

С.А. Горносталь, Д.Г. Горбань, О.А. Петухова

Національний університет цивільного захисту України, Україна

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМУ РОБОТИ СПОРУД БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Проаналізовано особливості роботи споруд біологічного очищення стічних вод та визначено фактори, які впливають на процес очищення. За результатами експериментальних досліджень отримано рівняння регресії, що описують процес очищення в системі «аеротенк-витиснювач – вторинний відстійник». Запропоновано заходи по удосконаленню роботи споруд біологічного очищення стічних вод та обґрунтована доцільність їхнього застосування.

Ключові слова: аеротенк-витиснювач, вторинний відстійник, стічна рідина, екологічні вимоги, біологічне очищення.

Постановка проблеми

Через активну виробничу та господарську діяльність людини відбувається інтенсивне забруднення водойм за рахунок потрапляння у природні водойми суміші неочищених або недостатньо очищених побутових та промислових стічних вод. Антропогенний вплив негативно відбувається на якості води в поверхневих та підземних водоймах, які в подальшому використовуються як джерела водопостачання. Причиною негативних змін стають значні обсяги органічних та мінеральних забруднень [1]. Їх наявність у воді негативно відображається на стані здоров'я людей та тварин, призводить до неможливості використання водойм для рибальства, відпочинку, в цілому негативно впливає на якість життя.

Потужним джерелом забруднення водних об'єктів органічними та мінеральними речовинами залишаються підприємства по очищенню стічних вод. Періодичні порушення умов роботи очисних споруд пов'язані з недосконалістю технології очищення. Внаслідок цього забруднюючі речовини потрапляють в водний об'єкт. Тому виникає нагальна потреба удосконалити режим роботи споруд біологічного очищення та забезпечити дотримання екологічних вимог по очищенню міських стічних вод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Інтеграція України в Європейській Союз є складним, багатограним процесом, одним з напрямків якого є комплекс заходів по захисту навколишнього середовища [2]. Повноцінне життя людини на пряму пов'язано зі здоров'ям, яке безпосередньо залежить від стану повітря, ґрунтів, води. Внаслідок зростання викидів забруднюючих речовин в водні об'єкти спостерігається постійне забруднення водного

басейну. Внаслідок недосконалості технологічних процесів на виробництві збільшується споживання чистої води.

Держава зобов'язалася охороняти громадян від навантажень і ризиків для здоров'я і благополуччя, пов'язаних з навколишнім середовищем [3]. Щоб попередити або знизити негативні наслідки від потрапляння недостатньо очищених або неочищених стічних вод в водойми, використовують різні методи. Цими питаннями за кордоном та в Україні займаються багато науковців. Вони пропонують різні шляхи подолання екологічної проблеми, що виникає в зв'язку з потраплянням недостатньо очищених стічних вод у водойми:

- зменшення об'ємів використання чистої води за рахунок покращення виробничих технологій [4, 5];
- застосування нового або оновлення існуючого обладнання та реагентів [6];
- модернізація або повна зміна технології очищення [7].

В роботі [8] пропонується оптимізувати процес очищення шляхом усереднення стічних вод та зміни технології во вторинних відстійниках. Однак нерозв'язаною залишається проблема викидів летучих речовин під час перемішування. В статті [9] автори розглядають питання видалення нітратів зі стічних вод. Але подальшого дослідження потребує проблема нерівномірності надходження стічних вод та життєдіяльності біоценозу активного мулу при роботі споруд в таких умовах. Інтенсифікація очищення шляхом впливу на стічні води ультразвуком розглядається в роботі [10]. Автори стверджують, що такий режим роботи дозволяє краще видаляти тверді часточки. Однак ефективність такої технології для значних об'ємів стічних вод в роботі не розглядається, що було б дуже цікавим для великих міст.

Увагу науковців викликають питання прогнозування якості очищення стічних вод [11, 12], що дозволяє стверджувати про актуальність пошуків в цьому напрямі. Однак велика кількість наукових досліджень поки ще не дозволяє говорити про поліпшення стану водних об'єктів. Тому пошук нових та покращення існуючих технологій очищення стічних вод залишається актуальним напрямом наукових досліджень.

Мета роботи

Неочищені та недостатньо очищені стічні води містять забруднюючі речовини, що призводять до спалахів інфекційних захворювань, погіршення здоров'я людей і тварин. Такі явища спостерігаються в населених пунктах, інфраструктура яких насичена будівлями різного призначення, транспортом, промисловістю. Тому **метою** дослідження є удосконалити роботи споруд біологічного очищення, які складаються з аеротенка-витиснювача та вторинного відстійника, та забезпечити дотримання нормативів скидання забруднюючих речовин.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання декількох задач:

- проаналізувати процес очищення стічних вод, які надходять на очисні споруди;

- визначити фактори, які на нього впливають;
- запропонувати заходи по удосконаленню роботи споруд біологічного очищення.

Виклад основного матеріалу

Очищення стічних вод відбувається за схемою, яка передбачає спочатку подачу стічних вод на споруди механічного очищення для освітлення, потім на споруди біологічного очищення для видалення органічних забруднень. Суміш, яка надходить від населених пунктів до очисних споруд, зазвичай, містить близько 65–70% виробничих та 30–35% побутових стоків. Основну масу нерозчинених забруднень (найбільш важкі та великі часточки) видаляють зі стічної рідини на спорудах механічного очищення. Потім освітлена рідина прямує на споруди біологічного очищення, де з неї видаляють тонкі суспензії, колоїдні і розчинені органічні забруднення. Останній етап – знезараження стічних вод.

Процес біологічного очищення полягає в поступовому переведенні розчиненої у воді органічної речовини в біомасу активного мула. Принципова схема біологічного очищення суміші виробничих та побутових стічних вод в системі «аеротенк-витиснювач – вторинний відстійник» наведена на рис. 1.

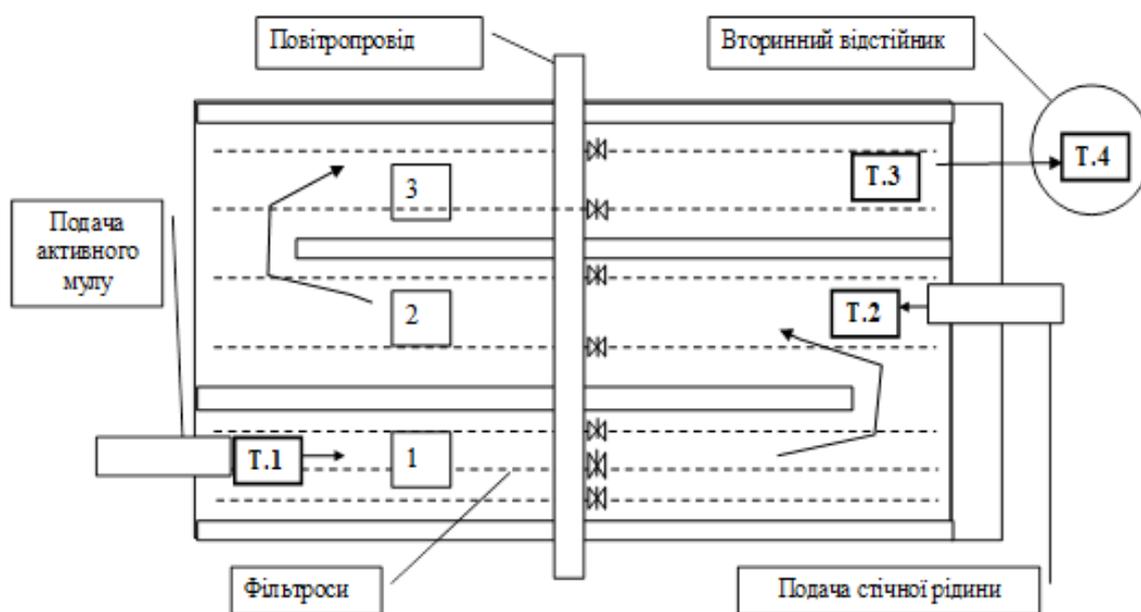


Рис. 1. Схема секції аеротенка-витиснювача: 1 – регенератор, 2 – другий коридор; 3 – третій коридор

Для перемішування та подальшого переміщення суміші стічної рідини та активного мулу в конструкції аеротенку передбачено три коридори. В перший від мулової насосної станції поступає на регенерацію активний мул. В другий коридор після механічного очищення зосереджено подають освітлену рідину. Рідина та мул перемішуються та повільно рухаються

далі по другому та третьому коридорах протягом близько 6–8 годин. Час протікання процесу очищення в аеротенку залежить від геометричних розмірів споруд, витрати стічної рідини та мулу. Для підтримання суміші в зваженому стані та насичення її киснем від компресорної станції постійно подають стиснене повітря.

Через відповідний канал, якій розташовано наприкінці третього коридору, суміш по трубопроводам самопливом поступає на розподільчі чаші вторинних відстійників. При поступовому русі суміші від центру відстійника до збірної каналу вторинного відстійника активний мул відділяється від очищеної води та осідає на дно, потім по муловим трубах поступає в муловий колодезь. Очищена вода збирається в лоток та по каналу відводиться до випуску. Для регулювання відтоку мулу з відстійника в конструкції мулового колодезя передбачено шибєрну заслонку. Частина активного мулу (циркуляційний активний мул) перекачують насосами в регенератор аеротенку, а частину – скидають з системи для підтримання заданого рівня концентрації.

Очищена в системі «аеротенк-витиснювач – вторинний відстійник» вода знезаражується та надходить до водного об'єкту. В подальшому воду з водойми забирають на різні потреби (господарські, виробничі), використовують для ловлі або розведення риби, відпочинку. Якщо споруди очищення працюють неефективно, це погіршує екологічну ситуацію, призводить до виникнення кишкових захворювань, негативно впливає на здоров'я людей та тварин.

Якісний склад та окислювальна здатність активного мулу визначають ефективність біологічного очищення. На ці показники впливають склад стічних вод, що надходять на очищення, кількості та вид забруднень. Умовами забезпечення ефективної роботи споруд біологічного очищення є створення та підтримання на заданому рівні кисневого режиму (концентрація розчиненого кисню вище 2 мг/л), температури ($T=20-30\text{ }^{\circ}\text{C}$), активної реакції середовища ($\text{pH}=5-9$). Крім того, регламентується допустима доза токсичних речовин, які можуть негативно вплинути на біологічні процеси.

Проведений аналіз особливостей роботи системи «аеротенк-витиснювач – вторинний відстійник» показав, що процес очищення залежить від концентрації активного мулу, кількості повітря та властивостей стічної рідини, що надходить на очищення. З урахуванням цього запропоновано регулювати співвідношення «стічна рідина - активний мул - повітря» та впливати на ефективність біологічного очищення з метою забезпечення екологічних вимог. Це допоможе захистити навколишнє середовище від забруднення недостатньо очищеними або неочищеними стічними водами.

Експериментальне дослідження процесів очищення

Для аналізу процесів, що відбуваються в спорудах біологічного очищення під час контакту стічної рідини та активного мулу, використано методи математичного моделювання. На першому етапі визначено фактори, які найбільше впливають на

режим роботи системи «аеротенк-вторинний відстійник». В результаті аналізу особливостей процесу визначено, що такими факторами є витрата стічних вод, що надходять на очищення, насиченість киснем суміші активного мулу та стічної рідини, кількість та якість активного мулу, що подається в аеротенк. Крім цього, враховано особливості процесів, що відбуваються в різних частинах споруд. Тому процес очищення розділено на два основних етапи [13]:

1. Перший етап – відбувається в першому коридорі аеротенку. Сюди поступає на регенерацію активний мул.

2. Другий етап – охоплює другий–третій коридори аеротенка та вторинний відстійник. Спочатку відбувається перемішування стічної рідини з активним мулом, потім суміш відводиться до вторинного відстійника.

При побудові моделі враховано, що повітря по коридорах аеротенку подається з різною інтенсивністю. В першому коридорі інтенсивність подачі повітря забезпечується збільшеною кількістю фільтросних труб на дні аеротенку (рис. 1) тому вона максимальна. В другому та третьому коридорах прокладено по два фільтросних трубопроводи, тому інтенсивність зменшується. Така конструкція обумовлена збільшеною потребою в кисні в регенераторі, який витрачається на окиснення органічних речовин. Для контролю перебігу процесу на різних етапах очищення обрано наступні параметри: витрата та концентрація забруднень в стічних водах, що надходять на очищення, витрата та концентрація активного мулу, інтенсивність аерації суміші.

Для дослідження зміни показників та побудови математичної моделі обрано місця відбору проб (рис. 1):

- Т.1 – початок регенератора, в який подається активний мул;
- Т.2 – початок другого коридору, куди зосереджено подається стічна рідина;
- Т.3 – закінчення третього коридору;
- Т.4 – відповідний канал вторинного відстійника.

Дослідження процесів на першому етапі очищення

Проведений аналіз особливостей процесу біологічного очищення стічних вод показав, що на дозу мулу на виході з першого коридору аеротенка впливає витрата і концентрація активного мулу, якій повертається на регенерацію. Шляхом аналізу лабораторних даних за вказаними параметрами визначено межі варіювання факторів (табл. 1).

При підготовці та проведенні експерименту використана поліноміальна залежність другого порядку, центральний, композиційний, рототабельний уніформ-план [14, 15]. Для визначення коефіцієнтів при квадратичних членах додатково використано значення в зіркових точках. За стандартними залежностями проведено кодування змінних,

побудована план-матриця експерименту. За результатами розрахунків отримано рівняння регресії (1):

$$y_{\text{мулу}} = 3.61333 + 0.08833 \cdot x_1 + 1.05167 \cdot x_2 - 0.065 \cdot x_1^2 - 0.025 \cdot x_2^2 - 0.225 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

Таблиця 1

Рівні варіювання факторів		
Інтервал варіювання та рівень факторів	Витрата активного мулу, м ³ ·хв ⁻¹	Доза мулу, що подається в регенератор, за вагою, г·(дм ³) ⁻¹
Нулевий рівень $x_i=0$	0,75	4,0
Інтервал варіювання δ_i	0,25	0,45
Нижній рівень $x_i=-1$	0,5	3,55
Верхній рівень $x_i=+1$	1,0	4,45
Зіркові точки: $x_i=+2$ $x_i=-2$	1,25 0,25	4,9 3,1
Кодове позначення	x_1	x_2

Перевірка адекватності отриманого рівняння здійснена за критерієм Фішера. З'ясовано, що рівняння (1) є адекватним реальним процесам в рамках прийнятих умов і припущень. Чисельне рішення рівняння (1) наведено на (рис. 2).

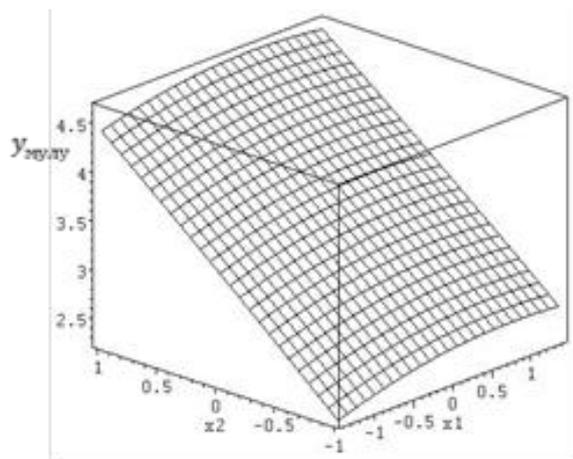


Рис. 2. Залежність дози мулу $y_{\text{мулу}}$ в регенераторі аеротенка від дози мулу (x_2), що надходить в регенератор та його витрати (x_1)

Рівняння (1) описує залежність концентрації мулу від витрати зворотного мулу, що подається в регенератор аеротенка, та від дози мулу, що надходить на регенерацію. Аналіз результатів розрахунку показав, що на зміну концентрації мулу на виході з регенератора найбільший вплив оказує концентрація мулу, що надходить в регенератор. Збільшення витрати (x_1) та дози (x_2) мулу, що

надходить на регенерацію, призводить до зміни дози мулу $y_{\text{мулу}}$ на виході з першого коридору від 1,8 до 4,9 г/дм³.

Дослідження процесу на другому етапі очищення

Після регенерації активний мул надходить до другого коридору аеротенку, на початку якого зосереджено подають освітлену рідину після механічного очищення. Для оцінки якості очищення стічних вод на виході зі вторинного відстійника використано наступні показники:

- витрата освітленої рідини;
- концентрація забруднень в освітленій рідині;
- концентрація активного мулу по сухій речовині;
- інтенсивність подачі повітря.

Процеси, що протікають в 2–3 коридорах та вторинному відстійнику, розглядатимемо сумісно. Такий підхід обумовлений тим, що впливати на їхній перебіг можна тільки в точці, де зосереджено подають стічну рідину шляхом корегування її подачі. Саме в аеротенку відбувається основний процес очищення. Тому концентрація забруднень на виході зі споруд очищення безпосередньо залежить від перебігу процесу в другому та третьому коридорах аеротенка.

За результатами аналізу лабораторних даних визначено межі варіювання факторів, що впливають на зміну концентрації забруднень в очищених водах на виході зі вторинного відстійника після змішування активного мулу і стічних вод. Значення факторів наведено в табл. 2.

Рівні варіювання факторів

Інтервал варіювання та рівні факторів	Доза мулу, $\text{г} \cdot (\text{дм}^3)^{-1}$	Інтенсивність подачі повітря, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{хв})$	Витрата стічних вод, $\text{м}^3/\text{хв}$	Концентрація забруднень в стічних водах, $\text{г} \cdot (\text{дм}^3)^{-1}$
Нулевий рівень $x_i=0$	4,0	0,47	6,25	0.120
Інтервал варіювання δ_i	0,45	0,03	1	0.030
Нижній рівень $x_i=-1$	3,55	0,44	5,25	0.09
Верхній рівень $x_i=+1$	4,45	0,5	7,25	0.150
Зоряні точки: $x_i=+2$	4,9	0,53	7.77	0.16
$x_i=-2$	3,1	0,27	4.87	0,07
Кодове позначення	x_3	x_4	x_5	x_6

При підготовці до експерименту використана поліноміальна залежність другого порядку, побудовано центральний, композиційний, рототабельний уніформ-план. Для отримання додаткової інформації при квадратичних членах додано зіркові точки. Потім проведено кодування змінних, побудовано план-матрицю експерименту. В результаті аналізу та обробки даних отримано рівняння регресії:

$$\begin{aligned}
 y_{\text{СВ}} = & 0.01736 - 0.00063 \cdot x_3 - 0.00107 \cdot x_4 - \\
 & -0.00429 \cdot x_5 + 0.0009 \cdot x_6 - 0.00027 \cdot x_3^2 - \\
 & -0.00227 \cdot x_4^2 + 0.00198 \cdot x_5^2 + 0.00397 \cdot x_6^2 + \\
 & + 0.00006 \cdot x_3 \cdot x_4 - 0.00069 \cdot x_3 \cdot x_5 - \\
 & -0.00044 \cdot x_3 \cdot x_6 + 0.00181 \cdot x_4 \cdot x_5 - \\
 & -0.00194 \cdot x_4 \cdot x_6 - 0.00094 \cdot x_5 \cdot x_6. \quad (2)
 \end{aligned}$$

Перевірка адекватності отриманого рівняння здійснена за критерієм Фішера. З'ясовано, що рівняння (2) адекватно описує реальні процеси в рамках прийнятих умов і припущень. На рис. 3–5 показано, як впливають параметри рівняння (2) на зміну концентрації забруднень на виході зі споруд біологічного очищення.

Аналіз результатів, що наведено на рис. 3, показує, що збільшення витрати стічних вод (x_5), що надходять на очищення, призводить до зменшення концентрації забруднень на виході зі споруд за умовою, що концентрація забруднень в стічних водах, що поступає на очищення, залишається незмінною. При цьому значення концентрації змінюються в межах $0,29-0,326 \text{ г} \cdot (\text{дм}^3)^{-1}$.

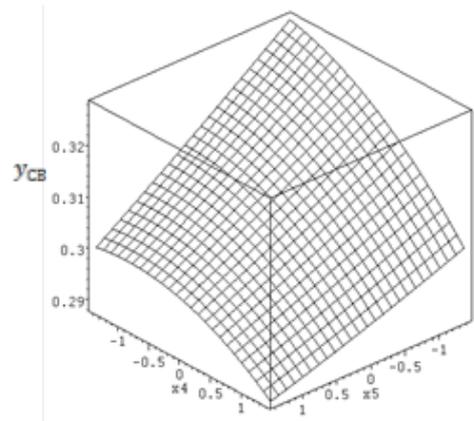


Рис. 3. Зміна концентрації забруднень в очищеній воді ($y_{\text{СВ}}$) в залежності від інтенсивності подачі повітря (x_4) та витрати стічних вод (x_5)

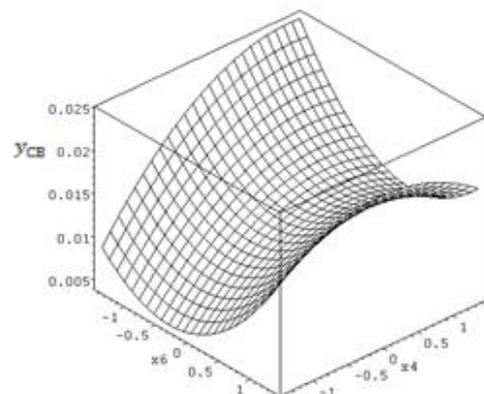


Рис. 4. Зміна концентрації забруднень в очищеній воді ($y_{\text{СВ}}$) в залежності від інтенсивності подачі повітря (x_4) та концентрації забруднень в стічних водах (x_6)

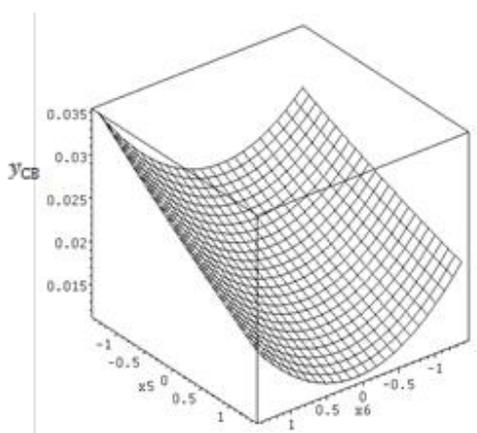


Рис. 5. Зміна концентрації забруднень в очищеній воді ($Y_{св}$) в залежності від витрати стічних вод (x_5) та концентрації забруднень (x_6) в стічних водах, що поступають на очищення

На рис. 4 показана зміна концентрації забруднень в очищеній воді ($Y_{св}$) в залежності від інтенсивності подачі повітря (x_4) та концентрації забруднень в стічних водах (x_6). В результаті аналізу графіка з'ясовано, що зростання концентрації забруднень в стічних водах, що подають на очищення, призводить до збільшення концентрації забруднень на виході зі споруд. Змінення інтенсивності аерації призводить до зростання концентрації забруднень при максимальних та мінімальних значеннях. Це можна пояснити нестачею кисню для окиснення органічних речовин (при мінімальних значеннях) або руйнування пластівців активного мулу (при максимальних значеннях).

Вплив витрати та концентрації забруднень в стічних водах, що подають на очищення, показано на рис. 5. Збільшення витрати стічних вод (x_5) та концентрації забруднень (x_6) в стічних водах, що поступають на очищення, призводить до зменшення концентрації забруднень на виході зі споруд. При мінімальних значеннях витрати та концентрації стічних вод, що поступають на очищення концентрація забруднень на виході збільшується.

Емпіричні залежності (1) та (2) дозволяють отримувати чисельні значення параметрів процесу очищення, досліджувати поведінку окремих складових, що впливають на процес біологічного очищення суміші стічних вод, що надходять від побутових та виробничих споживачів. Пропонуємо використовувати отримані рівняння для визначення концентрацій відповідно активного мулу на виході з регенератора і забруднень на виході зі споруд біологічного очищення.

Заходи по удосконаленню роботи споруд біологічного очищення

Для дотримання екологічних вимог при роботі системи «аеротенк-витиснювач – вторинний відстійник», яка призначена для очищення суміші побутових та виробничих стічних вод, пропонується

удосконалити роботу споруд для конкретних умов експлуатації.

Аналіз конструктивних, об'ємно-планувальних та комунікаційних рішень споруд біологічного очищення показав, що впливати на режим їхньої роботи можна шляхом регулювання витрати та дози активного мулу, що подається на регенерацію, інтенсивності аерації. Цього можна досягти за рахунок корегування витрати насосів, що перекачують активний мул; компресорів, що перекачують повітря, або безпосередньо відкриттям-закриттям засувки по коридорах аеротенка; скиданням зайвого мулу з системи біологічного очищення.

Підгунтям зміни режиму роботи аеротенка є лабораторний аналіз, в результаті якого треба визначити якість стоків на вході в аеротенк, концентрацію мулу в регенераторі аеротенка. Після аналізу отриманих даних необхідно прийняти рішення про необхідність внесення змін в технологічний регламент роботи аеротенка.

Для аналізу проведених лабораторних досліджень (характеристика стічних вод на вході в аеротенк, активного мулу, витрата стічних вод і активного мулу, інтенсивність аерації) та вибору технологічного режиму роботи аеротенка запропоновано використовувати емпіричні залежності (1) та (2). Результати розрахунку за наведеними рівняннями дозволяють оцінити якість очищення для різних варіантів роботи споруд та при необхідності оперативно регулювати співвідношення «стічна вода - активний мул - повітря». Це дозволить отримати на виході зі споруд концентрації забруднюючих речовин не вище гранично допустимих значень та дотриматися екологічних вимог.

Порядок дій, який забезпечить досягнення поставленої мети:

1. Визначити витрату та концентрацію забруднень в стічних водах, що надходять на очищення, дозу та витрату активного мулу, який подається в регенератор аеротенка, інтенсивність подачі повітря.

2. З використанням емпіричних залежностей (1) та (2), розв'язання яких реалізовано вбудованими пакетами програмних засобів, розрахувати концентрацію активного мулу, концентрацію забруднень на виході зі споруд очищення.

3. Порівняти отримані значення концентрацій для різних варіантів з нормативними величинами.

4. Обрати режим роботи системи «аеротенк-витиснювач – вторинний відстійник» для заданих умов експлуатації.

Послідовність роботи запропонованого порядку представлена в вигляді алгоритму з чотирьох блоків [16]. В першому блоці аналізують вихідні дані стосовно стічних вод, що поступають після механічного очищення, активного мулу та інтенсивності аерації, та проводять розрахунок за допомогою

комп'ютерної програми. Другий блок – фіксують результати розрахунку. Третій блок – порівняти результати, четвертий – зробити висновок стосовно необхідності зміни режиму роботи споруд.

Запропонований порядок доцільно використовувати при проектуванні або реконструкції нових споруд, при обслуговуванні вже існуючих споруд, до складу яких входять споруди біологічного очищення. Також він дозволяє досліджувати особливості роботи споруд біологічного очищення без проведення натурних експериментів.

Висновки

За результатами аналізу особливостей процесу біологічного очищення стічних вод в системі «аеротенк-витиснювач – вторинний відстійник» визначено шляхи удосконалення роботи споруд з метою дотримання екологічних вимог по дотриманню гранично-допустимих концентрацій. Таке удосконалення можливо за рахунок оперативного регулювання співвідношення «стічна рідина - активний мул - повітря».

Обробка результатів експериментальних досліджень дозволила отримати емпіричні залежності, які описують зміну концентрації активного мулу на виході з регенератора та зміну концентрації забруднень в очищеній воді на виході зі споруд очищення. Аналітичні рішення отриманих рівнянь дозволяють аналізувати протікання процесів очищення на різних етапах, визначати вплив факторів на перебіг процесу.

Запропоновано порядок дій по використанню рівнянь, який дозволяє без проведення додаткових експериментів обирати режим роботи споруд біологічного очищення, який забезпечить дотримання екологічних вимог.

Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього середовища в Україні у 2020 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mepr.gov.ua/news/38840.html>
2. Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/188/98-%D0%B2%D1%80#Text>
3. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». В редакції від 16.10.2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
4. Епоян С.М. Визначення водоємності галузей економіки України / С.М. Епоян, І.В. Гончак, К.Б. Сорочіна, Т.С. Айрапетян, В.М. Жук // Науковий вісник будівництва. – 2021. – Т. 105, № 3. – С. 214–219.
5. Khar Y.P. A watershed scale assessment of phosphorus remediation strategies for achieving water quality restoration targets in the western Everglades / Y.P. Khar, G.M. Naja, R. Paudel, C.J. Martinez // *Ecological Engineering*. – 2020. – 143. – 105663. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105663>

6. Chan Jing S. Acoustic enhancement of aerobic greywater treatment processes / Chan Jing S., Poh Phaik E., Ismadi Mohd-Zulhilm P, Yeo Leslie Y., Tan Ming K. // *Journal of Water Process Engineering*. – 2021. – 44, December. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102321>
7. Muoio R. Optimization of a large industrial wastewater treatment plant using a modeling approach: A case study / R. Muoio, L. Palli, I. Ducci, E. Coppini, E. Bettazzi, D. Daddi, D. Fibbi, R. Gori // *Journal of Environmental Management*. – 2019. – 249. – 109436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109436>
8. Chen W.H. Comparing volatile organic compound emissions during equalization in wastewater treatment between the flux-chamber and mass-transfer methods / W.H. Chen, S.J. Lin, F.C. Lee, M.H. Chen, T.Y. Yeh, C.M. Kao // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2017. – 109. – P. 410–419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.04.023>
9. Li W. Simultaneous removal of nitrite and organics in a biofilm-enhanced high-salt wastewater treatment system via mixotrophic denitrification coupled with sulfate reduction / W. Li, J. Liu, Y. Zhen, M. Lin, X. Sui, W. Zhao, X. Bing, J. Lin, L. Zha // *Journal of Water Process Engineering*. – 2021. – 40, April. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101976>
10. El-Rawya M. Forecasting effluent and performance of wastewater treatment plant using different machine learning techniques / M. El-Rawya, M. K. Abd-Ellah, H. F. A. Khaled, A. Ahmed // *Journal of Water Process Engineering*. – 2021. – 44, December. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102380>
11. Krainiukov O.M. Economic consequences of anthropogenic water pollution (by using pechenizky reservoir as an example) / O.M. Krainiukov, V.D. Timchenko // *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*. – 2018. – (19). – Pp. 66–74.
12. Олійник О.Я. Практичні рекомендації до розрахунку кисневого режиму при біологічному очищенні стічних вод в аеротенках з закріпленням і зваженим біоценозом / О.Я. Олійник, Т.С. Айрапетян // *Комунальне господарство міст*. – 2019. – Вип. 1(147). – С. 175–180.
13. Мовчан А.П. Дотримання екологічних вимог при очищенні міських стічних вод / А.П. Мовчан, Д.Г. Горбань, С.А. Горносталь // *Пріоритетні напрямки та вектори розвитку світової науки : матер. II Міжн. студ. наук. конф. (Т. 2), м. Дрогобич, 19.11.2021 р. – Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021. – С. 30–33.*
14. Дубовий В.М. Моделювання та оптимізація системи: підруч. / В.М. Дубовий, Р.Н. Кветний, О.І. Михальов, А.В. Усова. – Вінниця : ПП «ТД Едельвейс», 2017. – 804 с.
15. Павленко П.М. Математичне моделювання систем і процесів : навч. посіб. / П.М. Павленко, С.Ф. Філоненко, О.М. Чередніков, В.В. Трейтяк. – Київ : НАУ, 2017. – 392 с.
16. Горбань Д.Г. Захист водойм від забруднення недостатньо очищеними стічними водами / Д.Г. Горбань, А.П. Молчан, С.А. Горносталь // *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності : Зб. наук. пр. XVII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих вч-них, курсантів та студентів. – Львів : ЛДУ БЖД, 2022. – С. 201–205.*

References

1. National report on the state of the environment in Ukraine in 2020. URL: <https://mepr.gov.ua/news/38840.html> [in Ukrainian]
2. About the Main Directions of the State Policy of Ukraine in the Field of Environmental Protection, Use of Natural

- Resources and Ensuring Environmental Safety. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/188/98-%D0%B2%D1%80#Text> [in Ukrainian]
3. Law of Ukraine «On Environmental Protection». URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> [in Ukrainian]
4. Epoian, S.M., Hopchak, I.V., Sorokina, T.S., Airapetian, T.S., & Zhuk, V.M. (2021). Determination of water capacity of Ukrainian economy. *Scientific Bulletin of Construction*, 105(3), 214–219. [in Ukrainian]
5. Khare, Y.P., Naja, G.M., Paudel, R., & Martinez, C.J. (2020). A watershed scale assessment of phosphorus remediation strategies for achieving water quality restoration targets in the western Everglades. *Ecological Engineering*, 143, 105663. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105663>
6. Jing, S. Chan, Phaik, E. Poh, Mohd-Zulhilmi, P. Ismadi, Leslie, Y. Yeo, & Ming, K. Tan. (2021). Acoustic enhancement of aerobic greywater treatment processes. *Journal of Water Process Engineering*, 44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102321>
7. Muoio, R., Palli, L., Ducci, I., Coppini, E., Bettazzi, E., Daddi, D., Fibbi, D., & Gori R. (2019). Optimization of a large industrial wastewater treatment plant using a modeling approach: A case study. *Journal of Environmental Management*, 249, 109436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109436>
8. Chen, W.-H., Lin, S.-J., Lee, F.-C., Chen, M.-H., Yeh, T.Y., & Kao, C.M. (2017). Comparing volatile organic compound emissions during equalization in wastewater treatment between the flux-chamber and mass-transfer methods. *Process Safety and Environmental Protection*, 109, 410–419. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.04.023>
9. Wei, Li, Jiamin, Liu, Yuming, Zhen, Minghui, Lin, Xiuting, Sui, Wanying, Zhao, Xiuchen, Bing, Jianguo, Lin, & Liming, Zhai. (2021). Simultaneous removal of nitrite and organics in a biofilm-enhanced high-salt wastewater treatment system via mixotrophic denitrification coupled with sulfate reduction. *Journal of Water Process Engineering*, 40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101976>
10. El-Rawya, M., Khaled Abd-Ellah, M., Fathid, H., Khaled Abdella Ahmed, A. (2021). Forecasting effluent and performance of wastewater treatment plant using different machine learning techniques. *Journal of Water Process Engineering*, 44. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102380>
11. Krainiukov, O.M., Timchenko, V.D. (2018). Economic consequences of anthropogenic water pollution (by using pechenizky reservoir as an example). *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*, 19, 66–74.
12. Oleynyk, O.Ya., & Airapetian, T.S. (2019). Practical recommendations to oxygen calculation modes for biological strain water treatment in aerobes with closed and referring bioecenosis. *Municipal economy of cities*, 1(147), 175–180. [in Ukrainian]
13. Molchan, A.P., Gorban, D.G., & Gornostal, S.A. (2021). Compliance with environmental requirements for urban wastewater treatment. *Priority directions and vectors of world science development: materials II Int. stud. Science. conf. (T. 2), Drogobych*, 30–33. [in Ukrainian]
14. Dubovoy, V.M., Kvetniy, R.N., Mihaylov, O.I., & Usova, A.V. (2017). *System modeling and optimization*. Vinnica, PP «TD Edelveys». [in Ukrainian]
15. Pavlenko, P.M., Filonenko, S.F., Cherednikov, O.M., & Tretyak, V.V. (2017). *Mathematical modeling of systems and processes*. Kiev, NAU. [in Ukrainian]
16. Gorban, D., Molchan, A., & Gornostal, S. (2022). Protection of water bodies from pollution by insufficiently treated wastewater. *Problems and prospects of security system development vital activity: Collection of scientific papers XVII International scientific-practical conference by young scientists, cadets and students*. Lviv, 201–205. [in Ukrainian]

Рецензент: д-р технічних наук, професор С.М. Епоян, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна.

Автор: ГОРНОСТАЛЬ Стелла Анатоліївна
кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – gornostal@nuczu.edu.ua
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0789-7669>

Автор: ГОРБАНЬ Дарина Геннадіївна
здобувач вищої освіти першого (бакалаврського) рівня
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – dgorban@gmail.com

Автор: ПЕТУХОВА Олена Анатоліївна
кандидат технічних наук, доцент, заступник начальника кафедри пожежної профілактики в населених пунктах
Національний університет цивільного захисту України
E-mail – voda1970@gmail.com
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4832-1255>

IMPROVEMENT OF THE MODE OF OPERATION OF BIOLOGICAL WASTEWATER TREATMENT FACILITIES

S. Gornostal, D. Horban, O. Petukhova

National University of Civil Defence of Ukraine, Ukraine

Despite the strict requirements for wastewater quality, intensive pollution and accumulation of industrial pollution, potentially hazardous substances, continues in the places of wastewater discharge. Therefore, the aim of the study is to improve the operation of biological wastewater treatment plants to ensure compliance with environmental requirements. To achieve this goal, the features of wastewater treatment are analyzed and it is found that the treatment process depends on the concentration of activated sludge, the amount of air and the properties of the wastewater entering the treatment. With this in mind, it is proposed to adjust the ratio of "sewage active sludge

air" to ensure compliance with environmental requirements. Factors influencing the cleaning process are also identified. Such factors are the consumption of wastewater coming for treatment, oxygen saturation of the mixture of activated sludge and wastewater, the quantity and quality of activated sludge fed into the aeration tank. In addition, the peculiarities of the processes occurring in different parts of the buildings are taken into account, and it is proposed to divide the cleaning process into two stages. The first stage takes place in the first corridor of the aeration tank (regenerator), where the activated sludge enters for regeneration. The second stage covers the second or third corridors of the aeration tank and the secondary settling tank, where the wastewater is first mixed with activated sludge, then the mixture is discharged to the secondary settling tank. An experimental study of the cleaning process was carried out, as a result of which the necessary data for the mathematical description of the processes were obtained. After processing the experimental data, regression equations were obtained that describe the purification processes in the system "aeration tank-displacer - secondary settling tank", namely the change in the concentration of activated sludge at the outlet of the regenerator and the change in the concentration of contaminants in the purified water. The adequacy of the equations was checked according to Fisher's test. It was found that the equations are adequate to real processes within the accepted conditions and assumptions. Analytical solutions of the obtained equations allow to analyze the course of purification processes at different stages, to determine the influence of factors on the process. A procedure for the use of equations is proposed, which allows without additional experiments to choose the mode of operation of biological treatment facilities, which will ensure compliance with environmental requirements.

Keywords: aeration tank, secondary settling tank, sewage, ecological requirements, biological treatment.