УДК 628.3

О.А. Василенко, к.т.н., проф., О.В. Поліщук, к.т.н.
Київський національний університет будівництва та архітектури

МЕТОДИКА ІНЖЕНЕРНОГО РОЗРАХУНКУ ДЕНІТРИФІКАТОРА ТЕХНОЛОГІЇ НІТРИ-ДЕНІТРИФІКАЦІЇ

Розроблена методика інженерного розрахунку денітрифікатора, яка дає можливість визначати тривалість очищення в аноксидній зоні коридорного аеротенк (а отже, і її конструктивні розміри), ефективність зниження БСК$_5$ та нітратного азоту. Наведені числові значення основних коефіцієнтів та параметрів, що входять до розрахункових залежностей.

Ключові слова: *біологічне очищення стічних вод, сполуки азоту, процес нітри-денітрифікації, математична модель денітрифікації, денітрифікатор.*

Разработана методика инженерного расчета денитрификатора, которая дает возможность определять продолжительность очистки в аноксидной зоне коридорного аэротенка (а следовательно, и её конструктивные размеры), эффективность снижения БПК$_5$ и нитратного азота. Приведены численные значения основных коэффициентов и параметров, которые входят в расчетные зависимости.

Ключевые слова: *биологическая очистка сточных вод, соединения азота, процесс нитри-денитрификации, математическая модель денитрификации, денитрификатор.*

The procedure of engineering calculation of denitrification tank is developed. It procedure enables to define duration a peelings in anoxic zone of corridor aeration tank, efficiency of the reduction BOD$_5$ and nitrate nitrogen. In article are given values main factors and parameters of accounting dependencies.

Key words: *biological treatment of waster water, connections of nitrogen, process of nitri-denitrification, mathematical model, denitrification tank.*

Постановка проблеми. Стічні води міст є найбільш масовими джерелами азот- і фосфорвмісних компонентів, які при надходженні у значній кількості у водні об’єкти викликають їх евтрофікацію. Міські станції аерації, котрі були запроектовані кілька десятиріч тому й повністю відповідали природоохоронним вимогам того часу, сьогодні практично не забезпечують виконання встановлених нормативів за рядом показників забруднень, у тому числі й за з’єднаннями азоту та фосфору.

Аналіз останніх досліджень. На діючих міських очисних спорудах розв’язання вказаної проблеми можливе за рахунок реалізації в аеротенках процесів нітрифікації, денітрифікації та дефосфотування [1 – 8]. Нітрифікація полягає в окисненні амонійного азоту до нітратів. Денітрифікація – у відновленні отриманих нітратів до молекулярного азоту, який видаляється в атмосферу. Дефосфотування – у поглинанні певною групою мікроорганізмів більшої кількості фосфору, ніж це необхідно для їх росту. Процес нітрифікації відбувається в аеробних умовах, денітрифікації – в аноксидних умовах (створюються за відсутності розчиненого кисню та наявності нітритів і нітратів), дефосфотування – при комбінуванні анаеробних та аеробних (чи аноксидних) умов.

Виділення не розв’язаних раніше частин загальної проблеми. На сьогодні в нормативній літературі відсутня прийнятна методика інженерного розрахунку аноксидних зон технології нітри-денітрифікації.

Формулювання цілей статті. Мета даної роботи полягає у створенні на базі теоретичних та експериментальних досліджень методики інженерного розрахунку денітрифікаторів.

Виклад основного матеріалу. Подані нижче рекомендації для розрахунку розроблені для аноксидних зон технологій біологічного видалення азоту зі стічних вод у коридорних аеротенках. Рекомендації базуються на низці факторів і передумов, основні з яких наведені нижче.

1. Процес денітрифікації реалізується в денітрифікаторі, що працює у режимі змішування, тобто в споруді відбувається ретельне перемішування, тому можна вважати концентрації субстрату в ємності однорідними і рівними на виході. Перемішування мулової суміші в реакторі досягається застосуванням систем перемішування за відсутності подачі повітря.

2. В умовах очищення міських стічних вод, тобто в умовах обмежених концентрацій забруднень за БСК$_5$ та азоту, кінетика росту денітрифікуючих мікроорганізмів описується рівнянням

$$\mu_2 = \mu_{\max} \cdot \left(\frac{N_2}{K_{N2} + N_2} \right) \cdot \left(\frac{L}{K_{L_N} + L} \right) \cdot K_0, \qquad (1)$$

де μ_2 – швидкість росту денітрифікуючих мікроорганізмів, год$^{-1}$; $\mu_{\max}$ – максимальна швидкість росту денітрифікуючих мікроорганізмів, год$^{-1}$; N_2 – концентрація нітратного азоту на виході з денітрифікатора, мг/л; K_{N_2} – константа напівнасичення за нітратним азотом, мг/л; L – концентрація забруднень за БСК$_5$ на виході з денітрифікатора, мг/л; K_{L_N} – константа напівнасичення за готовим біорозкладальним субстратом (БСК$_5$), мг/л; K_0 – загальний коефіцієнт, що враховує вплив кисню та фосфору на процес денітрифікації.

3. Концентрація розчиненого кисню в денітрифікаторі не повинна перевищувати 0,5 мг/л.

Розрахунок параметрів денітрифікації полягає у визначенні при відомій тривалості перебування стічних вод у денітрифікаторі $t_{ä}$ концентрації нітратного азоту N_2 на виході з реактора ($N_2 = f(t_{ä})$) або у визначенні необхідного часу $t_{ä}$ при заданому N_2 ($t_{ä} = f(N_2)$). Для оцінювання величини концентрації БСК$_5$ на вході у наступну аеробну зону необхідно знати ступінь зниження забруднень за БСК$_5$ в аноксидній зоні, тобто концентрацію БСК$_5$ (L) на виході з денітрифікатора.

Однією з основних технологічних характеристик, що визначає рівень і якість очищення стічних вод у денітрифікаторі, є визначення вмісту нітратного азоту в стічних водах на виході з денітрифікатора. У процесі денітрифікації відбувається також зниження забруднень за БСК$_5$. При реалізації математичної моделі процесу денітрифікації [9] для визначення концентрації нітратного азоту та БСК$_5$ на виході з денітрифікатора в часі отримані такі залежності:

$$N_2 = \left(-2 \cdot \sqrt{D} \cdot \cos\left(u + \frac{2\pi}{3} \right) - \frac{A}{3} \right) \cdot N_{20}; \qquad (2)$$

$$L = \left(1 + \lambda \cdot \left(\left(-2 \cdot \sqrt{D} \cdot \cos\left(u + \frac{2\pi}{3} \right) - \frac{A}{3} \right) - 1 \right) \right) \cdot L_0, \qquad (3)$$

де $D=\frac{A^2-3B}{9}$; $A=\frac{\frac{\overline{T}}{1+\overline{T}}\cdot\left(\frac{1}{\lambda}-2-\frac{1}{\eta}\right)-\alpha\cdot\delta+2\cdot\delta-\delta\cdot\frac{\beta+1}{\lambda}}{\frac{\overline{T}}{1+\overline{T}}-\delta}$; $R=\frac{2A^3-9AB+27C}{54}$;

$u=\frac{1}{3}\cdot\arccos\left(\frac{R}{\sqrt{D^3}}\right)$; $C=\frac{\alpha\cdot\left(\frac{\beta+1}{\lambda}-1\right)\cdot\delta}{\frac{\overline{T}}{1+\overline{T}}-\delta}$; $\overline{N}=\frac{N_2}{N_{20}}$; $\overline{L}=\frac{L}{L_0}$

$B=\frac{\alpha\cdot\delta-\left(\frac{1}{\lambda}-1\right)\cdot\left(1+\frac{1}{\eta}\right)\cdot\frac{\overline{T}}{1+\overline{T}}+\delta\cdot(\alpha-1)\cdot\left(1-\frac{\beta+1}{\lambda}\right)}{\frac{\overline{T}}{1+\overline{T}}-\delta}$; $\overline{X}=\frac{X_{N_2}}{X_{N_{20}}}$; $\overline{T}=b_2\cdot t_{ä}$;

$\alpha=\frac{K_{N_2}}{N_{2_0}}$; $\beta=\frac{K_{L_N}}{L_0}$; $\eta=\frac{N_{2_0}}{z\cdot X_{N_{20}}}$; $\delta=\frac{b_2}{\mu_{\max}\cdot K_0}$; $\lambda=\frac{N_{2_0}}{Y_H\cdot L_0\cdot z}$; $z=\frac{1-Y_H}{2{,}86\cdot Y_{\acute{I}}}$; N_{2_0} – концентрація нітратного азоту на вході в денітрифікатор, мг/л; L_0 – концентрація забруднень за БСК$_5$ на вході в денітрифікатор, мг/л; $X_{N_{20}}$ – концентрація денітрифікуючих мікроорганізмів на вході у денітрифікатор, г/л; X_{N_2} – концентрація денітрифікуючих мікроорганізмів на виході з денітрифікатора, г/л; b_2 – швидкість відмирання денітрифікуючих мікроорганізмів, год$^{-1}$; Y_H – економічний коефіцієнт виходу гетеротрофної біомаси, мг$_{гетеротрофів}$/мг$_{субстр}$.

При реалізації математичної моделі процесу денітрифікації [9] для визначення необхідного часу перебування стічних вод у денітрифікаторі при заданій концентрації N_2 отримано таку залежність:

$$t_{\partial}=\frac{\delta\cdot\eta\cdot\left(1-\overline{N}\right)}{\left(\left(\left(1+\eta\cdot\left(1-\overline{N}\right)\right)\cdot\left(\frac{\overline{N}}{\alpha+\overline{N}}\right)\cdot\left(\frac{1+\lambda\cdot\left(\overline{N}-1\right)}{\beta+1+\lambda\cdot\left(\overline{N}-1\right)}\right)\right)-\delta\cdot\eta\cdot\left(1-\overline{N}\right)\right)\cdot b_2}, \quad (4)$$

де $\overline{N}=-2\cdot\sqrt{D}\cdot\cos\left(u+\frac{2\pi}{3}\right)-\frac{A}{3}$.

При розрахунку $t_{ä}$ концентрацію нітратного азоту на вході в денітрифікатор N_{20} слід приймати рівною концентрації амонійного азоту у вхідних стічних водах $\tilde{N}^{en}_{N-NH_4}$.

Для проведення розрахунків за запропонованими залежностями (формули (2), (3), (4)) необхідно мати числові значення коефіцієнтів та окремих параметрів, які входять у розрахункові формули й рівняння. Проведений аналіз літературних джерел [9, 10] та перевірка числових значень коефіцієнтів і параметрів із залученням експерименту [11] показали, що при очищенні міських (господарсько-побутових) стічних вод від сполук азоту слід приймати: $\mu_{\max}$=1,5...3,5 діб$^{-1}$ (0,063...0,146 год$^{-1}$); b = 0,62 діб$^{-1}$ (0,026 год$^{-1}$); Y_H = 0,5...0,67; K_0 = 0,4...0,6; K_{N2} = 0,5...0,77 мг/л; K_{LN} = 10...20 мг/л; X_{N20}=0,33a_3.

Висновки. На основі здійснених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено методику інженерного розрахунку денітрифікатора, яка дає можливість визначати його основні технологічні параметри.

Література

1. Wastewater treatment. Biological and chemical processes / M. Henze, P. Harremoës, Ia Cour Jansen, E. Arvin. – New York: Springer, 2002. – 430 p.

2. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод: навчальний посібник / В.А.Ковальчук. – Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 616 с.

3. Биологическая очистка производственных сточных вод: процессы, аппараты и сооружения /[С.В. Яковлев, Н.В. Скирдов, В.Н. Швецов и др.]. – М.: Стройиздат, 1985. – 208 с.

4. Лукиных Н.А. Методы доочистки сточных вод. /Н.А. Лукиных, Б.Л. Липман, В.П. Криштул. – М.: Стройиздат, 1978. – 156 с.

5. Мишуков Б.Г. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации / Б.Г. Мишуков, Е.А. Соловьёва. // Приложение к журналу «Вода и экология». – С.-П.: СПбГАСУ, 2004. – 73 с.

6. Яковлев С.В. Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов / С.В. Яковлев, Ю.В. Воронов. – М.: АСВ, 2002. – 704 с.

7. Siegrist H. Nitrigen removal in activated sludge systems including denitrification in secondary clarifiers / H. Siegrist, W. Guier // Wat. Sci.Tech. – 1994. – Vol. 30, № 6. – P. 9 – 16.

8. R-D-N activated Sludge Process / M. Kos, J. Wanner, L. Sorm, P. Grau // Wat. Sci. Tech. – 1992. – Vol. 25, № 4 – 5. – P. 151 – 160.

9. Олійник О.Я. Математичне моделювання процесу денітрифікації у спорудах по типу коридорних аеротенків / О.Я. Олійник, О.В. Поліщук, Ю.І. Калугін // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – К.: КНУБА, 2007. – Вип.8. – С. 67 – 78.

10. Василенко О.А. Теоретичні передумови до створення математичної моделі технології денітрифікації / О.А. Василенко, О.В. Поліщук // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. Вип.19. – Одеса: ОДАБА, 2005. – С. 170 – 175.

11. Поліщук О.В. Апробація розрахункових залежностей процесу денітрифікації у промислових умовах / О.В. Поліщук // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДТУБА. ХОТВ АБУ, 2007. – Вип. 41. – С. 230 – 233.

Надійшла до редакції 10.11. 2009

© О.А. Василенко, О.В. Поліщук