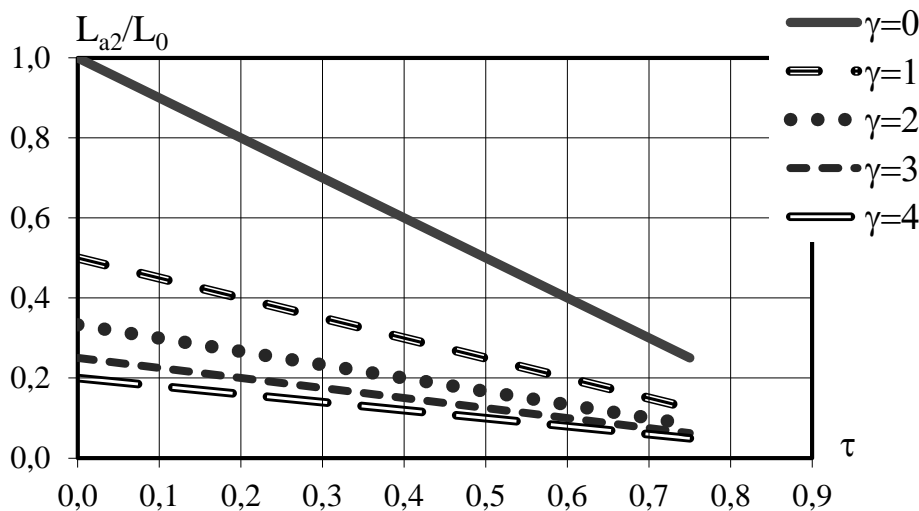


Рис. 2. Графік залежності $\frac{L_{a2}}{L_0} = f(\tau, \gamma)$

Дані, представлені на рис. 2, показують, що доочищення за рахунок прикріпленого біоценозу дозволяє різко покращити якість очищення стічних вод, але зі збільшенням щільності розташування завантаження це покращення уповільнюється.

На рис. 3 представлено графіки функції $\frac{L_{a2}}{L_0} = f(\tau, \gamma)$, побудовані при умові, що очищенням у другому реакторі за рахунок зваженого біоценозу можна знехтувати, тобто $T_{a2} = 0$.

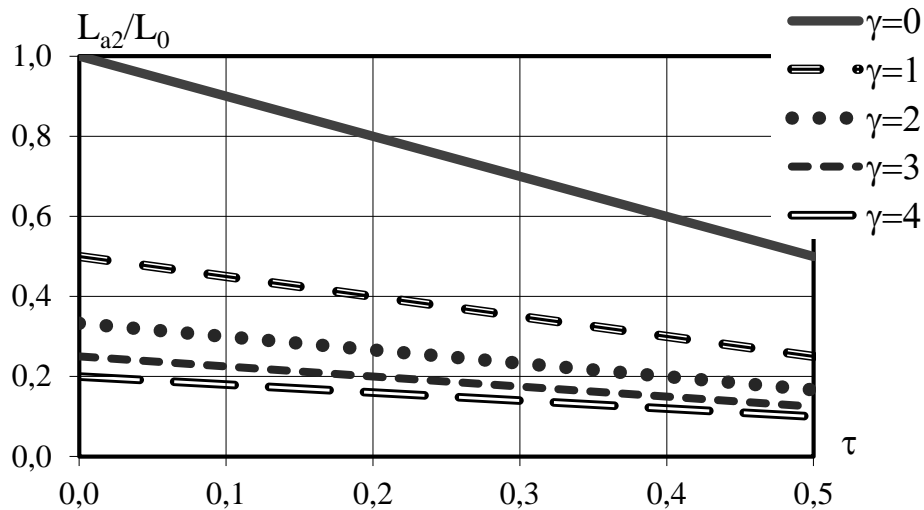


Рис. 3. Графік залежності $\frac{L_{a2}}{L_0} = f(\tau, \gamma)$ при $T_{a2} = 0$.

Як видно з даних на рис. 2 та 3, активний мул у другому реакторі при однакових значеннях параметру τ не дуже впливає на загальний ефект очищення, але очищення у вільному об'ємі 2-го реактору дозволяє дещо збільшити величину параметру τ та, відповідно, якість видалення органічних забруднень.

Таким чином, представлені залежності і виконані розрахунки дозволяють обґрунтувати підвищення ефективності роботи аеротенку за допомогою розташування в другій половині його об'єму елементів завантаження з прикріпленням біоценозом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. - М. АСВ, 2002 -704 с.
2. Henze M.M., Van Loosdrecht M.C., Ekama V.A., Bzdjanovic D. Biological Wastewater Treatment // Iwe Publishing, London, 2008. - 511 p.
3. Wanner O., Ebert N.L., Rittan B.E. Mathematical modeling of biofilms // Scientific and Technical report. - 2006 - N18 - 208 p.
4. Олійник О.Я., Айрапетян Т.С. Моделирование очистки стічних вод від органічних забру-

днень в біореакторах – аеротенках зі зв'язаним (вільноплаваючим) і закріпленням біоценозом // Доповіді НАНУ. – 2015. – №5. – С.55-60.

5. Брагинский Л.Н., Евилевич М.А. и др. Моделирование аэрационных сооружений для очистки сточных вод. – Л. Химия, 1980. – 144с.
6. Вавилин В.А., Васильев В.В Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод. – М.: Наука, 1979. – 116 с.
7. Кафаров В.В., Винаров А.С, Гордеев Л.С. Математическое моделирование биохимических реакторов. - М.: Лесная промышленность, 1979. – 343 с.
8. Евилевич М. А., Наумов А.В, Блохин В.Е., Швитев А.В. Математическое исследование процесса биологической очистки на хлопьях активного ила // Водные ресурсы. – 1978. – №1. – С. 143-151.
9. Олійник О.Я., Колпакова О. А. Моделирование і розрахунки біологічної очистки стічних вод на краплинних біофільтрах // Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. – К.: КНУБА, 2014. – Вип. 16. – С. 68-86.
10. Олійник О.Я., Зябліков С.М. Особливості очистки стічних вод у системі аеротенк-відстійник-регенератор // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Наук.-техн. зб. - К.: КНУБА, 2005. - Вип.4. - С.46-53.