

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ В ТЕХНОЛОГІЯХ ГЛИБОКОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД, ЩО МІСТЯТЬ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ

*Національний технічний університет України «КПІ», Україна*

*В роботі приводиться оцінка енергоефективності в технологіях глибокого очищення стічних вод, що містять поверхнево-активні речовини, від сполук азоту шляхом дослідження технологічних параметрів роботи споруд біологічного очищення міських стічних вод. За результатами експериментальних досліджень з впливу поверхнево-активних речовин на кінетику нітрифікації й денітрифікації при біологічному очищенні стічних вод отримані цільові функції тривалості перебування стічних вод в аеробних, аноксидних біореакторах, що необхідна для раціонального використання енергоресурсів і забезпечення зниження концентрацій сполук азоту до нормативних показників для скиду у водні об'єкти.*

**Постановка проблеми.** Міські стічні води, зазвичай, містять забруднюючі речовини (амонійний азот, завислі речовини, поверхнево-активні речовини) з концентраціями, що перевищують допустимі при скиді до водних об'єктів. Очищення міських стічних вод провадять на централізованих очисних спорудах каналізації. Основний етап зниження органічних забруднень стічних вод здійснюють в спорудах біологічного очищення (аеротенки-вторинні відстійники). Обробка стічних вод в аеробних умовах в спорудах аеротенків не дозволяє досягти необхідного ступеня очищення за сполуками азоту. Для ефективного очищення стічних вод від сполук азоту їх обробку провадять в аеробних й аноксидних умовах з нітратним рециклом мулової суміші між ступенями обробки [1]. Обробка стічних вод в аеробних умовах забезпечує окиснення амонійного азоту до нітритів й нітратів облігатними аеробами, зокрема родів *Nitrosomonas*, *Nitrobacter* [2]. Відновлення окиснених форм азоту до молекулярного азоту провадиться факультативними анаеробами в аноксидних умовах в спорудах денітрифікаторів [3].

Активне використання пральних порошків і миючих засобів у виробництві й побуті абонентами систем централізованого водовідведення населених пунктів призводить до наявності синтетичних поверхнево-активних речовин в стічних водах. За норм водовідведення 100-300 дм<sup>3</sup>/(людину·добу) усереднена концентрація поверхнево-активних речовин в міських стічних водах складає відповідно 25-8 мг/дм<sup>3</sup> [4]. Синтетичні поверхнево-активні речовини, як амфифільні ксенобіотики, є мембранотропними речовинами, яким властиво змінювати проникність біологічних мембран, їх структуру. Наявність в стічних водах поверхнево-активних речовин (ПАР) впливає на функціонування мікроорганізмів активного мулу й відображається на ефективності біологічного очищення стічних вод від органічних речовин.

Вплив поверхнево-активних речовин на кінетичні показники глибокого очищення стічних вод відображається на тривалості обробки стічних вод в спорудах біологічного очищення, корисних об'ємах біореакторів, експлуатаційних витратах на забезпечення роботи обладнання з перемішування мулової суміші та диспергування повітря. Забезпечення раціонального використання енергоресурсів для реалізації процесів глибокого очищення стічних вод від сполук азоту в спорудах біологічного очищення, враховуючи наявність й концентраційну складову поверхнево-активних речовин, є актуальною відкритою прикладною задачею.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Конструктивним і технологічним рішенням з біологічного очищення стічних вод від сполук азоту приділено увагу в роботах С. В. Яковлева, Н. О. Лукіних, Л. І. Глоби, П. І. Гвоздяка, І. М. Таварткіладзе, О. А. Василенка, Л. А. Саблій, В. О. Юрченко, О. В. Поліщука [1, 5].

Поверхнево-активні речовини в стічних водах призводять до дефлокуляції активного мулу, піноутворення в аеробних біореакторах, є токсичними для мікроорганізмів активного мулу [6]. Ступінь негативного впливу поверхнево-активних речовин на процеси денітрифікації й нітрифікації визначає тривалість перебування стічних вод в аноксидних та аеробних умовах для забезпечення необхідного ступеня очищення води, загальні експлуатаційні витрати.

При проектуванні, реконструкції споруд аеротенків відповідно до технологій з етапами глибокого очищення стічних вод корисні об'єми споруд, експлуатаційні витрати визначають за тривалістю обробки стічних вод в аеробних й анаеробних умовах відповідно до [4], враховуючи питому швидкість процесів нітрифікації та денітрифікації.

**Формулювання цілей та завдання статті.** Зважаючи на вище сказане, метою статті є оцінка енергоефективності в технологіях глибокого очищення стічних вод від сполук азоту в присутності поверхнево-активних речовин шляхом отримання цільових функцій тривалості їх обробки в аноксидних, аеробних умовах.

**Основна частина.** Оцінку впливу поверхнево-активних речовин на денітрифікацію й нітрифікацію вели за питомою швидкістю цих процесів шляхом експерименту.

Експериментальні дослідження провадили у дослідних біореакторі-денітрифікаторі і біореакторі-нітрифікаторі. Базисом для дослідних біореактора-денітрифікатора й біореактора-нітрифікатора є скляна циліндрична ємність з внутрішнім діаметром при основі 100 мм, загальною висотою 300 мм. Нижня частина циліндричної частини біореакторів облаштована патрубком із запірно-регульовальним краном для відбору проб впродовж серій експериментальних досліджень. Перемішування мулової суміші в дослідному біореакторі-денітрифікаторі здійснювали за допомогою розташованої в його нижній частині зануреної помпи марки Atman PH-300. Насичення мулової суміші повітрям в біореакторі-нітрифікаторі здійснювали за допомогою дрібнобульбашкових аераторів, що розташовані в його нижній частині.

Серії експериментальних досліджень вели в муловій суміші із дозою активного мулу 1,8-2,1 г/дм<sup>3</sup>. Початковий об'єм мулової суміші в серіях експериментальних досліджень складав 2 дм<sup>3</sup>. Визначення концентрації азоту нітратів й амонійного азоту вели у відібраній й профільтованій крізь лабораторний знезолений паперовий фільтр «біла стрічка» воді за допомогою лабораторного йономера И-160МИ. Як ПАР використовували алкілбензолсульфонат натрію (АПАР).

За результатами серій експериментів при очищенні води в аноксидних умовах в біореакторі-денітрифікаторі впродовж 45 хв. встановлено, що ефективність зниження концентрації нітратів в стічній воді, яка містить ПАР менше 1 мг/дм<sup>3</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 16,9 мг/дм<sup>3</sup>, складає 64% (рис. 1).

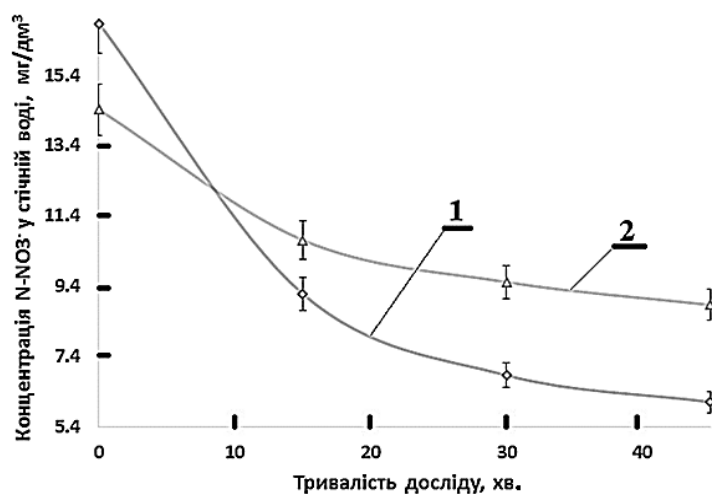


Рис. 1. Концентрація N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> від тривалості дослідження з очищення стічних вод в аноксидних умовах із перемішуванням мулової суміші при концентрації АПАР:  
1 - <1 мг/дм<sup>3</sup>; 2 - 30 мг/дм<sup>3</sup>

Встановлено, що збільшення концентрації ПАР в стічній воді до 30 мг/дм<sup>3</sup>, за початкової концентрації N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 14,4 мг/дм<sup>3</sup>, призводить до пригнічення ефективності зниження нітратів у воді до 39%. Середня питома швидкість денітрифікації за концентрації АПАР в стічній воді менше 1 мг/дм<sup>3</sup> складала 5,9 мгN-NO<sub>3</sub>/(г·год). Підвищення концентрації АПАР в стічній воді до 30 мг/дм<sup>3</sup> знижує середню питому швидкість денітрифікації до 3,1 мгN-NO<sub>3</sub>/(г·год).

За результатами серій експериментів при очищенні води в аеробних умовах в біореакторі-нітрифікаторі впродовж 75 хв. відзначено, що ефективність зниження концентрації амонійного азоту в стічній воді, яка містить ПАР менше 1 мг/дм<sup>3</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N – 20,3 мг/дм<sup>3</sup>, складає 35% (рис. 2).

Збільшення концентрації ПАР в стічній воді до 30 мг/дм<sup>3</sup>, за початкової концентрації NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 14,4 мг/дм<sup>3</sup>, призводить до пригнічення ефективності нітрифікації до 14%. Середня питома швидкість нітрифікації за концентрації АПАР в стічній воді менше 1 мг/дм<sup>3</sup> складала 6,1 мгNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/(г·год). За концентрації АПАР в стічній воді 30 мг/дм<sup>3</sup> середня питома швидкість нітрифікації складає 2,2 мгNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/(г·год).

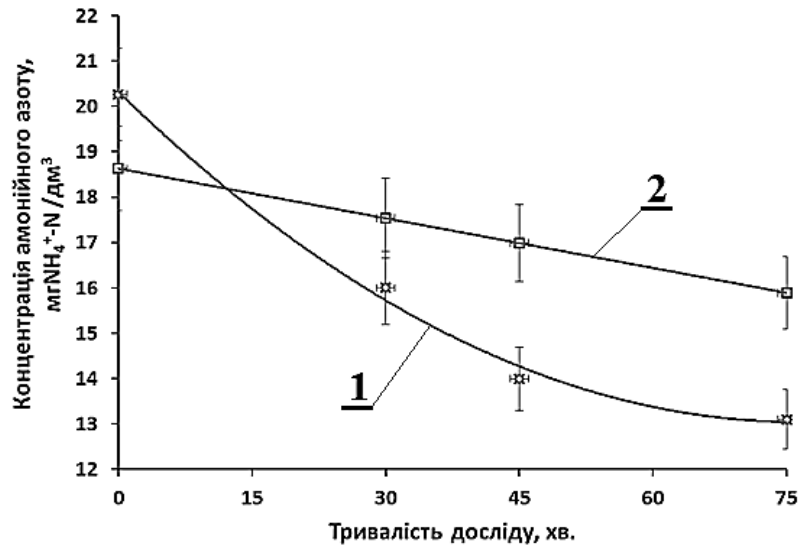


Рис. 2. Концентрація  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  від тривалості дослідження з очищення стічних вод в аеробних умовах при концентрації АПАР:  
1 -  $< 1 \text{ мг/дм}^3$ ; 2 -  $30 \text{ мг/дм}^3$

Раціональне використання енергоресурсів в технологіях глибокого очищення стічних вод, що містять ПАР диктується тривалістю обробки стічних вод в аеробних й аноксидних умовах.

Реновація технологій біологічного очищення стічних вод з включенням етапів глибокого очищення передбачає виділення зон аноксидної обробки в аеротенках, тому тривалість обробки в нітрифікаторах й денітрифікаторах визначали як для біореакторів-змішувачів.

Тривалість обробки стічних вод в денітрифікаторі (*год.*) визначали:

$$t_{\text{денім}} = \frac{k_{\text{денім}}^{\text{СПАР}} \cdot (C_{\text{NO}_3^- - \text{N}}^{\text{вх}} - C_{\text{NO}_3^- - \text{N}}^{\text{вих}})}{a_j \cdot \rho_{\text{денім}} \cdot (1 - s)}, \quad (1)$$

де  $k_{\text{денім}}^{\text{СПАР}}$  – коефіцієнт, що враховує інгібування процесів денітрифікації ПАР;  $s$  – зольність активного мулу в денітрифікаторі ( $s = 0,3$ );  $C_{\text{NO}_3^- - \text{N}}^{\text{вх}}$  – концентрація азоту нітратів в муловій суміші, що надходить в денітрифікатор,  $\text{мг/дм}^3$ ;  $C_{\text{NO}_3^- - \text{N}}^{\text{вих}}$  – концентрація азоту нітратів в муловій суміші, що відводиться з денітрифікатора,  $\text{мг/дм}^3$  ( $C_{\text{NO}_3^- - \text{N}}^{\text{вих}} = 0 \text{ мг/дм}^3$ );  $\rho_{\text{денім}}$  – питома швидкість денітрифікації,  $\text{мг}/(\text{г} \cdot \text{год})$  [7];  $a_j$  – доза активного мулу в денітрифікаторі,  $\text{г/дм}^3$  ( $a_j = 2 \text{ г/дм}^3$ ).

Тривалість обробки стічних вод в нітрифікаторі (*год.*) визначали:

$$t_{\text{нітр}} = \frac{k_{\text{нітр}}^{\text{СПАР}} \cdot (1 + N_{\text{орг}}) \cdot C_{\text{NH}_4^+ - \text{N}}^{\text{вх}} - C_{\text{NH}_4^+ - \text{N}}^{\text{вих}} - M_N}{a_j \cdot \rho_{\text{нітр}} \cdot (1 - s)}, \quad (2)$$

де  $k_{\text{нітр}}^{\text{СПАР}}$  – коефіцієнт, що враховує інгібування процесів нітрифікації ПАР;  $s$  – зольність активного мулу в нітрифікаторі ( $s = 0,3$ );  $C_{\text{NH}_4^+ - \text{N}}^{\text{вх}}$  – концентрація

амонійного азоту в муловій суміші, що надходить в нітрифікатор,  $\text{мг/дм}^3$ ;  $C_{\text{NH}_4^+-\text{N}}^{\text{вих}}$  – концентрація амонійного азоту в муловій суміші, що відводиться з нітрифікатора,  $\text{мг/дм}^3$  ( $C_{\text{NH}_4^+-\text{N}}^{\text{вих}}=0,5 \text{ мг/дм}^3$ );  $\rho_{\text{нітр}}$  – питома швидкість нітрифікації,  $\text{мг/(г}\cdot\text{год)}$  [7];  $a_j$  – доза активного мулу в нітрифікаторі,  $\text{г/дм}^3$  ( $a_j = 2 \text{ г/дм}^3$ );  $M_N$  – кількість азоту, що витрачається в процесах приросту біомаси,  $\text{мг/дм}^3$ .

$$M_N = k_N \cdot P_i \cdot (1-s), \quad (3)$$

де  $k_N$  – коефіцієнт, що враховує частку азоту в клітинах мікроорганізмів ( $k_N = 0,02-0,1$ );  $P_i$  – приріст активного мулу за [4],  $\text{мг/дм}^3$ .

Кількість азоту, що витрачається в процесах приросту біомаси вели для стічної води, що надходить на споруди біологічного очищення з показниками БСК<sub>повн</sub>  $250 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ , концентрацією завислих речовин  $150 \text{ мг/дм}^3$ .

Виконано чисельний експеримент за цільовими функціями (1) і (2) та отримано залежності тривалості обробки стічних вод в денітрифікаторі (рис. 3) й нітрифікаторі (рис. 4) від концентрації сполук азоту, враховуючи пригнічення процесів нітрифікації й денітрифікації ПАР.

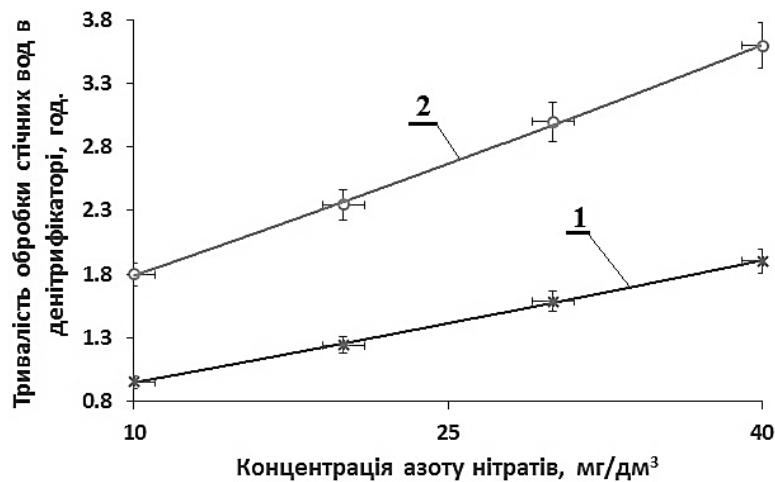


Рис. 3. Тривалість обробки стічних вод в денітрифікаторі від концентрації азоту нітратів при концентрації АПАР: 1 -  $< 1 \text{ мг/дм}^3$ ; 2 -  $30 \text{ мг/дм}^3$

Чисельний експеримент з визначення тривалості обробки стічних вод в нітрифікаторі вели для стічної води з  $\text{pH}=8,5$ .

Для досягнення необхідного ступеня глибокого очищення стічних вод від сполук азоту й раціонального використання енергоресурсів для забезпечення процесів очищення, збільшення АПАР (до  $30 \text{ мг/дм}^3$ ) в стічних водах потребує збільшення тривалості обробки стічних вод в аноксидних (до 53%) (рис. 3), аеробних умовах (до 36%) (рис. 4).

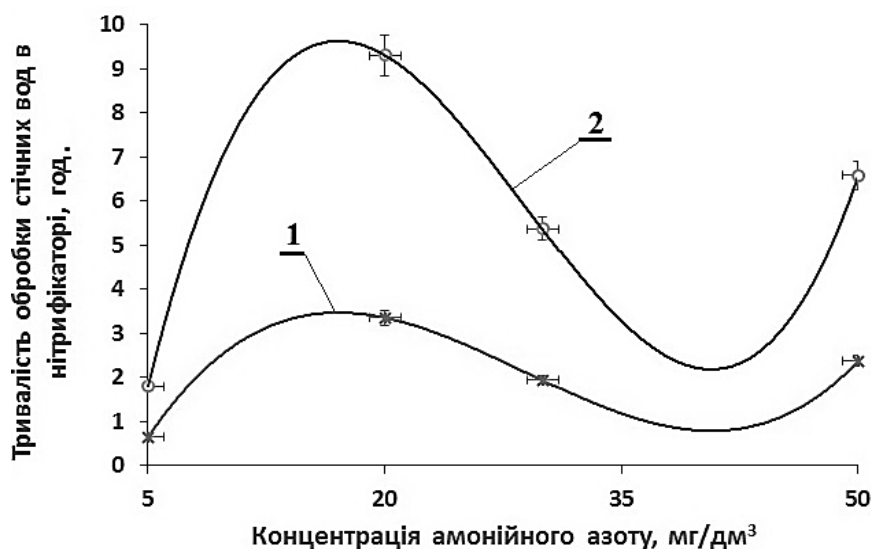


Рис. 4. Тривалість обробки стічних вод в нітрифікаторі від концентрації амонійного азоту при концентрації АПАР:  
1 - <math>< 1 \text{ мг/дм}^3</math>; 2 -

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Врахування негативного впливу ПАР на процеси денітрифікації й нітрифікації дозволяє визначити тривалість обробки стічних вод в аноксидних, аеробних умовах для досягнення необхідного ступеня глибокого очищення стічних вод від сполук азоту та забезпечення раціонального використання енергоресурсів з реалізації процесів водоочищення в технологіях глибокого очищення стічних вод.

## Література

1. Василенко О. А. Впровадження технології біологічної очистки стічних вод від сполук азоту і фосфору на міських очисних спорудах / О. А. Василенко, О. В. Поліщук, Л. О. Василенко // Екологічна безпека і природокористування. – 2014. – Вип. 15. – С. 90-101.
2. Henze, M., et al. (2013). Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes, Springer Berlin Heidelberg.
3. Grady, C. P. L., et al. (2011). Biological Wastewater Treatment, Third Edition, CRC Press.
4. ДБН В.2.5 – 75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К. : Мінрегіонбуд, 2013 – 210 с.
5. Саблій Л. А. Очищення стічних вод від сполук азоту / Л. А. Саблій, В. С. Жукова // Науковий вісник будівництва. Вип. 63. Харків : ХДТУБА ХОТВ АБУ, 2011. – С.431-436.
6. Gerardi, M. H. (2006). Wastewater bacteria. Hoboken, N.J : Wiley-Interscience.
7. Канализация населенных мест и промышленных предприятий : Справочник проектировщика / Под ред. В. И. Самохина. – 2-е изд. – М. : Стройиздат, 1981. – 638 с.

**ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В ТЕХНОЛОГИЯХ  
ГЛУБОКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД,  
СОДЕРЖАЩИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА**  
*Россинский В. Н.*

В работе приводится оценка энергоэффективности в технологиях глубокой очистки сточных вод, содержащих поверхностно-активные вещества, от соединений азота посредством исследования технологических параметров работы сооружений биологической очистки городских сточных вод. По результатам экспериментальных исследований относительно влияния поверхностно-активных веществ на кинетику нитрификации и денитрификации при биологической очистке сточных вод получены целевые функции продолжительности обработки сточных вод в аэробных, аноксидных биореакторах, необходимой для рационального использования энергоресурсов и обеспечения снижения концентраций соединений азота к нормативным показателям для сброса в водные объекты.

**ENERGY-EFFICIENCY IN WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGY  
FROM NUTRIENTS GIVEN THE PRESENCE OF SURFACTANTS**  
*Volodymyr Rossynskiy*

The paper is assessed the energy-efficiency in wastewater treatment technology from nutrients given the presence of surfactants through the research of the units technological parameters of the biological municipal wastewater treatment. According to the results of experiments on the effect of surfactants on the kinetics of nitrification and denitrification in biological wastewater treatment target functions of duration wastewater treatment in aerobic, anoxic bioreactors are received, needed to manage energy and ensure reduction of concentrations of nitrogen compounds.