

Айрапетян Т.С.*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова***РОЗРАХУНОК АЕРОТЕНКА-ВИТИСКУВАЧА ЗІ ЗВАЖЕНИМ
І ЗАКРІПЛЕНИМ БІОЦЕНОЗОМ**

У зв'язку з погіршенням якості води поверхневих водойм постає проблема зменшення антропогенного навантаження на водні об'єкти. На каналізаційних очисних спорудах, де біологічне очищення стічних вод здійснюється за традиційною схемою аеротенк-вторинний відстійник, важливим практичним завданням є питання підвищення ефективності роботи аеротенків по вилученню забруднень в очищеній воді.

Відомо, що в аеротенку відбувається видалення (біоокиснення) сорбованих на пластівцях активного мулу забруднень, які переважно складаються із розчинених у воді органічних речовин. Залежно від гідродинамічного режиму руху рідини в біореакторі аеротенки поділяють на аеротенки-змішувачі та аеротенки-витискувачі [1-5].

Аеротенки-витискувачі являють собою коридорні споруди, в яких вилучення органічних забруднень відбувається при русі рідини по довжині аеротенка. В аеротенках-витискувачах ступінь очистки є функцією відстані, яку проходить дана витрата стічних вод з активним мулом від початку аеротенка. БПК_{повн} стічних вод зменшується від концентрації L_{en} на початку до L_{ex} - концентрації на виході із аеротенка. Відповідно до зменшення БПК_{повн} зменшується навантаження на активний мул, а також і швидкість окиснення забруднень.

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 у вигляді закріпленого біоценоза з високою концентрацією мікроорганізмів [5, 6, 7].

В умовах аеротенка-витискувача, як відомо, враховано рух потоку вздовж довжини аеротенка l середньою швидкістю

$$v = \frac{Q_a}{F_a}$$

лізу загального рівняння матеріального балансу забруднень в аеротенку для подальшої реалізації в інженерних розрахунках для визначення концентрації L_a вздовж потоку x в аеротенку було прийнято рівняння, яке має вигляд [7]

$$-v \frac{\partial L_a}{\partial x} - R = 0, \quad v = \frac{Q_a}{F_a}, \quad (1)$$

в якому швидкість загальної утилізації органічних забруднень (ОЗ) закріпленим біоценозом у вигляді біоплівки, утвореної на завантаженні, і зваженим біоценозом у вигляді активного мулу в рідині аеротенка, має вигляд

$$R = \lambda(L_a - L|_{z=0}) + \varepsilon R_a - \varepsilon R_{c1}$$

$$\lambda = \frac{F_\delta}{F_a} K_L, \quad \varepsilon = \frac{W_p}{W_a}, \quad (2)$$

де F_δ - площа поверхні завантаження (біоплівки) на одиницю довжини аеротенка, в якій влаштовано завантаження, $F_a = \frac{Q_a}{v}$ - площа аеротенка, v - середня швидкість потоку в аеротенку.

Для вирішення рівняння (1) необхідно знайти концентрацію на поверхні біоплівки $L|_{z=0} = L_\delta$ в залежності від прийнятого рівняння реакції вилучення ОЗ в біоплівці, а також прийнятих рівнянь можливих реакцій вилучення ОЗ R_a і відмирання (самоокислення) а мулу R_c в аеротенку. Згідно [8], значення концентрації L_δ на поверхні біоплівки для реакцій першого порядку і за рівнянням Моно в біоплівці як

і в системі аеротенка-змішувача з закріпленим біоценозом визначається за формулою

$$L_{\delta} = L|_{z=0} = AL_a, \quad (3)$$

$$A = \frac{1 + e^{-\varphi}}{(1 + e^{-\varphi}) + \theta(1 + e^{-\varphi})},$$

де

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

$$k = \frac{\mu_m X}{K_m Y},$$

D_L – коефіцієнт молекулярної дифузії у біоплівці; K_L – коефіцієнт масопереносу ОЗ у рідинній плівці; δ – товщина біоплівки, μ_m, X, K_m, Y – відомі параметри реакції в біоплівці [8].

Для реакції нульового порядку в біоплівці – за формулою

$$L_{\delta} = L_0 - \frac{w_L \delta}{K_L}, \quad W_L = \frac{\mu_m X}{Y}. \quad (4)$$

Розглянемо технологічну схему аеротенка-витискувача, в якому реактор з закріпленим біоценозом (біоплівкою) довжиною l_1 розташований в першій частині аеротенка (реактор 1, рис. 1).

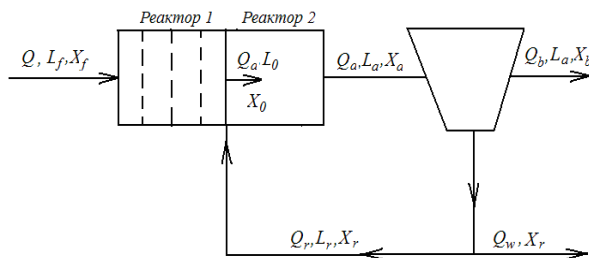


Рис. 1. Балансова схема аеротенка-витискувача з розташованим в реакторі 1 закріпленим біоценозом

а) В реакторі 1 вилучення ОЗ переважно відбувається закріпленим біоценозом (біоплівкою) на елементах завантаження, які рівномірно розташовані по довжині l_1 і описується рівнянням

$$-v_{a1} \frac{\partial L_{a1}}{\partial x} - \lambda_1 (L_{a1} - L_1)|_{z=0} = 0, \quad \lambda_1 = \frac{F_{\delta 1}}{F_a} K_{L1}, \quad (5)$$

де $F_{\delta 1}$ - площа поверхні завантаження (біоплівки) на одиницю довжини l_1 ,

$F_{\delta 1} = F_{\delta 1} l_1$ - загальна площа поверхні завантаження (біоплівки) в реакторі 1.

Методику визначення зміни концентрації L_{a1} по довжині l_1 одержимо в результаті рішення рівняння (5) при граничній умові $x = 0, L_{a1} = L_f = L_0$. Для реакцій першого порядку таке рішення для визначення концентрації $L_{a1}(l)$ на виході із реактора 1 буде мати вигляд

$$L_{a1}(l_1) = L_0 e^{-\lambda_1 l_1}, \quad A_{s1} = \frac{\lambda_1}{v_{a1}} (1 - A_1). \quad (6)$$

Методика визначення параметра A_1

наведена вище, $v_{a1} = \frac{Q}{F_{a1}}$ - середня швидкість потоку в реакторі 1 площею F_{a1} і витратою Q (рис. 1).

Так як в реактор 1 поступають безпосередньо стічні води, які мають відносно значну початкову концентрацію $L_f = L_0$,

то буде також доцільним розглянути випадок вилучення ОЗ в реакторі 1 біоплівкою за реакцією нульового порядку з використанням залежності (4), яка в цьому випадку буде мати вигляд

$$L_{\delta 1} = L_{a1} - \frac{w_{L1} \delta_1}{K_{L1}}, \quad w_{L1} = \frac{\mu_{m1} X_1}{Y_1}, \quad (7)$$

де δ_1 - середня (розрахункова) товщина активної біоплівки в реакторі 1.

Тоді в результаті рішення рівняння (5) при граничній умові $x = 0, L_{a1} = L_0$ з врахуванням залежності (7) для визначення зміни концентрації по довжині реактора x на ділянці l_1 одержимо залежність

$$L_{a1}(x) = L_0 - \frac{F_{\delta 1}}{v_{a1} F_{a1}} w_{L1} \delta_1 x. \quad (8)$$

Концентрація на виході із реактора 1 ($x = l_1$) буде складати

$$L_{a1}(l_1) = L_0 - \frac{F_{\delta}}{v_{a1} F_a} w_{L1} \delta_1 l_1. \quad (9)$$

В цьому випадку в разі необхідності врахування додаткової дії зваженого біоценозу загальне рівняння для визначення $L_{a1}(l_1)$ буде мати вигляд

$$L_{a1}(l_1) = L_0 - \left(\frac{F_{\delta 1}}{F_{a1}} w_{L1} \delta_1 + w_{a1} \right) \frac{l_1}{v_{a1}}, \quad (10)$$

де $w_{a1} = \frac{\mu_{ma1}}{Y_{a1}} X_{a1}$, X_{a1} - концентрація зваженого біоценозу в реакторі 1.

б) В другій частині аеротенка-реактора 2 довжиною l_2 вилучення ОЗ відбувається за рахунок зваженого біоценозу (активного мулу).

В цьому випадку в реакторі 2 для забезпечення зваженого біоценозу необхідної концентрації X_{a2} , яка будемо вважати формується з врахуванням рециркуляції активного мулу і частково можливо за рахунок відриву біомаси від біоплівки, вилучення ОЗ описується [7] наступним рівнянням

$$-v_{a2} \frac{\partial L_{a2}}{\partial x} - R_{a2} + R_{c2} = 0. \quad (11)$$

Так як процеси відмирання будуть враховані при визначенні концентрації X_{a2} , то результати рішення рівняння (11) будуть залежати від прийнятої реакції вилучення ОЗ R_{a2} в реакторі 2. В зв'язку з тим, що значне вилучення ОЗ відбулось в реакторі 1, тобто в реактор поступає вже частково очищена стічна вода, в реакторі 2 вилучення ОЗ активним мулом переважно буде відбуватись за рахунок дії реакцій першого порядку. В цьому випадку загальне рівняння (11) буде мати вигляд

$$-v_{a2} \frac{\partial L_{a2}}{\partial x} - k_{a2} L_{a2} = 0, \quad k_{a2} = \frac{\mu_{ma2} X_{a2}}{Y_{a2} K_{ma2}}. \quad (12)$$

Рішення рівняння (12) відбувається при граничній умові $x = l_1$, $L_{a2} = L_{a1}(l_1)$, а з врахуванням можливої рециркуляції коефіцієнтом r_2 маємо $L_{a2} = \frac{L_{a1}(l_1)}{1+r_2}$, а також

$$Q_{a2} = Q(1+r_2), \quad X_{a2} = \frac{r_2 X_{r2}}{1+r_2}.$$

Таким чином, в результаті рішення рівняння (12) одержимо наступну залежність для визначення зміни концентрації L_{a2} в межах реактора 2 довжиною $l_2 = l - l_1$

$$L_{a2}(x) = L_{a1}(l_1) \cdot e^{-\frac{k_{a2}}{v_{a2}}(x-l_1)}, \quad v_{a2} = \frac{Q_{a2}}{F_{a2}}. \quad (13)$$

Прийнявши в формулі (13) $x = l$, а також враховуючи, що $l = l_1 + l_2$, одержимо залежність для визначення концентрації $L_{a2}(l_2)$ на виході із аеротенка

$$L_{a2}(l_2) = L_{a1}(l_1) e^{-l_2 \frac{k_{a2}}{v_{a2}}}. \quad (14)$$

Концентрація активного мулу $X_{a2}(l_1)$ враховує як відомо кількість мулу, який поступає в реактор 2 із відстійника за рахунок рециркуляції. Проте в даному випадку із реактора 1 може поступати деяка кількість біомаси, яка відірвалася від біоплівки, і буде також приймати участь у вилученні ОЗ. В роботі [7] наведено балансове рівняння, яким можна скористатись в загальному випадку для визначення зміни концентрації X_{a2} в аеротенку-витискувачі в умовах вилучення ОЗ закріпленим і зваженим біоценозом.

Таким чином, якщо вилучення ОЗ активним мулом в 1-ому та 2-ому реакторах буде переважно відбуватись за рахунок дії реакцій першого порядку, то концентрація забруднень на виході з аеротенку з урахуванням залежностей (6) та (14) буде дорівнювати

$$\frac{L_{a2}(l_2)}{L_0} = e^{-\eta - \xi}. \quad (15)$$

$$\text{де } \eta = l_1 A_{*1}, \quad \xi = l_2 \frac{k_{a2}}{v_{a2}}.$$

На основі залежності (15) побудовано розрахунковий графік $\frac{L_{a2}}{L_0} = f(\xi, \eta)$ (рис. 2).

Дані, представлені на рис. 2 показують, що вилучення ОЗ відбувається переважно за рахунок системи завантаження із закріпленим біоценозом, і що дозволяє значно підвищити ефективність роботи аеротенка-витискувача.

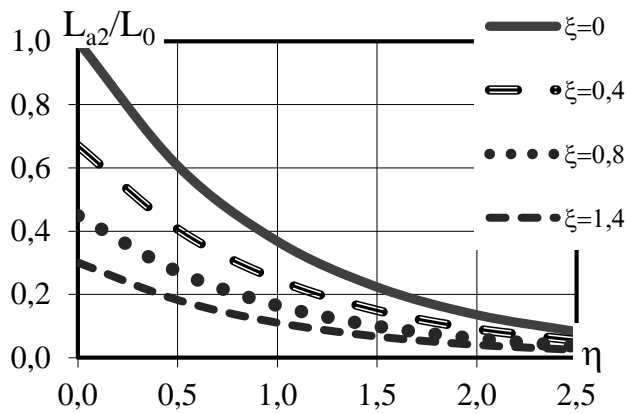


Рис. 2 Графік залежності

$$\frac{L_{a2}}{L_0} = f(\xi, \eta).$$

Таким чином, представлені результати досліджень дозволяють обґрунтувати більш економічні, технологічні і конструктивні параметри очистки в аеротенках-витискувачах за допомогою елементів з закріпленим біоценозом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Василенко О. А., Епоян С. М., Смірнова Г. М., Корінько І. В., Василенко Л. О., Айрапетян Т. С. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник. – Київ-Харків, КНУБА, ХНУБА, 2012. – 572 с.

2. Василенко О.А., Грабовський П.О., Ларкіна Г.М., Поліщук О.В., Прогульний В.Й. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення: Навчальний посібник. – К.: ІВНВКП "Укрґеліотек", 2010 – 272 с.

3. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод: Навчальний посібник. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня». – 2003. – 622 с.

4. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод / Учебник для вузов. М.: АСВ, 2004. – 704 с.

5. Henze M.M., Van Loosdrecht M.C., Ekama V.A., Bzdjanovic D. Biological Wastewater Treatment // Iwe Publishing, London, 2008. - 511 p.

6. Wanner O., Ebert N.L., Rittan B.E. Mathematical modeling of biofilms // Scientific and Technical report. - 2006 - N18 - 208 p.

7. Олійник О.Я., Айрапетян Т.С. Моделювання очистки стічних вод від органічних забруднень в біореакторах – аеротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим біоценозом // Доповіді НАНУ. – 2015. – №5. – С.55-60.

8. Олійник О.Я., Колпакова О.А. Моделювання і розрахунки біологічної очистки стічних вод на краплинних біофільтрах // Екологічна безпека та природокористування. Зб. наук. праць. - Вип.15. - К.: КНУБА, 2014. – С.68-86.

УДК 628.16

Эпоян С.М., Сухоруков Г.И.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры

Яркин В.А.

Коммунальное предприятие «Харьковводоканал»

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СМЕШЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ВОДЫ С РЕАГЕНТОМ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Наиболее распространенным методом очистки воды от грубодисперстных и коллоидных загрязнений является метод обработки воды коагулянтном, который требует поиска путей для его усовершенствования, а именно увеличение скорости формирования и выпадения коагулированных взвесей в осадок [1-6].

Интенсификация процесса коагуляции заключается в выборе необходимой

скорости формирования хлопьев и степени отделения взвеси в объеме обрабатываемой воды, что в конечном итоге играет решающую роль для повышения эффективности осветления воды [7].

Интенсификация процесса коагуляции имеет большое значение в связи с возрастающими требованиями к качеству питьевой воды.