

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна

Кафедра Гідравліка та водопостачання

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття кваліфікаційного ступеня «магістр»

Галузь знань 19 Архітектура та будівництво
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Спеціалізація Водопостачання та водовідведення
Тема Розрахунок аеротенка з зонами денітрифікації і нітрифікації

Керівник магістерської роботи
Студент

доц. Гулько О.Ю.
Чоповцій Ілля Костянтинович

Дніпро
2020 р.

Зміст

Анотація

Розділ 1 Біологічне очищення стічних вод в аеротенках

1.1 Сутність процесу очищення в аеротенках

1.2 Класифікація аеротенків за основними ознаками.

Конструкції аеротенків

Розділ 2 Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках

Розділ 3 Системи аерації в аеротенках

Розділ 4 Аеротенки

4.2. Аеротенки-витискувачі

4.3 Аеротенки-змішувачі

4.4. Аеротенки-відстійники

Розділ 5 Переваги і недоліки аеротенків. Установка аеротенку.

Розділ 6 Розрахунок аеротенка з зонами денітрифікації і нітрифікації

Висновки

Списк використаних джерел

Анотація

Нітрифікація та денітрифікація являються важливими етапами біологічної очистки стічних вод, від ефективності яких, в тому числі, залежить вплив стічних вод на водні об'єкти. З огляду на це розрахунок споруд нітри- та денітрифікації, додержання вірних технологічних параметрів цих процесів є надзвичайно актуальною проблемою.

Мета роботи – розрахунок аеротенка з процесами нітрифікації та денітрифікації.

Об'єкт дослідження – процеси нітрифікації та денітрифікації

Предмет дослідження – очищення стічних вод в аеротенку

Методи дослідження – математичне моделювання, інженерна методика

Практичне значення – розроблена модель може бути використана для розрахунку ефективності роботи аеротенку

Ключові слова: аеротенк, нітрифікація, денітрифікація, біологічна очистка стічних вод.

Summary

Nitrification and denitrification are important stages of biological wastewater treatment, the effectiveness of which depends, also, on the impact of wastewater on water bodies. Given this, the calculation of nitrification and denitrification facilities, compliance with the correct technological parameters of these processes is an extremely important issue.

The purpose of the work is the calculation of the aeration tank with the processes of nitrification and denitrification.

The object of study - the processes of nitrification and denitrification

The subject of research - wastewater treatment in the aeration tank

Research methods - mathematical modeling, engineering techniques

Practical significance - the developed model can be used to calculate the efficiency of the aeration tank

Key words: aeration tank, nitrification, denitrification, biological wastewater treatment.

Розділ 1

Біологічне очищення стічних вод в аеротенках

1.1 Сутність процесу очищення в аеротенках

Біологічний метод очищення стічних вод застосовують для очищення виробничих і побутових стічних вод від органічних забруднень. Даний процес заснований на здатності деяких мікроорганізмів використовувати забруднюючі стічні води речовини для харчування в процесі своєї життєдіяльності. На сучасних станціях очистки стічних вод аеротенки є найпоширенішими спорудами біологічного очищення. Також аеротенки – найбільші й енергозатратні ємнісні споруди станцій очищення стічних вод. На стадії біологічного очищення видаляється не тільки основна маса органічних забруднень, але й забезпечується очищення від сполук азоту й основної частини сполук фосфору. Технічні й технологічні рішення, прийняті для аеротенків, багато в чому визначають як якість очищеної води, так і енергетичні характеристики станції очищення в цілому.

Аеротенк – резервуар, у якому повільно рухається суміш активного мулу й стічних вод. Для забезпечення нормального перебігу процесу біологічного окислення у аеротенк повинен безперервно надходити кисень.

Активний мул являє собою біоценоз мікроорганізмів – мінералізаторів, які здатні сорбціювати на своїй поверхні й окислювати органічні речовини стічних вод. Основний процес, що відбувається при біологічному очищенні стічних вод – це біологічне окислювання. Тривалість процесу очищення міських стічних вод в аеротенку – 2–6 год, виробничих – 8 год. і більше.

У процесі біологічного очищення стічних вод в аеротенках розчинені органічні речовини, а також тонкодисперговані й колоїдні речовини, що не випадають в осад, переходять в активний мул, спричиняючи приріст вихідної біомаси. Слід зазначити, що в процесі окислювання органічних речовин розмножуються аеробні мікроорганізми, і біомаса активного мулу збільшується, тому частину активного мулу повертають в аеротенк

(циркуляційний активний мул), а частину (надлишковий активний мул) направляють на зневоднення.

Аеротенки застосовують для повного й неповного біологічного очищення стічних вод. Стічні води надходять в аеротенки, як правило, після споруд механічного очищення. Концентрація завислих речовин у них не повинна перевищувати 150 мг/л, а допустима величина БПК_{повн} залежить від типу аеротенка. При очищенні суміші виробничих і побутових стічних вод повинні дотримуватися вимоги за активною реакцією середовища, за температурою, сольовим складом, наявністю шкідливих речовин, масел, вмістом біогенних елементів і т. п. З аеротенків суміш стічних вод з активним мулом надходить на вторинні відстійники для вилучення з води активного мулу. Якісний активний мул добре відстоюється у вторинних відстійниках при тривалості відстоювання до 1,5 год, частина його знову повертається в аеротенк (рециркуляція активного мулу), а надлишок (надлишковий мул) направляється на мулоущільнювачі для зменшення його вологості. Ущільнений активний мул направляють на подальшу обробку в метантенки.

Аеротенки дозволяють отримувати високий ступінь очищення стічних вод з доведенням вмісту органічних речовин в очищених стічних водах за БПК_{повн} до 15 мг/л. Вилучення з очищуваної рідини розчинених або завислих забруднень активним мулом відбувається значно швидше, ніж наступне їх окислювання. Розподіл на такі стадії процесу очищення має умовний характер, оскільки практично неможливо розмежувати ці фази, тому доцільною є організація роздільного перебігу цих стадій процесу в умовах, оптимальних для кожної з них, що забезпечить підвищення ефективності роботи аеротенків у цілому.

Технологічна сутність такої модифікації полягає у тому, що після вилучення забруднень зі стічної води безпосередньо у аеротенках активний мул з накопиченими в ньому забрудненнями відокремлюється від очищеної води й подається не в аеротенк, а в спеціальну аераційну споруду, так званий

регенератор, у якому активний мул аерується протягом певного часу без стічної рідини. У регенераторі мул звільняється від накопичених ним в аеротенку забруднень і відновлює свою метаболічну активність. Регенерований мул направляють потім з регенератора безпосередньо у аеротенк для нового контакту з очищуваною рідиною і повторення циклу вилучення з неї забруднень. У конструктивному відношенні регенератори нічим не відрізняються від самих аеротенків і можуть улаштовуватися у вигляді як окремо стоячих споруд, так і ємкостей, що виділяють в об'ємі аеротенків. Концентрація розчиненого в рідині кисню підтримується в межах 0,5–2,0 мг/л. Швидкість же споживання кисню тут значно вища, ніж у регенераторі, оскільки у самому аеротенку відбуваються швидші процеси первинної трансформації забруднень при їхньому вилученні з очищеної води. Тому інтенсивність аерації тут повинна бути також істотно вищою, ніж у регенераторах. Тривалість перебування мулу в регенераторі значно більше тривалості аерації у самому аеротенку, хоча сумарна тривалість вилучення й окислювання забруднень залишається тією ж, що й при реалізації процесу за класичною схемою. Однак концентрація мулу в регенераторі в 2–2,5 рази вище, ніж у самому аеротенку, оскільки мул у нього направляється прямо з відстійних споруд і без подачі сюди стічної рідини. Це дозволяє на 15–20% зменшити сумарний обсяг аераційних споруд у порівнянні з обсягом при здійсненні процесу очищення тільки в аеротенку. Тривалість перебування мулу в регенераторі повинна бути достатньою для досягнення необхідної глибини окислювання забруднень, визначається спеціальним розрахунком, що ґрунтується на обліку питомої швидкості окислювання забруднень. Обсяг регенераторів, що вимагається, виражений в % від сумарного обсягу самих аеротенків і регенераторів, одержав назву "відсотка регенерації". Якщо, наприклад, необхідний обсяг регенераторів становить 30 % сумарного обсягу, то забезпечити його можна виділивши один коридор 3–коридорних аеротенків під регенератор (33 % регенерації). Для забезпечення 50 % регенерації можна прийняти під регенератор або 2 коридори 4 – коридорних

аеротенків або 1 коридор 2 – коридорних аеротенків. Оскільки типові аеротенки розроблені у вигляді 2–, 3–, 4–коридорних, то в них можна забезпечити 25, 33, 50, 66, 75 % регенерації, виділяючи від 1 до 3 коридорів аеротенка під регенерацію. Загалом, можна забезпечити будь-який відсоток регенерації, виділяючи під регенератори відповідний обсяг аеротенків, але при цьому доведеться розробляти конкретну схему підведення активного мулу в регенератор й очищуваної води, безпосередньо у аеротенк у кожному окремому випадку, тобто розробляти індивідуальні проекти аеротенків для конкретного застосування.

1.2 Класифікація аеротенків за основними ознаками.

Конструкції аеротенків

Конструктивне оформлення аеротенків визначається пропускнуою здатністю очисних споруд; вихідними характеристиками стічних вод, що підлягають очищенню, які визначають режим роботи аеротенків; типом аераційного обладнання для подачі повітря і перемішування; конструкцією інших споруд, що включаються у технологічну схему очищення стічних вод та ін.

Аеротенки класифікують за наступними основними ознаками:

- ☐ за гідравлічним режимом – аеротенки–витиснювачі, аеротенки–змішувачі і аеротенки з розосередженим впуском стічної води;
- ☐ за способом регенерування активного мулу – аеротенки з окремою регенерацією активного мулу і аеротенки без окремої регенерації активного мулу;
- ☐ за навантаженням на активний мул – високонавантажувані (аеротенки на неповне очищення), нормально навантажені (на повне очищення) і низьконавантажувані (аеротенки подовженої аерації);
- ☐ за кількістю ступенів – одно–, двох– і багатоступеневі;
- ☐ за типом аерації – з пневматичною, механічною, комбінованою гідродинамічною або пневмомеханічною;

□ за способом компонування з вторинними відстійниками – аеротенки з окремо розташованими вторинними відстійниками і аеротенки, заблоковані з вторинними відстійниками (аеротенки–відстійники).

За структурою руху потоків очищуваної стічної води і поворотного активного мулу розрізняють:

- *аеротенки–витиснювачі (рис. 1.1, а)* – в такій конструкції стічна вода й активний мул подаються зосереджено з однієї з торцевих сторін аеротенку, а випускаються також зосереджено з іншої торцевої сторони. Навантаження на активний мул знижується уздовж споруди. Такий вид аеротенка дозволяє забезпечити високу якість очищення, однак чутливий до різких коливань витрати й складу стоків. Аеротенки–витиснювачі доцільніше застосовувати за

відсутності різких коливань витрати стічних вод і вмісту токсичних речовин.

- *аеротенки–змішувачі (рис. 1.1, б)* – подача води й активного мулу і випуск здійснюється рівномірно уздовж довгих сторін коридора аеротенка. Повне змішування в них стічної води з муловою сумішшю забезпечує вирівнювання концентрацій мулу й швидкостей процесу біохімічного окислювання. Навантаження забруднень на мул і швидкість окислювання забруднень практично незмінні за довжиною споруди. Вони найбільш придатні для очищення висококонцентрованих (БПК_{повн} до 1000 мг/л) виробничих стічних вод при значних коливаннях їх витрати й концентрації забруднень.

- *аеротенки з розосередженим уздовж споруди впуском стічної води (рис. 1.1, в)*. В аеротенках, що працюють за такою схемою, активний мул подається зосереджено в торець головної частини аеротенка, а стічна вода підводиться у декількох точках за довжиною аеротенка, а відводиться

зосереджено з його торцевої частини. Цей вид займає проміжне положення між двома попередніми

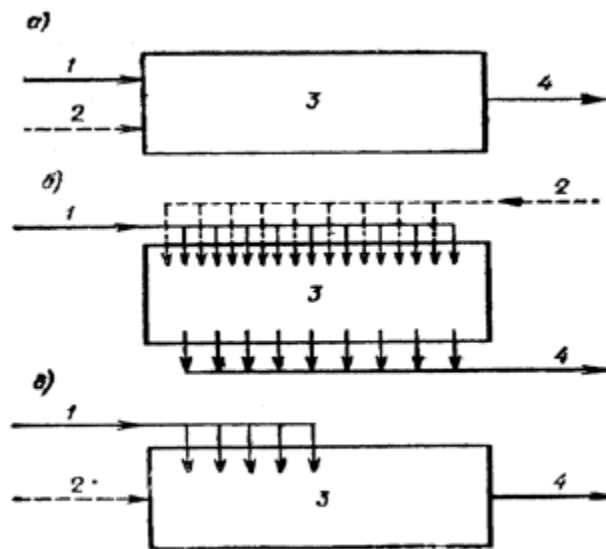


Рисунок 1.1 – Види аеротенків

а – аеротенки–витиснювачі; б – аеротенки–змішувачі, в – аеротенки з розосередженим впуском стічної води:

1 – подача стічної води; 2 – подача поворотного активного мулу;

3 – аеротенк; 4 – випуск мулової суміші

У аеротенках з розосередженим впуском стічних вод деякою мірою поєднуються переваги аеротенків–витиснювачів, що забезпечує високу якість очищення, з перевагами аеротенка–змішувача, що дозволяє усереднити навантаження на активний мул уздовж споруди. Це особливо важливо при необхідності зняти залпові перевантаження активного мулу або через випадкові підвищення концентрації забруднень, або при непередбаченому надходженні токсичних або інших шкідливих для біологічних процесів речовин. Аеротенки з нерівномірно розосередженим впуском стічних вод мають один суттєвий недолік – низькі швидкості окислення забруднень, які за всією довжиною споруди пропорційні БПК_{повн} очищених стічних вод. Аеротенки з розосередженою подачею стічної води застосовують для очищення сумішей побутових і виробничих стічних вод. Якщо відстійні споруди мають прямокутну форму в плані (горизонтальні відстійники), то може влаштовуватись єдиний блок аеротенків з первинними

та вторинними відстійниками, в якому до мінімуму зведена довжина комунікацій, що з'єднують ці споруди. Розроблені типові проекти таких блоків ємностей з пропускною здатністю від 100 до 25000 м³/добу.

Аеротенки – витиснювачі (рис. 1.2) являють собою великі бетонні або залізобетонні проточні резервуари прямокутного перерізу, розділені на ряд коридорів з шириною 6–18 м, висотою 4–5 м, в яких повільно рухається суміш активного мулу й стічних вод. Аеротенки складаються з секцій, причому кожна з них ділиться поздовжніми перегородками, що не доходять до однієї з торцевих сторін, на 2, 3 і 4 коридори. Кількість секцій аеротенків повинна бути не менше двох, робочу глибину приймають 3–6 м, відношення ширини коридорів до робочої глибини – від 1:1 до 1:2. За допомогою пневматичних або механічних пристроїв суміш води й активного мулу барботують повітрям, насичуючи її при цьому киснем. Все це забезпечує інтенсивне окислювання органічних речовин.

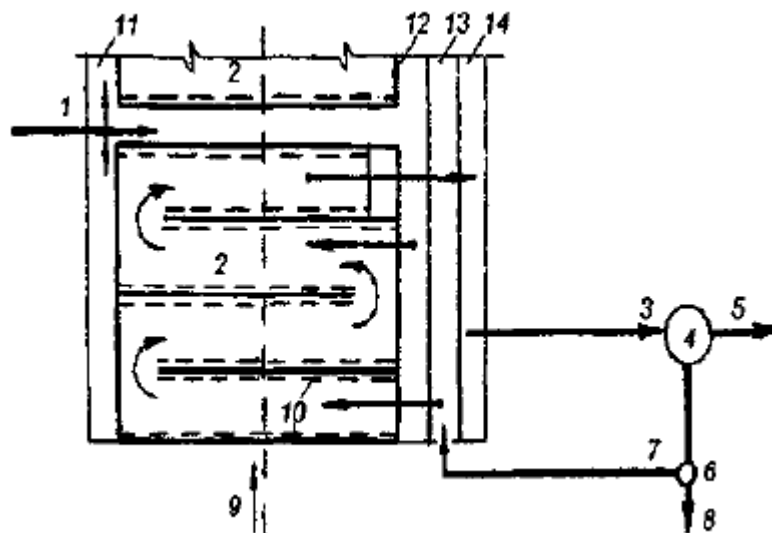


Рисунок 1.2 – Аеротенк–витиснювач з регенерацією (50 %):

1 – стічна вода після первинних відстійників; 2 – коридори аерації;

3 – мулова суміш з аеротенків; 4 – вторинний відстійник; 5 – очищена вода;

*6 – мулова камера; 7,8 – циркуляційний і надлишковий мул, відповідно;
9 – повітря від повітродувок; 10 – аераційна система для розподілу повітря
в аеротенку; 11 – верхній розподільний канал; 12 – нижній розподільний
канал; 13 – канал активного мулу; 14 – канал відведення суміші стічних вод і
активного мулу до вторинних відстійників*

Розроблені типові проекти дво–, три– і чотирикоридорних аеротенків–
витиснювачів з великим діапазоном продуктивностей, аеротенків–змішувачів
із шириною коридору 3, 4, 6 і 9 м і робочою глибиною 1,2 м з механічною
аерацією, 4,5 м – з низьконапірною аерацією, а також 5 і 5,2 м – з
пневматичною аерацією.

Коридорні аеротенки зазвичай обладнуються пневматичною системою
аерації. Повітря диспергується за допомогою фільтросів, вкладених у
бетонних
каналах, що влаштовуються в дні аеротенка вздовж повздовжньої стінки його
коридору.

Розділ 2

Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках

Аеротенки можуть бути одноступінчастими й двоступінчастими, при
цьому в обох випадках їх застосовують як з регенерацією, так і без неї.

Одноступінчасті аеротенки без регенерації застосовують при БПК_{повн}
стічноїводи не більше за 150 мг/л, з регенерацією – більше за 150 мг/л і при
наявностішкідливих виробничих домішок. Двоступінчасті аеротенки
застосовують приочищенні висококонцентрованих стічних
вод.Одноступінчаста схема без регенерації (рис. 2.1, а) – найпростіша
технологічна схема очищення в аеротенках, застосовують при БПК <150
мг/л.

За цією схемою активний мул подається зосереджено разом зі стічною водою на вхід в аеротенк. Одержувана мулова суміш в умовах аерації протікає до виходу з аеротенка й далі на вторинний відстійник, де відбувається її поділ на очищену воду й активний мул. Активний мул далі розділяється на надлишковий і циркуляційний, останній повертається в аеротенк.

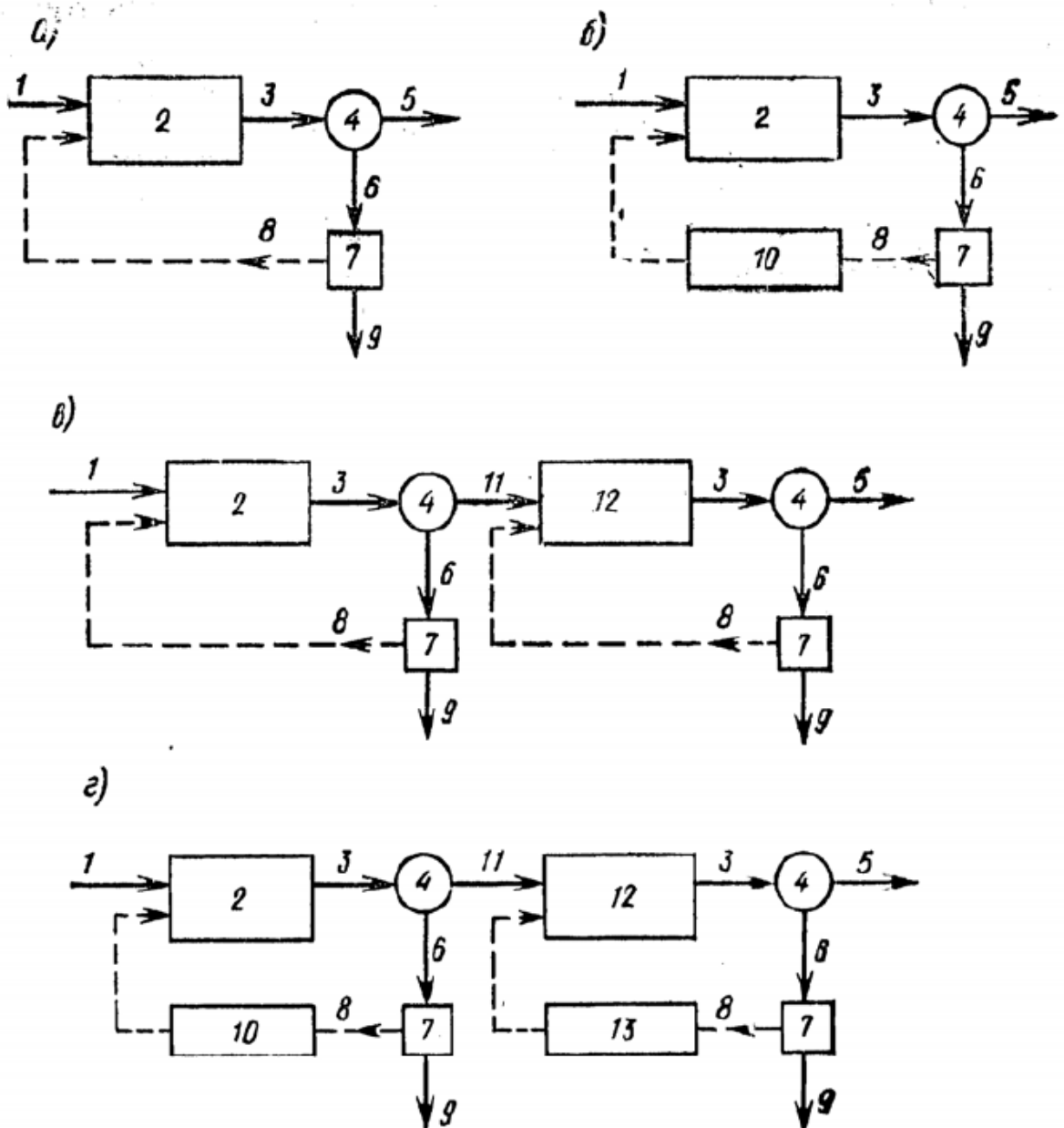


Рисунок 2.1 – Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках:

а – з одноступеневим аеротенком без регенерації; б – те ж, з регенерацією;
в – з двоступеневим аеротенком без регенерації; г – те ж, з регенерацією;
*1 – подача неочищених стічних вод; 2 – аеротенк; 3 – випуск мулової суміші;
4 – відстійник; 5 – випуск очищених стічних вод; 6 – випуск відстояного
активного мулу; 7 – мулова насосна станція; 8 – подача поворотного
активного мулу; 9 – випуск надлишкового активного мулу; 10 – регенератор;
11 – випуск стічних вод після I ступеня очищення; 12 – аеротенк II ступеня;
13 – регенератор II ступеня*

Особливістю одноступінчастої схеми очищення в аеротенках (рис. 2.1, а) є, по–перше, зниження навантаження на активний мул за довжиною аеротенка; по–друге, зниження потреби активного мулу в кисні за довжиною; по–третє, загідралічним режимом аеротенк є витиснювачем.

Модифікацією цієї схеми є застосування змінної подачі повітря за довжиною аеротенка, що відповідає кривій зниження БПК за довжиною. Іншамодифікація полягає в застосуванні поздовжнього секціонування об'єму аеротенка перегородками.

Одноступінчаста схема з регенерацією активного мулу (рис. 2.1, б)

У цій схемі реалізоване роздільне протікання двох етапів біологічного очищення: поглинання забруднень активним мулом зі стічної води, що відбувається безпосередньо в аеротенку, і окислювання цих забруднень в регенераторі. Регенератор – це аераційна споруда, в якій активний мул аерується без стічної рідини. В аеротенку стічна вода аерується приблизно 1,5–2,5 год, у регенераторі – у кілька разів більше.

При роботі аеротенків–витиснювачів у режимі біологічного очищення з регенерацією активний мул завжди подається на початок першого коридору, а освітлені стічні води – на початок наступних коридорів аеротенка. Об'єм регенераторів двокоридорних аеротенків може складати 50 % від загального об'єму аеротенків (так звана 50 % регенерація активного мулу). Активний мул подається при цьому в перший коридор з нижнього каналу мулу, а

освітлена вода – на початок другого коридору з верхнього каналу стічних вод.

Трикоридорні аеротенки можуть працювати в режимі з 33 % регенерацією активного мулу (подача мулу здійснюється на початок першого коридору з верхнього каналу активного мулу, а освітлених стічних вод – на початок другого коридору з нижнього каналу стічних вод). Аналогічним чином чотирьохкоридорні аеротенки можуть працювати в режимі з 25 чи 50 % регенерації активного мулу. Розроблені типові проекти дво-, три- і чотирьохкоридорних аеротенків–витиснювачів з великим діапазоном продуктивностей.

Двоступінчаста схема без регенерації (рис. 2.1, в). Така схема доцільна при високій концентрації органічних речовин у стічній воді, а також при наявності в ній речовин, швидкість окислювання яких різко відрізняється.

Двохступінчаті аеротенки з регенерацією і без регенерації активного мулу (рис. 2.1., в, г) застосовують при необхідності повного очищення висококонцентрованих стічних вод з початковим БПК_{повн} 250 і більше, а також при наявності у воді речовин, швидкість окислювання яких різко відрізняється. В аеротенках першого ступеня завершується перша стадія очищення – абсорбція органічних речовин активним мулом і мінералізація лише найбільш легко окисної частини, що зазвичай дозволяє знизити початкову БПК_{повн} на 50–70 %. З аеротенків першого ступеня частково очищена вода направляється на доочищення в аеротенки другого ступеня.

Особливістю ступінчатого очищення стічних вод є те, що на кожному ступені аеротенків поступово розвивається специфічна культура мікроорганізмів, які найбільш пристосовані до існування в даних умовах, що забезпечує високу ефективність роботи аеротенків. Тому загальний об'єм двохступінчатих аеротенків на одиницю стічних вод, що очищуються, буде менший у порівнянні з об'ємом звичайних аеротенків. Двохступінчаті аеротенки можна проектувати як без регенераторів, так і з регенераторами. Регенератори передбачають для кожного ступеня аеротенків з подачею

активного мулу. Для першого ступеня аеротенків регенератори зазвичай передбачають в об'ємі 50 %. Активний мул другого ступеня за кількістю забруднень менш навантажений, у зв'язку з чим рекомендують направляти його надлишок після регенерації в аеротенки першого ступеня і далі разом з надлишковим мулом першого ступеня на подальшу обробку. Об'єм аеротенків і регенераторів визначають за середньогодинним припливом стічних вод. Питому витрату повітря для аеротенків першого ступеня визначають так само, як і для аеротенків при частковому очищенні і стічних вод, для аеротенків другого ступеня – як для аеротенків при повному очищенні стічних вод. Витрату циркулюючого активного мулу приймають 30–40 % від середнього притоку стічних вод у кожному ступені.

Сумарну кількість надлишкового активного мулу після двохступінчатого очищення розраховують як для аеротенків з доведенням БПК_{повн} очищеної стічної рідини до 15 мг/л (65 % для першого ступеня і 35 % для другого).

Надлишковий активний мул направляють на ущільнення в мулоущільнювачі. Вологість ущільненого активного мулу приймають 95–98 % у залежності від тривалості ущільнення. Необхідну кількість повітря та геометричні розміри двохступінчатих аеротенків розраховують за тими ж самими формулами, що і розрахунок одноступінчатих аеротенків. При проектуванні двохступінчатих аеротенків влаштування вторинних відстійників передбачають після кожного ступеня очищення.

Розділ 3 Системи аерації в аеротенках

Аерація суміші стічної рідини з активним мулом на всій довжині аеротенка необхідна не тільки для того, щоб забезпечити мікроорганізми–мініралізатори достатньою кількістю кисню, але й для підтримання мулу у завислому стані. Кисень нагнітається в аеротенк повітродувками або засмоктується з атмосфери.

Отже, система аерації являє собою комплекс споруд і спеціального устаткування, що забезпечує рідину киснем, підтримку мулу у завислому стані постійне перемішування стічної води з мулом. За способом диспергування повітря у воді на практиці застосовують три системи аерації: пневматичну, механічну й комбіновану.

Пневматична аерація. В аеротенки з пневматичною аерацією повітря подається повітродувками і надходить у рідину через аератори зазвичай фільтросного типу. Пневматичну аерацію підрозділяють на три типи залежно від розміру пухирців повітря: на дрібнобульбашкову (крупність пухирців повітря становить 1–4 мм), середньобульбашкову (5–10 мм), крупнобульбашкову (більше 10 мм). До дрібнобульбашкових аераторів відносяться поруваті керамічні та пластмасові матеріали (фільтросні пластини, труби $\varnothing 1093$ „„ дифузори), синтетичні тканини; до середньобульбашкових – щілинні та дірчасті труби. До крупнобульбашкових аераторів відноситься система «крупних пухирців», в якій аераторами є труби діаметром 30–50 мм з відкритими кінцями, опущені вертикально вниз на глибину 0,5 м від дна аеротенка. В такій системі аерації використовується кисень не тільки стислого, але й більшою мірою атмосферного повітря. Однак ця система поширення не отримала, оскільки не забезпечує надійне й інтенсивне перемішування мулової суміші.

В аеротенках з *пневматичною аерацією* повітря подають металевими трубами і розподіляють через дірчасті труби або фільтроси – відрізки труби

довжиною близько 1 м. Найпоширенішим типом дрібнобульбашкового аератора є фільтросна пластина розміром 300×300 мм і товщиною 35 мм. Фільтросні пластини зашпаровують у залізобетонні канали, що влаштовують на дні коридора аеротенка, у стінки уздовж довгої його сторони. Пластини укладають зазвичай у два або три ряди для забезпечення подачі в аеротенки необхідного обсягу повітря, що подається магістральними повітряпроводами і стояками у канал, перекритий пластинами. Для середньобульбашкової аерації найчастіше

застосовують дірчасті труби з отворами діаметром 3–4 мм. Зазвичай повітря у перфоровані труби чи під фільтросні пластини надходить від стояків, які відходять від основного магістрального трубопроводу, розташованого на поздовжній стіні аеротенка.

Фільтросні пластини з часом піддаються засміченню з внутрішньої сторони пилом, окалиною, іржею, а з зовнішньої можуть заростати бактеріальною плівкою. Тому пластини періодично очищують скребками або щітками, оброблюють соляною чи сірчаною кислотою. Перевагами аеротенків з пневматичною аерацією є простота пристрою, невеликі енергетичні витрати на аерацію рідини. Недоліками таких систем аерації є досить великі за розміром пухирці повітря, а також необхідність у нагнітальних системах (повітродувках). Коридорні аеротенки зазвичай обладнують пневматичною системою аерації. Повітря диспергується за допомогою фільтросів, вкладених у бетонних каналах, що влаштовуються в дні аеротенка вздовж поздовжньої стінки його коридора. У регенераторах зазвичай влаштовується більша кількість фільтросних каналів. Так, наприклад, у чотирьох–коридорному аеротенку з 50 % регенерацією в регенераторі (коридори I і II) укладають по три, а в аеротенку (коридори III і IV) – по два ряди фільтросних каналів. Останнім часом у таких аеротенках застосовують так звані тарілчасті (дискові) аератори з пружними перфорованими мембранами або трубчасті перфоровані аератори.

Механічна аерація. При механічній аерації перемішування здійснюють

механічними пристроями (мішалками, турбінками, щитками й т. п.), які забезпечують дроблення струменів повітря, залученого безпосередньо з атмосфери обертовими частинами аератора (ротором).

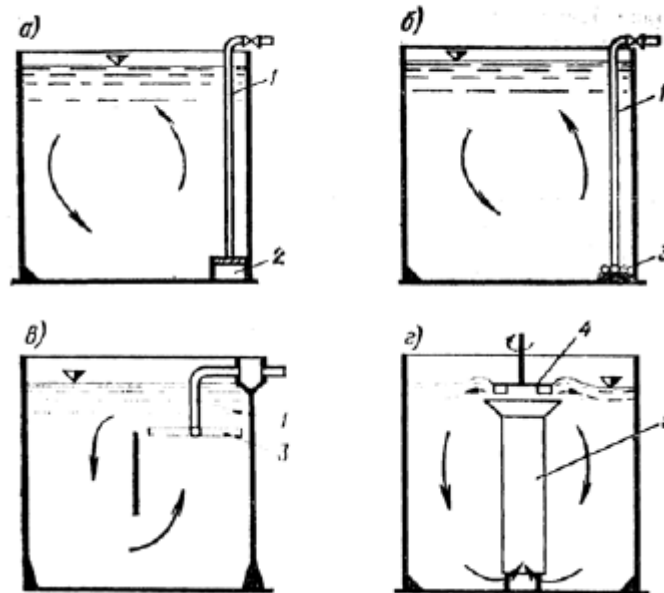


Рисунок 3 – Системи подачі повітря у аеротенки:

а – пневматична дрібнобульбашкова; б – пневматична середньобульбашкова;

в – пневматична низьконапірна; г – механічна поверхнева;

1 – повітряні стояки; 2 – повітряний канал з фільтросними пластинами;

3 – дірчасті труби; 4 – поверхневий аератор дискового типу; 5 – стабілізатор потоку

Розділ 4

Аеротенки

Аеротенк – це реактор, в якому під час контакту трьох фаз: стічної води (забруднень) + активного мулу (АМ) + кисню, завдяки масопереносу та біохімічному руйнуванню органічних речовин (ферментативная реакція), відбувається очищення стічних вод. На швидкість цього механізму впливають: склад та властивості стічних вод, гідродинамічні умови перемішування, концентрація розчиненого кисню, температура стічних вод тощо. Процес очищення оцінюють за станом активного мулу, який є основним агрегатом очистки (скупчення гідробіонтів, переважно аеробів та забруднень від стічних вод).

Пластівці активного мулу в аеротенках перебувають у завислому стані.

Головним технологічним параметром, який лімітує стан активного мулу, є органічне навантаження на мул. Розрізняють органічне навантаження та окиснювальну потужність. Органічне навантаження – питома кількість забруднень, що підходить за показником БСК (L_0), а окиснювальна потужність – питома кількість знятих забруднень ($L_0 - L_t$). В аеротенках різних конструкцій концентрацію мулу або дозу беруть від 1 до 20 г/л, а у класичних аеротенках доза мулу становить 2–3 г/л. Для визначення стану активного мулу інколи використовують такий параметр як вік біоценозу. Вік біоценозу змінюється під час очищення значно більше, ніж під час доочищення. Стан біоценозу (активного мулу) також визначають за муловим індексом $\text{см}^3/\text{г}$, що визначається кількістю об'єму мулу після тридцятихвилинного відстоювання відносно 1 г сухого активного мулу. В аеротенків, які добре працюють, муловий індекс коливається від 70 до 120 $\text{см}^3/\text{г}$, під час навантаження на БСК нижче 200 $\text{мг}/\text{г}$ та більше 500 $\text{мг}/\text{г}$, муловий індекс підвищується більше за 120, що вказує на незадовільне очищення стічних вод. Класичні технологічні схеми біологічної очистки з аеротенками бувають з регенерацією активного мулу та без неї. Необхідність

регенерації, йдеться про зниження БСК в активному мулі з метою відновлення сорбційно-окиснювальної ємності активного мулу, проектується в діапазоні, рекомендованому СНиП 2.04.03-85 та береться більше ніж 150 мг/л.

Класичний вигляд технологічних схем з аеротенками подано на Рисунок 4.1.

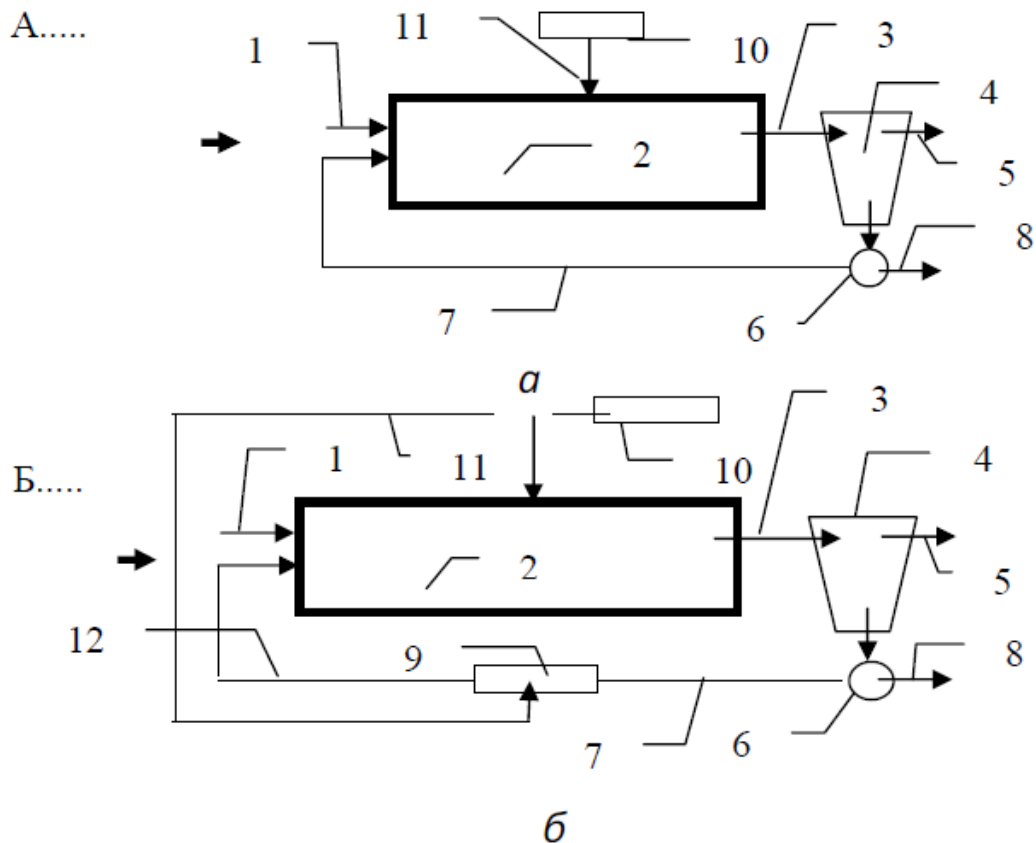


Рисунок 4.1 Класичні технологічні схеми біологічної очистки з аеротенками:

a – без регенерації; *б* – з регенераторами;

1 – подача відстояних стічних вод; *2* – аеротенки; *3* – відвід суміші АМ та очищених стічних вод; *4* – вторинні відстійники; *5* – відвід освітлених стічних вод; *6* – КНС циркуляції АМ; *7* – зворотній АМ; *8* – надлишковий АМ; *9* – регенератор; *10* – компресорна; *11* – трубопровід стисненого повітря; *12* – регенований АМ

Стічні води від споруд відстоювання, по лотках або потрубопроводах 1 надходять у реактор аеротенків 2. У реактор 2 подається зворотній активний мул по трубопроводу 7 або після регенерації 12. З метою підтримання в завислому стані активного мулу забезпечення масопереносу й кисневого режиму, по трубопроводу 11 від компресорної станції 10 під тиском подають стиснене повітря або проєктують інші пристрої аерації. Після контакту, за термін розрахункової тривалості, відпрацьований активний мул та очищена стічна вода 3 відводяться на вторинні відстійники 4. За рахунок приросту утворюється надлишковий активний мул, який прямує на зневоднення 8, а зворотній АМ через КНС 6 по трубопроводу 7 або 12 повертають у аеротенки. Повністю очищені стічні води по відводу 5 направляються на знезараження. Аеротенки класифікують за різними параметрами, але найчастіше застосовують класифікацію за технологічним режимом, яка вказує на кінетику та швидкість окиснювальних процесів. За технологічно-гравітаційним режимом аеротенки класифікують так: змішування та витіснення (рис. 4. 2).

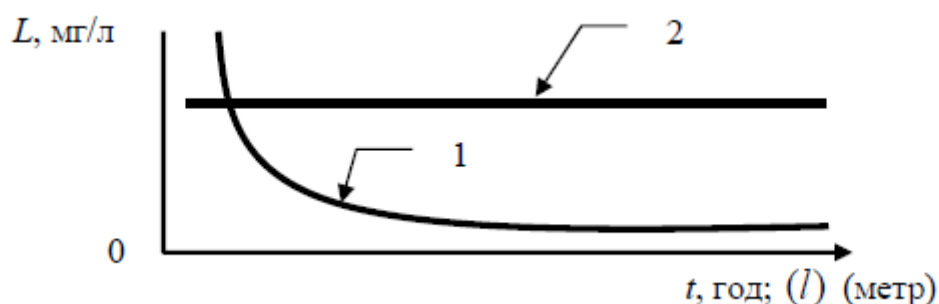


Рисунок 4.1.2 Графічний аналіз класифікації аеротенків:

1 – режим витіснення; 2 – режим змішування

4.2. Аеротенки-витискувачі

Аеротики-витискувачі – це споруди, в яких стічні води проходять послідовно по коридорах без повного перемішування, а біохімічні процеси по довжині проходять з різною швидкістю, тобто рівень забруднень за БСК зменшується поступово. З графіка (див. рис. 4.2.1) видно, що ефект (ступінь) зниження забруднень є залежністю від довжини споруди, по якій рухається стічна вода, а гідравлічний режим близький до режиму витіснення. Біологічний режим мікроорганізмів АМ знаходиться в різних фізіологічних режимах розвитку. На початку процесу маємо надлишок поживних речовин, а в кінцевій стадії – їх недолік. Тому доцільно на початку споруди подавати більшу кількість кисню, але в інженерному плані – це не економічний режим, оскільки кисень потрібний також для підтримання активного мулу в завислому стані по всій довжині споруди. Крім того, неоднорідність та різновид мікроорганізмів створюють умови їх неадаптованості і неоднакової швидкості біохімічного процесу. Аеротенк-витискувач має такий вигляд, як показано на рис. 4.2.1.

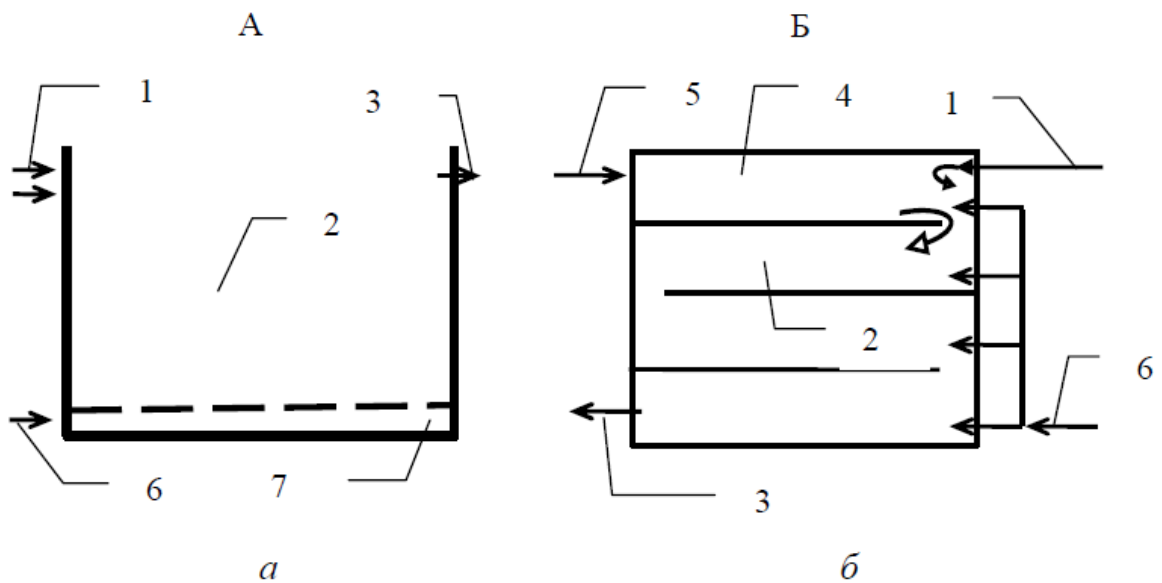


Рисунок 4.2.1. Технологічна схема аеротенка-витискувача:

а – поздовжній розріз; *б* – план;

1 – подача стічних вод від первинних відстійників; 2 – коридори (зона аерації) аеротенка; 3 – відвід суміші очищеної води та відпрацьованого активного мулу на вторинні відстійники; 4 – зона регенерації; 5 – підвід до регенератора зворотнього активного мулу; 6 – підвід стисненого повітря під час пневматичної аерації; 7 – повітророзподільний канал, перекритий фільтросними дифузорами повітря

Аеротенк-витискувач працює так: стічні води після первинних відстійників по лотках 1 надходять в аеротенки 2, де відбувається очищення стічних вод за допомогою сорбційно-окиснювальних процесів. По трубопроводу 3 подається зворотній активний мул через регенераційний коридор 4. Після регенератора активний мул змішується зі стічною водою та, контактуючи зі стислим повітрям 5, продовжує рух по коридорах, залишає секцію аеротенка та по лотках 6 надходить на вторинні відстійники. Для розчинення стислого повітря на дрібно-исперсні бульбашки аеротенк обладнують спеціальним каналом 7. Канал перекритий фільтраційними пластинами, що забезпечує подрібнення та рівномірний розподіл повітря.

4.3 Аеротенки-змішувачі

В аеротенках-змішувачах рівень концентрації БСК по довжині зони аерації в будь-якій точці однаковий (див. рис. 4.3.1). Аеротенки-змішувачі проектують на великі потужності коридорного типу. На малі витрати стічних вод такі аеротенки об'єднані із вторинним відстійником. Особливість змішувачів полягає в тому, що забезпечується рівномірне надходження і відведення стічних вод та активного мулу по довжині споруди. Така схема змішування стічної води з активним мулом забезпечує рівномірний розподіл концентрації активного мулу і забруднень та швидкості процесу очищення (рис. 4.3.1).

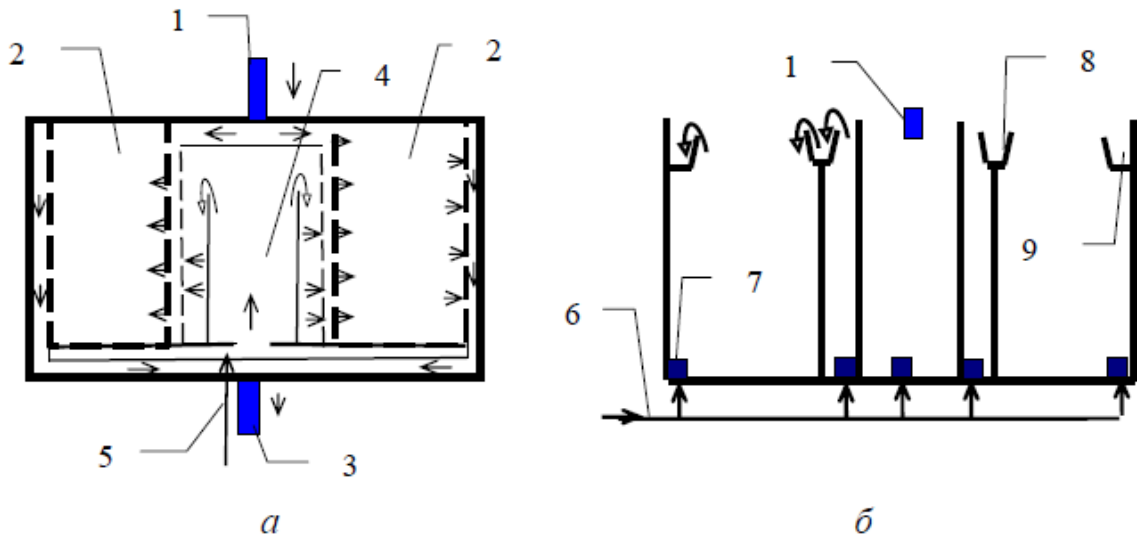


Рисунок 4.3.1 Технологічна схема аеротенка-змішувача:

a – поздовжній розріз; *б* – план;

1 – подача стічних вод від первинних відстійників; *2* – коридори (зона аерації) аеротенка; *3* – відвід суміші очищеної води та відпрацьованого активного мулу на вторинні відстійники; *4* – зона регенерації; *5* – підвід до регенератора зворотнього активного мулу; *б* – підвід стисненого повітря під час пневматичної аерації; *7* – повітророзподільний канал, перекритий фільтросними дифузорами повітря; *8* – канал рівномірного розподілення суміші АМ та СВ; *9* – канал збору та відведення відпрацьованого АМ та очищених СВ на вторинні відстійники

Гідродинамічні та технологічні умови в аеротенках-змішувачах дозволяють подавати на очистку стічні води з БПК до 1000 мг/л і відносно нерівномірним коефіцієнтом витрат та забруднення. Технологічна схема споруди працює так: стічні води від первинних відстійників по лотку *1* надходять у систему розподілення, де змішуються з активним мулом, який надходить від регенератора *4*. У регенератор циркуляційний мул надходить по системі *5* від вторинних відстійників. Стічні води та активний мул по лотку *8*, змішуючись рівномірно по довжині коридора аеротенка *2*, забезпечують кисневий режим та перемішування з метою підтримання АМ у завислому стані. Для підсилення сорбційного процесу по системі *б* через дифузори *7*

підводять стисле повітря. Стічні води після процесу очищення з відпрацьованим мулом, рівномірно по довжині коридора 2, переливаються у відповідний лоток 9 та відводяться на вторинні відстійники.

4.4. Аеротенки-відстійники

Аеротенки-відстійники (АВ) – це споруди, у яких поєднані зони аерації та відстоювання, при цьому зона відстоювання менша за зону аерації. Ця споруда значно економічніша, через відсутність зовнішніх систем циркуляції активного мулу (рис. 4.4.1.)

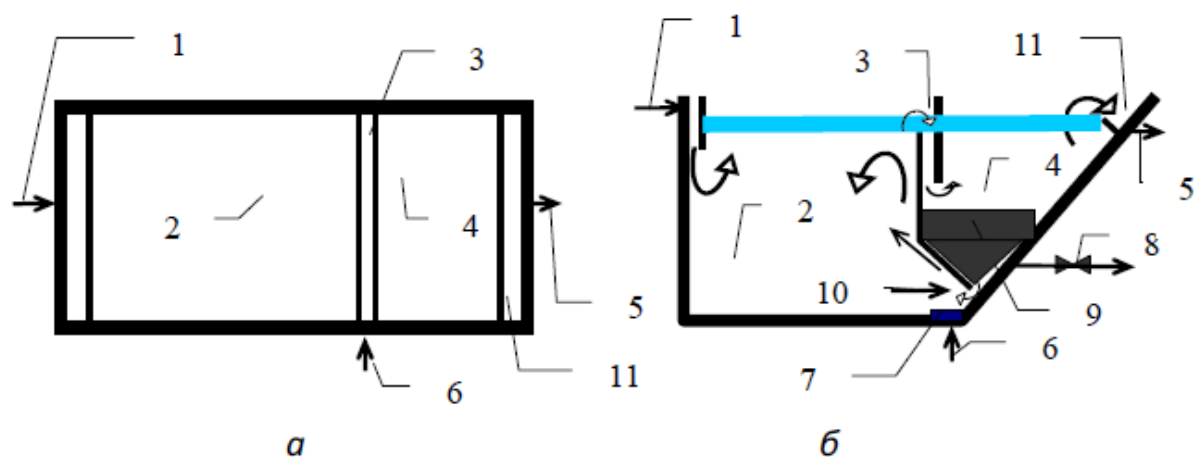


Рисунок 4.4.1 Технологічна схема аеротенка-відстійника:

а – план; *б* – поздовжній розріз;

1 – подача стічних вод від первинних відстійників; 2 – зона аерації аеротенка; 3 – зона дегазації; 4 – зона відстоювання; 5 – відвід очищеної стічної води; 6 – підвід стисненого повітря а пневматичної аерації; 7 – повітророзподільчий канал, перекритий фільтросними дифузорами повітря; 8 – відвід надлишкового АМ на зневоднення; 9 – зона ущільненого шару активного мулу; 10 – щілина для повернення

циркуляційного активного мулу на повторну роботу; *11* – лоток збору очищеної стічної води.

Вони проектується для малих і середніх витрат та відносно низьких значень БСК. Технологічна схема АВ така: стічні води після первинних відстійників *1* надходять у зону аерації *2*. В зону аерації *2* по трубопроводу *6* через дифузори *7* надходить стисле повітря, чимзабезпечується кисневий режим та створюється обертальний рух у зоні аерації *2*. Від зони відстоювання, через різницю щільності рідини та ежекційного ефекту, в зону аерації повертається активний мул. З метою відділення бульбашок повітря від суміші стічної води та біоценозу влаштовують зону дегазації *3*. Очищені стічні води за висхідного потоку у зоні *4* звільняються від біоценозу завдяки різниці $V_{\text{рід.}} < U_0$ атм. та по системі збірний лоток *11*, трубопровід *5* відводяться на знезараження. Надлишковий біоценоз, періодично, відводять по трубопроводу *8*.

Розрахунок аеротенків-відстійників виконують двоступенево.

По-перше, розраховують об'єм зони аерації за методикою аеротенків-змішувачів. По-друге, розраховують відстійник за методикою вторинного відстійника, який працює у висхідному режимі.

У табл. 4.4. наведено основні розрахункові рівняння для аеротенків.

№ пор.	Найменування розрахункових позицій	Одиниця вимірювання	Позначення	Рекомендована величина
7	Загальний об'єм аеротенка змішувача	м ³	$W_{\text{зміш}} = Q \cdot t_a$	
8	Тривалість аерації суміші СВ та АМ у аеротенку	год	$t_{a.c.} = \frac{L_0 - L_t}{0,7 \cdot a \cdot \rho}$	СНиП.2.0 4.03-85
9	Питома кількість повітря	м ³ /м ³	$D = \frac{Z \cdot (L_0 - L_t)}{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 (C_1 - C_2)}$	СНиП.2.0 4.03-85
10	Питома витрата кисню	мг/мг	Z	1,1
11	Середня швидкість окиснювання	мг/г·год	$\rho = \frac{L_t \cdot Q}{L_t \cdot Q + K_1 \cdot Q + K_2 \cdot L_t} \cdot \frac{1}{1 + \phi a}$	СНиП.2.0 4.03-85
12	Навантаження на поверхню вторинних відстійників - після біофільтрів - після аеротенків	м ³ /м ² ·год	$q_{\delta} = 3,6 \cdot K_{\delta} \cdot U_{0,\delta}$ $q_a = \frac{4,5 \cdot K_{0,a} \cdot H^{0,8}}{(0,1 \cdot J \cdot a)^{0,5-0,01a}}$	СНиП.2.0 4.03-85

№ пор.	Найменування розрахункових позицій	Одиниця вимірювання	Позначення	Рекомендована величина
1	Загальний об'єм аеротенка витискувача	м ³	$W_a = q \cdot (1 + a_p) \cdot t_a$	
2	Тривалість аерації суміші СВ та АМ у аеротенку	год	$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \cdot \lg \frac{L_0}{L_t}$	СНиП.2.0 4.03-85
3	Тривалість аерації у регенераторі	год	$t_p = t_0 - t_a$	
4	Тривалість окиснення забруднень адсорбованих активним мулом	год	$t_0 = \frac{L_0 - L_t}{\alpha \cdot a_p (1 - S) \rho}$	СНиП.2.0 4.03-85
5	Загальний об'єм регенератора	м ³	$W_p = q \cdot t_p \cdot \alpha$	СНиП.2.0 4.03-85
6	Загальний об'єм аеротенка з регенерацією	м ³	$W_{\text{заг}} = W_a + W_p$	

Розділ 5 Переваги і недоліки аеротенків. Установка аеротенку.

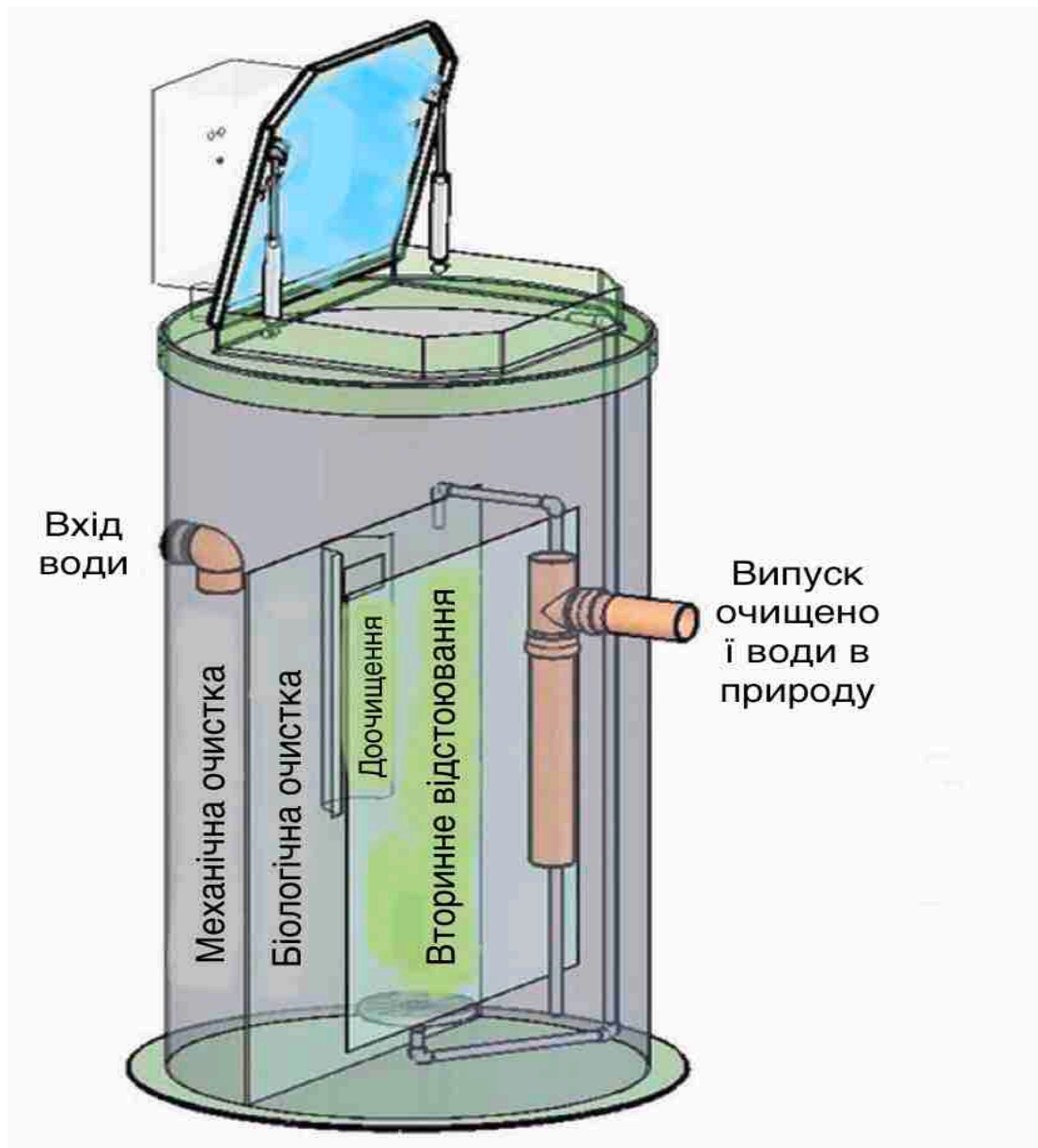


Рисунок 5.1. Аеротенк

До переваг аеротенків можна віднести такі моменти:

1. Споруда забезпечує високий рівень очищення забрудненої рідини.
2. Уся конструкція дуже компактна, що дозволяє виконати установку навіть на невеликій ділянці.

3. Оскільки в ході життєдіяльності аеробів не виділяються гази, від споруди абсолютно немає неприємного запаху.

4. Таку конструкцію не треба утепляти на зиму, оскільки при переробці органічних відходів виділяється велика кількість енергії, що дозволяє навіть взимку підтримувати потрібну температуру усередині конструкції.

Проте у таких виробів є і свої недоліки:

1. Без електроенергії не може бути забезпечений достатній рівень очищення. Оскільки компресор не працюватиме, станеться загибель бактерій і активного мулу.

2. Висока ціна на заводські вироби.

3. Складне устаткування, що використовується в роботі аеротенка, потребує постійного контролю.

4. Якщо тривалий час не користуватися каналізацією, то поживного середовища для бактерій не буде, і вони загинуть.

Важливо: при працюючому компресорі і відсутності вступу стічних вод активний мул зберігає свою життєздатність упродовж 3-х місяців. Якщо буде відключена і електрика, то через три місяці мул загине.

Щоб запобігти загибелі активного мулу, в конструкцію аеротенка заливається суміш сухого активного мулу з водою. Це треба робити раз на місяць. Якщо ж з якихось причин мул загинув, то доведеться здійснювати повторний запуск аеротенка. Для цього роблять наступне:

- Звільняють аеротенк від загиблого мулу. Для цього його треба промити водою.

- Живий активний мул можна узяти в іншому аеротенку. Щоб з цим не було проблем, необхідно підписати договір техобслуговування аеротенка при його купівлі.

Установка аеротенку



Рисунок 5.2. Установка аеротенку

Зазвичай установку аеротенка роблять фахівці тієї фірми, де ви придбавали устаткування. Оскільки вимоги до монтажу можуть трохи відрізнятися у різних моделей, перед установкою виробу необхідно уважно прочитати інструкцію, де даються детальні вказівки по монтажу.

Установка заводського виробу зазвичай виконується у декілька етапів:

1. Риється котлован, виходячи з габаритів виробу. Зазвичай його розміри дорівнюють 180x180x260 см
2. На дні ями робиться піщана подушка заввишки 15 см
3. Опускається конструкція в котлован. Перед тим, як виконувати зворотну засипку, в аеротенк заливається вода. При цьому заливку води

роблять поступово у міру засипання. Рівень води увесь час має бути вищий за рівень засипки на 15-20см. Це треба для того, щоб тиск ґрунту не пошкодив стінки конструкції. Засипку робимо до рівня розташування патрубків для кріплення комунікацій.

4. Підключається до аеротенка комунікації.
5. Виконується установка компресора.
6. Підключається електрика.
7. Завершується зворотна засипка і трамбується ґрунт.

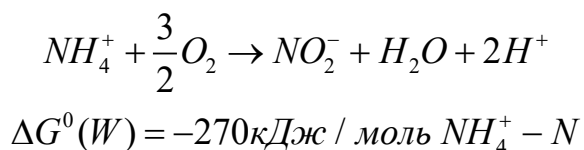
Розділ 6 Розрахунок аеротенка з зонами денітрифікації і нітрифікації

Розглядається процес очистки стічних вод на Лівобережній станції аерації. Визначається процес нітрофікації. Нітрифікація - це мікробіологічний процес, в ході якого амоній перетворюється в нітрит, а нітрит в кінцевому підсумку - в нітрат.

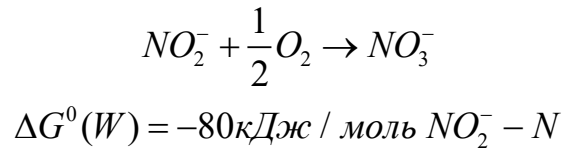
Цей процес відбувається в біосфері повсюдно, якщо умови середовища сприяють розвитку нітрифікуючих бактерій. Нітрифікація дуже важлива для підтримки певного рівня кисню в ґрунті, річках, озерах та, відповідно, на станціях очистки води.

На практиці нітрифікацію здійснює дуже обмежена група автотрофних мікроорганізмів. Процес проходить в два етапи. На першому етапі амоній окислюється до нітриту під дією бактерій, так званих *Nitrosomonas*. Потім нітрит окислюється до нітрату під дією іншої групи бактерій, так званих *Nitrobacter*. На цей процес також впливають бактерії *Nitrospira*, *Nitrococcus* і *Nitrosocystis*. У процесах очищення стоків бере участь значна кількість різних нітрифікуючих мікроорганізмів. Однак ті нітрифікуючі бактерії, які були ідентифіковані за допомогою ДНК-зондів, мабуть, не дуже сильно відрізняються за своєю активністю від відомих бактерій *Nitrosomonas* і *Nitrobacter*. Таким чином, з інженерної точки зору нітрифікацію можна розглядати як двостадійний процес, з добре відомою стехіометрією і кінетикою, в якому задіяні дві групи бактерій.

Окислення амонію під дією бактерій можна виразити наступною реакцією:



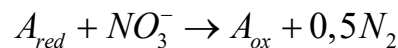
Нітрит-окислюючі бактерії здійснюють наступну реакцію:



Для нітрифікуючих бактерій характерні низькі швидкості росту, що пов'язано з низьким енергетичним виходом реакцій окислення аміаку і нітриту. Повільне зростання таких бактерій - основна проблема при нітрифікації на станціях біологічного очищення стоків.

Денітрифікація.

Денітрифікація - це процес перетворення нітрату в атмосферний азот під дією бактерій. Процес цей анаеробний, так як в ролі окислювача виступає нітрат:



Умови, при яких окислюючим агентом є не кисень, а нітрат, називають аноксичними. Денітрифікація відбувається в природі повсюдно там, де є нітрат і відсутній (або майже відсутня) кисень. Більшість денітрифікуючих бактерій - факультативні аероби, тобто при наявності кисню вони вважають за краще його використання в якості окислювача.

Багато зі звичайних бактерій здатні перемикатися від використання кисню як кінцевого акцептора електронів до нітрату. Система транспорту електронів у денітрифікуючих бактерій така ж, як у аеробних мікроорганізмів. Виняток становить лише остання стадія, в якій бере участь нітрат(або нітрит)редуктаза. Вибір бактерією кінцевого акцептора електронів залежить від величини окисно-відновного потенціалу між останнім цитохромом в ланцюзі перенесення і киснем (або нітратом). Вибір цей завжди вирішується на користь кисню, тому при спільній присутності кисню та азоту в системі бактерія дихає киснем, а не здійснює денітрифікацію.

Всі проміжні продукти денітрифікації (і нітрифікації) токсичні, і їх присутність в системі небажано. Це стосується нітриту NO_2^- , оксиду і діоксиду азоту (NO і N_2O). Якщо ж протягом процесу порушується (наприклад, при нестачі поживних речовин), виділення зазначених проміжних продуктів може істотно зрости.

Приклад розрахунку аеротенка з зонами денітрифікації і нітрифікації

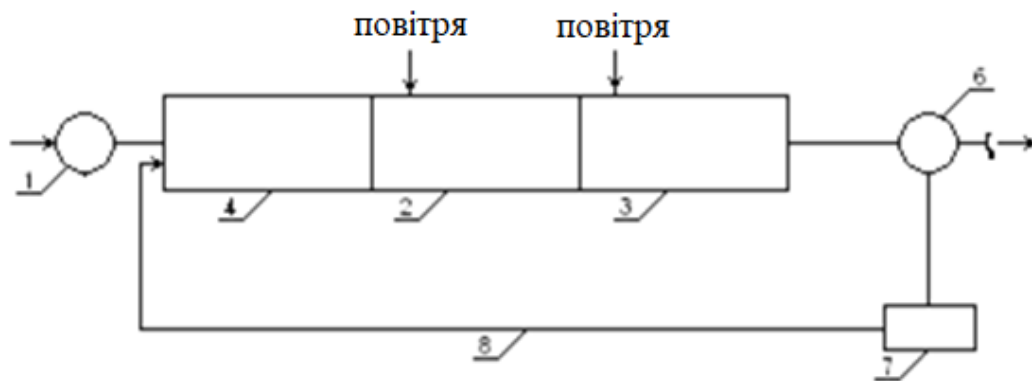


Рисунок 6.1 – Схема видалення зі стічної рідини азоту методом нітрифікації-денітрифікації: 1-первинний відстійник; 2-аеротенк; 3-нітрифікатор; 4-денітрифікатор; 6-вторинний відстійник; 7-насосна станція циркулюючого активного мулу; 8-циркулює активний мул.

Початкові дані:

Міські стічні води

$Q_{\text{доб}} = 50\,000 \text{ м}^3/\text{доб}$	$C_{\text{еп}}^{\text{ЗР}} = 150 \text{ мг/л}$	$C_{\text{ех}}^{\text{ЗР}} = 10 \text{ мг/л}$
$q_p = 3000 \text{ м}^3/\text{год}$	$L_{\text{еп}}^{\text{БПК}_n} = 180 \text{ мг/л}$	$L_{\text{ех}}^{\text{БПК}_n} = 10 \text{ мг/л}$
$\text{pH} = 7,6$	$C_{\text{еп}}^{\text{N-NH}_4} = 35 \text{ мг/л}$	$C_{\text{ех}}^{\text{N-NH}_4} = 1,0 \text{ мг/л}$
$T_{\text{ст.в}}^{\text{min}} = 15^\circ\text{C}$		$C_{\text{ех}}^{\text{N-NO}_3} = 12 \text{ мг/л}$
$T_{\text{ст.в}}^{\text{max}} = 21^\circ\text{C}$		

1. Необхідна ступінь рециркуляції активного мулу R_i в системі «вторинний відстійник - аеротенк - вторинний відстійник», що забезпечує зниження $N-NO_3$ в очищеної стічної рідини до необхідних значень ($C = 12$ мг / л), визначається з рівняння:

$$R_i = \frac{C_{en}^{N-NH_4} - \Delta N - C_{ex}^{N-NH_4}}{C_{ex}^{N-NO_3}} - 1$$

ΔN - кількість азоту, який пішов на синтез клітин мікроорганізмів в аеротенках, мг / л;

$$\Delta N = \Pi_i \cdot M \cdot m \cdot (1 - S)$$

де M - частка мікроорганізмів в активному мулі, прийнята рівною 0,3;

m - частка азоту в клітинах мікроорганізмів в перерахунку на суху речовину, прийнята рівною 0,1;

S - зольність активного мулу

Приріст активного мулу, мг / л:

$$\Pi_i = 0,8 \cdot C_{en}^{BB} + 0,3 \cdot L_{en}^{BPK_n} = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 180 = 174 \text{ мг/л}$$

$$\Delta N = 174 \cdot 0,3 \cdot 0,1 \cdot (1 - 0,3) = 3,65 \text{ мг/л}$$

$$R_i = \frac{35 - 3,65 - 1}{12} - 1 = 1,53;$$

2. Кількість азоту нітратів, що надійшли в зону денітрифікації аеротенку з вторинного відстійника з рециркуляційних потоком активного мулу, т / добу:

$$M_{\text{ден}}^{\text{N-NO}_3} = \frac{C_{\text{ex}}^{\text{N-NO}_3} \cdot Q_{\text{сут}} \cdot R_i}{10^6} = \frac{12 \cdot 50000 \cdot 1,53}{10^6} = 0,92 \text{ т/доб}$$

3. Концентрація азоту нітратів в зоні денітрифікації з урахуванням рециркуляційного потоку активного мулу, мг/л:

$$C_{\text{ден}}^{\text{N-NO}_3} = \frac{C_{\text{ен}}^{\text{N-NO}_3} \cdot Q_{\text{сут}} + C_{\text{ц}}^{\text{N-NO}_3} \cdot Q_{\text{ц}}}{Q_{\text{сут}} + Q_{\text{ц}}}$$

де $C_{\text{ен}}^{\text{N-NO}_3}$ - концентрація азоту нітратів у вихідній стічній рідині, яка надходить в зону денітрифікації аеротенка, прийнята рівною нулю;

$C_{\text{ц}}^{\text{N-NO}_3}$ - концентрація азоту нітратів в циркулюючому потоці активного мулу (дорівнює концентрації азоту нітратів в біологічно-очищеній воді) мг / л;

$$Q_{\text{ц}} = Q_{\text{доб}} \cdot R_i$$

$$C_{\text{ден}}^{\text{N-NO}_3} = \frac{0 \cdot 50000 + 12 \cdot 50000 \cdot 1,53}{50000 + 50000 \cdot 1,53} = 7,26 \text{ мг/л}$$

4. Кількість органічних речовин по БПКп, який пішов в зоні денітрифікації на відновлення азоту нітратів, т / добу:

$$\Delta M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} = K_{\text{ден}} \cdot M_{\text{ден}}^{\text{N-NO}_3}$$

де $K_{\text{ден}}$ – коефіцієнт, що враховує кількість БПКп для забезпечення повного відновлення нітратів до елементарного азоту (БПКп: $C_{\text{N-NO}_3} = 4: 1$)

$$\Delta M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} = 4 \cdot 1,1 = 4,4 \text{ т/доб}$$

5. Кількість органічних речовин по БПКп, що надходять зі стічною рідиною в зону денітрифікації, т / добу:

$$M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} = \frac{L_{\text{ен}}^{\text{БПК}_n} \cdot Q_{\text{сут}}}{10^6}$$

$$M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} = \frac{180 \cdot 50000}{10^6} = 9,0 \text{ т/доб}$$

6. Кількість органічних речовин по БПКп, що надходять зі стічною рідиною в зону аерації і нітрифікації, т / добу:

$$M_{\text{аер}}^{\text{БПК}_n} = M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n} - \Delta M_{\text{ден}}^{\text{БПК}_n}$$

$$M_{\text{аер}}^{\text{БПК}_n} = 9,0 - 4,4 = 4,6 \text{ т/доб}$$

7. Концентрація БПКп в стічній рідині, яка надходить в зону аерації, мг/л:

$$L_{\text{аер}}^{\text{БПК}_n} = \frac{M_{\text{аер}}^{\text{БПК}_n} \cdot 10^6}{Q_{\text{сут}}}$$

$$L_{\text{аер}}^{\text{БПК}_n} = \frac{4,6 \cdot 10^6}{50000} = 92 \text{ мг/л}$$

8. Тривалість обробки стічної рідини в зоні денітрифікації, ч:

$$t_{\text{ден}} = \frac{C_{\text{ден(ен)}}^{\text{N-NO}_3} - C_{\text{ден(ех)}}^{\text{N-NO}_3}}{a_i \cdot (1-s) \cdot \rho_{\text{ден}}} \cdot \frac{20}{T_{\text{ст.в}}^{\text{min}}},$$

$\rho_{ден}$ – швидкість відновлення азоту нітратів приймається в залежності від початкового значення азоту нітратів, приймається по таблиці 6.1

$T_{ст.в}^{min}$ – температура стічної рідини для самого несприятливого холодної пори року, °C

Таблиця 6.1 – Швидкість відновлення азоту нітратів приймається в залежності від початкового значення азоту нітратів

$(C_{N-NO_3})_{ен}^{ден}$, МГ/Л	10	20	30	40	50	60	70	80
$\rho_{ден}$, МГ/(Г·ГОД)	7,5	11,5	13,5	15	17	17,5	18,5	19

$$t_{ден} = \frac{7,76-0}{3 \cdot (1-0,3) \cdot 7,5} \cdot \frac{20}{15} = 0,64 \text{ год}$$

14. Об'єм зони денітрифікації аеротенка, м3:

$$W_{ден} = q_m \cdot t_{ден} \cdot (1 + Ri) = 3000 \cdot 0,64 \cdot (1 + 1,83) = 4857,6 \text{ м3}$$

15. Тривалість обробки стічної рідини з метою зниження концентрації органічних речовин в зоні аерації визначається за формулою, ч:

$$t_{атв} = \frac{1 + \varphi \cdot a_i}{\rho_{max} \cdot C_0 \cdot a_i \cdot (1 - S)} \cdot \left[(C_0 + K_0)(L_{mix} - L_{ex}) + K_l \cdot C_0 \cdot \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] \cdot K_p \cdot \frac{15}{T_{ст.в}^{min}}$$

де ϕ - коефіцієнт інгібування процесу біохімічного окислення органічних речовин продуктами розпаду активного мулу

ρ_{\max} - максимальна швидкість окислення органічних речовин в аеротенках

C_O - концентрація розчиненого кисню в аеротенках (2 мг/л)

K_O константа, що характеризує вплив кисню

L_{mix} - БПКп стічної рідини з урахуванням розведення рециркуляційним активним мулом, що повертається з вторинного відстійника, мг / л:

$$L_{\text{mix}} = \frac{L_{\text{en}}^{\text{БПКп}} + L_{\text{ex}}^{\text{БПКп}} \cdot R_i}{1 + R_i}$$

$$L_{\text{mix}} = \frac{180 + 10 \cdot 1,83}{2,83} = 48 \text{ мг/л}$$

K_1 - константа, що характеризує властивості органічних забруднень по БПКп;

K_p - коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього перемішування.

$$t_{\text{atv}} = \frac{1 + 0,07 \cdot 3}{85 \cdot 2 \cdot 3 \cdot (1 - 0,3)} \cdot \left[(2 + 0,625)(48 - 10) + 33 \cdot 2 \cdot \ln \frac{92}{10} \right] \cdot 1,5 = 2,5 \text{ год}$$

16. Необхідний обсяг аеротенках для зниження концентрації органічних речовин, м3:

$$W_{atv} = q_p \cdot t_{atv} = 3000 \cdot 2,5 = 7500 \text{ м}^3$$

17. Необхідна тривалість перебування стічної рідини в зоні нітрифікації:

$$t_{\text{ніт}} = \frac{C_{\text{міх}}^{N-NH_4} - \Delta N - C_{\text{ex}}^{N-NH_4}}{a_i \cdot (1 - S) \cdot \rho_{\text{ніт}} \cdot K_{pH}} \cdot \frac{20}{T_{\text{ст.в.}}^{\text{мін}}}$$

де $C_{\text{міх}}^{N-NH_4}$ – концентрація азоту амонійного в стічній рідині з урахуванням розведення ре-циркуляційних витратою повертається з вторинного відстійника активного мулу, мг / л:

$$C_{\text{міх}}^{N-NH_4} = \frac{C_{\text{en}}^{N-NH_4} + L_{\text{ex}}^{N-NH_4} \cdot R_i}{1 + R_i} = \frac{35 + 1 \cdot 1,83}{2,83} = 13 \text{ мг/л}$$

$\rho_{\text{ніт}}$ – швидкість окислення азоту амонійного

K_{pH} – коефіцієнт, що враховує вплив рН

$$t_{\text{ніт}} = \frac{13 - 3,65 - 2}{3 \cdot (1 - 0,3) \cdot 3,2 \cdot 0,95} \cdot \frac{20}{15} = 1,54 \text{ год}$$

18. Необхідний обсяг зони нітрифікації, м³:

$$W_{\text{ніт}} = q_p \cdot (1 + R_i) \cdot t_{\text{ніт}} = 3000 \cdot (1 + 1,83) \cdot 1,54 = 13074,6 \text{ м}^3$$

19. Необхідний об'єм аеротенка визначається підсумовуванням тривалості необхідних етапів послідовної обробки стічних вод:

$$\sum W = 5433,6 + 4440 + 13074,6 = 21557 \text{ м}^3$$

Далі був виконан розрахунок аеротенку на базі чисельної моделі «ТЕНК-2». Данна модель розроблена на кафедрі гідравліки та водопостачання ДНУЗТ для виконання магістерських дипломних робіт. Ця модель базується на використанні наступних рівнянь:

1. Рівняння руху рідини в аеротенку (модель потенційного руху).
2. Модель переносу субстрату
3. Модель переносу активного мулу
4. Модель Моно (описує взаємодію субстрату та активного мулу)

Розрахунок аеротенку був виконан для параметрів реактору на території Лівобережної станції аерації.

Низче приведені результати рішення задачі по оцінці ефективності роботи біологічного реактору саме при точковому впорскування активного мулу в реактор. Розрахунки виконувалися при наступних вхідних даних:

$S_{in} = 360 \text{ мг/л}$ - концентрація субстрату ($\text{БПК}_{\text{пов}}$), що потрапляє в споруду;

розміри біореактору $15\text{м} \times 4\text{м} \times 5\text{м}$;

$Q_s(t) = 3490 \text{ м}^3/\text{доб}$ – витрата стічних вод;

$\mu_x = \mu_y = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{доб}$.

$X_{in} = 200 \text{ мг/л}$ - - концентрація активного мулу, що потрапляє в реактор.

$\mu_{\text{max}} = 1.04$ - параметр.

$K_s = 100 \text{ мг/л}$ - параметр

$K_d = 0.055 \text{ 1/доб}$ – коефіцієнт, що враховує загібель мікрорганізмів.

$Y = 0.55$ - параметр.

Розглядалися такі сценарії:

- Сценарій №1: реактор працює без додаткових елементів всередині споруди та має місце впорскування активного мулу в трьох зонах (рис. 6.2, точки впорскування активного мулу, умовно показані числом «2»).

- Сценарій №2: в реакторі є одна пластина та має місце впорскування активного мулу в трьох зонах (рис. 6.3.)(розрахункова область – багатоз'язна).

- Сценарій №3: реактор є дві пластини та має місце впорскування активного мулу в трьох зонах (рис. 6.4)(розрахункова область – багатоз'язна).

Початкова умова : $S_{in} = 360$ мг/л, $X_{in} = 200$ мг/л. Досліджується процес деструкції субстрату в реакторі згідно моделі Monod.

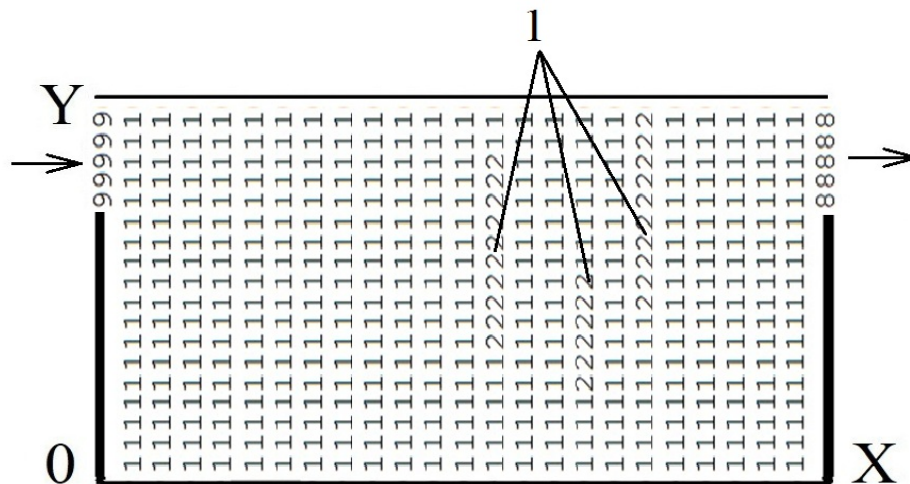


Рисунок 6.2 Схема розрахункової області (сценарій № 1): 1 – точки впорскування активного мулу

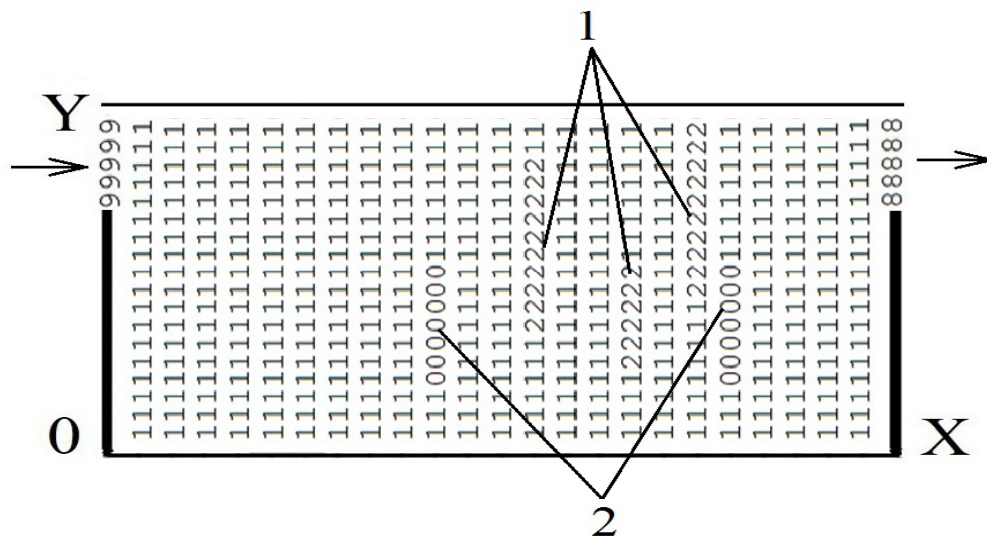


Рисунок 6.3 Схема розрахункової області (сценарій № 2): 1 – точки
впорскування активного мулу; 2 – пластина

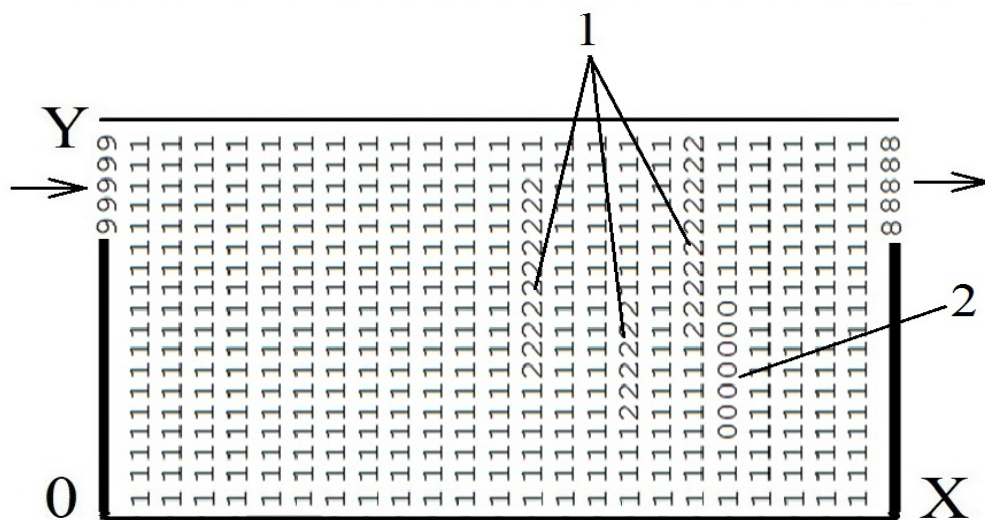


Рисунок 6.4 Схема розрахункової області (сценарій № 3):
1 – точки впорскування активного мулу; 2 - пластина

На рис. 6.5 – 6.8 показано, розподіл концентрації субстрату в реакторі для сценаріїв, що розглядаються ($t=1.5$ год).

Концентрація є осередненою по ширині реактору. Кожне число на приведених рисунках показує концентрацію субстрату у відсотках від

максимальної концентрації (це концентрація на вході в реактор $S_{in} = 360$ мг/л).



Рисунок 6.5 Розподіл концентрації субстрату в біореакторі (сценарій № 1)

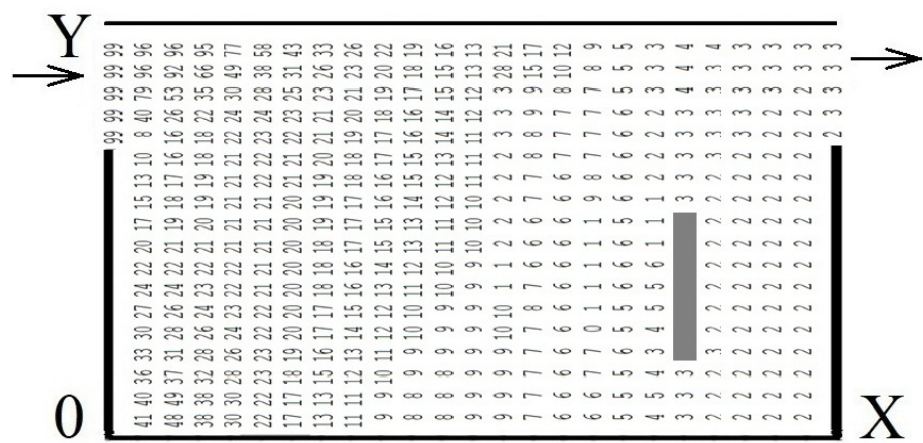


Рисунок 6.6 Розподіл концентрації субстрату в біореакторі (сценарій № 2)

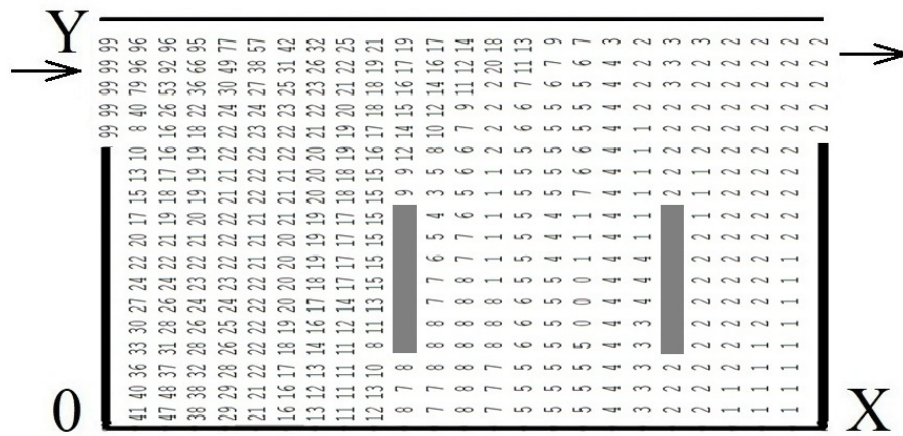


Рисунок 6.7 Розподіл концентрації субстрату в біореакторі
(сценарій № 3)

Як ми бачимо з наведених рисунків, всередині реактору має місце суттєво нерівномірний розподіл концентрації субстрату. На рис. 6.8 показано розподіл концентрації активного мулу всередині реактору (t=0.96 год). Число «99» показує місце впорскування активного мулу.

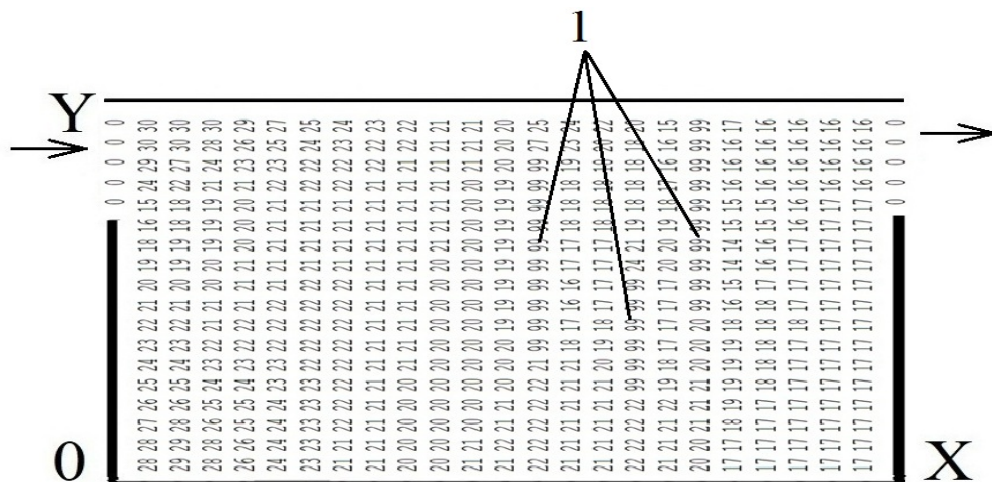


Рисунок 6.8 Розподіл концентрації активного мулу в біореакторі
(сценарій № 1): 1 - місце впорскування активного мулу.

В табл.6.2 показані дані, що до середньої концентрації субстрату на виході з реактору для кожного сценарію

Таблиця 6.2

Середня концентрація субстрату на виході з реактору

Сценарій	Сценарій №1	Сценарій №2	Сценарій №3
Концентрація	13.83 мг/л	12.12 мг/л	9.17 мг/л

Аналіз даних з табл.4.6, показує, що використання локального впрорскування активного мулу дає можливість збільшити ефективність роботи біологічного реактору.

Висновки:

1. Розглянута методологія розрахунку аеротенку з зонами денітрифікації і нітрифікації.
2. Визначена ефективність роботи аеротенку на Лівобережній станції аерації .
3. На базі моделі «ТЕНК-2» виконано розрахунок а еротенку на Лівобережній станції аерації для роботи реактору з додатковим впорскуванням активного мулу.
4. Результати обчислювального експерименту показують, що при впорскуванню активного мулу збільшується ефективність очистки води в аеротенку.

Список використаних джерел літератури

1. Долина, Л. Ф. Новые методы и оборудование для обеззараживания сточных вод и природных вод : монография / Л. Ф. Долина. — Д. : Континент, 2003. — 218 с.
2. Долина, Л. Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов : монография / Л. Ф. Долина. — Д. : Континент, — 198 с.
3. К вопросу определения степени рециркуляции активного ила при очистке сточных вод методом нитрификации и денитрификации / С.Д. Иванова, Г.Т. Амбросова, О.В. Ксенофонтова и др. // Известия ВУЗов. Строительство. – №3. – 2015.
4. Олійник О.Я. Моделювання очистки стічних вод від органічних забруднень в біореакторах–аеротенках зі зваженим (вільноплаваючим) і закріпленим біоценозом / ОЯ Олійник, ТС Айрапетян // Доповіді НАНУ. – 2015. – С. 55-60.
5. Эпоян С. М. Повышение эффективности биологической очистки сточных вод в закрытых циркуляционных окислительных каналах при использовании современных воздуходувок / С. М. Эпоян, И. Ю. Штонда, А. Л. Зубко, Ю. И Штонда, П. Баслер // Науковий вісник будівництва. - 2014. - № 3. - С. 184-188.
6. Эпоян С.М. Исследование процесса интенсификации удаления соединений азота на сооружениях очистки сточных вод молокозаводов / С.М. Эпоян, С.С. Фомин, И.Г. Фомина // Науковий вісник будівництва. – 2014 – С. 109-112.
7. Біляєв М.М., Козачина В.А., Лемеш М.В. Дослідження процесу очистки стічних вод на базі чисельних моделей. 73 Науково-технічна конференція Харківського національного університету будівництва та архітектури, 6-7 лютого, 2018, Харків.
8. Беяев Н.Н., Козачина В.А., Лемеш М.В., Стуликов З.Г. Математическое моделирование биологической очистки сточных вод в аэротенках. Материалы международной научно-технической конференции

«Информационные технологии в металлургии и машиностроению», 27-29 березня, 2018. Дніпро, 2018.

9. Беляєв Н.Н., Козачина В.А., Лемеш М.В., Грабар Я.А. Математические модели в задачах очистки сточных вод. IV Міжнародна науково-технічна конференція «Комп'ютерне моделювання та оптимізація систем», 1-2 листопада 2018р. – Дніпро, УДХТУ – С. 37.

10. - Беляєв Н.Н., Козачина В.А., Лемеш М.В. Информационная система для анализа работы азротенков. XII Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні і комунікаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті», 12-13 грудня, 2018р. – Дніпро, ДНУЗТ – С. 128.

11. Беляєв Н.Н., Козачина В.А., Лемеш М.В., Кириченко П.С. Компьютерное моделирование очистки сточных вод. Матеріали V Міжнародної науково – технічної конференції «Комп'ютерне моделювання та оптимізація складних систем», 6 – 8 листопада 2019, м. Дніпро, с.22.

12. Беляєв Н.Н., Козачина В.А., Лемеш М.В., Кириченко П.С. Математические модели в задачах очистки сточных вод // Матеріали IX Міжнародної наукової конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд», 15 -16 жовтня 2019, Харків, ХНУБА. С. 5.

13. Беляєв, Н.Н. Математическое моделирование массопереноса в отстойниках систем водоотведения [монографія] / Н.Н. Беляєв, Е.К. Нагорная. – Д.: Нова ідеологія, 2012. – 112 с.

14. Беляєв, Н.Н. CFD моделирование процесса формирования осадка в горизонтальном отстойнике / Н.Н. Беляєв, В.А. Козачина // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2015. – №3 (81). – С. 222-225.

15. Беляєв, Н.Н. CFD моделирование работы горизонтального двухэтажного отстойника с поворотом потока в вертикальной плоскости / Н.Н. Беляєв, В.А. Козачина // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Д.: НГУ, 2014. – №45. – С. 152-157..

16. Беляєв, Н.Н. CFD моделювання роботи горизонтального отстойника со струєнаправляючими пластинами / Беляєв Н.Н., Козачина В.А // Вода та водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – К., 2014. – №2 (15) – С. 50-55.
17. -Біляєв М.М., Козачина В.А., Лемеш М.В., Кіріченко П.С. Моделювання очистки води в системах «аеротенк - відстійник» // EastEuropeanScientificJournal. – 2019. – Vol 10(50). – Р. 10-15.
18. Бертокс П., Радд Д. Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. М.: «Мир», 1980. - 606с.
19. Бойко Т.В., Жежерун Я.В. Алгоритмізація розрахунку біологічного очищення стічних вод в аеротенках // Комп'ютерне моделювання в хімії та технологіях і системах сталого розвитку – КМХТ -2019, с.290 -293
20. Бомба А. Я. А. П. Сафоник А.П. Математичне моделювання процесу аеробного очищення стічних вод в пористому середовищі / Математичне та комп'ютерне моделювання, 2011. с.36 -44
21. Василенко А.И. Проектирование канализации населенных мест / А.И. Василенко, А.А. Василенко. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – К.: Будівельник, 1985. – 136 с.
22. Василенко, О.А. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник / О.А. Василенко, С.М. Епоян – Київ, Харків: КНУБА, ХНУБА, ТО Ексклюзив, 2012. – 540 с.
23. Водовідведення і очищення стічних вод міста. Навчальний посібник / [С.М. Епоян, Г.М. Смірнова, І.В. Корінько, С.П. Пашкова, В.Ю. Сорокіна, Г. Вевелер]. – Харків: Видавнича група «РА Каравела», 2003. – 144 с.
24. Водоотведение и очистка сточных вод. Учебник для вузов / [С.В. Яковлев, Я.А. Карелин, Ю.М. Ласков, В.И. Калицун]. – М.: Стройиздат, 1996. — 591 с.

25. Водопостачання та очистка природних вод. Навчальний посібник / С.М. Епоян, В.Д. Колотило, О.Г. Друшляк, Г.І. Сухоруков, Т.С. Айрапетян. – Х.: Фактор, 2010. – 192 с.
26. Воронов, Ю.В. Водоотведение и очистка сточных вод: Учебное пособие / Ю.В. Воронов. - М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2009. – 760 с.
27. Горносталя С.А., Петухова Е.А., Уваров Ю.В. Повышение эффективности работы сооружений биологической очистки городских сточных вод.: Монография, Х.: НУГЗУ, 2015, 102с.
28. Гуревич, М. И. Теория струй идеальной жидкости / М.И. Гуревич. – М.: Наука, 1979. – 536 с.
29. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування / К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – 2013. – 128 с.
30. Душкин, С.С. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды / С.С. Душкин, Г.И. Благодарная. – Харьков: ХНАГХ, 2009. – 95 с.
31. Епоян, С.М. До розрахунку горизонтального відстійника з пористою полімербетонною перегородкою систем господарсько-питного водопостачання / С.М. Епоян, Д.Г. Сухоруков // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2012. – Вип. 68. – С. 244-248.