

ВРАХУВАННЯ ВІКУ БІОЦЕНОЗУ ПРИ РОЗРАХУНКАХ АЕРОТЕНКІВ

Системи, які широко вживалися для розрахунку аеротенків останнє десятиліття і які зберегли в цілому свою актуальність на даний момент, описані в [1, 2, 3, 4].

Більшість авторів вважають що для описання процесів очищення стічних вод зручно користуватися якимось одним параметром, за який параметр найчастіше беруть вік біоценозу.

Описання матеріального балансу для контуру аеротенк-відстійник різними авторами наводиться у таблиці 1.

Таблиця 1.

Автор	Приплив зі стоком	Відплив з очищеною водою	Відплив за рахунок реакції	Зміна концентрації в розчині
Еккенфельдер	$+FS_1$	$-FS_e$	$-K_eXS_eV$	$=\frac{dS}{dt}V$
Мак Кині	$+FS_1$	$-FS_e$	$-K_mS_eV$	$=\frac{dS}{dt}V$
Лоуренс – Мак Карті	$+FS_1$	$-FS_e$	$-K\frac{S_e}{K_s+S_e}XV$	$=\frac{dS}{dt}V$

Системи відмінні кінетичним рівнянням реакції відпливу субстрату.

В системах Еккенфельдера [1] і Мак Кині [2] прийнята кінетика 1-го порядку по субстрату, причому по Мак Кині доза мулу не враховується окремо. В системах Лоуренса - Мак Карті [3] видалення субстрату описується рівнянням Моно. З точки зору класичної ферментативної кінетики вживання рівняння Моно є найбільш логічним.

Повний набір формул, отриманих за системою Лоуренса - Мак Карті, наведений в таблиці 2 [4].

Таблиця 2.

Параметр, що визначається	Реактор-змішувач		Реактор-витіснювач
	Без рециркуляції	З рециркуляцією	
Концентрація обробленого стоку, мг/л	$S_e = \frac{K_s(1+b\theta_{cp})}{\theta_{cp}(Yk-1)}$	$S_e = \frac{K_s(1+b\theta_{cp})}{\theta_{cp}(Yk-b)-1}$	Немає певного рішення для θ_{cp}
Концентрація мікроорганізмів у реакторі, мг/л	$X = \frac{Y(S_0-S_e)}{1+b\theta_{cp}}$	$X = \frac{Y(S_0-S_e)\theta_{cp}}{(1+b\theta_{cp})t}$	$\bar{X} = \frac{Y(S_0-S_e)\theta_{cp}}{(1+b\theta_{cp})t}$
Приріст мулу (маса/час)	$P_X = \frac{Y\theta(S_0-S_e)}{1+b\theta_{cp}}$	$P_X = \frac{YQ(S_0-S_e)}{1+b\theta_{cp}}$	$\bar{P}_X = \frac{Y\theta(S_0-S_e)}{1+b\theta_{cp}}$
Час перебування, діб	$t = \theta_{cp}$	$t = \theta_{cp}\left(1+r-r\left(\frac{X_r}{X}\right)\right)$	$t = \theta\left(1+r-r\left(\frac{X_r}{X}\right)\right)$
Час утримання твердої речовини – вік мулу, діб	$\frac{1}{\theta_{cp}} = \frac{YkS_e}{K_s+S_e} - b$	$\frac{1}{\theta_{cp}} = \frac{YkS_e}{K_s+S_e} - b$	$\frac{1}{\theta_{cp}} = \frac{YkS_e}{\theta_{cp} \ln\left(\frac{S_0}{S_e} + (S_0-S_e)\right)}$

Приведені формули дозволили розрахувати залежність ефективності біологічних процесів від віку мулу. Результати подібних розрахунків приведені на графіку (рис. 1).

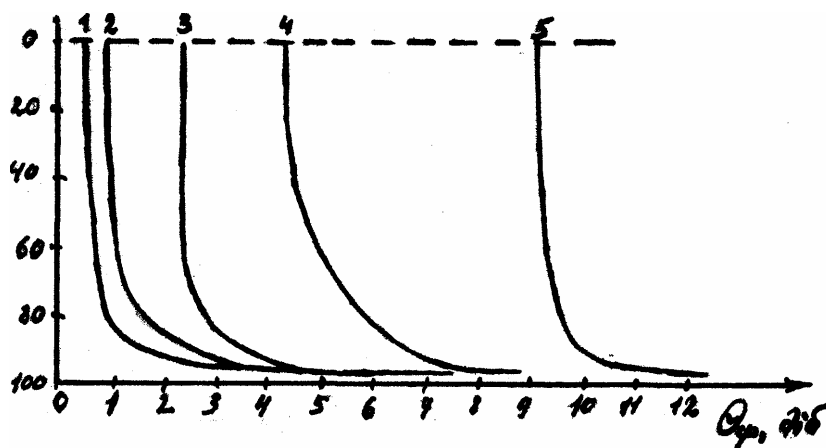


Рис. 1.

Із графіка випливає, що вік мулу дозволяє однозначно визначити глибину очистки і можливість закріплення мікроорганізмів у системі. Крім того графік дає уявлення про зміст величини - віку мулу, при якому усі мікроорганізми, які ведуть даний процес, вимиваються із системи, що відповідає нульовому ефекту видалення субстрату. Графік також показує вплив температури на залежність ефекту від віку. Звичайно, що для вирішення системи необхідно мати набір ферментативних констант $K; K_s; Y; b$.

Усі автори, які використовували систему Лоуренса Мак Карті, приводять значення констант. Ці значення зібрані в таблиці.

Із таблиці випливає, що значення констант, особливо K_s і b , можуть змінюватись в залежності від стоку, мулу, бази, на якій визначені коефіцієнти. В зв'язку з цим бажано експериментальне визначення констант, яке завжди зводиться до лінеаризації рівняння Моно, наприклад:

$$V = V_m \frac{S}{K_s + S}; \quad \frac{V}{S} = \frac{V_m}{K_s + S}; \quad \frac{S}{V} = \frac{1}{V_m} S + \frac{K_s}{V_m}.$$

Джерело	Процес, склад води	Y , г/мг	k , діб ⁻¹	K_s , мг/л	b , діб ⁻¹	База
31	Аеробний, побут. ст. води	0,67	5,6	22	0,07	ХСК
1	Аеробний, молоко	0,48	5,1	100	0,045	БСК ₅
31	Нітрифікація	0,05	6,6	1,0	—	БСК ₅
31	Анаеробний, укус. к-та	0,04	3,6	2130	0,015	ХСК
27	Аеробний, побут. ст.	0,4	—	—	0,03	ХСК

Але наведені вище рівняння не враховували процесів сорбції, які мають місце при біологічному очищенні стічних вод, тому графік на рисунку 1 має таке круте падіння, чого насправді на практиці не відбувається.

Автор поставив перед собою ціль при розрахунку віку біоценозу врахувати обидва процеси сорбції та окислення, а також вивести аналітичне рівняння для розрахунку віку біоценозу, так як попередні формули були частково або повністю емпіричні.

Так як вік біоценозу – це час перебування біоценозу в системі, то він пов'язаний з часом аерації, таким чином $\theta = \frac{X}{Pr} T$, тому ми вважаємо що буде правомірним зробити заміну $\frac{dS}{dT}$ на $\frac{dS}{d\theta}$, де θ - вік біоценозу, X - доза активного мулу; Pr - приріст активного мулу при цьому фізичний зміст рівняння не змінюється.

Тоді отримаємо таке балансове рівняння [5]:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dL_0}{dt} &= - \left[K \frac{S}{\frac{1}{A} + S} + qL_t \right] \\ \frac{dS}{dt} &= K \frac{S}{\frac{1}{A} + S} - \left[\gamma X \frac{\mu L_0}{K_m + L_0} + qL_t' \right] \\ \frac{dX}{dt} &= X_t - [X_0 + K\Delta S - bX] \end{aligned} \right\},$$

де L_0, L_e - початкова і кінцева концентрації забруднень відповідно, мг/л; t - час аерації, діб; K - коефіцієнт сорбції, мг/л·діб; q - органічне навантаження, г/г·діб; γ - коефіцієнт ініціювання; μ - питома швидкість окислювання, г/мг·діб; K_m - коефіцієнт Міхаеліса; L_t - кінцева концентрація забруднень, що не окислилася; X_0, X_t - початкова концентрація мікроорганізмів і концентрація мікроорганізмів через час t , мг/л; b - константа самоокислення мікроорганізмів, мг/л.

ПРИПЛИВ – ПЕРЕНЕСЕННЯ – ОКИСЛЕННЯ + ВІНОС = 0

$$\frac{dS}{d\theta} = \frac{Pr}{X} \left(K \frac{S_0}{S_0 + \frac{1}{A}} + \frac{\rho X S_0}{S_0 + K_m} + S_t q \right)$$

$$\text{ПРИПЛИВ} - \frac{dS}{d\theta}; \text{ ПЕРЕНЕСЕННЯ} - K \frac{S_0}{S_0 + \frac{1}{A}};$$

$$\text{ОКИСЛЕННЯ} - \frac{\rho X S_0}{S_0 + K_m}; \text{ ВІНОС} - S_t q$$

При рішенні балансового рівняння нами було отримано рівняння для визначення віку біоценозу:

$$K_1 = \frac{1}{K + \rho X - S_t q} \quad K_5 = \left(\frac{1}{A} + 0,8C \right) K_m \quad K_4 = \frac{K_m \left(0,8CK - 0,8S_t q C - S_t q \frac{1}{A} \right)}{K + \rho X - S_t q}$$

$$K_3 = \frac{K(K_m + 0,8C) - S_t q \left(\frac{1}{A} + K_m + 0,8C \right) + \rho X \left(\frac{1}{A} + 0,8C \right)}{K + \rho X - S_t q} \quad K_2 = \frac{1}{A} + K_m + 0,8C$$

при $D > 0$, $D = K_3^2 - 4K_4$

$$\theta = \frac{X}{Pr} K_1 \left[S_0 + \frac{(K_3 - K_2)}{2} \ln(S_0^2 - K_3 S_0 + K_4) + \left[(K_5 - K_4) + \frac{(K_3 - K_2) K_3}{2} \right] \left[\ln \frac{(S_0 - S_1)^{\frac{1}{S_1 - S_2}}}{(S_0 - S_2)^{\frac{1}{S_1 - S_2}}} \right] \right]$$

при $D < 0$

$$\theta = \frac{XK_1}{Pr} \left[S_0 + \frac{(K_2 - K_3)}{2} \ln(S_0^2 + K_3 S_0 + K_4) + \left[(K_5 - K_4) + \frac{(K_2 - K_3)K_3}{2} \right] \frac{2}{\sqrt{K_3^2 - 4K_4}} \arctan \frac{K_3 + 2S_0}{\sqrt{K_3^2 - 4K_4}} \right],$$

де θ - вік біоценозу, добу; Pr - приріст активного мулу, мг/л; X - концентрація біоценозу, мг/л; K - максимальна швидкість сорбції, мг/л добу; $1/A$ - коефіцієнт сорбції, мг/л; ρ - максимальна швидкість окислення субстрату біоценозом, мг/л добу; K_m - коефіцієнт Міхаєліса, мг/л; S_t - кінцева концентрація мікроорганізмів, мг/л; q - навантаження, мг/мг добу.

Для розрахунку об'єму аеротенка необхідно розрахувати:

$$t_{aep} = \theta \frac{PP}{X};$$

$$W = Qt_{aep},$$

де W - об'єм аеротенка, м³; Q - витрата стічних вод, м³/доб; t_{aep} - час аерації, діб.

Ми порівняли графік побудований за даними рівняння (1), експериментальними даними та за даними рівняння В.А. Вавіліна [6] (див. рис. 2). Ми отримали малу розбіжність цих графіків, тому можна зробити висновок, що рівняння (1) придатне до використання у розрахунках.

Формула Вавіліна В.А. має вигляд

$$\theta = \frac{B_{v0}T}{Y(L_0 - L_e)},$$

де B_{v0} - концентрація біоценозу, мг/мг; T - час аерації; Y - економічний коефіцієнт; L_0, L_e - початкова та кінцева концентрація мікроорганізмів, мг/л.

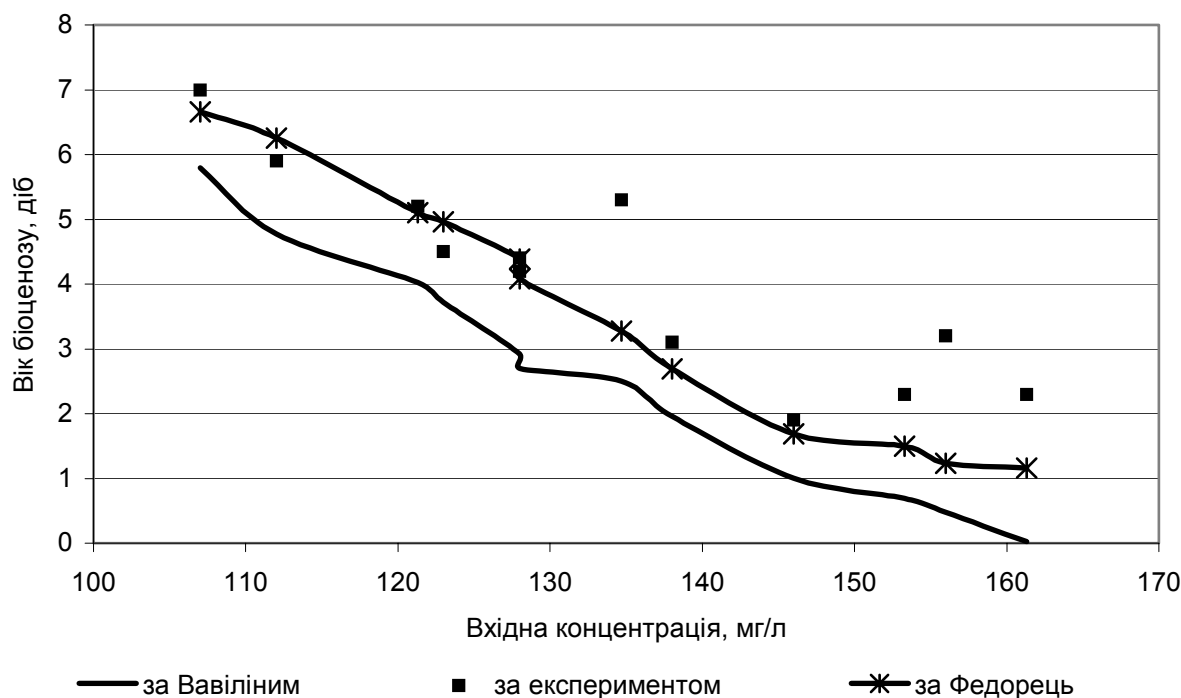


Рис. 2. Залежність віку біоценозу від вхідної концентрації

Висновки

Згідно з літературними даними та власними дослідженнями виявлений вплив віку біоценозу на глибину очищення стічних вод, а також нітро-денітрифікацію.

Розроблений схема розрахунку, об'єму аеротенка з урахуванням віку біоценозу.

Результати попереднього дослідження показали схожимість з експериментальними даними, а також підвищення ефективності очищення стічних вод і зменшення капіталовкладень та енергоємності.

Була проведена апробація даної методики на восьми існуючих об'єктах.

Література

1. *Eckenfelder, W. W., Jr., Ford, D. L.* Water Pollution control. – Tex. Austing: Pemberton Press, 1970.
2. *McKinney, R. E.* Mathematics of Complete Mixing Activated Sludge. – J. Sanit. Eng. Div. ASCE. - Vol. 88. - No. Sa3. - Proc. Paper 3133. - May 78. - PP.87-113.
3. *Lawrence A. W. Mc Carty P. L.* Unified basis of biological treatment design and operation – J. Sanit. Eng. Div. ASCE, 1970. - 96. - № 3.
4. *Бертокс П., Радд Д.* Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. – М.: Мир, 1980. – 604с.
5. *Таварткіладзе І. М., Федорець М. В., Чибіряков В. К.* Розрахунок балансового рівняння для визначення віку біоценозу// Науково-практичні проблеми моделювання та прогнозування надзвичайних положень. – К., 2002. – №5.
6. *Вавилин В. А.* Время оборота биомассы и деструкция органического вещества в системах биологической очистки (АН СССР институт водных проблем.). – М.: Наука, 1986.