

Використання метода фільтраційних опорів дозволяє розглянути при наступній реалізації складні просторові фільтраційні потоки шляхом зведення їх до більш простих планових і навіть одномірних потоків.

1. Олейник А.Я. Расчет дополнительных фильтрационных сопротивлений горизонтальных дрена, несовершенных дрена и несовершенных скважин в двухслойном пласте // Труды координац. совещаний по гидротехнике. – Л.: «Энергия». – Вып. 35. – 1986. – С.87-98.

2. Олейник А.Я. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа – К.: Наукова думка. – 1978. – 202 с.

3. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. – К.: Наукова думка. – 1981. – 283 с.

4. Олейник А.Я., Поляков В.Л. Дренаж переувлажненных земель. – К.: Наукова думка. – 1987. – 280 с.

5. Олейник Е.А. Численный расчет пространственной задачи фильтрации к лучевому дренажу // Сб. научн. трудов «Гидромеханика». – К.: НИИ «Гидромеханики». – Вып. 60. – 1989. – С. 45-49.

Отримано 24.12.2012

УДК 628.3

О.О.ГРИЦИНА, канд. техн. наук

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ АЕРОТЕНКІВ-ВИТИСНЮВАЧІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ ПРОЦЕСУ ОКИСЛЕННЯ АМОНІЙНОГО АЗОТУ

Наведена методика розрахунку аеротенків, яка враховує вплив концентрації розчиненого кисню, амонійного азоту, автотрофних мікроорганізмів на процес окислення амонійного азоту.

Приведена методика расчета аэротенков, учитывающая влияние концентрации растворенного кислорода, аммонийного азота, автотрофных микроорганизмов на процесс окисления аммонийного азота.

The method of aerotank computation which consider influence of dissolved oxygen, ammonia nitrogen, autotrophic microorganisms on the oxidation process of ammonia nitrogen is described.

Ключові слова: стічні води, сполуки азоту, аеротенк.

Антропогенне навантаження на водні об'єкти підвищується через збільшення скидів неочищених та недостатньо очищених стічних вод, неефективну роботу очисних споруд міст і промислових підприємств. Згідно Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища [1], у поверхневі водні об'єкти України було скинуто забруднюючих речовин в кількості: нітратів 69 тис. тонн/рік, нітритів 12 тис. тонн/рік, амонійного азоту 12 тис. тонн/рік.

Основними джерелами надходження сполук азоту у водойми є господарсько-побутові, виробничі, дощові, талі, поливально-мийні

стічні води та скидні води, які містять продукти життєдіяльності людини, миючі засоби, сполуки азоту.

На даний час фактична завантаженість каналізаційних очисних споруд по регіонах коливається від 28 до 92%, в середньому по Україні цей показник становить близько 50% [2]. Проте, не зважаючи на певний запас потужностей, існуючі очисні споруди не забезпечують необхідного ефекту очищення стічних вод від сполук азоту. Так при середній концентрації загального азоту в неочищеній стічній воді 30 мг/дм³, ефективність очищення складає в середньому по Україні 77% [2]. Таким чином залишкові концентрації амонійного азоту відповідно становлять 5-7 мг/дм³, що в 10-15 разів перевищує гранично-допустимі концентрації щодо скиду води у водойми рибо-господарського призначення.

Ця ситуація послужила поштовхом для інтенсифікації існуючих методів очистки, та розробки нових технологій й споруд для глибокого вилучення азот- та фосфоровмісних сполук з міських та промислових стічних вод біологічним шляхом, як найбільш ефективним, економічним та екологічно безпечним.

На сьогоднішній день існує декілька підходів для розрахунку об'ємів аеротенків при біологічній очистці з врахуванням процесів нітрифікації. Відповідно до першого з них, розвинутого в країнах колишнього Радянського Союзу [3], об'єми аеротенків визначаються на основі питомої швидкості окиснення забруднень активним мулом та часу аерації. Приріст активного мулу, в цьому підході, не залежить від режиму роботи споруд біологічної очистки (температури, віку активного мулу, концентрації розчиненого кисню). В Україні в основі розрахунку параметрів очисних споруд за нормативними документами (СНиП 2.04.03-85. „Канализация. Наружные сети и сооружения” [3]) закладено кінетику й ефективність видалення лише сполук органічного вуглецю (ХПК, БПК).

В технічній літературі [4] наведено розроблену методику розрахунку аеротенків-змішувачів з врахуванням процесу нітрифікації амонійного азоту. Цією методикою передбачається, що процеси окиснення органічних речовин та амонійного азоту відбуваються одночасно, а їх ефективність буде залежати від концентрації в змішаному мулі гетеротрофних і автотрофних мікроорганізмів.

Розрахунок споруд, в яких здійснюється нітрифікація (аеротенки – змішувачі), рекомендується виконувати з врахуванням концентрації нітрифікуючого-автотрофного активного мулу.

Наведена методика має ряд недоліків, зокрема: дозволяє розрахувати лише аеротенки-змішувачі; не дозволяє розрахувати діючі споруди з

метою їх реконструкції, що є характерним для очисних споруд України; розрахунок концентрації нітрифікуючих мікроорганізмів не враховує вплив температури і, як стверджують самі автори, розрахунок ведеться орієнтовно; в результаті розрахунків необхідна висока концентрація активного мулу.

На сьогодні українськими і російськими вченими ведуться дослідження, направлені на модернізацію методів розрахунків, закладених в СНиП 2.04.03-85. Ці дослідження дають можливість визначити параметри нових і реконструюємих очисних споруд для забезпечення глибокого видалення сполук азоту і фосфору [5, 6].

Другий підхід, який застосовується в більшості європейських країн при розрахунку споруд біологічної очистки, передбачає, що головним параметром є вік мулу, який забезпечує ефективне протікання процесів очистки стічних вод. Об'єм аеротенків визначається по приросту активного мулу шляхом його множення на витрату і вік мулу і розділенням на робочу концентрацію мулу в аеротенку.

В США для розрахунку аеротенків найбільший розвиток отримала методика розрахунку аеротенків, розроблена агенством по екологічній безпеці EPA [7]. В країнах Західної Європи для розрахунку об'ємів споруд найбільше поширення отримала методика розрахунку аеротенків для видалення біогенних елементів, розроблена Німецькою водною асоціацією DWA [8].

Найбільш поширеною і загальноприйнятою методикою в Європі вважається німецький стандарт ATV-DVWK-A 131E [8]. В основу розрахунку аеротенків закладено визначення мінімального аеробного віку активного мулу, необхідного для зберігання в ньому нітрифікуючих бактерій.

Наведена методика має ряд недоліків, зокрема: при розрахунках не враховується необхідний ступінь очищення стічних вод від сполук азоту, концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, зміна співвідношення між концентраціями окремих груп мікроорганізмів при зміні початкових концентрацій забруднень, віку мулу; вік активного мулу на очисних спорудах каналізації складає не менше 10 діб, що перевищує значення, розраховані за формулами [9]; не дозволяє розраховувати діючі споруди з метою їх реконструкції в умовах постійної зміни витрати та складу стічних вод України.

Методики розрахунку [10], яка враховує процеси нітрифікації амонійного азоту в аеротенках-витиснювачах під час біологічної очистки стічних вод від органічних речовин не враховує важливий показник – концентрацію розчиненого кисню в муловій суміші.

Для експлуатації і модернізації існуючих очисних споруд, для про-

ектування нових комплексів з очистки міських та промислових стічних вод вкрай необхідні рекомендації до проектування глибокого видалення сполук азоту в аеротенках-витиснювачах, що зумовлює актуальність теми.

Таким чином, період аерації в аеротенках-витиснювачах визначається з диференційного рівняння швидкості окиснення амонійного азоту в споруді:

$$\frac{dC_N}{dt} = \rho_{max}^N \cdot (1-s) \cdot K_p \cdot K_T \cdot K_{pH} \cdot \frac{C_N}{C_N + K_N} \cdot \frac{C_O}{C_O + K_O} X_A \quad (1)$$

Після інтегрування цього рівняння в межах C_N : C_{No} - C_{Ne} - концентрація амонійного азоту на вході та на виході з споруди, мг/дм³; C_O : C_{Oo} ($C_{Oo}=0$) - C_{Oe} - концентрація розчиненого кисню на вході та на виході зі споруди, мг/дм³; T : T_0 та T_a^N ($T_0=0$), тривалість аерації стічних вод в аеротенках-витиснювачах, при якій забезпечується кінцева концентрація амонійного азоту, буде визначатися за формулою:

$$T_a^N = \frac{1}{\rho_{max}^N \cdot (1-s) \cdot K_T \cdot \hat{E}_{df} \cdot X_A} \left[(C_O + K_O) \cdot (C_{No} - C_{Ne}) + K_N \cdot C_O \cdot \ln \frac{C_{No}}{C_{Ne}} \right] \cdot K_p \quad (2)$$

де ρ_{max}^N - максимальна швидкість окиснення амонійного азоту, мг/(г·год), s - зольність активного мулу; X_A - концентрація автотрофних мікроорганізмів в активному мулі, г/дм³; C_{No} , C_{Ne} - концентрація амонійного азоту в очищеній та неочищеній воді відповідно, мг/дм³; K_N - константа напівнасичення для автотрофної біомаси, мг N/дм³; C_O - концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, мг/дм³; K_p - коефіцієнт, що враховує повздовжнє перемішування мулової суміші [3]; K_T - коефіцієнт, що враховує вплив температури; K_{pH} - коефіцієнт, який враховує рН стічної води.

Метою досліджень було на основі даних технологічного контролю роботи аеротенків-витиснювачів, на діючих очисних спорудах, в умовах глибокого окиснення амонійного азоту визначити максимальну швидкість процесу окиснення амонійного азоту, константу, що враховує вплив кисню.

Для визначення коефіцієнтів були взяті фактичні дані лабораторно-го та технологічного контролю роботи каналізаційних очисних споруд ПАТ «Рівнеазот» за лютий, березень 2010 р: ХПК неочищених і очищених стічних вод; концентрація амонійного азоту неочищених і очищених стічних вод; концентрація завислих речовин очищених і неочищених стічних вод; добова витрата стічних вод; коефіцієнт рециркуляції актив-

ного мулу (таблиця).

Таблиця – Дані лабораторного та технологічного контролю роботи каналізаційних очисних споруд ПАТ «Рівнеазот»

№ п/п	Витрата, м ³ /добу	рН	Показники вхідної рідини, мг/дм ³			Показники очищеної рідини, мг/дм ³			Концентрація кисню, мг/дм ³
			NH ₄ ⁺	ХПК	Зав.реч.	NH ₄ ⁺	ХПК	Зав.реч.	
1	17500	7,68	19,1	207,5	219,6	0,12	53,9	14,8	6,93
2	26300	7,7	12,7	193,5	224	0,15	45,9	12,2	5,85
3	27900	7,66	14,4	165,6	205,8	0,13	47,7	12,8	5,35
4	23400	7,65	15,7	191,5	221	0,14	49,8	14,4	5,53
5	21300	7,68	16,5	195,5	201,4	0,22	45,9	14,8	5,53
6	31200	7,5	16,9	207,5	219,8	0,5	53,8	15,4	4,88
7	19300	7,53	18,8	219,2	199,6	0,25	48	13,7	4,13
8	27000	7,78	19,9	192	202,1	0,44	53	11,8	4,1
9	22300	7,68	22,5	187,5	198,7	0,1	57,8	15,5	5,28
10	25200	7,63	20,2	199,7	209,1	0,34	63,9	14,3	7,38
11	29600	7,56	23,7	222	193,2	0,35	46	14,6	6,63
12	36700	7,6	21,9	170	219,3	0,27	61	11	5,25
13	22900	7,83	22	210	203,7	0,87	61	12,9	4,2
14	30300	7,89	26,5	204	215	0,22	49	12,2	4,74
15	24200	7,79	25,4	214	183,7	0,43	55	14,8	5,34
16	24900	7,85	26,3	182	207,5	0,22	52	14,6	4,5
17	26600	7,8	27,2	214	234,9	0,34	56	14,4	6,28
18	20600	7,77	27,7	204	190	0,5	54	14,6	4,4
19	31000	7,92	28,7	210	200,2	0,98	55	15	5,6
20	29900	7,77	25,3	220	230,7	0,5	65	14,3	4,68
21	25500	7,7	26,3	206	227	0,11	67	12,7	5,35
22	29200	7,66	24,3	228	194,6	0,55	55	14,5	4,28
23	26100	7,62	24,3	280	239	0,66	62	14,7	4,53
24	18800	7,76	22,7	258	235	0,23	72	14,9	5,03
25	23400	7,68	21,8	203	242	0,21	45	13,4	5,48
26	25700	7,66	22,3	214	230	0,23	57	14,9	5,13
27	30000	7,87	22,4	206	221,2	0,04	58	14,1	5,05
28	25300	7,68	22,6	182	221	0,25	49	11,6	5,93
29	30400	7,67	26,5	168	226,5	0,44	45	14	4,68

Технологічні параметри існуючих аеротенків-витиснювачів ПАТ «Рівнеазот»: 3 секції – 3100 м³ (довжина секції – 76,5 м, ширина секції – 9 м, робоча глибина – 4,5 м, ширина коридорів – 4,5 м, кількість коридорів – 2 од., кількість секцій – 3 од., місткість аеротенку – 9300м³); 6 секцій – 3800 м³ (довжина секції – 72 м, ширина секції – 12 м, робоча глибина – 4,4 м, ширина коридорів – 6 м, кількість коридорів – 2 од., кількість секцій – 6 од., місткість аеротенку – 22369 м³).

Оскільки оптимальні значення рН для бактерій роду *Nitrosomonas* складає 7,9-8,2, а для бактерій роду *Nitrobacter* – 7,2-7,6, а стічні води перед аеротенками мають близькі значення рН, то при визначенні констант моделі (5) $K_{pH} = 1,0$. Значення K_N для розрахунків було прийняте 0,5. Визначення концентрації автотрофних мікроорганізмів X_A виконувалось відповідно до формули (8) [10].

При визначенні констант ρ_{max}^N і K_O всі результати були поділені на групи j за вхідною концентрацією амонійного азоту з кроком 10 мг/дм³.

В межах кожної групи, знаючи час аерації стічних вод, було визначене середнє значення максимальної швидкості окиснення амонійного азоту:

$$\bar{\rho}_{max}^N = \frac{1}{t_a^N \cdot (1-s) \cdot X_A} \left[(C_O + K_O) \cdot (C_{No} - C_{Ne}) + K_N \cdot C_O \cdot \ln \frac{C_{No}}{C_{Ne}} \right] \cdot K_p \cdot (3)$$

а також середнє значення $\bar{\rho}_{max}^N$ для всіх груп даних.

Визначення коефіцієнта K_O виконувалось шляхом зміни його величини від 0,5 до 1,5, де за параметр було виконання умови: розрахункове значення критерію Фішера менше за стандарте.

За результатами розрахунків, були отримані значення: $\rho_{max}^N = 39,8$ мг/(г_A·год), $K_O = 1,05$ мг О₂/дм³.

Адекватність рівняння (5) з врахуванням прийнятих і отриманих розрахунком констант перевірялася за допомогою критерію Фішера [11]. Шляхом порівняння дисперсії експериментальних даних відносно розрахункових у порівнянні з дисперсією відносно середніх значень:

$$F_y = \frac{\bar{S}_{зал}^2}{\bar{S}_y^2}, \quad (4)$$

де \bar{S}_y^2 – загальна дисперсія; $\bar{S}_{зал}^2$ – залишкова дисперсія.

За результатами розрахунків, модель адекватно описує результати експериментів при 95% довірчій ймовірності.

Таким чином, удосконалено методику розрахунку аеротенків-витиснювачів, яка враховує вплив концентрації розчиненого кисню, ав-

тотрофних мікроорганізмів, амонійного азоту на процес окислення амонійного азоту.

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2006 році. – Київ, 2007. – 349 с.

2. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2007 році. – Київ, 2008. – 302 с.

3. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 72 с.

4. Проектирование сооружений для очистки сточных вод (справочное пособие к СНиП). М.: Стройиздат, 1990. – 192 с.

5. Тетеря А.И. Моделирование процессов удаления азота из сточных вод на малогабаритных установках биологической очистки воды / А.И. Тетеря, А. Я. Олейник // Прикладна гідромеханіка. Т.3 (75). – К.: Видавництво Інституту гідромеханіки НАН України. – 2001. – С. 59-65.

6. Олійник О.Я. Моделивання процесів очистки малих об'ємів стічних вод від органічних речовин / О.Я. Олійник, О.І. Тетеря // Тези доповідей 62-ї наук.-практ. конференції КНУБА. – К., 2001. – С. 33-34.

7. Process Design Manuel for Nitrogen Control. – U.S. Environmental Protection Agency. (EPA/625/R-93/010). – Office of Research and Development. – Cincinnati, OH. – 1993. – 311 p.

8. Standard ATV-DVWK-A 131E. Dimension of Single-Stage Activated Sludge Plants. – 2000. – 57 p.

9. Мешенгиссер Ю.М. Удаление азота и фосфора активным илом / Ю.М. Мешенгиссер, А.И. Щегинин, М.А. Есин // Науковий вісник будівництва. – Х.: ХДГУБА, ХОТВАБУ. – 2006. – №74. – С. 36-45.

10. Охримюк Б.Ф. Підвищення ефективності окиснення амонійного азоту на каналізаційних очисних станціях з аеротенками / Б.Ф. Охримюк, О.О. Грицина // Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво. Збірник наукових праць. Випуск 30. Рівне. – 2005. – С. 225-232.

11. Кичигин В.И. Моделирование процессов очистки воды: Учебное пособие. / В.И. Кичигин. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 230 с.

Отримано 20.12.2012

УДК 628.16.067

А.И.ГОРОБЧЕНКО, канд. техн. наук

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЛГОРИТМА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ

Сформулирована постановка задачи управления системами обработки воды. Рассмотрена возможность использования алгоритмов адаптивного управления для оптимизации режимов работы сооружений водоподготовки.

Сформульована постановка задачі управління системами обробки води. Розглянуто можливість використання алгоритмів адаптивного управління для оптимізації режимів роботи споруд водопідготовки.

Formulate the problem of water treatment systems management. The possibility of using adaptive control algorithms for optimization of water treatment facilities.

Ключевые слова: очистка воды, алгоритм, оптимизация, режимы управления.