

Айрапетян Т.С.*Харьковский национальный университет городского хозяйства имени А.Н. Бекетова
(ул. Маршала Бажанова, 17, Харьков, 61000, Украина; e-mail: vvov@kname.edu.ua)***ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ
В АЭРОТЕНКАХ-ВЫТЕСНИТЕЛЯХ С ПРИКРЕПЛЕННЫМ БИОЦЕНОЗОМ**

Разработана двухуровневая математическая модель биологической очистки в аэротенках-вытеснителях с прикрепленным биоценозом. Математическая модель базируется на уравнениях переноса по длине аэротенка концентрации органических загрязнений и концентрации активного ила, а также уравнении переноса органических загрязнений по толщине биопленки. Скорость окисления органических загрязнений взвешенным и прикрепленным биоценозом описывается уравнением Моно. Представлены результаты теоретических исследований, в которых изучено влияние расположения и распределения элементов с прикрепленным биоценозом на эффективность очистки. Обоснована эффективность варианта, при котором прикрепленный биоценоз сосредоточен во второй части сооружения. **Ключевые слова:** сточные воды, аэротенки-вытеснители, активный ил, прикрепленный биоценоз, органические загрязнения, математическая модель.

Введение. Удаление органических загрязнений (ОЗ) из хозяйственно-бытовых сточных вод является важным элементом в технологии их очистки. Для этой цели в основном используются биологические методы, основанные на биохимическом окислении органических примесей специальными микроорганизмами (активным илом, биопленкой) в процессе своей жизнедеятельности [1-6].

На станциях биологической очистки широкое распространение получили аэротенки, в которых удаление ОЗ осуществляется взвешенным биоценозом – активным илом. Возрастающие требования к качеству очистки сточных вод не позволяют считать работу аэротенков традиционной конструкции удовлетворительной. Данные сооружения не могут обеспечить глубокое удаление ОЗ, необходимо предусматривать дополнительные сооружения для доочистки.

Эффективность биологической очистки в аэротенках можно значительно повысить, если наряду со взвешенным биоценозом (активным илом) использовать дополнительную загрузку (сетки, перфорированные перегородки, насадки, волокнистые материалы и т. п.) с прикрепленным биоценозом. За счет высокой концентрации иммобилизованных микроорганизмов, а также их лучшей извлекающей способностью при

малых концентрациях ОЗ, комбинированная биологическая очистка сточных вод имеет ряд технологических преимуществ и широко используется на практике [7-9].

Обосновать эффективный вариант расположения дополнительной загрузки возможно с помощью математического моделирования [10-13]. В предыдущих исследованиях представлена математическая модель процесса комбинированной биологической очистки в аэротенках-смесителях и аэротенках-вытеснителях, которая наиболее полно учитывает влияние основных факторов [9, 14-16]. Однако, численная реализация данной модели осуществлена для реакций окисления нулевого и первого порядков [14, 15, 17, 18]. Для объективного обоснования эффективности применения в объеме аэротенка прикрепленного биоценоза необходимо рассмотреть более общий процесс окисления.

Цель и задачи. Целью исследований является теоритическое обоснование с помощью математической модели работы усовершенствованного аэротенка-вытеснителя рационального варианта расположения и распределения в сооружении насадок с прикрепленным биоценозом.

Материалы и методы исследований. При разработке математической модели, описывающей процесс биологической очистки в аэротенке-вытеснителе, содержащим элементы с прикрепленным

биоценозом, приняты следующие допущения:

- 1) процесс биохимического окисления в достаточном количестве обеспечен кислородом, т.е. поступление кислорода не лимитирует кинетику биоокисления как взвешенным, так и прикрепленным биоценозом;
- 2) математическая модель не учитывает процессы ингибирования и отмирания взвешенного и прикрепленного биоценоза;
- 3) коэффициент диффузии в свободном объеме аэротенка имеет постоянное значение;
- 4) на том участке аэротенка, где очистка производится как взвешенным так прикрепленным биоценозом, поток ОЗ из воды в биопленку распределен равномерно по всей длине данного участка и зависит от плотности расположения дополнительных элементов;
- 5) при изменении места расположения и распределения элементов (насадок) с прикрепленным биоценозом по длине аэротенка их количество и площадь остается одинаковой, меняется только удельная площадь, т.е. плотность распределения.

С учетом принятых допущений основу математической модели работы аэротенка-вытеснителя с взвешенным и прикрепленным биоценозом составляют следующие уравнения и зависимости:

1) Уравнение переноса органических загрязнений по длине аэротенка

$$\frac{\partial L_a}{\partial t} + V \frac{\partial L_a}{\partial x} = D_a \frac{\partial^2 L_a}{\partial x^2} - R_\delta - \varepsilon R_a, \quad (1)$$

где x – горизонтальная координата, м, которая изменяется в пределах от 0 до S (длина аэротенка); t – время, с; L_a – концентрация ОЗ в аэротенке, мг/л; $V=Q_a/F$ – средняя скорость потока в аэротенке, м/с; F – площадь поперечного сечения аэротенка, м²; Q_a – расход очищаемой воды, м³/с; D_a – коэффициент диффузии ОЗ в свободном объеме аэротенка, м²/с; $R_\delta = \lambda_\delta N$ – скорость утилизации ОЗ прикрепленным биоценозом в объеме аэротенка, мг/(л·с); R_a – скорость утилизации ОЗ взвешенным биоценозом (активным илом), мг/(л·с);

N – поток (транспорт) ОЗ через поверхность биопленки для их утилизации прикрепленным биоценозом (биопленкой), $\frac{м \cdot мг}{с \cdot л}$; $\lambda_\delta = F_{\delta l}/F$ – конструктивный пара-

метр, м⁻¹; $F_{\delta l}$ – удельная площадь поверхности биопленки (на единицу длины аэротенка), м; $\varepsilon = 1 - \frac{W_\delta}{W_a} = \frac{W_{жс}}{W_a}$ – коэффициент,

учитывающий уменьшение свободного объема аэротенка, вызванное размещением дополнительной загрузки (насадок) с прикрепленным биоценозом; W_a – рабочий объем аэротенка, м³; $W_{жс}$ – объем жидкости в аэротенке, м³; W_δ – объем загрузки (насадок) с прикрепленным биоценозом, м³.

Уравнение (1) решается при следующих краевых условиях:

- начальное условие: $t = 0 \quad L_a = L_{a0}$;

- граничные условия: $x = 0 \quad L_a = L_{a0}$;

$$x = S \quad \frac{\partial L_a}{\partial x} = 0,$$

где L_{a0} – концентрация ОЗ в исходной воде, мг/л.

2) Уравнение переноса органических загрязнений по толщине биопленки (необходимо для вычисления параметра N)

$$\frac{\partial L}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 L}{\partial y^2} - R_L, \quad (2)$$

где y – координата, м, которая изменяется в пределах от 0 до δ (толщина биопленки); L – концентрация ОЗ в биопленке, мг/л; D_L – коэффициент молекулярной диффузии в биопленке, м²/с; R_L – скорость утилизации ОЗ прикрепленным биоценозом в биопленке, мг/(л·с).

Уравнение (2) решается при следующих краевых условиях:

- начальное условие: $t = 0 \quad L = 0$;

- граничные условия: $y = \delta \quad \frac{\partial L}{\partial y} = 0$;

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

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

где K_L – коэффициент массопереноса ОЗ в жидкостной пленке, м/с; L_δ – концентрация ОЗ на поверхности биопленки, мг/л.

3) Уравнение Моно (для определения параметров R_a и R_L)

$$R_a = -\frac{\mu_a X_a}{Y_a} \frac{L_a}{K_{mL_a} + L_a}, \quad (4)$$

$$R_L = -\frac{\mu_L X_L}{Y_L} \frac{L}{K_{mL} + L}$$

где μ_a, μ_L – максимальная удельная скорость роста биомассы микроорганизмов, c^{-1} ; K_{mL_a}, K_{mL} – константы полнасыщения, мг/л; X_a, X_L – концентрации микроорганизмов, мг/л; Y_a, Y_L – коэффициенты трансформации субстрата в биомассу.

Значение концентрации микроорганизмов в био пленке X_L можно определить из выражения, аналогичного зависимости (4),

$$\frac{\partial X_L}{\partial t} = \frac{\mu_L X_L L}{K_{mL} + L}. \quad (5)$$

Уравнение (5) решается при следующем начальном условии: $t = 0, X_L = X_{L0}$, где X_{L0} – начальная концентрация микроорганизмов в био пленке, мг/л.

Так как активный ил перемещается в аэротенке вместе со сточной водой, то значение его концентрации определяется из соответствующего уравнения переноса (6).

4) Уравнение переноса активного ила по длине аэротенка

$$\frac{\partial X_a}{\partial t} + V \frac{\partial X_a}{\partial x} = D_x \frac{\partial^2 X_a}{\partial x^2} + \frac{\mu_a X_a L_a}{K_{mL_a} + L_a}, \quad (6)$$

где D_x – коэффициент диффузии активного ила в свободном объеме аэротенка, m^2/c .

Уравнение (6) решается при следующих краевых условиях:

- начальное условие: $t = 0 X_a = 0$;
- граничные условия: $x = 0 X_a = X_{a0}$;

$$x = S \frac{\partial X_a}{\partial x} = 0,$$

где X_{a0} – концентрация активного ила в исходной воде, мг/л.

Система уравнений и зависимостей (1)-(6), которая составляет основу математической модели, решается численно методом конечных разностей. Конечно-разностные аналоги системы уравнений (1)-(6) имеют вид:

$$\frac{L_a^{i,k} - L_a^{i,k-1}}{\Delta t} + V \frac{L_a^{i,k} - L_a^{i-1,k}}{\Delta x} = D_a \frac{L_a^{i+1,k} - 2L_a^{i,k} + L_a^{i-1,k}}{\Delta x^2} - \frac{F_{\partial}^i}{F} N^{i,k} - \varepsilon R_a^{i,k}, \quad (7)$$

$$\frac{L^{i,j,k} - L^{i,j,k-1}}{\Delta t} = D_L \times \frac{L^{i,j+1,k} - 2L^{i,j,k} + L^{i,j-1,k}}{\Delta y^2} - R_L^{i,j,k}, \quad (8)$$

$$N^{i,k} = K_L (L_a^{i,k} - L^{i,1,k}), \quad (9)$$

$$R_a^{i,k} = -\frac{\mu_a X_a^{i,k}}{Y_a} \frac{L_a^{i,k}}{K_{mL_a} + L_a^{i,k}}, \quad (10)$$

$$R_L^{i,j,k} = -\frac{\mu_L X_L^{i,j,k}}{Y_L} \frac{L^{i,j,k}}{K_{mL} + L^{i,j,k}}, \quad (11)$$

$$\frac{X_L^{i,j,k} - X_L^{i,j,k-1}}{\Delta t} = \frac{\mu_L X_L^{i,j,k}}{K_{mL} + L^{i,j,k}},$$

$$\frac{X_a^{i,k} - X_a^{i,k-1}}{\Delta t} + V \frac{X_a^{i,k} - X_a^{i-1,k}}{\Delta x} = D_x \frac{X_a^{i+1,k} - 2X_a^{i,k} + X_a^{i-1,k}}{\Delta x^2} + \frac{\mu_a X_a^{i,k} L_a^{i,k}}{K_{mL_a} + L_a^{i,k}}, \quad (12)$$

где i, j, k – номер шага, соответственно, по координатам x, y и времени; $\Delta x, \Delta y, \Delta t$ – величина шага, соответственно, по координатам x, y и времени.

Решение уравнений (7), (8) и (12) осуществлялось с помощью метода прогонки. Была выполнена соответствующая аппроксимация граничных условий [19].

На каждом шаге по времени k для решения системы уравнений (7)-(12) применялся метод итераций до тех пор, пока не выполнится условие

$$\frac{\left| \left(\sum_{i=2}^n L_a^{i,k} \right)^{\text{II}} - \left(\sum_{i=2}^n L_a^{i,k} \right)^{\text{I}} \right|}{\left(\sum_{i=2}^n L_a^{i,k} \right)^{\text{I}}} \leq 0,001,$$

где I и II – предыдущий и последующий шаг итерации; n – количество шагов по координате x .

На первом шаге итерации в момент времени k значения параметров R_L, L_a, X_a, L принимались равными значениям на предыдущем шаге по времени $k-1$.

Результаты исследований. С помощью представленной математической модели были проведены численные исследования процесса биологической очистки в аэротенке-вытеснителе, содержащим элементы с прикрепленным биоценозом.

Были рассмотрены два варианта (рис. 1):

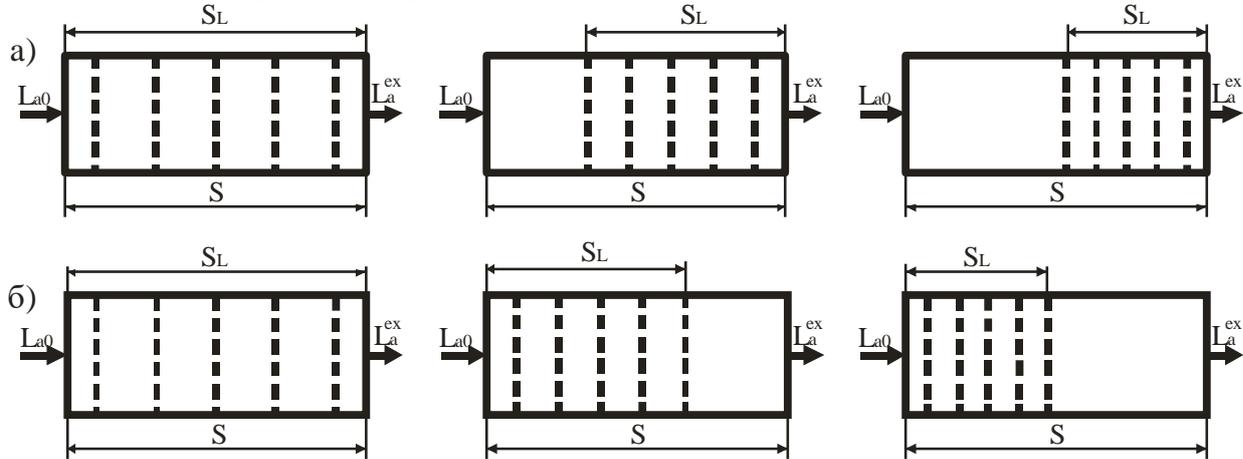


Рис. 1. Схема расположения насадок с прикрепленным биоценозом в аэротенке-вытеснителе: а) во второй части сооружения; б) в первой части сооружения

Критерием для сравнения принят параметр

$$\Xi = 1 - \frac{(L_a^{ex})_L}{(L_a^{ex})_a},$$

где $(L_a^{ex})_L$ – концентрация ОЗ на выходе из аэротенка-вытеснителя с прикрепленным биоценозом, мг/л; $(L_a^{ex})_a$ – концентрация ОЗ на выходе из аэротенка-вытеснителя традиционной конструкции, мг/л.

Данный параметр позволяет оценить вклад прикрепленного биоценоза в биологическую очистку от органических загрязнений.

Согласно допущению №5 при уменьшении длины той части сооружения, на которой расположены элементы с прикрепленным биоценозом, их объем W_b остается неизменным, но при этом увеличивается плотность распределения. Таким образом, коэффициент ε при изменении параметра S_L/S будет изменяться согласно зависимости

$$\varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_0) \frac{S}{S_L},$$

где ε_0 – коэффициент уменьшения свободного объема аэротенка при равномерном

а) насадки с иммобилизованным биоценозом расположены во второй части сооружения;

б) насадки с иммобилизованным биоценозом расположены в первой части сооружения.

распределении насадок по всей длине сооружения.

На рис. 2 представлен пример расчета влияния приведенной длины участка с прикрепленным биоценозом S_L/S на эффективность работы сооружения Ξ .

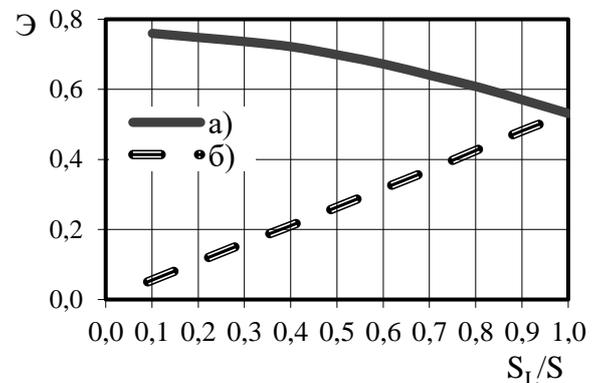


Рис. 2. Влияние места расположения и плотности распределения элементов с прикрепленным биоценозом на эффективность биологической очистки в аэротенке-вытеснителе: а) при расположении во 2-ой части; б) при расположении в 1-ой части

Данные, представленные на рис. 2 (вариант а), показывают, что при расположении элементов с био пленкой во второй части сооружения с уменьшением длины этой части происходит увеличение эффек-

тивности очистки, которое постепенно затухает. При расположении элементов с биопленкой в первой части сооружения (рис 2, вариант б) с уменьшением ее длины эффективность очистки практически линейно уменьшается.

Также проведенные расчеты показали, что вклад прикрепленного биоценоза в эффективность очистки колеблется в широком диапазоне в зависимости от места расположения и плотности распределения насадок. Этот вклад может быть значительным при правильном выборе конструктивных параметров.

На рис. 3 показан пример расчета распределения отношения скорости извлечения О₃ прикрепленным биоценозом к скорости извлечения О₃ взвешенным биоценозом $R_{\delta}/\varepsilon R_a$, а также приведенной концентрации О₃ L_a/L_{a0} по длине аэротенка x/S .

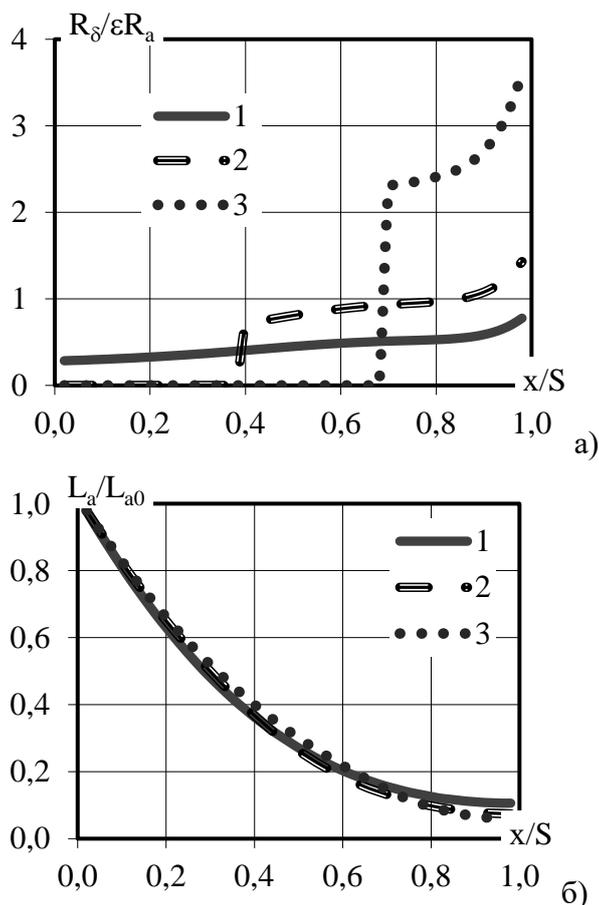


Рис. 3. Распределение параметра $R_{\delta}/\varepsilon R_a$ (а) и параметра L_a/L_{a0} (б) по длине аэротенка x/S : 1 – $S_L/S = 1$; 2 – $S_L/S = 0,6$; 3 – $S_L/S = 0,3$

Данные, представленные на рис. 3, показывают, что вклад прикрепленного

биоценоза в процесс биологической очистки к концу сооружения возрастает, особенно при более плотном расположении насадок.

Обсуждение результатов исследований. Изменение эффективности работы аэротенка-вытеснителя с прикрепленным биоценозом в зависимости от параметра S_L/S при расположении насадок во 2-ой части сооружения (рис. 2 вариант а) можно объяснить следующим образом. При уменьшении длины 2-ой части с одной стороны, согласно допущению №5 увеличивается плотность расположения насадок, что приводит к увеличению эффективности очистки прикрепленным биоценозом. С другой стороны при этом уменьшается коэффициент ε , т.е. уменьшается вклад взвешенного биоценоза. Особенно резко это происходит при $\frac{S_L}{S} \rightarrow (1 - \varepsilon_0)$, когда распо-

ложение элементов с прикрепленным биоценозом приближается к максимальной плотности. Для примера, приведенного на рис. 2, вклад прикрепленного биоценоза в очистку от О₃ значителен, особенно в конце сооружения (рис. 3), поэтому эффект от увеличения плотности расположения насадок превосходит влияние уменьшения свободного объема аэротенка. При более существенном вкладе прикрепленного биоценоза кривая (а) (рис. 2) приобретет более крутой характер, при менее существенном – в некотором диапазоне значений S_L/S возможно уменьшение эффективности, а на кривой (а) (рис. 2) – появление экстремума.

Уменьшение эффективности при расположении насадок в 1-ой части сооружения (рис. 2, вариант б), а также резкий рост скорости окисления О₃ прикрепленным биоценозом в конце сооружения при расположении насадок во 2-ой части аэротенка (рис. 3), объясняется следующим. Имобилизованный биоценоз обладает лучшей извлекающей способностью при малых значениях концентраций О₃, за счет того, что константа полунасыщения в уравнении Моно (4) имеет меньшее значение [20]. В 1-ой части сооружения при расположении там насадок с прикрепленным биоценозом осуществляется интенсивная очистка, во 2-

ую часть аэротенка поступает сточная вода с небольшими значениями концентрации ОЗ, с которыми активный ил справится уже не в состоянии. Поэтому данная часть сооружения практически не принимает участия в очистке. Такая же ситуация происходит в конце сооружения, когда насадки расположены во 2-ой его половине. Концентрация ОЗ мала, взвешенный биоценоз почти не влияет на уменьшение концентрации ОЗ, в очистке принимает участие в основном прикрепленный биоценоз.

Выводы. С помощью разработанной математической модели биологической очистки в аэротенке-вытеснителе с прикрепленным биоценозом, проведены теоретические исследования. Скорость окисления ОЗ прикрепленным и взвешенным биоценозом определялась с помощью общего уравнения Моно. Эти исследования позволили обосновать рациональность расположения насадок во второй части сооружения, когда прикрепленный биоценоз эффективнее работает в зоне малых концентраций ОЗ и позволяет более глубоко извлекать данные примеси.

В дальнейших исследованиях планируется проверить адекватность математической модели путем сравнения расчетных и экспериментальных данных, а также работу аэротенков с прикрепленным биоценозом, когда процесс биологической очистки лимитируется содержанием кислорода.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Василенко О.А., Епоян С.М., Смирнова Г.М., Коринько 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. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС, 2003 – 512 с.
3. Запольский А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : Підручник. – К. : Вища шк., 2005. – 617 с.
4. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод: Навч. посібник. – Рівне: ВАТ Рівненська друкарня, 2003. – 622 с.

5. Фізико-хімічні та біологічні методи очистки стічних вод: Навчальний посібник / С.М. Епоян, Р.І. Назарова, Л.П. Снагощенко та ін. – Харків: вид. «Міськдрук», 2012. – 452 с.
6. ДБН В.2.5 – 75. 2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К. : Мінрегіон України, 2013. - 128 с.
7. Василенко А. А., Грабовский П. А., Ларкина Г. М. і др. Реконструкція и интенсифікація сооруже́ний водоснабже́ния и водоотведе́ния: Учебное пособие. – Киев – Одесса : КНУСА, ОГАСА. – 2007. – 307 с.
8. Яковлев С.В., Воронов Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.
9. Олійник О.Я., Айрапетян Т.С. Підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод в аэротенках за рахунок зваженого та закріпленого біоценозу // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015.- №3 (81) – С. 106-109.
10. Вавилин В.А., Васильев В.В. Математическое моделирование процессов биологической очистки сточных вод. – М.: Наука, 1979. – 116 с.
11. Смирнов Н.В. Математическое моделирование процесса биологической очистки сточных вод // Ярославский педагогический вестник. Сер. «Естественные науки». – 2012. – Т. 3, № 3. – С. 44–49.
12. Gebara F. Activated sludge biofilm wastewater treatment system // Wat. Res., 1999. – Vol. 13, №1. – P.230-238.
13. Wanner O., Ebert N., Rittan B., 2006 Mathematical modeling of biofilms // Scientific and Technical Report. – 2006 – №18 – 208 с.
14. Олійник О.Я., Айрапетян Т.С. Моделювання очистки стічних вод від органічних забруднень в біореакторах-аэротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим біоценозом // Доповіді НАНУ. – 2015. - №5. – С. 55-60.
15. Oleynik A., Airapetian T. The aerobic biological purification of the wastewaters from the organic contaminants (OC) in the aerotanks with the suspended and the fixed biocenosis // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin – Rzeszov, 2016. – Vol. 18, №10. – P. 13 – 24.

16. Олійник О.Я., Зябликов С.В. Особливості моделювання очистки стічних вод в системі аеротенк-відстійник-регенератор // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2005. – Вип. 4. – С. 46-53.
17. Олійник О.Я., Айрапетян Т.С. Теорія і розрахунки біологічної очистки стічних вод в аеротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим на додаткових пристроях біоценозом // Прикладна гідромеханіка. – 2015. – Т.17(89), №3. – С.35–43.
18. Айрапетян Т.С. Теоретические исследования работы аэротенков со взвешенным и прикрепленным биоценозом // Научный вестник строительства. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2017. – Т.88, №2 – С. 223–235.
19. Роуч П. Вычислительная гидродинамика. – М.:Мир, 1980. – 616 с.
20. Henze M., Van Loosdrecht M., Ekama V., Vzdjanovic D. Biological Wastewater Treatment // Iwe Publishing, London., 2008 – 511 p.

Айрапетян Т.С. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ОЧИСТКИ В АЕРОТЕНКАХ-ВИТИСКУВАЧАХ З ЗАКРІПЛЕНИМ БІОЦЕНОЗОМ. Розроблено дворівневу математичну модель біологічного очищення в аротенках-витискувачах з закріпленим біоценозом. Математична модель базується на рівнянні переносу по довжині аэротенку концентрації органічних забруднень і концентрації активного мулу, а також рівнянні переносу органічних забруднень по товщині біоплівки.

Швидкість окиснення органічних забруднень зваженим і закріпленим біоценозом описується рівнянням Моно. Представлені результати теоретичних досліджень, в яких вивчено вплив розташування та розподілу елементів з закріпленим біоценозом на ефективність очищення. Обґрунтована ефективність варіанту, в якому закріплений біоценоз зосереджений у другій частині споруди.

Ключові слова: стічні води, аеротенки-витискувачі, активний мул, закріплений біоценоз, органічні забруднення, математична модель.

Airapetian T.S. THEORETICAL STUDIES OF BIOLOGICAL PURIFICATION IN AEROTANKS-DISPLACERS AND WITH FIXED BIOCECENOSIS.

A two-level mathematical model of biological purification in aerotanks-displacers with fixed biocenosis was developed. The mathematical model is based on the equations of transport along the length of the aerotank of the concentration organic pollution and the concentration of activated sludge, and the equation of transport of organic pollution over the thickness of the biofilm. The rate of oxidation of organic pollution by a suspended and fixed biocenosis is described by the Mono equation. The results of theoretical studies of the influence of the location and distribution of elements with an fixed biocenosis on the purification efficiency are presented. The effectiveness of the variant in which the fixed biocenosis is concentrated in the second part of the construction is justified.

Keywords: wastewater, aerotank-displacer, active sludge, fixed biocenosis, organic pollution, mathematical model.

УДК 502.5.+614.7:556.531

Бригада О.В., Рибалова О.В., Росколотько А.В.

Національний університет цивільного захисту України

(вул. Чернишевська, 94, Харків, 61000, Україна; e-mail: fteb.nuczu@mns.gov.ua)

ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ПРИ ВЖИВАННІ ПИТНОЇ ВОДИ З ДЖЕРЕЛ м. ХАРКОВА

В статті запропоновано удосконалення методики оцінки ризику для здоров'я населення при вживанні питної води шляхом доповнення значень рівня небезпеки для деяких забруднюючих речовин. Аналіз якісного стану питної води джерел міста Харків на основі оцінки ризику для здоров'я населення показав ймовірність збільшення захворюваності.

Ключові слова: ризик для здоров'я населення, питна вода, джерела, місто Харків.