

УДК 628.316:004.942

Россінський В. М., докторант (Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ)

ОЦІНКА ШВИДКОСТІ ОКИСНЕННЯ ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН В БІОРЕАКТОРАХ ВІД СТУПЕНЯ БІОДЕСТРУКЦІЇ СИНТЕТИЧНИХ ДЕТЕРГЕНТІВ

Наведені результати комплексного чисельного експерименту з оцінки кінетичних параметрів процесів біологічного очищення стічних вод в біореакторах із аноксидними й аеробними умовами, враховуючи ступінь біодеструкції синтетичних детергентів. Встановлено, що при повній біодеструкції синтетичних детергентів швидкість окиснення органічних забруднюючих речовин в аеробних умовах є на 32% більшою порівняно з випадком відсутності біодеструкції синтетичних детергентів. В аноксидних умовах швидкість окиснення органічних забруднюючих речовин при повній біодеструкції синтетичних детергентів на 25% більше порівняно з випадком відсутності біодеструкції синтетичних детергентів.

Ключові слова: швидкість, окиснення, технологія, очищення, стічні води, синтетичні детергенти, активний мул.

Вступ. Міські стічні води містять завислі речовини 147,3-468,2 мг/дм³, сполуки азоту 13,2-63,68 мг/дм³, синтетичні поверхнево-активні речовини 8-25 мг/дм³. Середня концентрація фосфатів в міських стічних водах складає 10-20 мг/дм³. Показник БСК₅ міських стічних вод в середньому складає 100-300 мгО₂/дм³ [1].

Наявність синтетичних детергентів, як поверхнево-активних речовин, негативно відображається на процесах біологічного очищення стічних вод, за рахунок порушення кисневого режиму в аеробних умовах та пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів активного мулу.

Постановка задачі досліджень. Синтетичні поверхнево-активні речовини (синтетичні детергенти), такі як амфіфільні ксенобіотики, є мембранотропними речовинами, яким властиво змінювати проникність біологічних мембран, їх структуру [2]. Наявність в стічних водах синтетичних детергентів впливає на функціонування мікроорганізмів активного мулу та негативно відображається на ефективності біоло-

гічного очищення стічних вод [3]. Наявність в стічних водах синтетичних детергентів утруднює бактеріальній масі доступ до органічного субстрату за рахунок його локалізації.

Оцінку зміни швидкості окиснення органічних забруднюючих речовин в аеробних та аноксидних біореакторах в залежності від початкових концентрацій органічних забруднюючих речовин [4] й синтетичних детергентів, ступеня рециркуляції мулової суміші можна проводити, використовуючи рівняння Моно [5]. Біодеструктори синтетичних детергентів в муловій суміші сприяють поступовому зниженню концентраційної складової синтетичних детергентів на етапах біологічного очищення стічних вод. Визначення впливу ступеня біодеструкції синтетичних детергентів на швидкість біологічного окиснення органічних забруднюючих речовин є актуальною задачею в сфері реалізації процесів біологічного очищення міських стічних вод.

Основні залежності для вирішення поставленої проблеми

Питому швидкість окиснення органічних забруднюючих речовин в біореакторах із аноксидними та аеробними умовами, враховуючи лімітування за органічним субстратом, концентрацією розчиненого Оксигену в муловій суміші, інгібуванням процесів біологічного очищення стічних вод синтетичними детергентами можна представити виразом [6]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dL_H}{a_i \cdot dt} &= \rho_{\max H} \cdot \beta_H \cdot b_H \cdot \frac{L_S}{K_S + L_S} \cdot \frac{C_o}{K_o + C_o} \cdot \frac{K_{surf}}{K_{surf} + C_{surf}} \\ \frac{dL_{H-An}}{a_i \cdot dt} &= \rho_{\max H} \cdot \beta_H \cdot b_H \cdot \frac{L_S}{K_S + L_S} \cdot \frac{L_{NO_3}}{K_{NO_3} + L_{NO_3}} \cdot \frac{K_o}{K_o + C_o} \cdot \frac{K_{surf}}{K_{surf} + C_{surf}} \end{aligned} \right. , \quad (1)$$

де ρ_{\max} – максимальна швидкість окиснення субстрату активним мулом, мгБСК_{повн}/(г·год); C_o – концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, мгО₂/дм³; K_o – константа напівнасичення за Оксигеном, мгО₂/дм³; L_S – концентрація органічних забруднюючих речовин, мгБСК_{повн}/дм³; K_S – константа напівнасичення за субстратом, мгБСК_{повн}/дм³; a_i – доза активного мулу, г/дм³; b_H – коефіцієнт, що враховує лізис мікроорганізмів активного мулу, част. од. β_H , β_A – відповідно частка гетеротрофних, автотрофних мікроорганізмів в активному мулі, част. од.; K_{NO_3} – константа напівнасичення за нітратами, мгN-NO₃/дм³; L_{NO_3} – концентрація нітратів, мгN-NO₃/дм³; K_{surf} – константа інгібування за синтетичними детергентами, мг/дм³; C_{surf} – концентрація синтетичних детергентів, мг/дм³.

В результаті оцінки коефіцієнтів чутливості факторів для виразу

(1) встановлено, що найбільший вклад в цільову функцію питомої швидкості окиснення органічних речовин стічних вод для аноксидних умов вносять доза активного мулу, концентрація розчиненого Оксигену в муловій суміші, концентрація синтетичних детергентів, концентрація нітратів в муловій суміші (рис. 1).

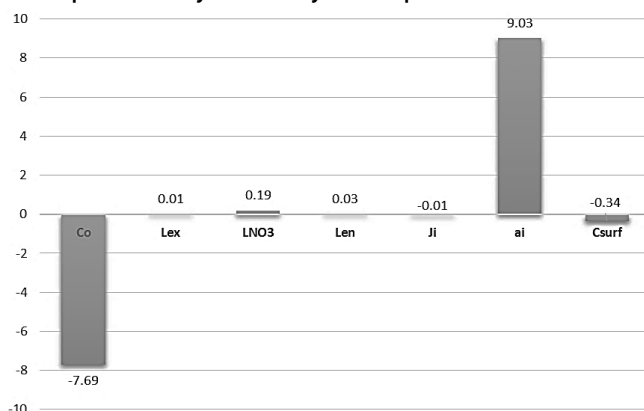


Рис. 1. Діаграма коефіцієнтів чутливості факторів виразу (1) для аноксидних умов

Вклад в цільову функцію для аноксидних умов концентрації синтетичних детергентів, концентрації розчиненого Оксигену в муловій суміші виражений в сторону інгібування процесів біологічного окиснення органічних забруднюючих речовин.

Для випадку біологічного очищення стічних вод в аеробних умовах, найбільший вклад в цільову функцію питомої швидкості окиснення органічних речовин стічних вод вносять доза активного мулу, концентрація розчиненого Оксигену в муловій суміші, концентрація синтетичних детергентів (рис. 2).

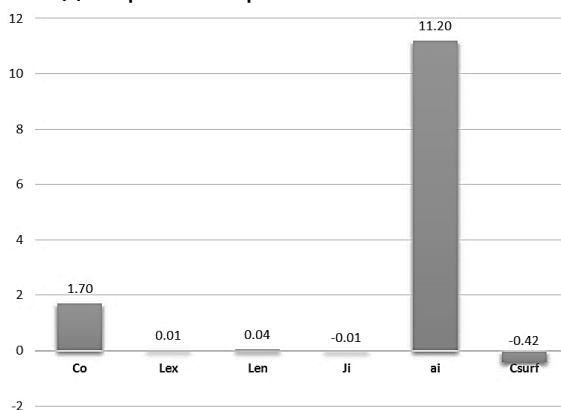


Рис. 2. Діаграма коефіцієнтів чутливості факторів виразу (1) для аеробних умов

Вклад в цільову функцію для аеробних умов концентрації синтетичних детергентів виражений в сторону інгібування процесів біологічного окиснення органічних забруднюючих речовин, а концентрації розчиненого Оксигену в муловій суміші, дози мулу в сторону інтенсифікації процесів видалення органічних забруднюючих речовин.

Концентрації синтетичних детергентів (мг/дм^3), органічних забруднюючих речовин в муловій суміші ($\text{мгБСК}_{\text{повн}}/\text{дм}^3$), за рахунок розбавлення рециркуляційним потоком активного мулу, розраховували відповідно до [7].

Результати проведеного експерименту. Для двох граничних умов ступеня біодеструкції синтетичних детергентів (0,1) виконано чисельний експеримент, використовуючи вираз (1), з оцінки швидкості окиснення органічних забруднюючих речовин в аноксидних умовах від ступеня рециркуляції мулової суміші, початкової концентрації синтетичних детергентів ($C_{\text{surf}} \in [0,15]$), дози мулу ($a_i (\text{г/дм}^3) \in [1.5,6]$) при $C_{\text{inlet}}=150\text{мгБСК}_{\text{повн}}/\text{дм}^3$; муловому індексі $J_i (\text{см}^3/\text{г}) \in [70,130]$; $\rho_{\text{max}} = 85 \text{ мгБСК}_{\text{повн}}/\text{дм}^3$; $K_o = 0,625 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$; $\beta_H = 0,4$; $b_H = 0,62$, концентрації розчиненого Оксигену в муловій суміші $0,1 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ та концентрації нітратів в муловій суміші $5 \text{ мгN-NO}_3/\text{дм}^3$ (рис. 3).

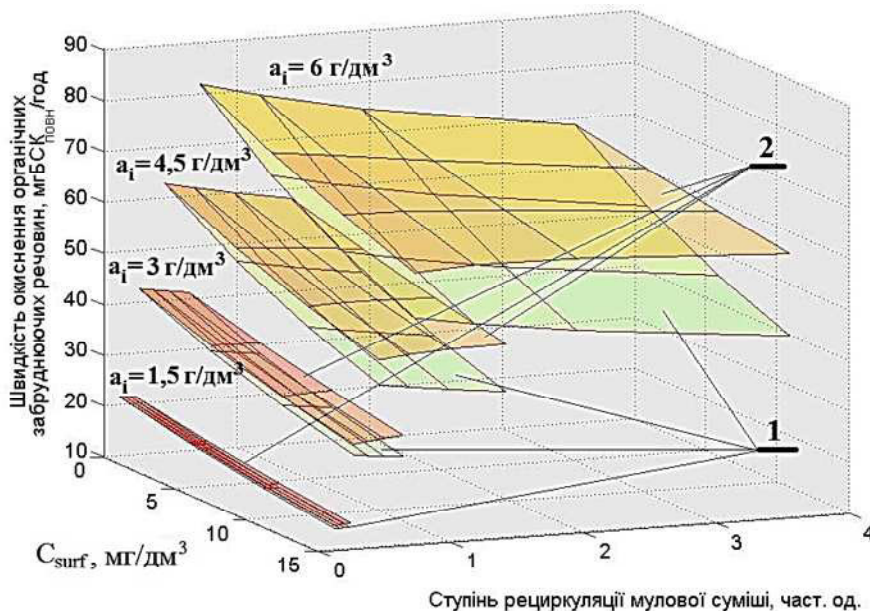


Рис. 3. Залежності швидкості окиснення органічних забруднюючих речовин в аноксидних умовах від ступеня рециркуляції мулової суміші, дози мулу ($a_i, \text{г/дм}^3$), початкової концентрації синтетичних детергентів ($C_{\text{surf}}, \text{мг/дм}^3$) та ступеня їх біодеструкції: 1 – 0; 2 – 1

Залежності швидкості окиснення органічних забруднюючих речовин в аеробних умовах від ступеня біодеструкції синтетичних детергентів отримано шляхом проведення чисельного експерименту при концентрації розчиненого Оксигену в муловій суміші $2 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ (рис. 4).

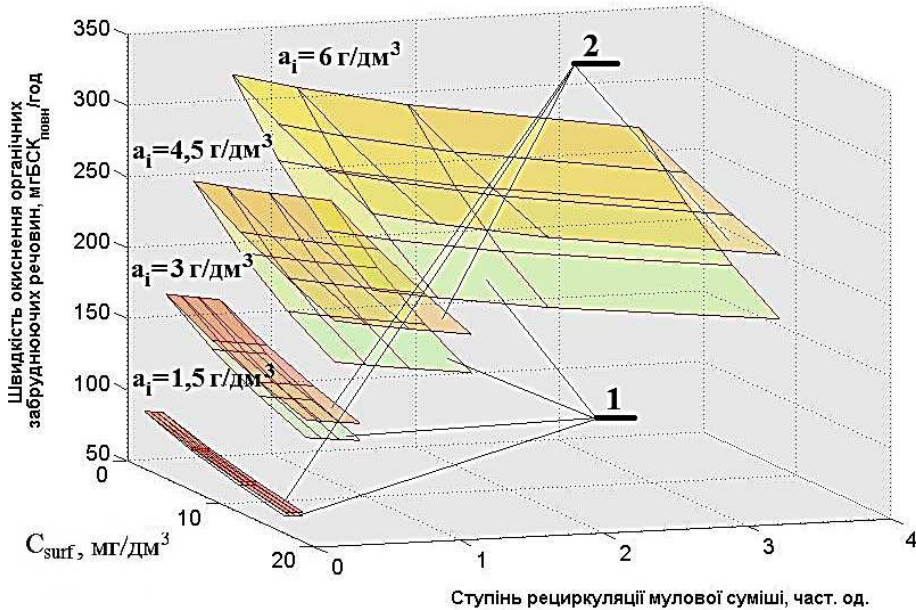


Рис. 4. Залежності швидкості окиснення органічних забруднюючих речовин в аеробних умовах від ступеня рециркуляції мулової суміші, дози мулу (a_i , г/дм³), початкової концентрації синтетичних детергентів (C_{surf} , мг/дм³) та ступеня їх біодеструкції: 1 – 0; 2 – 1

Обговорення результатів. За результатами чисельного експерименту для аноксидних умов встановлено, що швидкість окиснення органічних забруднюючих речовин для граничної умови повної біодеструкції синтетичних детергентів на етапах біологічного очищення стічних вод є більшою на 32%, порівняно зі швидкістю окиснення органічних забруднюючих речовин за відсутності біодеструкції синтетичних детергентів. У випадку, якщо початковим етапом при біологічному очищенні стічних вод є їх обробка в аеробних умовах, то швидкість окиснення органічних забруднюючих речовин для граничної умови повної біодеструкції синтетичних детергентів на етапах біологічного очищення стічних вод є більшою на 25%, порівняно зі швидкістю окиснення органічних забруднюючих речовин за відсутності біодеструкції синтетичних детергентів.

Висновки. За результатами виконаних чисельних експериментів встановлено, що швидкість окиснення органічних забруднюючих

речовин суттєво залежить від ступеня біодеструкції синтетичних детергентів на етапах біологічного очищення стічних вод. Врахування ступеня біодеструкції синтетичних детергентів на етапах біологічного очищення стічних вод є важливим для визначення тривалості обробки стічних вод в біореакторах з аноксидними та аеробними умовами, експлуатаційних затрат на реалізацію процесів біологічного очищення та досягнення необхідного ступеня очищення від органічних забруднюючих речовин.

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2010 р. / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – К., 2011. – 564 с.
2. Ostroumov, S. A. (2006) *Biological Effects of Surfactants*. CRC Press. Taylor & Francis. Boca Raton, London, New York.
3. Россінський В. М. Вплив поверхнево-активних речовин на процеси денітрифікації при біологічному очищенні міських стічних вод / Россінський В. М., Саблій Л. А. // *Комунальне господарство міст : науково-технічний збірник*. – Вип. 126. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2016. – С. 32–36.
4. Олійник О. Я. Моделювання очистки стічних вод від органічних забруднень в біореакторах-аеротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим біоценозом / Олійник О. Я., Айрапетян Т. С. // *Доповіді Національної академії наук України*. 2015. – № 5. – С. 55–60.
5. Россінський В. М. Моделювання очищення стічних вод в аеробних біореакторах в присутності синтетичних детергентів / Россінський В. М., Саблій Л. А. // *Актуальні питання розвитку біології та екології. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Донецький національний університет імені Василя Стуса, м. Вінниця, Україна)*. – ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. – С. 104–107.
6. Россінський В. М. Моделювання очищення стічних вод в аеробних та аноксидних біореакторах в присутності синтетичних детергентів / Россінський В. М., Саблій Л. А. // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки : науково-технічний збірник / головний редактор А. М. Кравчук*. – Випуск 27. – К. : КНУБА, 2016. – С. 302–311.
7. ДБН В.2.5–75:2013 «Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування». – К. : Мінрегіонбуд, 2013. – 210 с.

Рецензент: д.т.н., професор Ковальчук В. А. (НУВГП)

Rossinsky V. M., Postdoctoral Fellow (National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv)

RATE OF OXIDATION OF ORGANIC COMPOUNDS IN THE BIOREACTORS ON THE EXTENT OF BIODEGRADATION OF SYNTHETIC DETERGENT

The results of complex numerical experiment on the kinetic parameters of the processes of biological wastewater treatment in bioreactors with anoxic and aerobic conditions are presented, taking into account the degree of biodegradability of synthetic detergents. The velocity of oxidation of organic pollutants in aerobic conditions with the full biodegradability rate of the synthetic detergents by 32% increase compared with the case of the lack of biodegradability of synthetic detergents was defined. In anoxic conditions, the velocity of oxidation of organic pollutants with full biodegradability of synthetic detergents by 25% increase compared with the case of the lack of biodegradability of synthetic detergents.

***Keywords:* velocity, oxidation, technology, treatment, wastewater, surfactants, activated sludge.**

Россинский В. Н., докторант (Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев)

ОЦЕНКА СКОРОСТИ ОКИСЛЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В БИОРЕАКТОРАХ ОТ СТЕПЕНИ БИОДЕСТРУКЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ ДЕТЕРГЕНТОВ

Приведены результаты комплексного численного эксперимента по оценке кинетических параметров процессов биологической очистки сточных вод в биореакторах с аноксидных и аэробными условиями, учитывая степень биодеструкции синтетических детергентов. Установлено, что при полной биодеструкции синтетических детергентов скорость окисления органических загрязняющих веществ в аэробных условиях на 32% больше по сравнению со случаем отсутствия биодеструкции синтетических детергентов. В аноксидных условиях скорость окисления органических загрязняющих веществ при полной биодеструкции синтетических детергентов на 25% больше по сравнению со случаем отсутствия биодеструкции синтетических детергентов.

***Ключевые слова:* скорость, окисление, технология, очистка, сточная вода, синтетические детергенты, активный ил.**
