

властивостями. В результаті рентгенографічних досліджень нами вперше показано, що вилучення хрому із стічної води відбувається не тільки за рахунок сорбції іонів Cr^{3+} поверхнею феритних структур, а також і завдяки утворенню хімічно стійкої сполуки - хроміту феруму (FeCr_2O_4).

Список літератури

1. Доллина Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. – Дн-вск.: Континент, 2008. – 254 с.
2. Тугай А.М., Кочетов Г.М., Самченко Д.М. Вивчення стійкості відходів очищення стічних вод, які містять сполуки міді // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Наук.-техн. зб., К. – 2012.р. – Вип.20. – С. 66-70.
3. ГОСТ 9.314-90. Единая система защиты от коррозии и старения. Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования – М.: Изд. стандартов, 1990. – 16 с.
4. Семенов В.В., Варламова С.И., Климов Е.С. Очистка гальваностокос с использованием отходов производства // ЭКИПР, 2005. – № 9. – С. 32-34.

Надійшло до редакції 14.07.2015

УДК 628.35

О.Я. ОЛІЙНИК, член-кореспондент НАН України

Інститут гідромеханіки НАН України, Київ

Т.С. АЙРАПЕТЯН, кандидат технічних наук

Харківський національний університет міського господарства

імені О.М. Бекетова

РОЗРАХУНОК ПРОЦЕСУ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКУ-ВИТИСКУВАЧІ З ЗАКРІПЛЕНИМ БІОЦЕНОЗОМ

Наведені методи розрахунку біологічного очищення стічних вод в аеротенках-витискувачах зі зваженим і закріпленим біоценозом. Обґрунтовано підвищення ефективності роботи аеротенку-витискувача за допомогою розташування у другій половині його об'єму елементів завантаження з закріпленим біоценозом.

Ключові слова: математичне моделювання, біологічне очищення, аеротенк, прикріплений біоценоз, активний мул.

Приведены методы расчета биологической очистки сточных вод в аэротенках-вытеснителях со взвешенным и прикрепленным биоценозом. Обосновано повышение эффективности работы аэротенка-вытеснителя с помощью расположения во второй половине его объема элементов загрузки с прикрепленным биоценозом.

Ключевые слова: математическое моделирование, биологическая очистка, аэротенк, прикрепленный биоценоз, активный ил.

Methods of calculation of biological sewage treatment in a plug flow aeration tank with suspended and fixed biocenosis are present. Improving the efficiency of the aeration tank by arranging in the second half of its volume elements with fixed biocenose is substantiated.

Keywords: mathematical modeling, biological sewage treatment, aeration tank, fixed biocenosis, activated sludge.

Класичною технологічною схемою біологічного очищення стічних вод є система споруд, основною складовою якої є біореактор-аеротенк. Як відомо в аеротенку відбувається вилучення (біоокислення) сорбованих на плаваючих пластівцях активного мулу, який складається переважно із мікроорганізмів завислих чи розчинених у воді органічних забруднень.

В залежності від гідродинамічного режиму руху рідини біореактори-аеротенки поділяють на аеротенки-змішувачі і аеротенки-витискувачі [1, 150; 2, 250; 3, 245].

В аеротенку-витискувачу відсутнє перемішування, стічна вода разом з активним мулом рухаються від місця впуску до місця випуску в реакторі і в результаті окислення концентрація забруднень зменшується по довжині аеротенка. Виконаний аналіз показав, що ефективність вилучення забруднень в них можна значно підвищити, якщо поряд зі зваженим біоценозом (активним мулом) забезпечити влаштування в об'ємі аеротенка додаткового завантаження (пристроїв, насадок і т. і), на поверхні якого утворюється біоплівка з високою концентрацією мікроорганізмів.

Відомо, що така комбінована біологічна очистка стічних вод в спорудах з закріпленою біомасою (біоплівкою) на думку спеціалістів має ряд суттєвих технологічних переваг і широко використовується на практиці [2, 298; 4, 138; 5, 55].

Для оцінки і аналізу сумісного вилучення органічних забруднень (ОЗ) зваженим і закріпленим біоценозом в аеротенках побудована загальна математична модель, яка зводиться до реалізації рівнянь матеріального балансу, записаних відносно зміни концентрації органічних забруднень в аеротенку L_a [5, 55; 6, 110; 7, 39; 8, 20].

В умовах аеротенка-витискувача, як відомо, враховано рух потоку вздовж довжини аеротенка l середньою швидкістю $v = \frac{Q_a}{F_a}$. В цьому випадку

в результаті аналізу 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

$$-v \frac{\partial L_{a1}}{\partial x} - R = 0, \quad v = \frac{Q_a}{F_a}, \quad (1)$$

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

$$R = \lambda(L_a - L|_{z=0}) + \varepsilon R_a - \varepsilon R_{C1}, \quad \lambda = \frac{F_\delta}{F_a} K_L, \quad \varepsilon = \frac{W_p}{W_a}, \quad (2)$$

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; R_a – реакція за рахунок зваженого біоценозу в аеротенку; R_{C1} – реакція, яка враховує процеси відмирання мулу.

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 і прийнятих рівнянь можливих реакцій вилучення ОЗ R_a і відмирання (самоокислення) мулу R_C в аеротенку. Значення концентрації L_δ на поверхні біоплівки для реакцій першого порядку можна визначити за формулою (3), а для реакції нульового порядку – за формулою (4).

$$L_\delta = AL_a, \quad (3)$$

$$L_\delta = L_0 - \frac{w_{L0}\delta}{K_L}, \quad w_{L0} = \frac{\mu_m X}{Y} \quad (4)$$

Розглянемо технологічну схему роботи аеротенка-витискувача з закріпленим і зваженим біоценозом. У даному випадку аеротенк-витискувач складається із двох частин (реакторів 1 і 2), проте в реакторі 1, який розташований в першій частині, вилучення ОЗ відбувається за рахунок зваженого біоценозу (активним мулом), тобто він працює в режимі аеротенка-витискувача довжиною l_1 . В другій частині (реактор 2) вилучення ОЗ відбувається переважно за рахунок закріпленого біоценозу (біоплівкою), яка формується на елементах влаштованого тут завантаження. Влаштування на практиці такої технологічної схеми аеротенка-витискувача на нашу думку буде найбільш доцільно, так як влаштування в другій частині реактора 2 з закріпленим біоценозом дозволяє значно підвищити ефективність і якість очистки стічної води, а саме забезпечити доочистку стічних до заданої концентрації (рис. 1).

а) Так як в реактор 1 безпосередньо поступають на очистку стічні води значної концентрації, то розглянемо випадок вилучення ОЗ активним мулом за рахунок реакції нульового порядку. Забезпечення мулом в реакторі 1 відбувається за рахунок рециркуляції коефіцієнтом r_1 згідно технологічної схеми наведеної на рис. 1. Таким чином в цьому випадку загальне рівняння (1) буде мати вигляд

$$-v_{a1} \frac{\partial L_{a1}}{\partial X} - w_{a1} = 0, \quad w_{a1} = \frac{\mu_{a1} X_{a1}}{Y_{a1}} \quad (5)$$

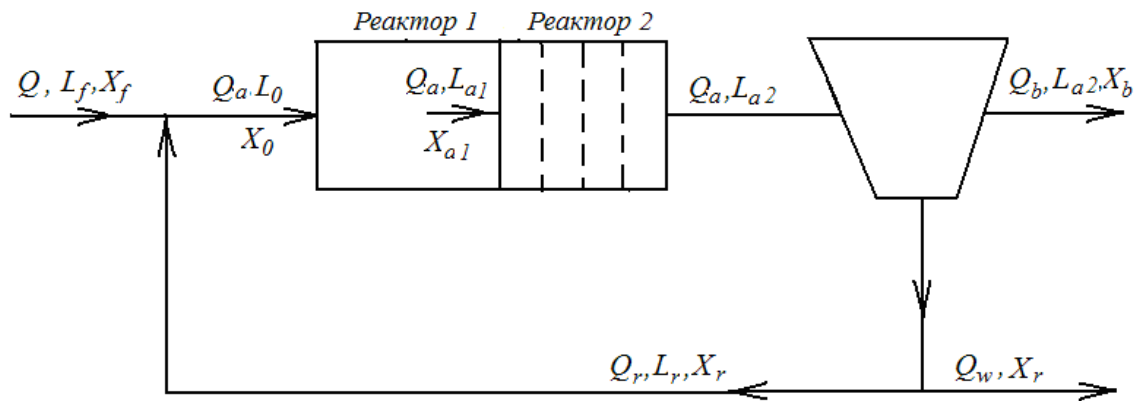


Рис.1. Балансова схема аеротенка-витискувача з розташованим в реакторі 2 закріпленим біоценозом

де нагадаємо (рис.1) $v_{a1} = \frac{Q_{a1}}{F_{a1}}$, $Q_{a1} = Q(1 + r_1)$, $X_{a1} = \frac{r_1 X_r}{1 + r_1}$, $L_0 = \frac{L_f}{1 + r_1}$.

Рішення рівняння (5) виконуємо при граничній умові $L_{a1} = L_0$ при $x = 0$ в результаті чого одержимо

$$L_a = L_0 - w_{a1} \frac{x}{v_{a1}} \quad (6)$$

Концентрація на виході із реактора $L_{a1}(l_1)$ буде складати

$$L_{a1}(l_1) = L_0 - w_{a1} \frac{l_1}{v_{a1}}. \quad (7)$$

Якщо, згідно наведеним вище критеріям, в реакторі 1 відбувається вилучення ОЗ активним мулом реакцією першого порядку чи за рівнянням Моно, то в цьому випадку можна скористуватись рішенням задачі, одержаної для технологічної схеми, наведеної на рис. 1. В цьому випадку в загальній залежності (1) необхідно прийняти $\lambda = 0$, тобто виключити дію закріпленого біоценозу, і замінити вихідні параметри аеротенка рис.1 на вихідні параметри реактора 1.

б) В другій частині аеротенка-витискувача – реактора 2 довжиною l_2 вилучення ОЗ відбувається переважно за рахунок закріпленого біоценозу (біоплівкою). В цьому випадку особливості очистки реактора 2 (з біоплівкою), розташованого в другій частині аеротенка будуть залежати від технологічної схеми роботи реактора 1 з активним мулом. Так в технологічній схемі, в якій вилучення мулу відбувається безпосередньо із реактора 1 і він не попадає в реактор 2, то можна вважати і приймати, що вилучення забруднень в реакторі 2 відбувається тільки закріпленим біоценозом (біоплівкою). Якщо вилучення мулу із реактора 1 не відбувається, і він із стічною водою попадає в реактор 2, то в цьому випадку, по-перше, необхідно врахувати і оцінити ступінь вилучення ОЗ за рахунок цього мулу, а по-друге, врахувати наявність мулу, на можливий вплив на формування структури біоплівки і визначення її параметрів.

Згідно технологічної схеми рис.1 можна вважати, що в реакторі 2 відбувається переважно доочистка частково очищених в реакторі 1 стічних вод. Якщо доочистка ОЗ в реакторі 2 відбувається переважно закріпленим

біоценозом (біоплівкою), то з врахуванням реакції першого порядку і за рівнянням Моно її можна описати наступним рівнянням

$$-v_{a2} \frac{\partial L_{a2}}{\partial x} - \lambda_2 (L_{a2} - L|_{z=0}) = 0, \quad \lambda_2 = \frac{F_{\delta 2}}{F_{a2}} K_{L2}, \quad (8)$$

де $v_{a2} = \frac{Q_{a2}}{F_{a2}}$, $F_{\delta 2}$ – площа поверхні завантаження (біоплівки) на одиницю довжини l_2 , $F_{\delta 2} l_2 = F_{\delta 2} l_2$ – загальна площа поверхні біоплівки в реакторі 2 довжиною l_2 , Q_{a2} – витрата, яка поступає в реактор 2; K_{L2} – коефіцієнт масопереносу ОЗ в рідинній плівці.

В результаті рішення рівняння (8) при граничній умові $x = l_1$, $L_{a2} = L_{a1}(l_1)$ в загальному випадку для визначення зміни концентрації $L_{a2}(x)$ по довжині x , де x змінюється в межах від l_1 до l , одержимо залежність

$$L_{a2}(x) = L_{a1}(l_1) e^{-(x-l_1)A_2}, \quad (9)$$

а для визначення концентрації $L_{a2}(l)$ на виході із аеротенка (реактора 2) $x = l = l_1 + l_2$ маємо залежність

$$L_{a2}(l) = L_{a1}(l_1) e^{-(l-l_1)A_2} = L_{a1}(l_1) e^{-l_2 A_2}, \quad A_2 = \frac{\lambda_2}{v_{a2}} (1 - A_2). \quad (10)$$

Якщо згідно прийнятої технологічної схеми із реактора 1 в реактор 2 поступає активний мул, то необхідно також врахувати часткове вилучення ОЗ цим мулом в реакторі 2. При цьому можна обмежитись, що це вилучення, як і у випадку закріпленого біоценозу, відбувається за рахунок реакції першого порядку.

Таким чином в цьому випадку для визначення концентрації на виході із реактора 2 $L_{a2}(l)$ за умови, що вилучення ОЗ в ньому закріпленим і зваженим біоценозом відбувається за реакцією першого порядку, пропонується залежність

$$L_{a2}(l) = L_{a1}(l_1) e^{-l_2 \left(A_2 + \frac{K_{a2}}{v_{a2}} \right)}, \quad (11)$$

де K_{a2} – коефіцієнт масопереносу ОЗ в розчині зі зваженим активним мулом.

Перепишемо рівняння (11) з урахуванням рівняння (7) у вигляді

$$\frac{L_{a2}}{L_0} = (1 - \xi) e^{-\eta}, \quad (12)$$

де $\xi = \frac{w_{a1} l_1}{L_0 v_{a1}}$, $\eta = l_2 \left(A_2 + \frac{K_{a2}}{v_{a2}} \right)$.

На основі залежності (12) побудовано розрахунковий графік

$\frac{L_{a2}}{L_0} = f(\xi, \eta)$ (рис. 2).

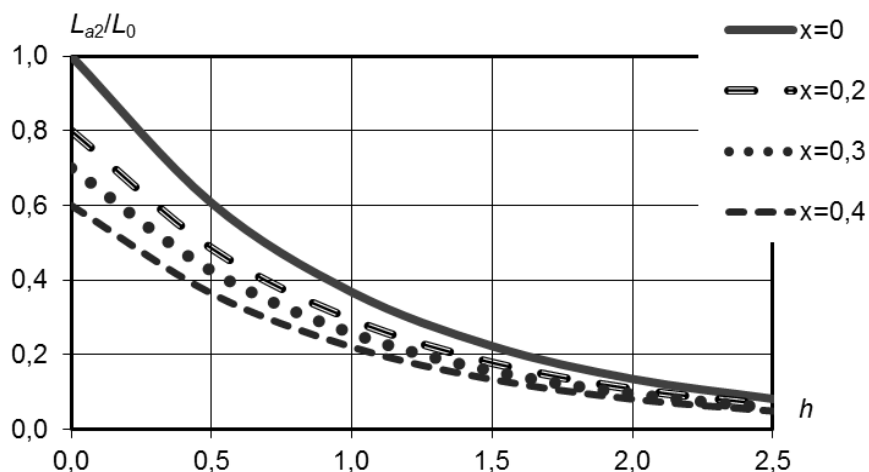


Рис. 2. Графік залежності $\frac{L_{a2}}{L_0} = f(\xi, \eta)$.

Дані, представлені на рис. 2 показують, що завантаження з закріпленим біоценозом дозволяє підвищити ефективність роботи аеротенка-витискувача.

Таким чином, представлені залежності та виконані розрахунки дозволяють обґрунтувати підвищення ефективності біологічної очистки в аеротенках-витискувачах за допомогою елементів з закріпленим біоценозом.

Список літератури

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. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: АСВ, 2004. – 704 с.
3. Henze M.M., Van Loosdrecht M.C., Ekama V.A., Bzdjanovic D. Biological Wasterwater Treatment // Iwe Publishing, London, 2008. – 511 p.
4. Wanner O., Ebert N.L., Rittan B.E. Mathematical modeling of biofilms // Scientific and Technical report. – 2006 – N18 – 208 p.
5. 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.
6. Брагинский Л.Н., Евилевич М.А. и др. Моделирование азрационных сооружений для очистки сточных вод. – Л. Химия, 1980. – 144с.
7. Вавилин В.А., Васильев В.В. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод. – М.: Наука, 1979. – 116 с.
8. Кафаров В.В., Винаров А.С, Гордеев Л.С. Математическое моделирование биохимических реакторов. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 343 с.

Надійшло до редакції 13.11.2015