

**Проценко С. Б., к.т.н., доцент, Кізеєв М. Д., к.т.н., доцент,
Новицька О. С., к.т.н., доцент** (Національний університет водного
господарства та природокористування, м. Рівне,
s.b.protsenko@nuwm.edu.ua)

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД В АЕРОТЕНКАХ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ НІТРИ-ДЕНІТРИФІКАЦІЇ ЗА СХЕМОЮ ДВОСТУПІНЧАСТОГО МОДИФІКОВАНОГО ПРОЦЕСУ ЛЮДЗАКА – ЕТТІНГЕРА

Для підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод від біогенних елементів на діючих очисних спорудах водовідведення з використанням типових чотирикоридорних аеротенків запропонована технологія нітри-денітрифікації за схемою двоступінчастого модифікованого процесу Людзака – Еттінгера. На прикладі міських очисних споруд одного з обласних центрів України показана можливість покращання їхньої роботи за мінімальних видатків на реконструкцію шляхом застосування рекомендованої технологічної схеми.

Ключові слова: стічні води; біологічне очищення; нітри-денітрифікація; очисні споруди; аеротенки; реконструкція.

Однією з найважливіших проблем водопровідно-каналізаційного господарства в Україні є низька ефективність роботи переважної більшості міських очисних споруд водовідведення [1; 2]. Майже всі вони були збудовані у 60–80-ті роки минулого століття з очікуваним строком служби 25–30 років, проте продовжують працювати і нині.

Упродовж багаторічної експлуатації такі споруди підтримували у працездатному стані завдяки ремонту будівельних конструкцій та основного технологічного обладнання без суттєвої зміни технології очищення стічних вод. Водночас з моменту введення цих очисних споруд в експлуатацію відбулися істотні зміни кількісних і якісних характеристик стічних вод, технологій та вимог до їх очищення. Здебільшого зменшилися витрати стоків, суттєво поменшала їхня виробнича складова, і вони набули характеру типових міських стічних вод, яким притаманне переважання господарсько-побутової складової та порівняно незначний вміст промислових забруднень.

Жорсткішими стали вимоги до якості очищених стічних вод, зокрема до залишкового вмісту в них біогенних елементів – азоту і фосфору. Були розроблені і досліджені нові ефективні технологічні схеми біологічного очищення стічних вод від цих елементів, що нині широко застосовуються в зарубіжній практиці [3; 4; 5; 6].

Необхідно відмітити, що більшість міських очисних споруд водовідведення в нашій країні завантажені сьогодні лише частково від своєї проєктної потужності, а отже, існує значний потенціал для підвищення ефективності їхньої роботи шляхом зміни технології біологічного очищення стічних вод за мінімальних видатків на реконструкцію. Водночас при виборі технологічної схеми для кожної окремої очисної станції має бути застосований індивідуальний підхід – обов'язково повинні бути враховані конкретні місцеві умови: витрати, склад і властивості стічних вод, наявні технології очищення та потужності очисних споруд і обладнання тощо.

Найбільш очевидним і простим рішенням задачі підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод на діючих очисних спорудах, у тому числі від біогенних елементів, є переведення роботи аеротенків з технології повного біологічного очищення за схемою з регенерацією активного мулу, яку сьогодні переважно застосовують, на технологію нітри-денітрифікації (БІО-N).

Процес БІО-N передбачає влаштування в аеротенку з нітрифікацією окремої аноксидної зони для денітрифікації нітратного азоту. В аноксидній зоні для попередження осадження активного мулу встановлюють заглибні механічні мішалки або здійснюють пневматичне перемішування з мінімізацією насичення води киснем. Відтак в аноксидній зоні концентрація розчиненого кисню в муловій суміші близька до нуля, а джерелом кисню для життєдіяльності численних гетеротрофних бактерій служать нітрати і нітрити.

Загалом процес БІО-N може бути реалізований з використанням різних технологічних схем. Однією з найпростіших є схема модифікованого процесу Людзака – Еттінгера (або скорочено МЛЕ) [3; 4; 6], яку наведено на рис. 1.

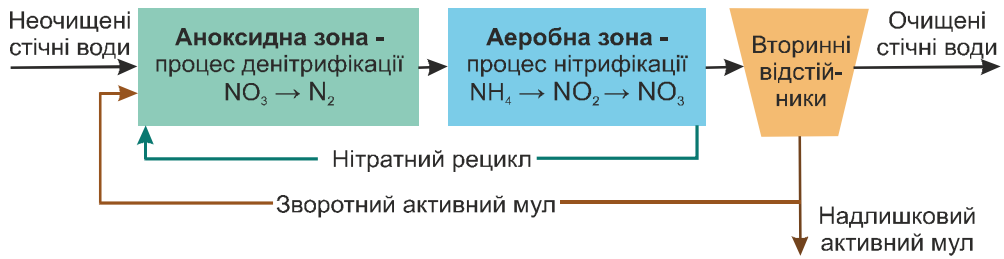


Рис. 1. Схема модифікованого процесу Людзака – Еттінгера (МЛЕ)

У схемі МЛЕ аноксидна зона аеротенка передуює аеробній. В аноксидній зоні гетеротрофні бактерії активного мулу відновлюють нітрати і нітроти, що утворилися в аеробній зоні, до газоподібного азоту, використовуючи як субстрат для свого живлення органічні сполуки неочищених стічних вод. Нітрифікація відбувається в аеробній зоні одночасно з видаленням майже всієї залишкової органіки стічних вод. Нітрати надходять в аноксидну зону частково зі зворотним активним мулом та переважно за рахунок перекачування насосом збагаченої нітратами мулової суміші з кінця аеробної на початок аноксидної зони (нітратна, або так звана «внутрішня» рециркуляція). Зазвичай для забезпечення глибокого очищення стічних вод від нітратів коефіцієнт внутрішньої рециркуляції є доволі високим, що призводить до значних витрат електроенергії на роботу циркуляційних насосів.

Водночас енергетичні витрати на нітратну рециркуляцію можна суттєво зменшити шляхом застосування в існуючих аеротенках двоступінчастої технологічної схеми, кожен ступінь якої аналогічний окремому процесу МЛЕ (рис. 2).

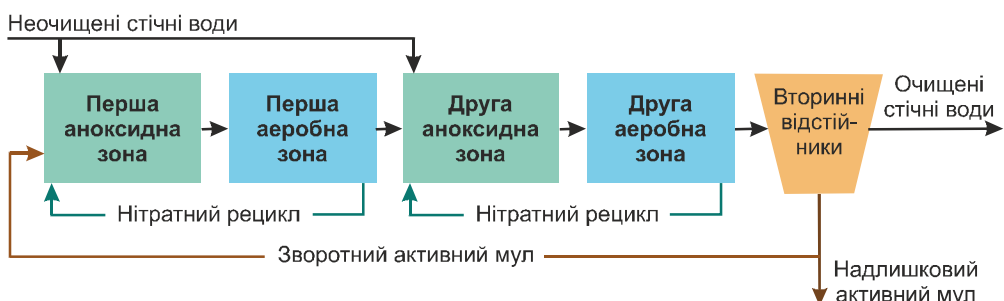


Рис. 2. Рекомендована технологічна схема двоступінчастого процесу МЛЕ

За такого рішення частина нітратів і нітритів, утворених у першій аеробній зоні, буде надходити на початок другої аноксидної зони самопливом, що дозволить зменшити потрібну величину внутрішнього нітратного рециклу.

Також рекомендується ступінчаста подача неочищених стічних вод у двох точках – на початку першої та на початку другої аноксидних зон. Це дозволить створити певний градієнт концентрації активного мулу в системі, оскільки зворотний мул розбавлятиметься стічними водами в «голові» біореактора тільки частково, і мулова суміш на першому ступені аеротенка буде більш концентрованою. Відтак буде збільшена загальна маса мулу в системі і підвищений його вік, що позитивно позначиться на протіканні процесів нітри-денітрифікації.

Запропоновану схему легко реалізувати на практиці в досить поширених у нашій країні типових чотирикоридорних аеротенках. Для цього необхідно влаштувати на початку першого коридору аеротенка першу аноксидну зону, на початку третього коридору – другу аноксидну зону, а решту об'єму аеротенка відвести під першу та другу аеробні зони (рис. 3).

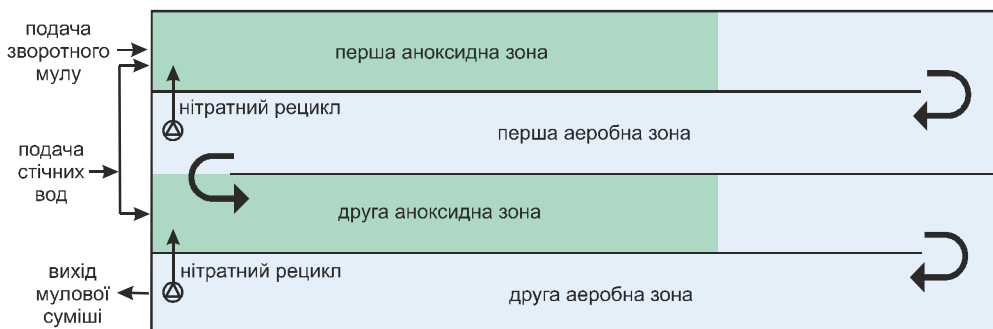


Рис. 3. Реалізація в типовому чотирикоридорному аеротенку технологічної схеми двоступінчастого процесу МЛЕ

В аноксидних зонах аеротенків замість існуючої системи аерації слід встановити заглибні механічні мішалки. Також слід організувати внутрішню рециркуляцію мулової суміші з кінця другого коридору на початок першого і з кінця четвертого коридору на початок третього. Це можна здійснити шляхом влаштування отворів у перегородках, що розділяють відповідні коридори, і встановлення в них

низьконапірних заглибних осьових насосів. Прокладання додаткових трубопроводів при цьому не потрібне, оскільки рециркуляція мулової суміші відбуватиметься за найкоротшим шляхом. Така реконструкція існуючих аеротенків вимагатиме мінімуму капітальних видатків.

Співвідношення об'ємів аноксидних та аеробних зон в аеротенку може бути довільним (від 40% до 100% об'ємів першого і третього коридорів аеротенка), залежно від конкретних показників забруднення стічних вод, що очищаються, та умов проведення процесу. Також можливе влаштування між аноксидними й аеробними зонами аеротенка додаткових перехідних зон з розміщенням у них як аераторів, так і заглибних мішалок. Залежно від ситуації такі перехідні зони можуть працювати або в аноксидному, або в аеробному режимі.

Розглянемо приклад реалізації запропонованої технології на міських очисних спорудах каналізації одного з обласних центрів України. Очисні споруди, що розглядаються, були введені в експлуатацію в середині 70-х років минулого сторіччя, мали проєкту продуктивність 70 тис. м³/добу і передбачали повне біологічне очищення міських стічних вод. У 80-ті роки проводилися роботи з реконструкції та розширення очисних споруд з доведенням їхньої проєктної продуктивності до 150 тис. м³/добу, що передбачали також будівництво комплексів споруд для доочищення біологічно очищених стічних вод та для механічного зневоднення осадів. Проте, через розпад СРСР та припинення фінансування, ці роботи не були завершені. Недобудовані споруди на сьогодні частково або повністю зруйновані і не підлягають відновленню та подальшому використанню.

В останнє десятиріччя на діючих очисних спорудах були встановлені дві механізовані решітки з прозорами 5 мм, збудовані нові двосекційні горизонтальні аеровані піскоуловлювачі проєктною продуктивністю 100 тис. м³/добу та піскові майданчики, капітально відремонтовані первинні і частково (два з трьох) вторинні радіальні відстійники, замінена система аерації в аеротенках та виконані інші ремонтно-будівельні роботи.

Споруди біологічного очищення стічних вод на сьогодні представлені чотирма секціями чотирикоридорних аеротенків-витіснювачів із загальним робочим об'ємом 46 тис. м³ та трьома радіальними вторинними відстійниками діаметром 28 м кожен. Аеротенки працюють за схемою з попередньою регенерацією зворотного активного мулу, при цьому під регенератори відведені два з чотирьох коридорів кожного аеротенка, тобто 50% об'єму споруди. Надлишковий активний мул з вторинних відстійників спрямовується у преаератори для попередньої біокоагуляції забруднень стічних вод перед їх проясненням у двох первинних радіальних відстійниках діаметром 40 м.

Така технологічна схема механічного і біологічного очищення стічних вод цілком відповідала будівельним нормам і правилам, що діяли на час проєктування і зведення очисної станції. Тоді при розробці технологічних схем і проєктуванні очисних споруд основну увагу приділяли очищенню стічних вод від механічних та органічних забруднень, водночас глибоке видалення зі стоків біогенних елементів не було передбачено. На сьогодні подібні технологічні рішення морально застаріли і не відповідають сучасному рівню розвитку науки і техніки та нормативним вимогам щодо необхідного ступеня очищення стічних вод від азоту і фосфору.

Як наслідок, очисні споруди працюють недостатньо ефективно, про що свідчить перевищення значень допустимого вмісту забруднюючих речовин в очищених стічних водах практично за всіма основними показниками, крім ХПК.

На очисні споруди нині надходить суміш господарсько-побутових, виробничих та частково дощових і талих стічних вод міста (останні – із загальносплавної системи каналізації центральної, «історичної» його частини), а також фільтрат з міського полігону твердих побутових відходів і рідкі відходи з вигрібних ям та септиків неканалізованих районів міста, що транспортуються асенізаційними машинами в приймальні камери головної каналізаційної насосної станції та очисних споруд. Добова витрата стічних вод становить порядку 35–45 тис. м³/добу в суху погоду та до 80 тис. м³/добу під час інтенсивних злив.

Середньомісячні значення основних показників забруднення вихідних стічних вод упродовж останніх років наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Середньомісячні значення витрат та основних показників забруднення стічних вод, що надходили на очисні споруди упродовж останніх років

| Показники | Значення показників | | | |
|---|---------------------|--------------|---------|---------------------|
| | міні-мальне | макси-мальне | середнє | 85%-ї безпе-ченості |
| Витрати стічних вод, м ³ /добу | 33790 | 48896 | 39248 | 43475 |
| Показники забруднення стічних вод, мг/дм ³ : | | | | |
| – завислі речовини | 221 | 347 | 264 | 270 |
| – БПК ₅ | 203 | 344 | 243 | 250 |
| – ХПК | 367 | 703 | 463 | 473 |
| – азот амонійний | 32,8 | 60,4 | 44,9 | 46,2 |
| – фосфати | 5,71 | 9,25 | 7,10 | 7,27 |

Примітка: значення показників забруднення стічних вод 85%-ї безпеки навантаження обчислені за методикою, що описана авторами у статті [7].

Середнє співвідношення значень ХПК та БПК₅ стічних вод, які надходять на очисні споруди (див. табл. 1), становить 1,9, що свідчить про порівняно високий вміст у воді придатних для біологічного розкладання органічних речовин та про невисокий вміст промислових забруднень. Концентрації азоту амонійного в неочищених стоках достатньо високі (порядку 45 мг/дм³), натомість вміст фосфатів можна вважати доволі низьким (порядку 7,1 мг/дм³).

Результати розрахунку процесу біологічного очищення стічних вод за технологією нітри-денітрифікації для умов, що розглядаються, згідно з методикою міжнародного стандарту ATV-DVWK-A 131E (2000) [8] показують, що частка аноксидної зони в загальному об'ємі нітри-денітрифікатора має становити 50%, а необхідний коефіцієнт загальної (внутрішньої та зовнішньої) рециркуляції є доволі високим і дорівнює 3. Відтак задля зменшення внутрішньої рециркуляції автори пропонують застосувати при реконструкції діючих аеротенків схему двоступінчастого процесу МЛЕ, що наведена вище на рис. 2.

З метою визначення раціонального розподілу потоків неочищених стічних вод та внутрішнього нітратного рециклу між двома ступенями очисного процесу було виконано оптимізацію запропонованої технологічної схеми засобами комп'ютерної програми Hydromantis GPS-X. Метою оптимізації було визначення такого розподілу згаданих потоків між двома ступенями аеротенка, за якого вміст азоту загального в очищених стічних водах найменший (цільова функція).

Модуль оптимізації програми GPS-X використовує симплекс-метод Нелдера – Міда [9] – алгоритм нелінійної оптимізації, що являє собою чисельний метод пошуку мінімуму цільової функції в багатовимірному просторі. Ідея методу полягає в обчисленні цільової функції у вершинах симплекса та послідовного переміщення симплекса в напрямку оптимальної точки. Цей метод є одним із найшвидших і найнадійніших методів багатовимірної оптимізації, що не використовує похідних (градієнтів).

У результаті виконаної оптимізації було встановлено, що найменшому вмісту азоту загального в очищених стічних водах відповідає розподіл у перший ступінь аеротенка порядку 85% неочищених стічних вод та 60% внутрішнього нітратного рециклу. Решта витрат стічних вод (15%) та внутрішнього рециклу мулової суміші (40%) мають спрямовуватись у другий ступінь аеротенка.

З метою оцінки ефективності запропонованої технологічної схеми біологічного очищення стічних вод було виконане комп'ютерне моделювання роботи аеротенків за такими трьома схемами:

- 1) за технологією повного біологічного очищення стічних вод з регенерацією активного мулу (існуючий режим роботи аеротенків);
- 2) за технологією нітри-денітрифікації за традиційною одноступінчастою схемою процесу МЛЕ;
- 3) за технологією нітри-денітрифікації за рекомендованою двоступінчастою схемою процесу МЛЕ.

Моделювання процесів очищення стічних вод було виконане в комп'ютерній програмі Hydromantis GPS-X з використанням стандартної моделі біохімічних процесів mantis2 [9].

Результати моделювання процесів біологічного очищення стічних вод за різними варіантами технологічних схем наведені на рис. 4 та в табл. 2.

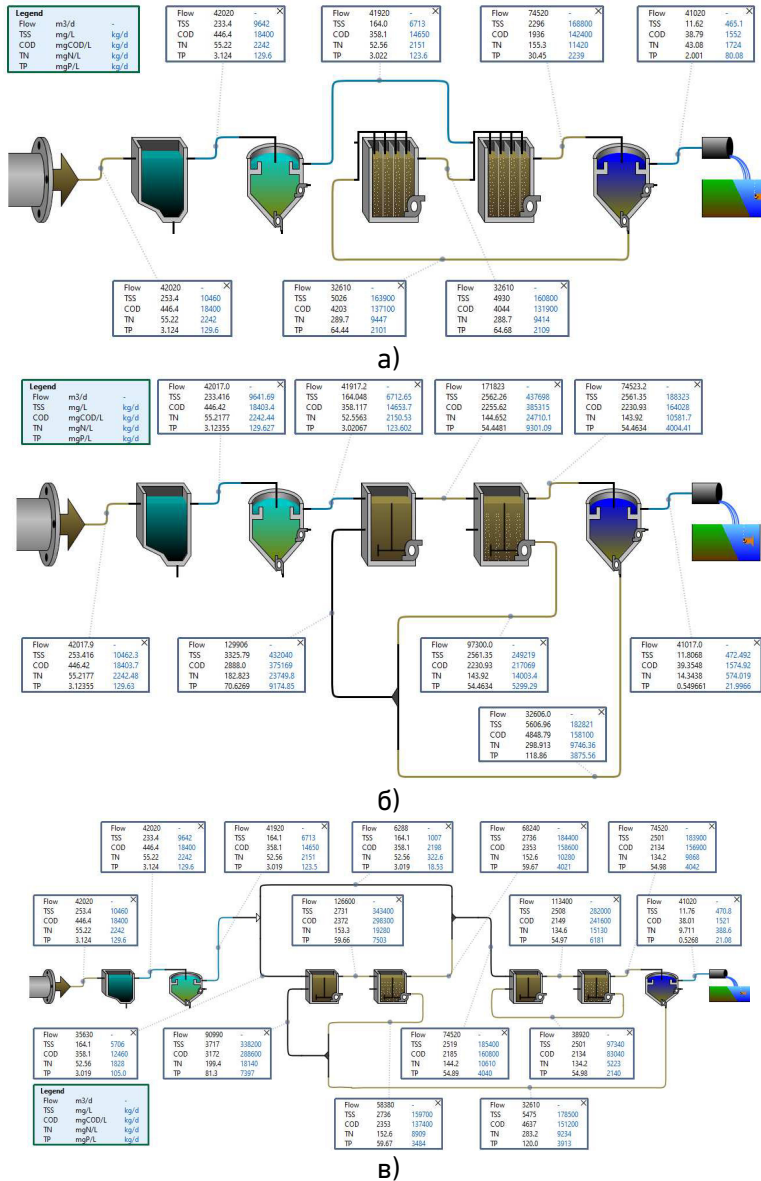


Рис. 4. Результати моделювання роботи споруд біологічного очищення стічних вод за існуючою схемою з регенерацією активного мулу (а), одноступінчастою схемою процесу МЛЕ (б) та рекомендованою двоступінчастою схемою процесу МЛЕ (в): Flow – витрата, м³/добу; TSS – завислі речовини, мг/дм³ та кг/добу; COD – ХПК, мг/дм³ та кг/добу; TN – азот загальний, мг/дм³ та кг/добу; TP – фосфор загальний, мг/дм³ та кг/добу

Таблиця 2

Узагальнені результати моделювання процесів біологічного очищення стічних вод за порівнюваними технологічними схемами

| Показники забруднення очищених стічних вод | Значення показників для порівнюваних технологічних схем, мг/дм ³ | | |
|--|---|--|---|
| | повне біологічне очищення (існуючий режим), рис. 4, а | одноступінчастий процес МЛЕ, рис. 4, б | двоступінчастий процес МЛЕ (рекомендована схема), рис. 4, в |
| Завислі речовини | 11,6 | 11,8 | 11,8 |
| БПК ₅ | 6,3 | 7,0 | 5,9 |
| ХПК | 38,8 | 39,4 | 38,0 |
| Азот амонійний | 2,83 | 1,40 | 0,55 |
| Азот нітритний | 1,58 | 0,81 | 0,46 |
| Азот нітратний | 35,8 | 9,3 | 6,0 |
| Фосфор фосфатів | 1,63 | 0,07 | 0,04 |

Як показують результати моделювання, запропонована технологічна схема двоступінчастого процесу МЛЕ, порівняно з іншими схемами, забезпечує більш високий ефект очищення стічних вод, особливо від сполук азоту.

З метою перевірки сталості і надійності запропонованої технологічної схеми авторами було також виконане динамічне моделювання роботи аеротенків за різними схемами при витратах, температурах та показниках якості стічних вод згідно з їхніми фактичними середньомісячними значеннями, що спостерігалися у 2017–2019 роках. Результати проведених досліджень, що описані в роботі [10], підтвердили високу ефективність та сталість роботи очисних споруд за рекомендованою технологічною схемою.

Висновки. Для підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод від біогенних елементів на діючих очисних споруд водовідведення з використанням чотирикоридорних аеротенків типової конструкції запропонована технологія нітриденітрифікації стічних вод за схемою двоступінчастого модифікованого процесу Людзака –Еттінгера.

На прикладі міських очисних споруд каналізації одного з обласних центрів України показана можливість підвищення

ефективності її роботи за мінімальних видатків на реконструкцію шляхом застосування рекомендованої технологічної схеми.

Виконана оптимізація розподілу потоків стічних вод та внутрішнього нітратного рециклу між окремими ступенями рекомендованої двоступінчастої схеми процесу МЛЕ для умов, що розглядаються, з метою мінімізації залишкового вмісту азоту загального в очищених стічних водах.

Шляхом порівняння результатів комп'ютерного моделювання процесів біологічного очищення стічних вод за різними варіантами технологічних схем доведена висока ефективність та надійність запропонованої авторами двоступінчастої схеми процесу МЛЕ.

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання в Україні у 2020 році. Київ : Міністерство розвитку громад та територій України, 2021. 385 с. URL: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/01/2021_naczdopovid-za-2020.pdf. (дата звернення: 20.05.2023). **2.** Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році (проєкт). Київ : Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України, 2021. 421 с. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/Zvit/2022/Національна%20Доповідь%202020%20\(2\).pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/Zvit/2022/Національна%20Доповідь%202020%20(2).pdf). (дата звернення: 20.05.2023). **3.** Biological Wastewater Treatment. Principles, Modelling and Design / M. Henze, M. C. M. van Loosdrecht, G. A. Ekama, D. Brdjanovic. IWA Publishing, London : UK, 2008. 530 p. **4.** Biological Wastewater Treatment / C. P. L. Grady, Jr., G. T. Daigger, N. G. Love, C. D. M. Filipe. Third Edition. IWA Publishing, London : UK, 2011. 994 p. **5.** Handbook of Biological Wastewater Treatment. Design and Optimisation of Activated Sludge Systems / A. C. van Haandel, J. G. M. van der Lubbe. Second Edition. IWA Publishing, London : New-York, 2012. 818 p. **6.** Nutrient Removal. WEF Manual of Practice. WEF Press, Alexandria, VA, USA, 2010. No. 34. 676 p. **7.** Проценко С. Б., Кізеєв М. Д., Новицька О. С. *Вибір вихідних даних для розрахунку та проектування реконструкції очисних споруд водовідведення*. Сталій розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування : колективна монографія / за наук. ред. док. тех. наук, проф. М. С. Мальованого. Львів : ТзОВ «ЗУКЦ», 2020. С. 406–421. **8.** Standard ATV-DVWK-A 131E. Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. ATV-DVWK Water, Wastewater and Waste, May 2000. 57 p. **9.** GPS-X User's Guide : GPS-X Version

8.0. Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc. 1992–2019. 216 p.
10. Protsenko S., Kizyeyev M., Novytska O. Choice of the efficient flow diagram of biological wastewater treatment at municipal wastewater treatment plants. *Journal Environmental Problems*. Lviv Polytechnic National University, 2021. Vol. 6, No. 4. P. 244–250.

REFERENCES:

1. Natsionalna dopovid pro yakist pytnoi vody ta stan pytnoho vodopostachannia v Ukraini u 2020 rotsi. Kyiv : Ministerstvo rozvytku hromad ta terytorii Ukrainy, 2021. 385 s. URL: https://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2022/01/2021_naczdopovid-za-2020.pdf. (data zvernennia: 20.05.2023).
2. Natsionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha v Ukraini u 2020 rotsi (proiekt). Kyiv : Ministerstvo zakhystu dovkillia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy, 2021. 421 s. URL: [https://mepr.gov.ua/files/docs/Zvit/2022/Natsionalna%20Dopovid%202020%20\(2\).pdf](https://mepr.gov.ua/files/docs/Zvit/2022/Natsionalna%20Dopovid%202020%20(2).pdf). (data zvernennia: 20.05.2023).
3. Biological Wastewater Treatment. Principles, Modelling and Design / M. Henze, M. C. M. van Loosdrecht, G. A. Ekama, D. Brdjanovic. IWA Publishing, London : UK, 2008. 530 p.
4. Biological Wastewater Treatment / C. P. L. Grady, Jr., G. T. Daigger, N. G. Love, C. D. M. Filipe. Third Edition. IWA Publishing, London : UK, 2011. 994 p.
5. Handbook of Biological Wastewater Treatment. Design and Optimisation of Activated Sludge Systems / A. C. van Haandel, J. G. M. van der Lubbe. Second Edition. IWA Publishing, London : New-York, 2012. 818 p.
6. Nutrient Removal. WEF Manual of Practice. WEF Press, Alexandria, VA, USA, 2010. No. 34. 676 p.
7. Protsenko S. B., Kizieiev M. D., Novytska O. S. *Vybir vykhidnykh danykh dlia rozrakhunku ta proektuvannia rekonstruktsii ochysnykh sporud vodovidvedennia*. Stalyi rozvytok: zakhyst navkolyshnoho seredovyshcha. Enerhooshchadnist. Zbalansovane pryrodokorystuvannia : kolektyvna monohrafiia / za nauk. red. dok. tekhn. nauk, prof. M. S. Malovanoho. Lviv : TzOV «ZUKT», 2020. S. 406–421.
8. Standard ATV-DVWK-A 131E. Dimensioning of Single-Stage Activated Sludge Plants. ATV-DVWK Water, Wastewater and Waste, May 2000. 57 p.
9. GPS-X User's Guide : GPS-X Version 8.0. Hydromantis Environmental Software Solutions, Inc. 1992–2019. 216 p.
10. Protsenko S., Kizyeyev M., Novytska O. Choice of the efficient flow diagram of biological wastewater treatment at municipal wastewater treatment plants. *Journal Environmental Problems*. Lviv Polytechnic National University, 2021. Vol. 6, No. 4. P. 244–250.

**Protsenko S. B., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Kizieiev M. D., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor,
Novytska O. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor
(National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)**

INCREASING THE EFFICIENCY OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT IN AERATION TANKS BY USING THE NITRIFICATION- DENITRIFICATION TECHNOLOGY ACCORDING TO THE SCHEME OF THE TWO-STAGE MODIFIED LUDZACK – ETTINGER PROCESS

The nitrification-denitrification technology is proposed according to the scheme of a two-stage modified Ludzack – Ettinger process to increase the efficiency of biological wastewater treatment from biogenic elements at existing wastewater treatment plants using standard four-corridor aeration tanks.

The possibility of efficiency increasing of their operation with minimal reconstruction costs using the recommended technological scheme is shown on the example of wastewater treatment plant of one of the regional centers of Ukraine.

The computer simulation of the aeration tanks operation was carried out according to the following three schemes in order to evaluate the effectiveness of the proposed technological scheme of biological wastewater treatment: 1) the technology of full biological treatment of wastewater with regeneration of active sludge (the existing mode of operation of aeration tanks); 2) the nitrification-denitrification technology according to the traditional one-stage scheme of the MLE process; 3) the nitrification-denitrification technology according to the recommended two-stage scheme of the MLE process.

Modeling of wastewater treatment processes was performed by computer program Hydromantis GPS-X using the standard model of biochemical processes mantis2.

The simulation results show, the proposed technological scheme of the two-stage MLE process, compared to other schemes, provides a higher effect of wastewater treatment, especially from nitrogen compounds.

Thus, the optimization of the distribution of wastewater flows and internal nitrate recycling between individual stages of the recommended two-stage scheme of the MLE process under considered conditions was carried out in order to minimize the residual content of total nitrogen in treated wastewater.

The high efficiency and reliability of the two-stage scheme of the MLE process proposed by the authors was proven by comparing the results of computer modeling of biological wastewater treatment processes according to various options of technological schemes.

***Keywords:* wastewater; biological treatment; nitrification-denitrification; treatment facilities; aeration tanks; reconstruction.**
