

Scientific and technical journal «Technogenic and Ecological Safety»

RESEARCH ARTICLE
OPEN ACCESS

ВИЗНАЧЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ РЕГЕНЕРАТОРА АЕРОТЕНКА ЯК СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

С. А. Горносталь¹, О. А. Петухова¹, А. О. Головахіна¹, Ю. В. Роменська¹¹Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

УДК 504.064.4

DOI: 10.52363/2522-1892.2023.1.10

Отримано: 15 березня 2023

Прийнято: 27 квітня 2023

Cite as: Gornostal S., Petukhova O., Holovakhina A., Romenska Yu. (2023). Determination of the features of the aeration tank regenerator as a component of the system of biological treatment of wastewater. Technogenic and ecological safety, 13(1/2023), 76–83. doi: 10.52363/2522-1892.2023.1.10

Анотація

В роботі розглянуто питання дотримання технологічного регламенту роботи регенератора аеротенка. Проведено аналіз особливостей перебігу процесів в регенераторі, визначено фактори, які на них впливають, а саме інтенсивність аерації, витрата та початкова доза активного мулу.

Для визначення характеристик активного мулу на виході з регенератора проведено експериментальні дослідження та отримана модель, яка описує процес регенерації в аеротенку. За допомогою моделі досліджено вплив складових процесу на концентрацію активного мулу на виході з аеротенку. В результаті встановлено, що доза мулу на виході з першого коридору аеротенка (регенератора) залежить від концентрації та витрати активного мулу, якій надходить після відстоювання суміші з вторинних відстійників.

Практичне використання отриманих результатів дозволить швидко реагувати на зміні в технологічному режимі регенерації мулу та ефективно впливати на процес біологічного очищення в аеротенку. Дотримання технологічного регламенту роботи споруд очищення спрямовано на захист навколишнього середовища, попередження забруднення водойм внаслідок надходження недостатньо очищених стічних вод.

Ключові слова: аеротенк, вторинний відстійник, стічна рідина, екологічні вимоги, біологічне очищення, технологічний регламент, захист навколишнього середовища.

1. Постановка проблеми.

Активна виробнича та господарська діяльність людини призводить до інтенсивного забруднення водойм. У відкриті водоймища потрапляє суміш недостатньо очищених або взагалі неочищених побутових та промислових стічних вод. Антропогенний вплив змінює якість природної води в поверхневих та підземних водоймах, які в подальшому слугують джерелами водопостачання. Ця зміна відбувається за рахунок потрапляння значних обсягів органічних та мінеральних забруднень [1, 2]. Наявність цих речовин у воді негативно впливає на стан здоров'я людей та тварин, робить водні об'єкти непридатними для подальшого використання.

Основним джерелом забруднення водних об'єктів на теперішній час залишаються комунальні підприємства, на які надходять стічні води після використання на промислових об'єктах та в побуті. Причиною недостатньої якості очищення стічних вод є порушення в режимі роботи очисних споруд. Серед несприятливих факторів, які призводять до негативних наслідків, можна виділити два основних:

- нерівномірність надходження стічних вод;
- постійна зміна якісного складу стічних вод.

Вказані об'єктивні особливості роботи очисних споруд спричиняють періодичне або постійне погіршення якості очищення. Результатом цього стає потрапляння в водні об'єкти недостатньо очищених вод. Далі водні об'єкти використовують

для різних потреб: споживання води на господарчі та виробничі потреби, відпочинку, рибальства. При цьому забруднюючі речовини, що містяться в воді, призводять до спалаху інфекційних захворювань, погіршення здоров'я людей і тварин. Такі явища непоодинокі виникають в великих містах, насичених будівлями різного призначення, промисловістю, транспортом, які є джерелами стічних вод, що відрізняються витратою та якісним складом. Проблема забезпечення якості очищення стічних вод на спорудах біологічного очищення залишається актуальною, що і обумовило напрям дослідження представленої роботи.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Одним з напрямів інтеграції України в Європейській Союз є екологічна політика, яка спрямована на захист навколишнього середовища. Без дотримання екологічних вимог неможливо забезпечити людині повноцінне життя, бо внаслідок погіршення стану навколишнього середовища люди частіше хворіють, споживають неякісну воду та продукти. Збільшення викидів в атмосферу та обсягів стічних вод від промисловості призводить до постійного забруднення водного та повітряного басейнів, здатність до самовідновлення яких вже практично вичерпана.

Держава взяла на себе обов'язок охороняти громадян від навантажень, ризиків для здоров'я і благополуччя, пов'язаних з навколишнім природним

середовищем [3, 4]. Для попередження негативних наслідків, обумовлених потраплянням неочищених або недостатньо очищених стічних вод в водні об'єкти, використовують різні напрями. Серед них актуальним залишається зниження негативного впливу від підприємств комунального господарства. Досягти цього можна за рахунок підвищення ефективності роботи споруд біологічного очищення стічних вод, що надходять після використання в побуті та на виробництві.

Питаннями забезпечення якості очищення стічних вод в Україні та за кордоном займаються багато науковців. Вони пропонують різні шляхи подолання екологічної проблеми, пов'язаної з потраплянням недостатньо очищених стічних вод у водойми:

- зниження навантаження на водойми шляхом покращення виробничих технологій, що передбачають великі обсяги використання води [5, 6];

- оновлення обладнання та застосування реагентів [7];

- модифікація або зміна технології очищення [8].

В роботі [9] запропоновано оптимізувати очищення за рахунок усереднення стічних вод та оптимізації процесів, що відбуваються в вторинних відстійниках. Однак нерозв'язаною залишається проблема викидів летких речовин, які виникають в процесі перемішування. Актуальною задачею є видалення нітратів зі стічних вод [10]. Але при розв'язанні цієї проблеми автори не враховують притаманну стічним водам нерівномірність надходження. Крім того, треба звернути увагу на зміни в біоценозі активного мулу, які при цьому відбуваються. Робота [11] присвячена інтенсифікації процесу очищення за рахунок впливу ультразвуку на стічні води, що призводить до кращого видалення твердих часточок. Однак в дослідженні не розглянуто можливості застосування технології для великих об'ємів стічних вод, що є актуальним для великих міст.

В роботі [12] побудована динамічна модель процесу відокремлення мулу від очищеної стічної рідини. Запропонована авторами модель описує поведінку суміші мулу та стічної рідини в вторинному відстійнику, але не враховує вплив концентрації мулу на процеси в регенераторі.

Модель седиментації мулу в вторинному відстійнику, що запропонована в [13], відрізняється простотою застосування та можливістю проведення прогнозних розрахунків по оцінці поведінки осідання мулу. Отримані за її допомогою результати адекватні реальним процесам та можуть бути застосовані для визначення вихідних даних для дослідження регенерації мулу в аеротенку.

Значна увага науковців також приділена питанням взаємодії пластівців мулу та бульбашок повітря. В [14] автори дослідили вплив розмірів пластівців на ефективність процесу флотації. Отриманий результат підтверджує, що інтенсивність подачі повітря в регенератор аеротенку безпосередньо впливає на процес регенерації.

Проблема відділення мулу від стічної рідини для подальшого згущення та анаеробного зброджування, яка актуальна для регенераторів аеротенків, розглянута в роботі [15]. Питання, пов'язані з утилізацією надлишкового мулу, залишаються актуальними, особливо для споруд, які обслуговують великі міста та населені пункти.

Роботи науковців також присвячено питанням прогнозування якості очищення стічних вод [16, 17], що підтверджує актуальність пошуків в цьому напрямі. Треба відзначити, що велика кількість наукових досліджень щодо очищення стічних вод не дозволяє говорити про якісне покращення стану води. Тому проблема забрудненості водних об'єктів стічними водами залишається актуальною. Одним зі шляхів її вирішення є розробка та впровадження заходів по дотриманню технологічного регламенту роботи регенератора аеротенка, як складової споруд біологічного очищення стічних вод.

3. Постановка завдання та його вирішення.

Метою роботи є визначення особливостей процесів, що відбуваються в регенераторі аеротенка, як складової системи біологічного очищення стічних вод, та розробка заходів по дотриманню технологічного регламенту роботи споруд біологічного очищення стічних вод.

Для досягнення поставленої мети передбачено розв'язання декількох **задач**:

- проаналізувати особливості протікання процесу регенерації активного мулу;

- визначити фактори, які впливають на регенерацію;

- запропонувати заходи по дотриманню технологічного регламенту роботи регенератора аеротенка.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в удосконаленні моделі, що описує процес регенерації активного мулу в регенераторі аеротенка.

3.1. Конструкційні особливості аеротенка

Процес очищення стічних вод представляє собою декілька послідовних операцій. Спочатку стічна рідина потрапляє на споруди механічного очищення, де відбувається її освітлення, шляхом видалення зважених часточок та частково органічних забруднень. Підготовлена таким чином рідина далі потрапляє на споруди біологічного очищення, де з неї видаляють суспензії, колоїдні і розчинені органічні забруднення. Суміш, що надходить на очищення, складається з 70 % виробничих та 30 % побутових стоків. Для знешкодження шкідливих та хвороботворних бактерій стічну воду знезаражують. Далі очищена рідина потрапляє в водний об'єкт.

Основною складовою процесу біологічного очищення є активний мул. Він представляє собою сукупність мікроорганізмів, які в результаті своєї життєдіяльності видаляють зі стічної рідини органічні забруднення. Саме завдяки тривалому контакту стічної рідини з активним мулом відбувається процес очищення, та зниження БСК від

120 мг/дм³ до нормативних 15 мг/дм³. Цей процес відбувається в спеціальних спорудах – аеротенках, які забезпечують необхідні для життєдіяльності мікроорганізмів умови.

Аеротенк представляє собою прямокутну в плані споруду з залізобетону (рис. 1). Рух рідини по коридорах споруди здійснюється за рахунок витиснення води новою порцією стічних вод. Безпосередньо процес очищення побудовано на поступовому переході розчиненої органіки в біомасу активного мулу. Для відділення мулу від очищеної води слугують вторинні відстійники. Неорганічні речовини споживають мікроорганізми-автотрофи, які переводять їх до мінеральної форми. Забезпечення енергетичних витрат біосинтезу здійснюється шляхом окиснення значної частини органічної речовини. Різноманіттям мікроорганізмів та притаманних їм способів живлення обумовлена швидкість та ефективність видалення забруднюючих речовин зі стічної рідини.

Принципова схема процесу біологічного очищення стічних вод в системі «аеротенк – витиснювач – вторинний відстійник» представлена на рис. 1. Аеротенк складається з трьох коридорів, по яким переміщується суміш стічної рідини та активного мулу. В перший коридор – регенератор – від насосної станції перекачують активний мул після відділення його від очищеної води. Другий коридор слугує для контакту освітленої рідини після механічного очищення та активного мулу. Далі суміш повільно рухається по коридорах 2 та 3. Для її перемішування від компресорної станції по повітропроводу подають стиснене повітря, яке фільтросними трубами розподіляється по площі споруди.

Для підтримання маси активного мулу на заданому рівні та збереження його видового складу

призначений регенератор (рис. 1, поз. 1). Саме сюди повертають активний мул після вторинних відстійників для відновлення його окиснювальної здатності за рахунок насичення киснем. Аерацію забезпечує компресорна станція, яка подає повітря по повітропроводам. Повітря виконує в аеротенках три важливі функції:

- 1) попереджає осідання мулу на дно коридора;
- 2) насичує мул киснем;
- 3) перемішує шари мулу.

Підтримання високої концентрації активного мулу в регенераторі на рівні 4,5...5 мг/дм³ обумовлено вимогами технологічного процесу біологічного очищення. Крім того, в разі надходження на очисні споруди залпових скидів зі значним перевищенням допустимих концентрацій забруднюючих речовин саме висока концентрація мулу повинна забезпечити стабільну роботу споруд біологічного очищення.

Від видового складу мікроорганізмів активного мулу та його окислювальної здатності залежить ефективність процесів очищення. Час знаходження активного мулу в регенераторі визначається його витратою та геометричними розмірами коридору. Від якісного складу та окислювальної здатності мулу залежить ефективність біологічного очищення, тому в регенераторі необхідно підтримувати кисневий режим, концентрацію мулу на заданому рівні.

3.2. Проведення експериментального дослідження

Проведений аналіз особливостей протікання процесів регенерації показав, що доза мулу на виході з першого коридору аеротенка (регенератора) залежить від концентрації та витрати активного

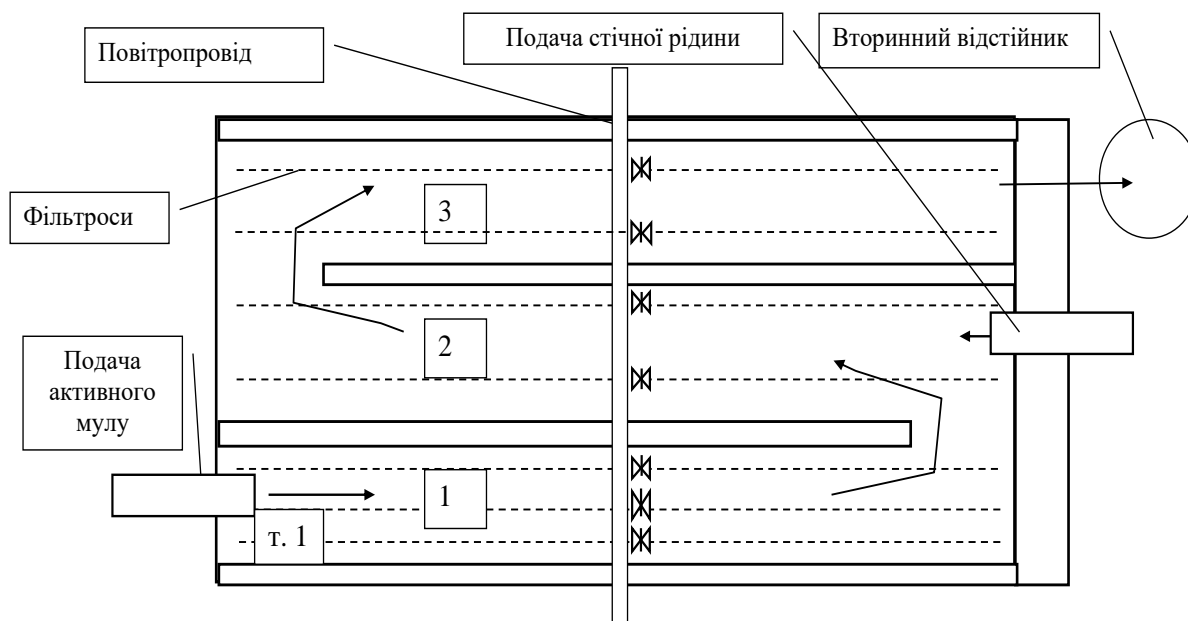


Рисунок 1 – Схема секції аеротенка:

1 – регенератор (перший коридор), 2 – другий коридор; 3 – третій коридор

мулу, якій надходить після відстоювання суміші з вторинних відстійників. Для дослідження процесів, які при цьому відбуваються, та побудови математичної моделі, яка описує процес регенерації активного мулу, проведено експериментальне дослідження.

Підготовка та проведення експерименту виконано з урахуванням положень теорії планування експериментів [18]. За допомогою стандартної методики визначено фактори, які впливають на процеси в регенераторі, проведено кодування змінних, побудована план-матриця. Аналіз лабораторних даних (табл. 1), які було отримано на очисних спорудах м. Харкова, на які надходять міські стічні води, дозволив визначити межі варіювання факторів (табл. 2).

Для дослідження зміни витрати та концентрації активного мулу обрано місце відбору проб в точці 1 (рис. 1) – початок регенератора (перший коридор). Для підготовки до відбору проб, безпосередньо відбирання та подальше зберігання проведено за методикою, яка наведена в [19].

При проведенні відбору проб, яке співвіднесене із часовою витратою мулу, врахована необхідність здійснювати витягання певної маси мулу наприкінці часового інтервалу в пропорційній кількості до витрати мулу в місці відбирання проб [19, п. 5.1.2.3]. Для дослідження згідно вимог [19, п. 5.3.1] за допомогою ручного пробовідбірника відбиралася проба в об'ємі 0,5 дм³, що забезпечило достатню кількість сухої речовини для подальшого репрезентативного аналізу компонентів мулу. Відібрані проби до проведення аналізу зберігалися в скляному посуді з притертими пробками, який забезпечував повітронепроникність та інертність. В літній час здійснювалися заходи щодо попередження нагрівання проб, шляхом використання охолоджувальних засобів. Для кожної проби фіксувалися час та дата відбирання, температура повітря та активного мулу. Концентрацію активного мулу визначено за методикою, яка передбачає фільтрування об'єму мулової суміші, його висушування та зважування осаду.

Таблиця 1 – Усереднені показники активного мулу в регенераторі аеротенка за період 2016–2022 р.р.

| № | Витрата мулу, м ³ /хв | Доза мулу, мг/дм ³ |
|---|----------------------------------|-------------------------------|
| | min / max | min / max |
| | середнє | середнє |
| 1 | 0,9 / 1,1 | 5,9 / 6,8 |
| | 1,0 | 6,0 |
| 2 | 0,89 / 1,12 | 5,4 / 6,4 |
| | 1,0 | 5,9 |
| 3 | 0,87 / 1,12 | 4,8 / 6,3 |
| | 1,0 | 5,6 |
| 4 | 0,78 / 1,0 | 5,19 / 6,3 |
| | 0,89 | 5,74 |
| 5 | 0,91 / 0,95 | 6,21 / 6,4 |
| | 0,93 | 6,3 |
| 6 | 0,92 / 0,96 | 6,1 / 6,9 |
| | 0,94 | 6,5 |

Таблиця 2 – Рівні варіювання факторів

| Інтервал варіювання та рівень факторів | Витрата мулу, м ³ /хв | Доза мулу, що подається в регенератор, мг/дм ³ |
|--|----------------------------------|---|
| Нульовий рівень $x_i = 0$ | 0,96 | 5,9 |
| Інтервал варіювання δ_i | 0,26 | 0,8 |
| Нижній рівень $x_i = -1$ | 0,7 | 5,1 |
| Верхній рівень $x_i = +1$ | 1,22 | 6,7 |
| Кодове позначення | x_1 | x_2 |

3.3. Результати та їх обговорення

Після обробки результатів лабораторних даних отримана модель (1), яка описує залежність дози мулу в регенераторі від дози (x_2) та витрати мулу (x_1), що надходить в регенератор.

$$y_{\text{мулу}} = 3,61333 + 0,08833 \cdot x_1 + 1,05167 \cdot x_2 - 0,065 \cdot x_1^2 - 0,025 \cdot x_2^2 - 0,225 \cdot x_1 \cdot x_2 \quad (1)$$

Запропонована модель (1) дозволяє проаналізувати особливості протікання процесу регенерації активного мулу в першому коридорі аеротенка. Результати розрахунків представлено на рис. 2–5.

На рис. 2 наведено залежність дози активного мулу на виході з регенератора від витрати, з якою він поступає. Розрахунок проведено при мінімальному значенні дози мулу, яка надходить до регенератору. Аналіз отриманого результату показав, що доза мулу змінюється в межах

1,75...2,14 мг/дм³. Максимальне значення вона досягає при збільшенні витрати, мінімальне – при зменшенні витрати, з якою мул надходить в регенератор.

Результати розрахунку дози активного мулу на виході з регенератора при максимальному значенні, з яким мул поступає в регенератор, наведено на рис. 3. Визначено, що доза мулу змінюється в межах 4,84...5,10 мг/дм³. Максимальне значення вона досягає при збільшенні витрати, мінімальне – при зменшенні витрати, з якою мул надходить в регенератор.

На рис. 4–5 наведено результати розрахунку для мінімальної (рис. 4) та максимальної (рис. 5) витрати, з якою мул поступає в регенератор. Визначено, що доза мулу змінюється в межах 1,7...5,0 мг/дм³, при чому ця залежність має лінійний характер. Витрата, з якою мул надходить до регенератору, не значно впливає на дозу мулу на виході з коридору.

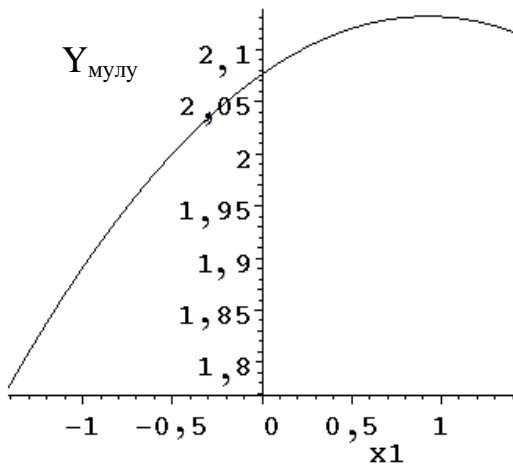


Рисунок 2 – Залежність дози мулу ($y_{\text{мулу}}$) в регенераторі аеротенка від витрати (x_1), з якою він поступає в регенератор, при мінімальному значенні дози мулу на вході в регенератор

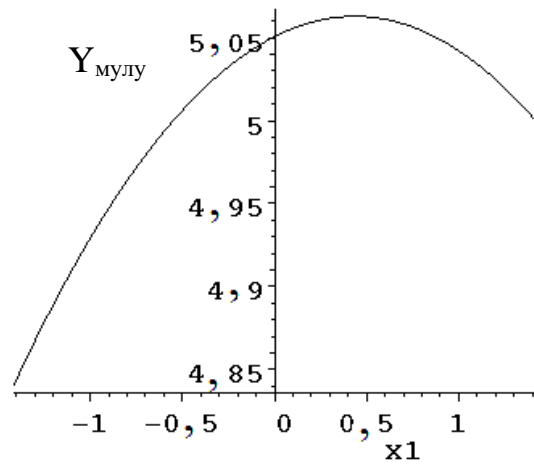


Рисунок 3 – Залежність дози мулу ($y_{\text{мулу}}$) в регенераторі аеротенка від витрати (x_1), з якою він поступає в регенератор, при максимальному значенні дози мулу на вході в регенератор (x_2)

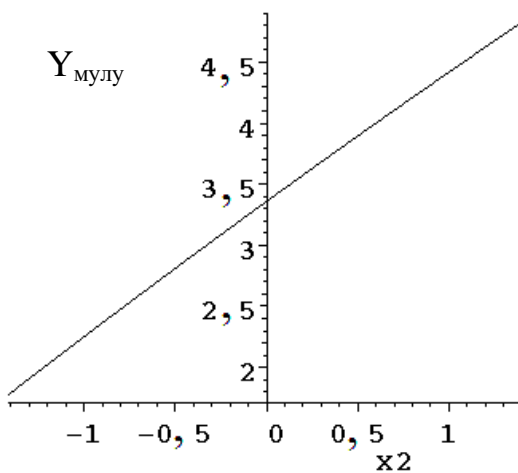


Рисунок 4 – Залежність дози мулу ($y_{\text{мулу}}$) в регенераторі аеротенка від дози мулу (x_2), з якою він поступає в регенератор, при мінімальному значенні витрати мулу на вході в регенератор (x_1)

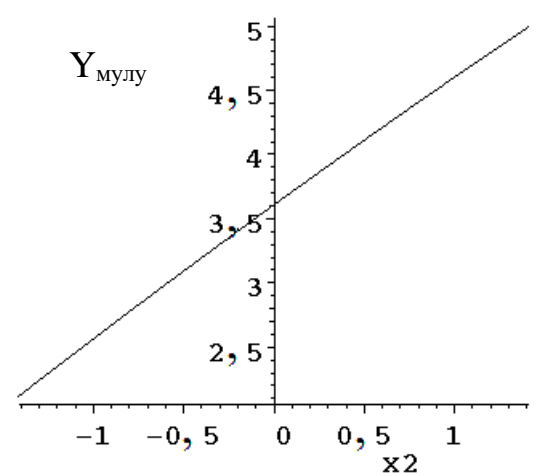


Рисунок 5 – Залежність дози мулу ($y_{\text{мулу}}$) в регенераторі аеротенка від дози мулу (x_2), з якою він поступає в регенератор, при максимальному значенні витрати мулу на вході в регенератор (x_1)

Проведений аналіз особливостей роботи регенератора аеротенка показав, що на його роботу практично однаково впливає концентрація активного мулу, що поступає в регенератор, та його витрата. Але відрізняється характер цього впливу: для дози мулу це лінійна залежність, для витрати – параболічна. Тобто доза мулу в регенераторі досягає свого максимуму при середній витраті (рис. 2–3), а потім починає знижуватися. Така поведінка активного мулу пояснюється тим, що при збільшенні витрати, збільшується турбулентність потоку. Це призводить до руйнування пластівців мулу. Подібне явище є небезпечним з погляду на погіршення окиснювальної, адсорбційної та абсорбційної здатності мулу.

Доза мулу в регенераторі пропорційно змінюється зі збільшенням (або зменшенням) дози мулу, що подається в коридор (рис. 4–5). Це дає змогу стверджувати, що при інших однакових параметрах процесу регенерації активізувати приріст мулу в разі потреби можна за рахунок підвищення його концентрації в мулових колодязях після осадження в вторинних відстійниках.

Отримані результати та проведений аналіз показав, що для дотримання технологічного регламенту роботи регенератора, як складової аеротенка, та забезпечення відповідної кількості активного мулу необхідно регулювати співвідношення витрати та дози активного мулу. Для цього пропонується використовувати рівняння (1), яке дозволяє швидко розрахувати показники мулу на виході з регенератора з урахуванням характеристик, з якими мул поступає в регенератор. Завдяки цьому можна швидко та ефективно впливати на подальший перебіг процесу біологічного очищення в аеротенку, обґрунтовано приймати рішення, щодо концентрації зворотного мулу, що повертається після осадження во

вторинних відстійниках. Отримані результати дозволяють скорегувати пропозиції [18, 19], які було сформульовано для споруд очищення, більш точно та аргументовано пропонувати зміни в регламент їхньої роботи. Дотримання технологічного регламенту спрямовано на захист навколишнього середовища, забруднення якого відбувається внаслідок надходження забруднюючих речовин з недостатньо очищеними стічними водами.

4. Висновки

Проведений аналіз особливостей роботи регенератора аеротенка показав можливість впливати на процеси, що відбуваються в регенераторі шляхом корегування співвідношення активного мулу та його витрати. За результатами експериментальних досліджень процесу регенерації активного мулу отримано модель процесу регенерації мулу в регенераторі аеротенку, яка враховує особливості його протікання. Результати розрахунків за допомогою отриманої моделі дозволили проаналізувати перебіг процесу регенерації та вплив основних показників вказаного процесу на дозу мулу на виході з першого коридору аеротенка.

Встановлено, що для дотримання технологічного регламенту роботи регенератора, як складової аеротенка, та забезпечення відповідної кількості активного мулу необхідно регулювати співвідношення витрати та дози активного мулу. Отримані результати в подальшому планується використати для удосконалення рекомендацій для підприємств, що експлуатують аеротенки. Вказані рекомендації спрямовані на дотримання технологічного регламенту роботи споруд та захист навколишнього середовища від забруднень недостатньо очищеними стічними водами.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Екологічна ситуація та стан питних вод України*. Всеукраїнська екологічна ліга, 2007. URL: <https://www.ecoleague.net/diialnist/vydannia-vel/ekolohichni-karty/ekolohichna-sytuatsiia-ta-stan-pytnykh-vod-ukrainy> (дата звернення 10.03.2023).
2. Визначення екологічного стану поверхневого водного об'єкту (на прикладі річки Сейм) / Коваленко С. А. та ін. *Техногенно-екологічна безпека*. 2022. Вип. 12(2/2022). С. 23–31. DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.3.
3. Водний кодекс України. Введено в дію Постановою Верховної Ради України від 06 черв. 1995 р. № 213/95-ВР. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 10.03.2023).
4. Про охорону навколишнього природного середовища. Закон України від 26 черв. 1991 р. № 1264-XII. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (дата звернення: 10.03.2023).
5. Визначення водоемності галузей економіки України / Епоян С.М. та ін. *Науковий вісник будівництва*. 2021. Т. 105, № 3. С. 214–219.
6. A watershed scale assessment of phosphorus remediation strategies for achieving water quality restoration targets in the western Everglades / Khare Y. P., Naja G. M., Paude R., Martinez C. J. *Ecological Engineering*. 2020. Vol. 143. Art. 105663. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2019.105663.
7. Comparing volatile organic compound emissions during equalization in wastewater treatment between the flux-chamber and mass-transfer methods / Chen W.-H. et al. *Process Safety and Environmental Protection*. 2017. Vol. 109. P. 410–419. DOI: 10.1016/j.psep.2017.04.023.
8. Optimization of a large industrial wastewater treatment plant using a modeling approach: A case study / Muoio R. et al. *Journal of Environmental Management*. 2019. Vol. 249. Art. 109436. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109436.
9. Simultaneous removal of nitrite and organics in a biofilm-enhanced high-salt wastewater treatment system via mixotrophic denitrification coupled with sulfate reduction / Li W. et al. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Vol. 40. Art. 101976. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.101976.
10. Acoustic enhancement of aerobic greywater treatment processes / Chan J. S. et al. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Vol. 44. Art. 102321. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102321.
11. Forecasting effluent and performance of wastewater treatment plant using different machine learning techniques / El-Rawy M., Abd-Ellah M. K., Fathi H., Ahmed A. K. A. *Journal of Water Process Engineering*. 2021. Vol. 44. Art. 102380. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102380.
12. 1-D Dynamic knowledge-based model of urban sludge continuous-flow settling process. Comparison with experimental results / Valentin, C. et al. 2022. URL: <https://hal.science/hal-03678231> (access date: 10.03.2023).
13. Reliable Tools to Forecast Sludge Settling Behavior: Empirical Modeling / Reyhaneh H. et al. *Energies*. 2023. Vol. 16(2). Art. 963. DOI: 10.3390/en16020963

14. Interactions between flocs and bubbles in the separation zone of dissolved air flotation system / Wang Y. et al. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 761. Art. 143222. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143222.
15. High-rate activated sludge systems combined with dissolved air flotation enable effective organics removal and recovery / Cagnetta C. et al. *Bioresource Technology*. 2019. Vol. 291. Art. 121833. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121833.
16. Krainiukov O. M., Timchenko V. D. Economic consequences of anthropogenic water pollution (by using pechenizky reservoir as an example). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University Series «Ecology»*. 2018. Vol. 19. P. 66–74.
17. Моделювання процесу біологічного очищення стічних вод на базі камерних моделей / Лемеш М. В., Біляев М. М., Татарко Л. Г., Якубовська З. М. *Наука та прогрес транспорту*. 2020. № 3(87). С. 16–24.
18. Теорія планування експерименту: навч. посібник / Нечаев В. П. та ін. Київ: Кондор, 2005. 232 с.
19. ДСТУ ISO 5667-13:2005. Якість води. Відбирання проб. Частина 13. Настанови щодо відбирання проб мулу на спорудах для очищення стічних вод і для водоготування. URL: https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_5667_13_2005_yakist_vody_vidbyrannya_prob_chastyyna.pdf (дата звернення 10.03.2023 р.)
20. Gorban D., Molchan A., Gornostal S. Proposals to improve the technology of urban wastewater treatment facilities. *Sectoral research XXI: characteristics and features: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the III International Scientific and Theoretical Conference*. Chicago, USA: European Scientific Platform, 2022. Vol. 2. P. 72–75.
21. Мовчан А. П., Горбань Д. Г., Горносталь С. А. Дотримання екологічних вимог при очищенні міських стічних вод. *II Міжн. студ. наук. конф. Пріоритетні напрямки та вектори розвитку світової науки. Матеріали конференції*. Т. 2. м. Дрогобич. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021. С. 30–33.

Gornostal S., Petukhova O., Holovakhina A., Romenska Yu.

DETERMINATION OF THE FEATURES OF THE AERATION TANK REGENERATOR AS A COMPONENT OF THE SYSTEM OF BIOLOGICAL TREATMENT OF WASTEWATER

The paper considers the issue of compliance with the technological regulations for the operation of the regenerator of the aeration tank. An analysis of the features of the processes in the regenerator was carried out, the factors affecting them were determined, namely the intensity of aeration, consumption and initial dose of activated sludge.

To determine the characteristics of activated sludge at the exit from the regenerator, experimental studies were conducted and a model was obtained that describes the regeneration process in the aeration tank. Using the model, the influence of the process components on the concentration of activated sludge at the outlet of the aeration tank was studied. As a result of the study, it was established that the dose of sludge at the exit from the first corridor of the aeration tank (regenerator) depends on the concentration and consumption of activated sludge, which is received after settling the mixture from secondary sedimentation tanks.

The practical use of the obtained results will make it possible to quickly respond to changes in the technological mode of sludge regeneration and effectively influence the process of biological cleaning in the aeration tank. Compliance with the technological regulations for the operation of treatment facilities is aimed at protecting the environment, preventing pollution of water bodies due to the inflow of insufficiently treated wastewater.

Key words: aeration tank, secondary settling tank, waste liquid, environmental requirements, biological treatment, technological regulations, environmental protection.

REFERENCES

1. All-Ukrainian Environmental League. (2007). *Ekolohichna sytuatsiia ta stan pytnykh vod Ukrainy [Ecological situation and state of drinking water of Ukraine]*. <https://www.ecoleague.net/diialnist/vydannia-vel/ekolohichni-karty/ekolohichna-sytuatsiia-ta-stan-pytnykh-vod-ukrainy> (access date: 10.03.2023). [in Ukrainian]
2. Kovalenko, S., Ponomarenko, R., Tretyakov, O., Titarenko, A., & Ivanov, Y. (2022). Vyznachennja ekologichnogo stanu poverhnevogo vodnogo ob'jektu (na prykladi richky Sejm) [Determination of the ecological condition of a surface water object (on the example of the Seim River)]. *Technogenic and ecological safety*, 12(2/2022), 23–31. DOI: 10.52363/2522-1892.2022.2.3. [in Ukrainian].
3. *Vodnyi kodeks Ukrainy [Water code of Ukraine]*, 213/95-VR Decree of Verkhovna Rada of Ukraine (1991). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text> (access date: 10.03.2023). [in Ukrainian].
4. *Pro okhoronu navkolysnogo pryrodnoho seredovyshcha [On environmental protection]*, 1264-XII Law of Ukraine (1995). <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12> (access date: 10.03.2023). [in Ukrainian].
5. Epoian, S. M., Hopchak, I. V., Sorokina, K. B., Airapetian, T. S., & Zhuk, V. M. (2021). Vyznachennia vodoiemnosti haluzei ekonomiky Ukrainy [Determination of the water capacity of the branches of the economy of Ukraine]. *Naukovyi visnyk budivnytstva*, 105(3), 214–219. [in Ukrainian].
6. Khare, Y. P., Naja, G. M., Paude, 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: 10.1016/j.ecoleng.2019.105663.
7. 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: 10.1016/j.psep.2017.04.023.
8. Muoio, R., Palli L., Ducci I., Coppini E., Bettazzi E., Dadd, 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: 10.1016/j.jenvman.2019.109436.
9. Li, W., Liu, J., Zhen, Y., Lin, M., Sui, X., Zhao, W., Bing, X., Lin, J., & Zhai, L. (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, 101976. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.101976
10. Chan, J. S., Poh, P. E., Ismadi, M.-Z. P., Yeo, L. Y., & Tan, M. K.. (2021). Acoustic enhancement of aerobic greywater treatment processes. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102321. DOI:10.1016/j.jwpe.2021.102321
11. El-Rawy, M., Abd-Allah, M. K., Fathi, H., & Ahmed, A. K. A. (2021). Forecasting effluent and performance of wastewater treatment plant using different machine learning techniques. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102380. DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102380.
12. Valentin, C., Chassin, N., Couenne, F., Choubert, J. M., & Jallut, C. (2022). *1-D Dynamic knowledge-based model of urban sludge continuous-flow settling process. Comparison with experimental results*. <https://hal.science/hal-03678231> (access date: 10.03.2023).
13. Reyhaneh, H., Javad, A., Behrooz, S., Omid, M., & Sohrab, Z. (2023). Reliable Tools to Forecast Sludge Settling Behavior: Empirical Modeling. *Energies*, 16(2), 963. DOI: 10.3390/en16020963.

14. Wang, Y., Jin, X., Yang, S., Wang, G., Xu, L., Jin, P., Shi, X., & Shi, Y. (2021). Interactions between flocs and bubbles in the separation zone of dissolved air flotation system. *Science of The Total Environment*, 761, 143222. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.143222.
15. Cagnetta, C., Saerens, B., Meerburg, F. A., Decru, S. O., Broeders, E., Menkveld, W., Vandekerckhove, T. G. L., De Vrieze, J., Vlaeminck, S. E., Verliefde, A. R. D., De Gussem, B., Weemaes, M., & Rabaey, K. (2019). High-rate activated sludge systems combined with dissolved air flotation enable effective organics removal and recovery. *Bioresource Technology*, 291, 121833. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121833.
16. 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.
17. Lemesh, M. V., Biliaiev, M. M., Tatarko, L. H., & Yakubovska, Z. M. (2020). Modeliuvannya protsesu biolohichnoho ochyshchennia stichnykh vod na bazi kamernykh modelei [Modeling of the process of biological wastewater treatment based on chamber models]. *Nauka ta prohres transportu*, 3(87), 16–24. [in Ukrainian].
18. Nechaiev, V. P., Beridze, T. M., Kononenko, V. V., Riabushenko, N. V., & Bradul, O. M. (2005). *Teoriia planuvannia eksperymentu: navch. posibnyk [Theory of experiment planning]*. Kyiv: Kondor, 232. [in Ukrainian].
19. DSTU ISO 5667-13:2005. (2005). *Yakist vody. Vidbirannya prob. Chastyna 13. Nastanovy shchodo vidbyrannya prob mulu na sporudakh dlia ochyshchennia stichnykh vod i dlia vodohotuvannia [Water quality. Sampling of samples. Part 13. Guidelines for sludge sampling at wastewater treatment and water treatment facilities]*. https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_5667_13_2005_yakist_vody_vidbyrannya_prob_chastyna.pdf (access date: 10.03.2023). [in Ukrainian].
20. Gorban, D., Molchan, A., & Gornostal, S. (2022). Proposals to improve the technology of urban wastewater treatment facilities. *Sectoral research XXI: characteristics and features: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the III International Scientific and Theoretical Conference*. Chicago, USA, 2, 72–75.
21. Molchan, A. P., Horban, D. H., & Gornostal, S. A. (2021). Dotrymannya ekolohichnykh vymoh pry ochyshchenni miskykh stichnykh vod [Observance of ecological requirements in the treatment of urban wastewater]. *I Mizhnarodna studentska naukova konferentsiia «Priorytetni napriamky ta vektory rozvytku svitovoi nauky». Materialy konferentsii*, 2, 30–33. [in Ukrainian].