

ний потоку для центробежного осаження взвешених речовин. Рассчитано потенціально кавітаційне число і умови проходження процесу для можливого управління очисткою. Установлені предельні межі проходження контролюваного процесу, перспективи і обмеження в природних умовах. Виявлено кількість осаду для використання в народному господарстві при різних режимах роботи установки.

Ключевые слова: биоценоз, насос, взвешенные вещества, механическая эрозия, наносы, ложе водохранилища, годовой сток, температура, насыщенный пар, длина озера.

Nazarenko O.M., Nazarenko I.A., Kravtsov V.V., Bakhtin V.I., Kuzmenko AA, Zholudenko

M.V. SEPARATION OF MULTICOMPONENT WATER MISTS WITH DIFFUSION TURBULATION. In this research, conditions for the creation of supercritical stream flows for the centrifugal deposition of suspended substances are studied. The potential cavitation number and the conditions for passing the process for possible purification management are calculated. Limitations of passing controlled process and perspectives and restrictions in natural conditions are established. The amount of sediment for use in the national economy at different modes of operation of the installation was found.

Key words: biocenosis, pump, suspended matter, mechanical erosion, deposits, bed of the reservoir, annual runoff, temperature, saturated vapor, lake length.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-198-204
УДК 628.35

Олійник О.Я.¹, Айрапетян Т.С.²

¹ Інститут гідромеханіки НАН України
(вул. Желебова, 8/4, м. Київ, 03057, Україна; e-mail: kurganska@ukr.net,
orcid.org/0000-0002-9110-1709)

² Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
(вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна; e-mail: tamara78kh2008@rambler.ru,
orcid.org/0000-0002-8834-5622)

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ В АЕРОТЕНКАХ З ЗАКРІПЛЕНИМ БІОЦЕНОЗОМ

Для аеротенків з закріпленими та зваженим біоценозом представлені рекомендації щодо визначення параметрів та коефіцієнтів для розрахунку процесу окислення органічних забруднень з урахуванням кисневого режиму. Дані рекомендації дозволяють користуватися розробленою інженерною методикою для розрахунку аеротенків удосконаленої конструкції та визначити лімітуючі фактори.

Ключові слова: кисневий режим, аеротенк, активний мул, закріплена біомаса (біоплівка), концентрації забруднень і кисню, вихідні параметри, розрахунок, оцінка, аналіз.

Вступ. Ефективність вилучення органічних забруднень (ОЗ) в аеротенках біологічними методами можна значно підвищити, якщо поряд зі зваженим біоценозом (активним мулом) забезпечити влаштування в об'ємі аеротенка споруди додаткового завантаження (сіток, насадок і т.і.) на поверхні яких утворюється біоплівка з високою концентрацією мікроорганізмів [1, 2]. Важливим фактором є забезпечення киснем процесів окислення у вільному об'ємі та у біоплівці.

Для оцінки і аналізу кисневого режиму в аеротенках-змішувачах і аеротенках-витискувачах з врахуванням особливостей подачі і споживання кисню зваженим і закріпленим біоценозом побудовані математичні моделі, які зводяться до реалізації відповідних рівнянь матеріального балансу записаних відносно концентрацій кисню [3, 4]. В результаті реалізації цих моделей запропоновані методи розрахунку параметрів кисневого режиму для різних технологічних схем в залежності від розташування елементів завантаження в об'ємі (площі)

аеротенка, наявності чи відсутності його на окремих ділянках аеротенка [4].

В [5] представлена спрощена математична модель біологічного очищення в аеротенку-змішувачі (рис. 1) з закріпленим та зваженим біоценозом.

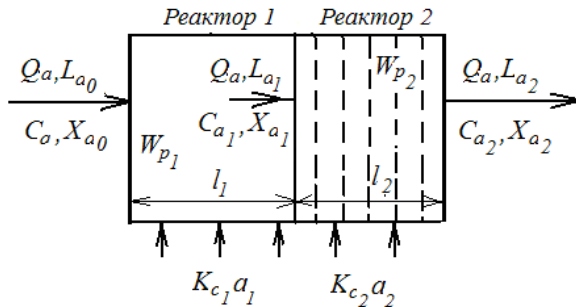


Рис. 1. Технологічна схема аеротенка-змішувача з розташованим в реакторі 2 закріпленим біоценозом

Важливим питанням, від вирішення якого залежить одержання достовірних результатів, є вибір правильних значень параметрів та коефіцієнтів в моделях і запропонованих методах розрахунку.

Мета – обґрунтувати значення необхідних вихідних параметрів та коефіцієнтів для можливості розрахунку кисневого режиму в аеротенках з закріпленим біоценозом.

Основна частина. Параметри та коефіцієнти, що входять до розрахункових моделей, залежать від ряду факторів, зокрема в даному випадку від прийнятої технологічної схеми вилучення ОЗ зваженим (активним мулом) чи закріпленим (біоплівкою) біоценозом. В реакторі 1 вилучення ОЗ відбувається за рахунок активного мулу. Тобто він працює як звичайний аеротенк-змішувач довжиною l_1 і об'ємом W_{p1} .

В цьому випадку необхідну концентрацію кисню для вилучення ОЗ в реакторі 1 (рис. 1) C_{a1} знаходимо в результаті рішення рівняння [5]

$$C_0 - C_{a1} + \alpha_{c1} K_{c1} a_1 (\beta_{p1} C_{p1} - C_{a1}) T_1 - w_{ac1} T_1 = 0, \quad T_1 = \frac{W_{p1}}{Q_a},$$

де C_{a1} - концентрація кисню на виході із реактора 1; W_{p1} - об'єми рідини в реакторі 1; $K_{c1} a_1$ - коефіцієнт масопереносу кисню.

Згідно [6] значення C_{a1} , як середня концентрація кисню в аеротенку, допускається приймати $C_{a1} = C_0 = 2 \text{ мг/дм}^3$ з подальшим уточненням техніко-економічними розрахунками. Важливим питанням при розрахунках кисневого режиму є визначення об'ємного коефіцієнта масопереносу $K_{c1} a_1$, як основного параметра постачання кисню. В практичних розрахунках в умовах рекомендованої на практиці технології пневматичної (бульбашкової) системи аерації доцільно представити визначення коефіцієнта $K_{c1} a_1$ в залежності від інтенсивності аерації I , що і зроблено в роботах [7, 8]. Зокрема в результаті проведеного аналізу одержані такі співвідношення і рекомендації [8].

$$K_{c1} a_1 = \frac{6}{d_p} \frac{I}{v_n} \quad (\text{год}^{-1}), \quad (1)$$

$$I = \frac{qH}{t} = \frac{W_n}{W_p} v_n \quad \left(\frac{\text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{год}} \right), \quad (2)$$

$$a = \frac{S_n}{W_p} = \frac{6}{d_p} \frac{I}{v_n} \quad (\text{м}^{-1}). \quad (3)$$

Позначання наведених величин і деякі рекомендації по їх визначенню наведені в роботах [6-8].

В результаті наведеного в роботі [7] прикладу розрахунку для аеротенка зі зваженим біоценозом (активним мулом) було одержано

$$K_{c1} a_1 = 0,8I. \quad (4)$$

Аналіз інших існуючих в літературі рекомендацій по визначенню коефіцієнта $K_{c1} a_1$ при очистці стічних вод від ОЗ в аеротенках наведено в роботах [8, 9]. Вплив забруднень на коефіцієнт $K_{c1} a_1$ в зоні бульбашок в моделях і розрахунках враховується поправочними коефіцієнтами α_c і β_p . В результаті проведеного аналізу в залежності від концентрації ОЗ зазначені коефіцієнти можуть змінюватись в межах $\alpha_c = 0,85 \dots 1,0$ $\beta_p = 0,9 \dots 1,0$. При невеликих вхідних концентраціях ОЗ їх вплив буде незначним і в практичних розрахунках можна приймати $\alpha_c = 1$, $\beta_p = 1$.

Методика визначення рівнозваженої концентрації C_p , яка залежить від температури і парціального тиску, наведена в роботах [6, 9].

Значення коефіцієнтів α_{a_1} , α_{a_2} , b_{ca_1} , а також складових параметрів, які входять в реакцію w_{ac_1} , наведені в спеціальній літературі, зокрема в роботах [6, 10, 11] і приймаються

$$\alpha_{1a_1} = (0,6 - 0,8) \frac{zO_2}{zXCK}$$

$$\alpha_{2a_1} = 1,42 \frac{zO_2}{zXCK}, b_{ca_1} = 0,015 \text{ год}^{-1},$$

а значення початкової концентрації $C_{0_1} = 0,5 \text{ мг/л}$.

Як уже зазначалось вище і в роботах [3, 4, 8] процеси забезпечення киснем мікроорганізмів в закріпленій біоплівці та завислих у вигляді пластівців активного мулу дещо відрізняються, що потрібно враховувати при розрахунках споживання кисню при утилізації забруднень закріпленою та завислою біомасою, зокрема, так як вилучення ОЗ біоплівкою відбувається по всій ділянці проходження реакції окислення в біоплівці. Таким чином, практично швидкість процесу окислення буде визначатись в першу чергу тим субстратом ОЗ чи киснем, який проникає в біоплівку на максимальну глибину. Проте слід зазначити, що в реакторах із закріпленою біомасою кисневий режим в цілому вивчено недостатньо і переважно при біологічній очистці стічних вод закріпленою біомасою на затоплених фільтрах. Проте при роботі цих реакторів переважно на всій стадії очистки підтримувалось і забезпечувалось високі значення концентрацій кисню в межах $C \approx 8 - 10 \text{ мг/л}$. Деякі спроби врахування кисню в зазначених умовах, які на нашу думку заслуговують увагу, наведено в роботах [6, 8].

Для можливості подальшої реалізації запропонованих методів розрахунку вилучення ОЗ закріпленим біоценозом (біоплівкою) зокрема в реакторі 2 на підставі аналізу і оцінки багатьох літературних джерел можна рекомендувати наступні значення вихідних параметрів і коефіцієнтів:

1) Параметри, які безпосередньо відносяться до прийнятих реакцій, зокрема їх класифікація і рекомендації по їх визначенню, наведені в роботах [9-13];

а) коефіцієнти масопереносу і молекулярної дифузії для ОЗ і O_2 $K_L = (0,025...0,080) \text{ м/год}$, $K_c = (0,075 ...0,20)$

м/год, $D_L = (1,25...3,0) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{год}$ або $(0,3...0,6) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{доба}$, $D_c = (4,5...12,0) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{год}$ або $D_c = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{доба}$, тобто відношення $\frac{D_L}{D_c} = 0,25 - 0,35$, а взагалі рекомендуються приймати $D_L = 0,8D_0$, де D_0 - коефіцієнт молекулярної дифузії в чистій воді.

б) Деякі інші кінетичні параметри реакцій $\mu_m = (0,05...0,15) \text{ год}^{-1}$ або $(2...5) \text{ доба}^{-1}$, $K_{mL} = 5...20 \frac{\text{мг}XCK}{\text{л}}$, $X = 5...20 \frac{\text{г}XCK}{\text{л}}$ (часто рекомендують 10 г/л), $Y = (0,45...0,65) \frac{XCK(B)}{XCK(S)}$, $b = 0,4...0,7 \text{ доба}^{-1}$.

2) В результаті проведеного аналізу теоретичних досліджень і дослідів в літературі для визначення стехіометричних коефіцієнтів пропонуються такі наближені значення

$$\alpha_1 = 0,6 \frac{zO_2}{zXCK} [7, 12], \alpha_1 = (0,7...0,8) \frac{zO_2}{zXCK}$$

$$[14], \alpha_1 = \frac{1}{\alpha_3}, \alpha_3 = (1,4...2,0) \frac{zXCK}{zO_2} [10],$$

$$\alpha_3 = (0,8...1,2) \frac{zBCK}{zO_2} [10],$$

$$\alpha_2 = 1,42 \frac{zO_2}{zXCK} [12, 14].$$

В роботі [10] наведені також такі рекомендації

$$\rho_{mL} = (50...500) \frac{\text{кг}XCK}{\mu^3 \text{ доба}},$$

$$\rho_{mL} = (25...250) \frac{\text{кг}BCK_5}{\mu^3 \text{ доба}},$$

$$\rho_{o_2} = (20...200) \frac{\text{кг}XCK^2}{\mu^3 \text{ доба}},$$

$$\text{нагадаємо } \rho_{mL} = \frac{\mu_{mL} X}{Y}, \quad \rho_{O_2} = \alpha_1 \rho_{mL}.$$

3) Важливим параметром є визначення загальної площі поверхні біоплівки. В літературі наведені деякі рекомендації по визначенню питомої поверхні $F_{\delta n} = \frac{F_{\delta c} \text{ м}^2}{W \text{ м}^3}$, де $F_{\delta c}$ - загальна площа поверхні біоплівки (завантаження) в аеротенку (реакторі) об'ємом W , де встановлено завантаження з біоплівкою на довжині l . Згідно існуючим рекомендаціям для породи розміром блоків 40-80 мм $F_{\delta n} = 50...100 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$, для затоплених пластмасових плит $F_{\delta n} = 300...400 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$ [11, 14]. Для визначення $F_{\delta n}$ завантаження із сіток з різного матеріалу деякі рекомендації наведені в роботах [15, 16].

Проте площу загальної поверхні $F_{\delta c}$ неважно розрахувати аналітично з врахуванням кількості пластин чи сіток (секцій), встановлених на ділянці аеротенка (реактора) довжиною l . Так зокрема в роботі [15] проведено приклад розрахунку загальної площі завантаження із сіток $F_{\delta c}$ в реакторі.

- 4) В аеротенках (реакторах) з закріпленою біомасою на пластинах чи сітках товщину активної біоплівки при вилученні ОЗ рекомендується приймати $\delta = 50 \dots 200 \text{ мкм} = (0,5 \dots 2) \cdot 10^{-4} \text{ м}$ [2, 3, 9, 16]. В нормах [6] для пластика рекомендується $60 \dots 250 \text{ мкм}$. Проте відомі деякі рекомендації (залежності) по визначенню товщини біоплівки δ , які враховують процеси її зростання (відомі потоки N_L і N_C), параметри розпаду і відриву. Особливо це доцільно робити при тривалих режимах роботи реактора, коли формуються значні (стаціонарні) товщини біоплівки. Методи і приклади розрахунку товщин біоплівки δ в цьому випадку наведені в роботах [10-13, 17].

Важливим питанням при виконанні розрахунків всі вихідні параметри і коефіцієнти необхідно приймати в одних одиницях. Згідно ДБН [6] приймається концентрація гетеротрофної біомаси X в одиницях $\frac{\text{гБВБ}}{\text{л}}$, а концентрація стічної води в $\frac{\text{гБСП}_{\text{повн}}}{\text{л}}$, які розроблені на основі СНиП 2.04.03-85 для розрахунку вилучення ОЗ в реакторах з активним мулом і біоплівкою. Так БВБ (VSS) – це беззольні речовини біомаси (концентрація активної біомаси). Згідно [6] в аеротенках з активним мулом маємо $X = a(1 - s)$, де a - загальна концентрація активного мулу, яка виражена в одиницях зв'язаних речовин $\frac{\text{гЗВ(B)}}{\text{л}}$ ($\frac{\text{гSS(B)}}{\text{л}}$). Значення перерахункового коефіцієнта $(1 - s)$ на інші одиниці можна знайти в роботах [11, 13].

Проте в зарубіжній літературі і практиці [10-12, 18, 19] при виконанні розрахунків очистки стічних вод активним мулом і біоплівкою приймається концентрація біомаси і ОЗ в одиницях відповідно ХСК(В) (COD(B)) і ХСК(С) (COD(S)). В цьому ви-

падку згідно [10, 11] перерахунковий коефіцієнт дорівнює 1.4, наприклад, якщо концентрація бактерій в біоплівці буде $20 \frac{\text{гБВБ(VSS)}}{\text{л}}$ то це відповідає $20 \cdot 1,4 = 28 \frac{\text{гХСК(B)}}{\text{л}}$. Тобто, в цьому випадку тільки частина біомаси, яка виражена в одиницях ХСК, являє собою активну біомасу.

Таким чином, розрахунки в реакторах з активним мулом і біоплівкою будемо проводити в одиницях, рекомендованих і прийнятих в зарубіжній практиці, тому вихідні дані концентрацій параметрів і коефіцієнтів будемо приймати в зазначених одиницях. Це зокрема стосується одиниць виміру концентрацій стічної води, параметрів K_{mL} і Y . При розрахунках очистки господарсько-побутових стічних вод від ОЗ в інших одиницях, зокрема в ДБН, рекомендується використовувати такі співвідношення $BCK_5 = 0,87 BCK_{\text{повн}}$, $BCK_{\text{повн}} = 0,80 XCK (S)$ [10, 18-20].

В літературі наведені деякі результати досліджень кисневого режиму і розрахунки його параметрів в біоплівках при очистці стічних вод від ОЗ [7, 9, 10, 12]. Так зокрема для різних кінетик реакцій з використанням стехіометричних коефіцієнтів обґрунтовано і запропоновано ряд критеріїв, який із субстратів ОЗ чи O_2 лімітує процес очистки, тобто проникає в біоплівку на меншу глибину.

В роботах [9-11] на основі співставлення проведена оцінка параметрів $\beta_L = \sqrt{\frac{2L\delta_{z=0}D_L}{\delta^2}}$, $\beta_c = \sqrt{\frac{2C\delta_{z=0}D_c}{w_{c0}\delta^2}}$, $w_{c0} = \alpha_1 w_L$ (тобто без врахування процесу розпаду (відмирання) біомаси) одержаних для реакцій нульового порядку які свідчать, що при $\beta_c < \beta_L$ лімітує кисень, а при $\beta_L < \beta_c$ лімітує забруднення ОЗ, одержано наступний критерій

$$\frac{C_\delta}{L_\delta} \geq \frac{D_L}{D_c} \frac{1}{\alpha_3} \quad (5)$$

Використання знака нерівності $>$ означає, що потенціальним лімітуючим субстратом з ОЗ, а використання знака $<$ означає, що в системі обмежена кількість кисню, так як має меншу глибину проникнення.

Так якщо згідно [10, 11] прийняти $D_c = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{доба}$, $D_L = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{доба}$, $\alpha_3 = 1,7 \frac{zXCK}{zO_2}$, то маємо

$$\frac{C_\delta}{L\delta} \leq \frac{D_L}{D_c} \frac{1}{\alpha_3} = 0,14 \frac{zO_2}{zXCK} \quad (6)$$

Якщо концентрація кисню $C_\delta < 0,14L\delta$, він буде потенційним лімітуючим субстратом, а якщо $C_\delta > 0,14L\delta$, то лімітуючим субстратом буде органічний субстрат. Наприклад, при $L\delta = 100 \frac{zXCK}{\text{м}^3}$ концентрація кисню в біоплівці буде значно меншою, ніж по розрахунку $C_\delta = 0,14 \cdot 100 = 14 \frac{zO_2}{\text{м}^3}$, оскільки це значення перевищують можливу насичену концентрацію кисню повітря у воді ($C_p \approx 10 \frac{zO_2}{\text{м}^3}$) при температурі 15°C.

Якщо концентрація кисню на виході із аеротенка (реактора), в якому вилучення ОЗ відбувається тільки за рахунок біоплівки і не враховується розпад (відмирання) біомаси, то наприклад, при концентрації кисню на виході із реактора $C_a = 2 \frac{zO_2}{\text{м}^3}$, концентрація по ХСК Оз буде лімітуючим фактором, якщо вона складає менше $C_a/0,14 = 2/14 \approx 14 \frac{zXCK}{\text{м}^3}$.

Таким чином в даному випадку в аеротенку (реакторі), в якому ОЗ вилучається тільки за рахунок кисню, практично в аеротенку (реакторі) кисень буде лімітуючим субстратом. Якщо у випадку, коли концентрація ОЗ в реакторі (чи на якійсь ділянці біоплівки) зменшиться до $< 14 \frac{zXCK}{\text{м}^3}$ лімітуючим субстратом стане ОЗ.

Деяка більш загальна оцінка та визначення цього критерію наведена в роботі [12]. Аеробне окислення органічного субстрату пов'язано зі швидкістю росту гетеротрофів R_x при відповідних швидкостях утилізації ОЗ R_L і кисню R_c , а саме

$$R_x = \mu_m \frac{L}{K_{mL} + L} \cdot \frac{C}{K_c + C} X_H, \quad (7)$$

$$R_L = \frac{1}{Y} R_x = \gamma_L R_x, \quad (8)$$

$$R_c = \frac{(1-Y)}{Y} R_x = \gamma_c R_x, \quad (9)$$

де X_H - концентрація гетеротрофної біомаси в одиницях ХСК(В). Як і в попередньому випадку в рівняння неврахована витрата кисню на утилізацію відмираючого

біоценозу. Поділивши (8) на (9) одержимо стехіометричний коефіцієнт, який пов'язує утилізацію субстрату і кисню

$$\gamma_{L,C} = \frac{R_L}{R_c} = \frac{\gamma_L}{\gamma_c} = \frac{1}{(1-Y)} \quad (10)$$

В роботі [11] для визначення коефіцієнта $\gamma_{L,C}$ пропонується такий критерій

$$\gamma_{L,C} = \sqrt{(\alpha_{c_1} - 1) \frac{D_L L \delta}{D_c C_\delta}}, \quad (11)$$

де $\alpha_{c_1} = 1 \frac{zO_2}{zXCK}$, $\alpha_1 = \alpha_{c_1} - Y$, $Y = 0,4 \frac{zXCK}{zXCK}$, $D_c = 175 \cdot 10^{-6} \text{ доба}$, $D_L = 83 \cdot 10^{-6} \text{ доба}$, $\gamma_{L,C}$ - утилізація органічного субстрату відносно утилізації кисню і навпаки.

Формули (10), (11) дозволяють зробити такі висновки

- а) при $\gamma_{L,C} < 1$ органічний субстрат потенційно обмежений в біоплівці;
- в) при $\gamma_{L,C} > 1$ - кисень потенційно обмежений в біоплівці, а органічний субстрат повністю проникає в біоплівку;
- с) $\gamma_{L,C} = 1$ - чітко не визначено, кисень чи органічний субстрат обмежений всередині біоплівки, для цього доцільно провести додаткові дослідження.

В роботі [12] на конкретних прикладах розрахунку проведено порівняльний аналіз зазначених варіантів даного процесу. Крім того, зазначено, що якщо потік для лімітуючої речовини, наприклад забруднення, визначено, то в окремих випадках потік для інших речовин, наприклад, кисню, може бути визначений за рівнянням

$$\frac{N_L}{\gamma_L} = \frac{N_c}{\gamma_c} \quad (12)$$

Для використання рівняння (12) необхідно, щоб всі процеси в біоплівці є стехіометричні.

Так, в умовах реакцій для ОЗ і O_2 нульового порядку маємо

$$N_c = \alpha_1 N_L \quad (13)$$

Проте в загальному випадку найбільш обґрунтованим рішенням цього питання, а саме який із субстратів буде лімітуючим, буде визначатись на основі співвідношення побудованих в біоплівці кривих зміни концентрацій L і C , і зокрема глибину екстракції (проникнення) їх в біоплівку. Цей підхід дозволяє визначити на якій ділянці по товщині біоплівки який із субстратів може лімітувати процес вилучення ОЗ.

Аналіз показує, що в більшості концентрацій цих субстратів їх вилучення обмежується присутністю кисню і тому з прийнятої точки зору ділянку аеротенка з закріпленим біоценозом (біоплівкою), як уже зазначалося вище, доцільно використовувати для доочистки стічних вод.

Висновки. Представлено рекомендації щодо визначення параметрів та коефіцієнтів в розроблених раніше моделях для розрахунку процесу окислення органічних забруднень з урахуванням кисневого режиму. Дані рекомендації дозволяють використовувати інженерну методику для розрахунку аеротенків, що містять реактори зі зваженим та закріпленим біоценозом та визначати лімітуючі фактори: вміст кисню або органічних домішок.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Грицина О.Д. Дослідження процесів очищення стічних вод від біогенних елементів та утилізації енергетичного потенціалу стічних вод. Монографія / [О.О Грицина, М.А. Єсін, В.С. Жукова та ін.]. – Рівне: НУВГП, 2018. – 267 с.
2. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення: Навчальний посібник / [О.А. Василенко, П.О. Грабовський, Г.М. Ларкіна та ін.]. – К.: ІВНВКП «Укреліотех», 2010. – 272 с.
3. Айрапетян Т.С. Моделювання кисневого режиму в біореакторах-аеротенках при очистці стічних вод від органічних забруднень/ Т.С. Айрапетян, С.В. Телима, О.Я. Олійник //Доповіді НАНУ. – К., 2017- № 6 - С.21-27.
4. Олійник О.Я. Моделювання і розрахунки кисневого режиму при вилученні органічних забруднень в аеротенках-змішувачах зі зваженою і закріпленою біомасою // О.Я. Олійник, Т.С. Айрапетян // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Наук.-техн.зб. – К.: КНУБА, 2016. - Вип.27. — С.269-279.
5. Олійник О.Я. Розрахунок кисневого режиму при біологічному очищенні стічних вод в аеротенках-змішувачах з закріпленим та зваженим біоценозом/ О.Я. Олійник, Т.С. Айрапетян // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2018. - № 4 (94) - С. 187-191.
6. ДБН В.2.5-75-2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. - К.: Мінрегіон України, 2013.-128 с.
7. Репин Б.Н. Моделирование кислородного режима в аеротенках – вытеснителях /Б.Н. Репин, В.И. Баженов // Водные ресурсы. – М.,1991 - № 1 -С.122-130.
8. Олійник О.Я. Аналіз і деякі рекомендації до розрахунку кисневого режиму в аеротенках при очистці стічних вод від органічних забруднень зваженим і закріпленим біоценозом / О.Я. Олійник, Т.С. Айрапетян, С.М. Курганська // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. - № 3 (85). - С. 177-184.
9. Олійник О.Я. До розрахунку кисневого режиму при очистці стічних вод/ О.Я. Олійник, Г.С. Маслун // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Наук.-техн.зб. – К.: КНУБА, 2010 - Вип. 14. - С.76-102.
10. Henze M. Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes / M.Henze, P. Harremoës, J. la Cour Jansen, E.Arvin.- 3rd ed. – Berlin, Springer, 2002. – 430 p.
11. Henze M. Biological Wastewater Treatment / M. Henze, M.Van Loosdrecht, G.Ekama, D.Brdjanovic.- London: IWA Publishing, 2008. – 511 p.
12. Wanner O. Mathematical modeling of biofilms / O. Wanner, N.L. Ebert, B.E. Rittan // Scientific and Technical report. – London, 2006 - 208 p.
13. Маслун Г.С. Практичні рекомендації до розрахунку кисневого режиму при очистці стічних вод на затоплених фільтрах /Г.С. Маслун// Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. Наук.-техн.зб. – К.: КНУБА, 2013 – Вип.21-С.123-142.
14. Smith D.P. Oxygen flux limitation in aerobic fixed-film biotreatment of a bazardous landfill leachate / D.P. Smith //Journal of Harardous Materials. – Boca Raton, 1995. - №44. – P.77-91.
15. Gebara F. Activated sludge biofilm waste water treatment system./ F. Gebara // Water Research. - London, 1999. - Vol. 13, №1. – P. 230-238.
16. Kiso Y. Wastewater treatment performance of a filtration bio-reactor equipped with a msh as filter material /Y. Kiso, Y. Jung, T.Ychinari, M. Park, K. Nishimura, K. Min // Water Research. – London, 2000. - Vol.34, № 17. – P.4143-4150.
17. Oleynik A. The use of nonlinear Monokinetics in modeling a mixing aeration tank with a biofilm on additional loodung / A.

- Oleynik, Yu Kalugin, T. Airapetian// Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkiv, 2017. - 6/10 (90). – P.17-23.
18. Mann A.T. Modelling aerated filters for waster water treatment/ A.T. Mann, T. Sterhenson // Wastewater Research. – Boca Raton, 1997. - Vol.31, №10. - P.2443-2448.
19. Peres J. Modeling biofilm and floc diffusion processes based on analytical solution of reaction – diffusion equations/ J. Peres, C. Picioeanu, M. van Loosdrecht // Water Research. – London, 2005. - Vol.39. – P. 1311-1323.
20. Олійник О.Я. Моделювання і розрахунки біологічної очистки стічних вод на краплинних біофільтрах/ О.Я. Олійник, О.А. Колпакова // Екологічна безпека та природокористування. –К., 2014. -Вип.16. - С.68-86.

Олейник А.Я., Айрапетян Т.С. РЕКОМЕНДАЦИИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ РАСЧЕТА КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА В АЭРОТЕНКАХ С ПРИКРЕПЛЕННЫМ БИОЦЕНОЗОМ. Для аэротенков с прикрепленным и взвешенным биоценозом представлены рекомендации для определения параметров и коэффициентов для расчета процесса окисления органических загрязнений с

учетом кислородного режима. Данные рекомендации позволяют пользоваться разработанной инженерной методикой для расчета аэротенков усовершенствованной конструкции и определять лимитирующие факторы.

Ключевые слова: кислородный режим, аэротенк, активный ил, прикрепленная биомасса (био пленка), концентрация загрязнений и кислорода, исходные параметры, расчет, оценка, анализ.

Oleynik A.Ya., Airapetian T.S. RECOMMENDATIONS FOR THE DETERMINATION OF PARAMETERS FOR THE CALCULATION OF THE OXYGEN REGIME IN AEROTANK-MIXERS WITH ATTACHED AND SUSPENDED BIOCEANOSIS. For aerotanks with an attached and suspended biocenosis, recommendations are given for determining the parameters and coefficients for calculating the process of oxidation organic pollutants including the oxygen regime. These recommendations allow you to use the developed engineering methodology for the calculation of aerotanks of an improved design and to determine the limiting factors.

Keywords: oxygen regime, aerotank, activated sludge, attached biomass (biofilm), concentration of pollution and oxygen, initial parameters, calculation, assessment, analysis.

DOI: 10.29295/2311-7257-2019-95-1-204-211
УДК 628.221.2

Ткачук О.А., Яруга Я.В.

*Національний університет водного господарства та природокористування
(вул. Соборна, 11, Рівне, 33028, Україна; e-mail: o.a.tkachuk@nuwm.edu.ua;
<https://orcid.org/0000-0002-3036-0010>; <https://orcid.org/0000-0001-9291-7710>)*

ОЧИЩЕНИЯ ДОЩОВОГО СТОКУ ПРИ ЙОГО РЕГУЛЮВАННІ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФІЛЬТРАЦІЙНИХ БАСЕЙНІВ

В статті проаналізовано умови формування дощових стоків на територіях сучасних населених пунктів України. Наведено основні показники забруднення дощового стоку на міській території. Наведено результати досліджень очищення забруднених дощових вод з міських територій у верхніх (рослинних) шарах інфільтраційних басейнів. Обґрунтовано доцільність очищення дощового стоку за допомогою інфільтраційних басейнів.

Ключові слова: регулювання дощового стоку, очищення дощового стоку, завислі речовини, інфільтраційний басейн, коефіцієнт фільтрації.

Вступ. В останні роки в результаті випадіння тривалих та інтенсивних дощів у населених пунктах не тільки в Україні, але й майже у кожній країні світу, набувають масового характеру підтоплення, затоплення та

санітарні забруднення міських територій. Мають місце значні порушення екологічної рівноваги водойм у результаті їх забруднення неочищеними поверхневими стоками,