



НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Л.А. Саблій, О.М. Бунчак, В.С. Жукова

ПРАКТИКУМ З БІОТЕХНОЛОГІЙ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

НАВЧАЛЬНИЙ ПОСІБНИК



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Л. А. Саблій, О. М. Бунчак, В. С. Жукова

Практикум з біотехнологій очищення води

Навчальний посібник

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальністю 162 «Біотехнології та біоінженерія»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

УДК 628.35(075.8)
С12

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(Протокол № 2 від 09.12.2021 р.)*

Рецензенти

*М. Д. Гомеля, д-р техн. наук, проф.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

*Т. А. Донцова, д-р техн. наук, доц.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Відповідальний редактор

*М. Ю. Козар, канд. техн. наук, доц.,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

Саблій Л. А.

С12 Практикум з біотехнологій очищення води : навч. посіб. /
Л. А. Саблій, О. М. Бунчак, В. С. Жукова. – Київ : КПІ ім. Ігоря
Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 108 с.

Наведено технічні рішення, методики і приклади розрахунку, конструктивні особливості споруд, обладнання, пристроїв, які використовують у водоочищенні, а саме для очищення господарсько-побутових і промислових стічних вод, для обробки осадів, які утворюються на очисних станціях. Розрахунки наведено з урахуванням діючих нормативних документів.

Для студентів-здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Біотехнологія» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія». Може бути корисним аспірантам, інженерно-технічним і науковим працівникам, які займаються дослідженнями, проєктуванням, будівництвом та експлуатацією систем водоочищення.

УДК 628.35(075.8)

© Л. А. Саблій, О. М. Бунчак,
В. С. Жукова, 2022
© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ФБТ), 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1.СТІЧНІ ВОДИ, СКЛАД, ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАБРУДНЕНЬ.....	6
2.РОЗРАХУНКОВІ ВИТРАТИ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ СТІЧНИХ ВОД.....	8
2.1. Розрахункові витрати стічних вод	9
2.2. Розрахункові концентрації забруднень стічних вод.....	10
3. РОЗРАХУНКИ НЕОБХІДНОГО СТУПЕНЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	12
3.1. Нормативи якості води у водоймі	12
3.2. Розрахунок розбавлення стічних вод у річці	13
3.3. Розрахунок необхідного ступеня очищення стічних вод	15
4. ТЕХНОЛОГІЇ І СПОРУДИ ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	18
4.1. Технології біологічного очищення стічних вод	19
4.2. Очисні споруди	28
4.2.1. Первинні відстійники.....	28
4.2.2. Аеротенки.....	35
4.2.3. Біологічні фільтри	49
4.2.4. Вторинні відстійники.....	61
5. ТЕХНОЛОГІЇ І СПОРУДИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ.....	64
5.1. Мулоущільнювачі	64
5.2. Розрахунок витрати осадів і надлишкового активного мулу	67
5.3. Метантенки.....	69
5.4. Аеробні стабілізатори.....	78
6. ПРОЄКТУВАННЯ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД.....	83
6.1. Проєктування генплану очисних споруд	83
6.2. Проєктування висотної схеми розташування очисних споруд.....	86
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	91
ДОДАТКИ.....	94

ВСТУП

В останні роки увагу суспільства все більше привертає рішення найважливішої проблеми сучасності – охорона природних вод від забруднення, зокрема, стічними водами міст і промислових підприємств, недостатньо очищеними або неочищеними, розробка і вдосконалення біотехнологій очищення стічних вод, запобігання зменшенню природних водних ресурсів тощо.

Стабільне забезпечення населення, промисловості і сільського господарства високоякісною питною водою вимагає подальшого вдосконалення систем очищення стічних вод – розробки і впровадження сучасних високоефективних біотехнологій, очисних споруд (біореакторів, аеротенків, біологічних фільтрів тощо), водоочисного обладнання. У зв'язку з ростом забрудненості природних вод населеними пунктами, комунальними об'єктами, промисловими і сільськогосподарськими підприємствами, усе більшу увагу слід приділяти питанням розрахунку і проектування біологічних очисних споруд та споруд для біологічної стабілізації осадів стічних вод, підвищення їх надійності й економічності без нанесення збитку природі.

Очисні споруди є одними з найважливіших елементів систем водовідведення міст і промислових підприємств. Від їх конструктивного рішення, розрахунку, наступних проєктних розробок й експлуатації за великим рахунком залежать ефективність, надійність і техніко-економічні показники систем водовідведення в цілому.

Для здійснення цих завдань потрібні досвідчені фахівці, які матимуть відповідну підготовку у широкому колі питань, пов'язаних із обробкою складних за інгредієнтами стічних вод, які знатимуть як традиційні, що зарекомендували себе на практиці, так і новітні, перспективні біологічні методи, споруди і біотехнології, які дають змогу вирішувати проблеми очищення стічних вод на рівні сучасних вимог.

Навчальний посібник ставить своєю метою ознайомити студентів з технічними рішеннями, методами розрахунку, конструктивними особливостями влаштування й ефективністю різних споруд, обладнання, пристроїв, які використовують у водоочищенні, а саме, для очищення господарсько-побутових і промислових стічних вод, для обробки осадів, які утворюються на очисних станціях. У навчальному посібнику наведено необхідні нормативні матеріали й рекомендації щодо методів розрахунку та проектування окремих споруд.

У навчальному посібнику використано нові ДБН, ДСТУ, ДСанПіН, інші нормативні і керівні документи, а також досвід проєктних, будівельних, експлуатаційних організацій і науково-дослідних інститутів.

Цей навчальний посібник написаний відповідно до силабуса навчальної дисципліни “Біотехнології очищення води” для студентів - здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Біотехнологія» спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія».

Разом із тим у навчальному посібнику особливу увагу приділено питанням, які мало висвітлені в навчальній літературі, але мають велике значення в теоретичній і практичній підготовці студентів. Може бути корисним аспірантам, інженерно-технічним і науковим працівникам, які займаються дослідженнями, проєктуванням, будівництвом і експлуатацією систем водоочищення.

1. СТИЧНІ ВОДИ, СКЛАД, ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАБРУДНЕНЬ

Стичні води дуже різні за складом, вмістом забруднюючих речовин, властивостями. Визначення складу стічних вод і характеристик забруднень дозволяє вибрати методи їх очищення, технологію і підібрати очисні споруди для одержання очищеної води відповідно до санітарних вимог [14, 15].

Забруднення, які містяться в стічних водах, бувають мінерального, органічного і бактеріального походження та можуть знаходитись у розчиненому, колоїдному і нерозчиненому станах. До мінеральних забруднень відносяться пісок, частинки глини, мінеральні масла, солі, кислоти, луки та ін. До органічних рослинного походження – залишки овочів, фруктів, злаки, папір; тваринного походження – фізіологічні виділення людей, залишки м'ясопродуктів, жири та ін. Крім того, із мийних розчинів та пральних порошків у стічні води надходять синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР) різного хімічного складу, мила тощо.

У міських стічних водах вміст органічних забруднень складає 45-58%, мінеральних – 42-55%.

Органічні забруднення стічних вод є середовищем, сприятливим для розвитку численних мікроорганізмів, які є бактеріальним забрудненням і які створюють епідемічну небезпеку.

Ступінь забрудненості стічних вод визначають за рядом показників санітарно-хімічного аналізу, основними з яких є БСК, ХСК, вміст завислих речовин, біогенних елементів (азоту і фосфору), рН, температура та ін.

Якщо для стічних вод характерне співвідношення $\text{БСК}/\text{ХСК} > 0,5$, то стічні води можна направляти на споруди біологічного очищення. В іншому випадку їх потрібно обробляти фізико-хімічними методами.

Для нормального перебігу процесу біологічного очищення необхідна присутність у стічних водах біогенних елементів – азоту і фосфору, у оптимальному співвідношенні $\text{БСК}:\text{N}:\text{P} = 100:5:1$ [19]. В процесі біологічного очищення потрібен контроль за вмістом у стічній воді токсичних речовин,

таких як ртуть, свинець, кадмій, ціаніди, СПАР тощо, їх концентрації не повинні перевищувати допустимих значень.

Присутність у міських стічних водах органічних і мінеральних речовин, в склад яких входять вуглець, азот, фосфор, калій, натрій, сірка тощо, дозволяє використовувати для їх очищення біологічні методи.

Стічні води, які утворюються на промислових підприємствах, містять різні забруднюючі речовини в залежності від виду промислового підприємства і продукції, яка на ньому виробляється (наприклад, молокозавод, нафтопереробний завод або шкірзавод), від технології виробництва (наприклад, віскозні волокна виробляють сірковуглецевим або мідноаміачним способами – утворені стічні води матимуть різний склад забруднень), від виду та якості вихідної сировини (нафта з різних родовищ відрізняється своїм складом, що позначається на якості стічних вод нафтопереробних заводів) та ін. [5].

Тому, правильний вибір методів і технології очищення промислових стічних вод у великій мірі залежатиме від аналізу показників забруднень таких стічних вод, наявності достатньої кількості у стічних водах біогенних речовин, від значень концентрацій специфічних для даного підприємства хімічних речовин, їх впливу на біологічний процес очищення та ін.

2. РОЗРАХУНКОВІ ВИТРАТИ І КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ СТІЧНИХ ВОД

В системі водовідведення витрати стічних вод та показники їх забруднень залежать від життєвого циклу населення і визначаються годинами доби, днями тижня, періодом року, кліматом, нормами водовідведення, культурним рівнем населення та ін. [6]. Мінімальна витрата стічних вод спостерігається у нічні години, максимальна – у ранкові й вечірні. Нерівномірність водовідведення залежить від величини міста або іншого населеного пункту. Так, у великих містах водовідведення більш рівномірне, ніж у малих.

При проектуванні очисних споруд потрібно враховувати розрахункові максимальні, середні та мінімальні витрати стічних вод, які надходять на очисну станцію. Для визначення максимальних і мінімальних витрат стічних вод використовують коефіцієнти максимальної і мінімальної нерівномірності водовідведення, які встановлені та наведені в ДБН [1] і в дод. А, табл. А.1.

Концентрації забруднень у міських стічних водах також зазнають змін, подібних до змін витрат. Кількість забруднень, які містяться в господарсько-побутових стічних водах, за окремими показниками визначають за ДБН [1] або з дод. Б, табл. Б.1.

В містах стічні води промислових підприємств часто відводять в міську мережу водовідведення, залежно від концентрацій забруднюючих речовин в них після попереднього (локального) очищення або без такого. Тому, стічні води в містах зазвичай змішані – суміш господарсько-побутових і виробничих.

Концентрацію забруднень у суміші господарсько-побутових та виробничих стічних вод визначають за формулою:

$$C_{\text{сум}} = \frac{C_{\text{поб}} \cdot Q_{\text{поб}} + C_{\text{вир}} \cdot Q_{\text{вир}}}{Q_{\text{поб}} + Q_{\text{вир}}}, \text{мг / дм}^3, \quad (2.1)$$

де $C_{ноб}$ - концентрація забруднень у господарсько-побутових стічних водах;
 $Q_{ноб}$ – витрата господарсько-побутових стічних вод; $C_{вир}$ – концентрація забруднень у виробничих стічних водах після їх очищення на локальних очисних спорудах, мг/дм³; $Q_{вир}$ – витрата виробничих стічних вод, м³/добу.

Концентрація завислих речовин у суміші стічних вод

$$C_{сум,ЗР} = \frac{C_{ЗР} \cdot Q_{ноб} + C_{вир,ЗР} \cdot Q_{вир}}{Q_{ноб} + Q_{вир}}, \text{мг / дм}^3.$$

Концентрація органічних речовин за БСК_{повн} у суміші стічних вод

$$C_{сум,БСК} = \frac{C_{БСК} \cdot Q_{ноб} + C_{вир,БСК} \cdot Q_{вир}}{Q_{ноб} + Q_{вир}}, \text{мг / дм}^3.$$

Концентрація ПАР у суміші стічних вод

$$C_{сум,ПАР} = \frac{C_{ПАР} \cdot Q_{ноб} + C_{вир,ПАР} \cdot Q_{вир}}{Q_{ноб} + Q_{вир}}, \text{мг / дм}^3.$$

2.1. РОЗРАХУНКОВІ ВИТРАТИ СТІЧНИХ ВОД

Приклад 2.1.

Визначити розрахункові витрати стічних вод міста і промислового підприємства, якщо сумарна середньодобова витрата становить $Q_{сер.доб} = 40000 \text{ м}^3 / \text{доб}$.

Рішення.

Середньогодинна витрата стічних вод

$$Q_{сее.год} = \frac{Q_{сее.доб}}{24} = \frac{40000}{24} = 1667 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (2.2)$$

Середньосекундна витрата стічних вод

$$Q_{сее.с.} = \frac{Q_{сее.доб}}{24 \cdot 3600} = \frac{40000}{24 \cdot 3600} = 0,46 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (2.3)$$

Середньосекундна витрата, дм³/с, становить

$$q_{сер.с.} = Q_{сее.с.} \cdot 1000 = 0,46 \cdot 1000 = 460 \text{ дм}^3 / \text{с}. \quad (2.4)$$

Максимальна та мінімальні секундні витрати стічних вод становлять

$$q_{\max.c.} = K_{\max} \cdot q_{\text{сер.с.}} = 1,51 \cdot 460 = 694,6 \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (2.5)$$

$$q_{\min.c.} = K_{\min} \cdot q_{\text{сер.с.}} = 0,65 \cdot 460 = 299 \text{ м}^3 / \text{с}, \quad (2.6)$$

де $q_{\text{сер.с.}}$ – середньосекундна витрата господарсько-побутових стічних вод, $\text{м}^3/\text{доб}$; $K_{\max}$ – коефіцієнт максимальної нерівномірності водовідведення (дод. А, табл. А.1); $K_{\min}$ – коефіцієнт мінімальної нерівномірності водовідведення (дод. А, табл. А.1).

Максимальна годинна витрата стічних вод визначається за формулою:

$$Q_{\max} = 3,6 \cdot q_{\max.c.} = 3,6 \cdot 695 = 2502 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (2.7)$$

2.2. РОЗРАХУНКОВІ КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЕНЬ СТІЧНИХ ВОД

Приклад 2.2.

Визначити концентрації забруднень в господарсько-побутових стічних водах, витрата яких складає $Q_{\text{сер.доб}} = 35000 \text{ м}^3 / \text{доб}$. для міста з кількістю жителів 175000 чол.

Рішення.

Концентрація забруднень господарсько-побутових стічних вод визначається за формулою:

$$C = \frac{a \cdot N}{Q_{\text{поб}}}, \text{ мг} / \text{м}^3, \quad (2.8)$$

де a – кількість забруднювальних речовин на одного жителя, $\text{г}/\text{добу}$, яка визначається за дод. Б, табл. Б.1 і приймається: 65 $\text{г}/\text{добу}$ - завислих речовин; 75 $\text{г}/\text{добу}$ – БСК_{повн}; 2,5 $\text{г}/\text{добу}$ – ПАР; N – кількість жителів міста; $Q_{\text{поб}}$ – витрата господарсько-побутових стічних вод, $\text{м}^3/\text{добу}$.

Концентрація завислих речовин у господарсько-побутових стічних водах

$$C_{\text{зр}} = \frac{a_{\text{зр}} \cdot N}{Q_{\text{поб}}} = \frac{65 \cdot 175000}{35000} = 325 \text{ мг} / \text{м}^3.$$

Концентрація органічних речовин за БСК_{повн} у господарсько-побутових стічних водах

$$C_{БСК} = \frac{a_{БСК} \cdot N}{Q_{ноб}} = \frac{75 \cdot 175000}{35000} = 375 \text{ мг / дм}^3.$$

Концентрація ПАР у господарсько-побутових стічних водах

$$C_{ПАР} = \frac{a_{ПАР} \cdot N}{Q_{ноб}} = \frac{2,5 \cdot 175000}{35000} = 12,5 \text{ мг / дм}^3.$$

3. РОЗРАХУНКИ НЕОБХІДНОГО СТУПЕНЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Природним водоймам притаманна самоочисна здатність, що потрібно враховувати при проектуванні очисних споруд і визначенні необхідного ступеня очищення [8, 9].

Необхідний ступінь очищення стічних вод, які скидаються у природну водойму, визначають за такими показниками: вміст завислих речовин; споживання розчиненого кисню; допустима БСК суміші річкових і стічних вод; зміна рН, гранично допустимі концентрації токсичних домішок та інших шкідливих речовин. Ці показники є гранично допустимими концентраціями або скидами (ГДС) речовин. ГДС окремої речовини гарантує дотримання норм вмісту даної речовини (гранично допустимої концентрації - ГДК) в контрольному створі водного об'єкта [13, 17, 18].

3.1. НОРМАТИВИ ЯКОСТІ ВОДИ У ВОДОЙМІ

Норми якості води водойм і водотоків для умов господарсько-питного, комунально-побутового та рибогосподарського призначення визначено, згідно з «Правилами охорони поверхневих вод» [3, 18].

Наприклад, для водойми, яка відноситься до господарсько-питного водокористування, у розрахунковому створі за течією річки на 1 км від найближчого пункту водокористування повинні забезпечуватися наступні показники якості води (дод. В, табл. В.1):

- підвищення концентрації завислих речовин не більше ніж на $0,25 \text{ мг/дм}^3$;
- біохімічна потреба в кисні $\text{БСК}_{\text{повн}} \leq 3 \text{ мг/дм}^3$ за температури 20°C ;
- розчинений кисень $\geq 4 \text{ мг/дм}^3$.

До господарсько-питного водокористування відноситься використання водних об'єктів або їх ділянок як джерела господарсько-питного водопостачання, а також водопостачання підприємств харчової промисловості.

До комунально-побутового водокористування відноситься використання водних об'єктів для купання, занять спортом і відпочинку населення. Вимоги до якості води, встановлені для водойм комунально-побутового водокористування, поширюються на всі ділянки водних об'єктів, що знаходяться в межах населених міст, незалежно від виду їх використання.

До рибогосподарського водокористування відноситься використання водних об'єктів для проживання, розмноження і міграції риб та інших водних організмів. Рибогосподарські водні об'єкти або їх ділянки можуть належати до однієї з трьох категорій:

- до вищої категорії відносяться місця розташування нерестилищ, масового нагулу та зимувальних ям особливо цінних і цінних видів риб та інших промислових водних організмів, а також охоронні зони господарств будь-якого типу для штучного розведення та вирощування риб, інших водних тварин і рослин;

- до першої категорії відносяться водні об'єкти, що використовуються для збереження та відтворення цінних видів риб, що мають високу чутливість до вмісту кисню;

- до другої категорії відносяться водні об'єкти, що використовуються для інших рибогосподарських цілей [18].

3.2. РОЗРАХУНОК РОЗБАВЛЕННЯ СТИЧНИХ ВОД У РІЧЦІ

При розрахунках необхідного ступеня очищення стічних вод потрібно враховувати їх розбавлення водою річки, для цього визначають коефіцієнт змішування за методом Фролова-Родзилера [17, 18].

Коефіцієнт змішування стічних вод з річковою водою залежить від витрат води в річці, швидкості течії, глибини води, звивистості русла ріки, витрати стічних вод, конструкції випускного пристрою та ін.

Приклад 3.1.

Визначити коефіцієнт змішування стічних вод з річковою водою біля розрахункового створу. За даними гідрометеорологічної служби середньомісячна витрата води в річці при 95% забезпеченості у розрахунковому створі складає $Q = 15 \text{ м}^3/\text{с}$. На ділянці річки від місця випуску стічних вод до розрахункового створу середня швидкість руху дорівнює $0,75 \text{ м/с}$ при глибині $H_{cp} = 1,9 \text{ м}$. Звивистість на ділянці характеризується коефіцієнтом $\phi = 1,2$. Випуск в річку стічних вод здійснюється з витратою $Q_{сер.с.} = 0,46 \text{ м}^3/\text{с}$. Відстань від місця випуску стічних вод до розрахункового створу по фарватеру складає $1,6 \text{ км}$.

Рішення.

Коефіцієнт турбулентної дифузії, який показує змішування стічної води з водою річки, визначається за формулою:

$$E = \frac{V_{cp} \cdot H_{cp}}{200} = \frac{0,75 \cdot 1,9}{200} = 0,007, \quad (3.1)$$

де V_{cp} - середня швидкість течії води в річці між випуском стічних вод і розрахунковим створом, м/с; H_{cp} - середня глибина річки, м.

Коефіцієнт, що враховує гідравлічні умови змішування стічних вод з водою річки, визначається за формулою:

$$\alpha = \phi \cdot \xi \cdot \sqrt[3]{\frac{E}{Q_{сер.с.}}} = 1,2 \cdot 1,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,007}{0,46}} = 0,45, \quad (3.2)$$

де ϕ - коефіцієнт звивистості річки, рівний відношенню відстані по фарватеру від місця випуску стічних вод до розрахункового створу до відстані між цими пунктами по прямій; ξ - коефіцієнт, що залежить від місця та конструкції випуску стічних вод у водойму (при русловому випуску - 1,5; при береговому - 1,0). Приймається русловий випуск $\xi = 1,5$. $Q_{сер.с.}$ - середньосекундна витрата стічних вод, що скидаються у водойму, $\text{м}^3/\text{с}$.

Коефіцієнт змішування стічних вод з річковою водою визначається за формулою:

$$\gamma = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}}{1 + \left(\frac{Q}{Q_{\text{сер.с.}}} \right) e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}} = \frac{1 - e^{-0,45 \sqrt[3]{1600}}}{1 + \left(\frac{15}{0,46} \right) e^{-0,45 \sqrt[3]{1600}}} = 0,85, \quad (3.3)$$

де L - відстань по фарватеру річки від місця випуску стічних вод до розрахункового створу, м; Q - розрахункова витрата води в річці при 95% забезпеченості, м³/с; $Q_{\text{сер.с.}}$ - середньосекундна витрата стічних вод, що скидаються у водойму, м³/с.

3.3. РОЗРАХУНОК НЕОБХІДНОГО СТУПЕНЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Приклад 3.2.

Визначити гранично-допустиму концентрацію завислих речовин в очищеній стічній воді, яка з витратою $Q_{\text{сер.с.}} = 0,46 \text{ м}^3/\text{с}$ скидається в річку з витратою $Q = 15 \text{ м}^3/\text{с}$. Річка відноситься до водойм господарсько-питного водокористування. Концентрація завислих речовин в річці до випуску стічних вод $C_{\phi} = 15 \text{ мг/дм}^3$. Коефіцієнт змішування $\gamma = 0,85$.

Рішення.

Гранично-допустима концентрація завислих речовин в очищеній стічній воді, що скидаються у водойму, становить

$$C_{\text{зр}}^{\text{дон}} = p \cdot \left(\frac{\gamma \cdot Q}{Q_{\text{сер.с.}}} + 1 \right) + C_{\phi} = 0,25 \cdot \left(\frac{0,85 \cdot 15}{0,46} + 1 \right) + 15 = 22,2 \text{ мг/дм}^3, \quad (3.4)$$

де p - приріст концентрації завислих речовин у водоймі після випуску стічних вод, мг/дм³, $p = 0,25 \text{ мг/дм}^3$; C_{ϕ} - фонові концентрації завислих речовин у воді річки до місця випуску стічних вод, мг/дм³.

Приклад 3.3.

Визначити гранично-допустиму величину $БСК_{повн}$ в очищеній стічній воді, яка з витратою $Q_{сер.с.} = 0,46 \text{ м}^3/\text{с}$ скидається у річку з витратою $Q = 15 \text{ м}^3/\text{с}$. Річка відноситься до водойм господарсько-питного водокористування. Величина $БСК_{повн}$ у воді річки до випуску стічних вод $C_{БСК}^{\phi} = 2,5 \text{ мг} / \text{дм}^3$. Суміш річкової води та стічних вод має температуру 20°C . Відстань по фарватеру річки до розрахункового створу $L = 1,6 \text{ км}$, середня швидкість руху води в річці на цій ділянці $V_{cp} = 0,75 \text{ м/с}$. Коефіцієнт змішування $\gamma = 0,85$.

Рішення.

Гранично-допустиме значення $БСК_{повн}$ (ГДС) стічних вод, що скидаються у водойму, визначається за формулою:

$$C_{БСК}^{доп} = \frac{\gamma \cdot Q}{Q_{сер.с.}} \cdot \left(\frac{C_{БСК}^н}{10^{-k \cdot t}} - C_{БСК}^{\phi} \right) + \frac{C_{БСК}^н}{10^{-k \cdot t}} = \quad (3.5)$$
$$= \frac{0,85 \cdot 15}{0,46} \cdot \left(\frac{3}{10^{-0,1 \cdot 0,025}} - 2,5 \right) + \frac{3}{10^{-0,1 \cdot 0,025}} = 17,7 \text{ мг} / \text{дм}^3,$$

де $C_{БСК}^{доп}$ - гранично-допустиме значення $БСК_{повн}$, яке повинно бути досягнуто в процесі очищення стічних вод, $\text{мг}/\text{дм}^3$; $C_{БСК}^н$ - гранично-допустиме значення $БСК_{повн}$ (ГДК) у розрахунковому створі річки, $\text{мг}/\text{дм}^3$; $C_{БСК}^{\phi}$ - фонове значення $БСК_{повн}$ у воді річки до місця випуску стічних вод, $\text{мг}/\text{дм}^3$; k - константа швидкості споживання кисню у суміші річкової та стічних вод, доба^{-1} (дод. Г, табл. Г.1); t - тривалість переміщення води від місця випуску до розрахункового створу, яка становить

$$t = \frac{L}{V_{cp} \cdot 24 \cdot 3600} = \frac{1600}{0,75 \cdot 24 \cdot 3600} = 0,025 \text{ доб}, \quad (3.6)$$

де L - відстань по фарватеру річки від місця випуску стічних вод до розрахункового створу, м; V_{cp} - середня швидкість течії води в річці між випуском стічних вод і розрахунковим створом, м/с.

Приклад 3.4.

Визначити гранично-допустиму величину $БСК_{повн}$ стічних вод в очищеній стічній воді, яка скидається в річку, за розчиненням киснем. Використати дані з прикладу 3.3. Концентрація розчиненого кисню у воді річки до місця випуску стічних вод $O_{\phi} = 6 \text{ мг/дм}^3$.

Рішення.

Розрахунок допустимого $БСК_{повн}$ стічних вод, що скидаються у водойму, за розчиненням у воді водойми киснем виконуємо без урахування поверхневої реаерації водойми. Потрібна концентрація розчиненого кисню у воді річки для літніх умов буде забезпечена, якщо $БСК_{повн}$ стічних вод не буде перевищувати величину

$$\begin{aligned} C_{БСК}^{O_2} &= \frac{\gamma \cdot Q}{0,4 \cdot Q_{сер.с.}} \cdot (O_{\phi} - 0,4 \cdot C_{БСК}^{\phi} - O_{\min}) - \frac{O_{\min}}{0,4} = \\ &= \frac{0,85 \cdot 15}{0,4 \cdot 0,46} \cdot (6 - 0,4 \cdot 2,5 - 4) - \frac{4}{0,4} = 59,3 \text{ мг / дм}^3, \end{aligned} \quad (3.7)$$

де $C_{БСК}^{O_2}$ - $БСК_{повн}$ стічних вод, яке потрібно досягнути в процесі очищення, мг/дм^3 ; O_{ϕ} - фонові концентрація розчиненого кисню у воді річки до місця випуску стічних вод, мг/дм^3 ; $O_{\min}$ - найменша концентрація розчиненого кисню, яка повинна бути забезпечена у водоймі, мг/дм^3 ; $C_{БСК}^{\phi}$ - фонові значення $БСК_{повн}$ у воді річки до місця випуску стічних вод, мг/дм^3 ; 0,4 - коефіцієнт для перерахунку $БСК_{повн}$ у $БСК_2$.

За розрахункові значення гранично-допустимого $БСК_{повн}$ приймається менше з двох, отриманих в прикладах 3.3 і 3.4. Розрахункові гранично-допустимі значення концентрації завислих речовин $22,2 \text{ мг/дм}^3$ (приклад 3.2) та $БСК_{повн} = 17,7 \text{ мг/дм}^3$ (приклад 3.3) свідчать про достатність повного біологічного очищення, яке дозволяє досягти значень $БСК_{повн} = 15 \text{ мг/дм}^3$, $C_{зр} = 15 \text{ мг/дм}^3$. У випадку, коли ГДС за завислими речовинами і $БСК_{повн}$ менші значень, які дозволяє отримати повне біологічне очищення стічних вод, то необхідно передбачати їх доочищення.

4. ТЕХНОЛОГІЇ І СПОРУДИ ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Технологія очищення стічних вод – послідовність процесів обробки стічних вод з метою видалення з них забруднюючих речовин та отримання очищеної води, яка задовольняє нормативним вимогам (ГДС) до вмісту забруднень при її відведенні у природну водойму.

Для очищення стічних вод промислового чи іншого підприємства (сільськогосподарського, теплоенергетичного та ін.) перед скидом стічних вод в міську систему водовідведення може використовуватись технологія попереднього (локального) очищення виробничих стічних вод.

Якщо за вибраною технологією якість очищеної води недостатня для її скиду у природну водойму, то використовують додатково технологію доочищення стічних вод [5, 21, 23].

Технологія очищення стічних вод вибирається в залежності від таких факторів:

- складу та властивостей забруднюючих речовин, які містяться в стічних водах;
- необхідного ступеня очищення стічних вод;
- продуктивності очисної станції (витрати стічних вод);
- потужності, гідродинамічних характеристик, вмісту забруднень у природній водоймі, в яку скидаються очищені стічні води;
- методу утилізації утворених осадів;
- місцевих умов (геології, рівня ґрунтових вод, рельєфу місцевості, розмірів майданчика очисних споруд, розмірів санітарно-захисної зони та ін.) [2, 4-6, 11, 12, 16, 18-20, 22, 24-27].

Вибір здійснюють відповідно до норм проєктування і на підставі техніко-економічних розрахунків.

Блок-схема технології очищення стічних вод наведена на рис. 4.1.

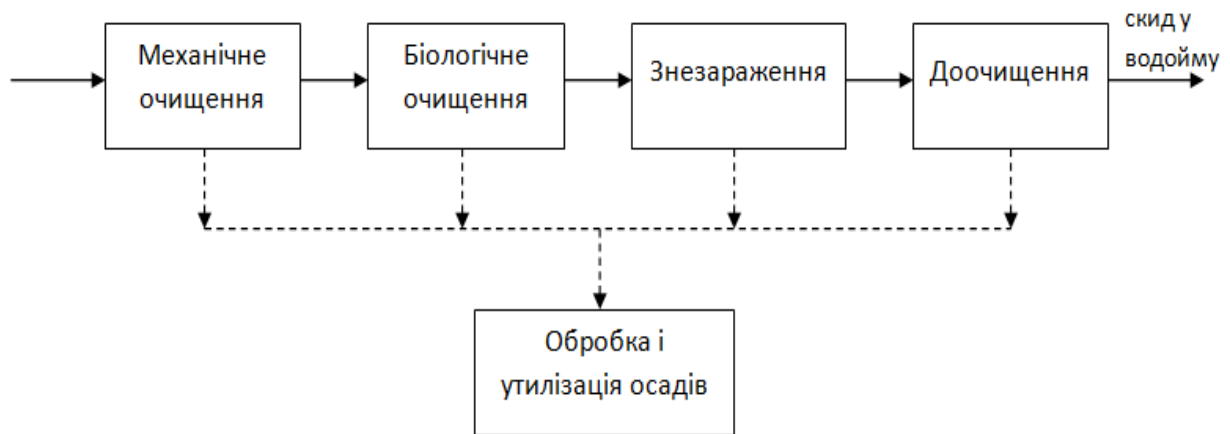


Рис. 4.1. Блок схема технології очищення стічних вод
(суцільною лінією позначено рух стічних вод, пунктиром – осадів)

Очищення стічних вод здійснюють такими методами: механічними; фізико-хімічними та біологічними. В процесі очищення стічних вод утворюються осади, які потрібно стабілізувати, знезаражувати, зневоднювати і, врешті-решт, утилізувати. Якщо за умовами скиду у природну водойму потрібен більш високий ступінь очищення, то після споруд повного біологічного очищення застосовують споруди глибокого очищення (доочищення). Стічні води після очищення належить знезаражувати з метою знищення патогенних мікроорганізмів.

4.1. ТЕХНОЛОГІЇ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Біологічні методи очищення стічних вод застосовують для видалення з води органічних забруднюючих речовин у нерозчиненій, колоїдній і розчиненій формах. Методи ґрунтуються на використанні в очисній споруді мікроорганізмів, які мінералізують органічні сполуки, що являються джерелом живлення для мікроорганізмів. Очищення міських стічних вод здійснюють аеробними біологічними методами, тоді як для виробничих стічних вод можуть використовуватись як аеробні, так і анаеробні методи в залежності від концентрацій органічних речовин за показниками БСК і ХСК [4, 5, 16, 23]. Споруди біологічного очищення можна розділити на два типи.

До першого відносять споруди, в яких процес біологічного очищення відбувається в природних умовах: поля фільтрації, поля зрошення, біологічні ставки та ін. В спорудах другого типу біологічне очищення здійснюють в штучно створених умовах – аеротенки, біофільтри, комбіновані споруди: аеротенки-відстійники, аероокиснювачі, аеротенки-освітлювачі, циркуляційно-окиснювальні канали (ЦОК) та ін.

Найпростіша технологія для очищення міських стічних вод – з біологічним очищенням стічних вод у природних умовах (рис. 4.2). Використовується при витратах стічних вод до 10000 куб. м на добу.

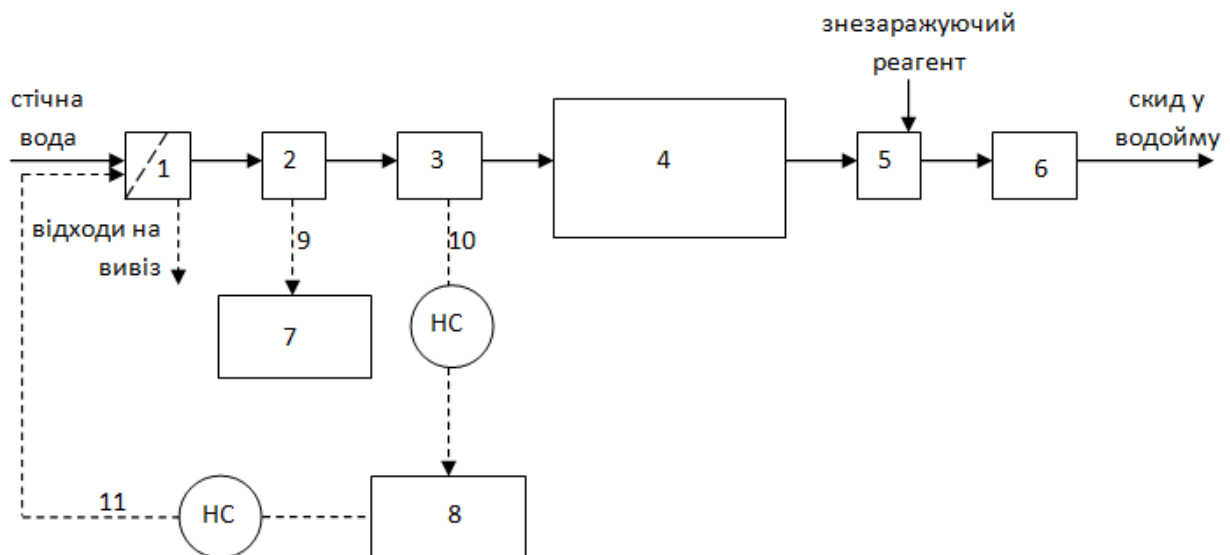


Рис. 4.2. Схема технології біологічного очищення стічних вод у природних умовах за продуктивності $Q \leq 10000$ куб. м за добу:

- 1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник (двох'ярусний відстійник або освітлювач-перегнивач); 4 – поля фільтрації, поля зрошення або біологічні ставки;
 5 – змішувач води із знезаражуючим реагентом; 6 – контактний резервуар; 7 – піскові майданчики; 8 – мулові майданчики; 9 – піщана пульпа; 10 – осад з відстійників;
 11 – дренажна вода з мулових майданчиків; НС – насосна станція

Механічне очищення стічних вод здійснюється на решітках, у пісковловлювачах і двох'ярусних відстійниках або освітлювачах-перегнивачах. В цих спорудах одночасно з освітленням стічних вод відбувається анаеробне зброджування осаду. Стібілізований осад

підсушується на мулових майданчиках.

Для природного біологічного очищення застосовують поля фільтрації, поля зрошування, біологічні ставки, для влаштування яких потрібні великі площі землі.

Поля фільтрації – це сплановані горизонтально або з незначним нахилом ділянки землі, поділені на карти земляними огорожувальними валиками. Очищення стічних вод відбувається за рахунок фільтрування через шар ґрунту, в якому знаходяться численні мікроорганізми, що окиснюють органічні речовини стічних вод. Особливо інтенсивно процес відбувається у верхньому шарі ґрунту товщиною до 0,5 м, куди проникає атмосферний кисень. Очищені стічні води відводяться дренажною системою.

Господарсько-побутові стічні води, очищені на полях фільтрації, мають БСК_{повн} - 10–15 мг/дм³, стабільність 99% (тобто практично не загнивають), містять до 25 мг/дм³ нітратів. Кількість бактерій в процесі очистки в ґрунті зменшується на 99–99,9% у порівнянні з їх вмістом в неочищеній воді [4].

У випадку використання полів для вирощування сільськогосподарських культур їх називають полями зрошення.

Біологічні ставки являють собою каскад ставків, що складається з 3 – 5 ступенів, через які повільно протікає освітлена або біологічно очищена стічна вода. В процесах очищення беруть участь бактерії, найпростіші, водорості, вищі рослини та ін. При використанні біоствків БСК_{повн} неочищеної стічної води на вході в біоствки з природною аерацією приймається не більше 200 мг/дм³, з штучною аерацією – до 500, БСК_{повн} очищеної стічної води після біоствків досягається 2-3 мг/дм³ для літніх умов і 1-2 мг/дм³ для зимових [4, 6].

Для біологічного очищення міських стічних вод малих об'ємів продуктивністю $Q < 10000 \text{ м}^3/\text{доб}$ використовують технологію з аеротенками, наведену на рис. 4.3.

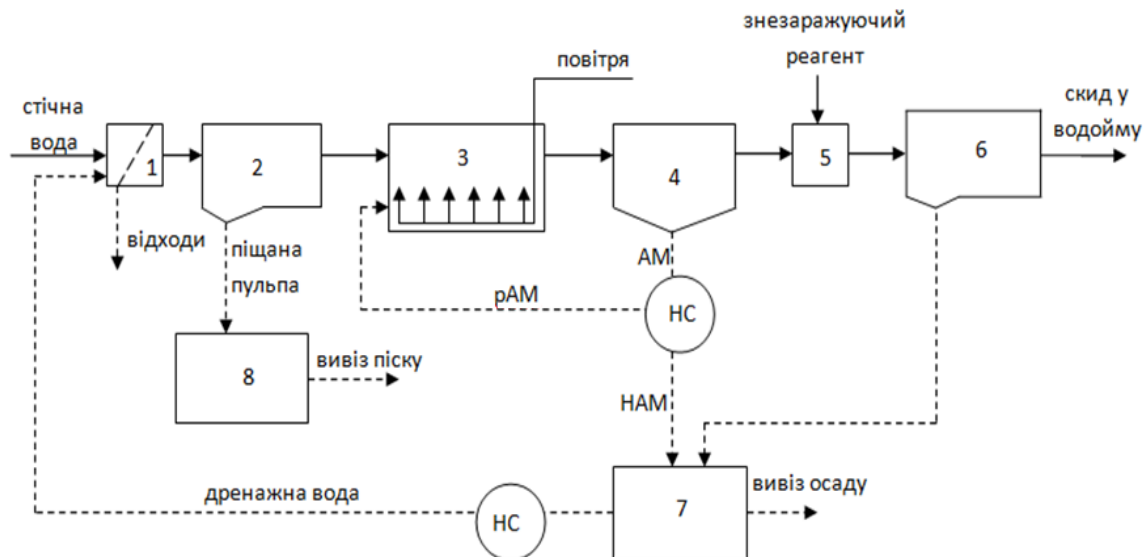


Рис. 4.3. Схема технології очищення малих об'ємів стічних вод в аеротенках за продуктивності $Q < 10000\text{м}^3/\text{доб}$:

1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – аеротенк продовженої аерації (ЦОК); 4 – вторинний відстійник; 5 – змішувач води із знезаражуючим реагентом; 6 – контактний резервуар; 7 – мулові майданчики; 8 – піскові майданчики; АМ – активний мул; НАМ – надлишковий активний мул; РАМ – рециркуляційний активний мул; НС – насосна станція

В такій технології повне біологічне очищення здійснюють для попередньо неосвітлених стічних вод. Біологічне очищення здійснюють в аеротенках продовженої аерації. Часто використовують споруди – циркуляційні окиснювальні канали (ЦОК).

ЦОКи являють собою проточні басейни трапецієвидного перетину. Мають замкнуту форму в плані та обладнані механічними аераторами, що забезпечують циркуляційне переміщення, перемішування і насичення киснем суміші оброблюваної стічної води й активного мулу. Швидкість циркуляції активного мулу складає $0,25 - 0,3 \text{ м/с}$. Середній вік активного мулу в споруді – 20 діб. Відбувається не тільки розпад і мінералізація органічних речовин, а й збільшення ступеня мінералізації активного мулу. Активний мул стає стабільним і не потребує використання додаткового методу [4].

В технології відсутнє первинне відстоювання, стабілізація активного мулу, мулоущільнення. Активний мул подають на мулові майданчики для зневоднення.

Використовують для невеликих населених пунктів з витратами стічних вод – 700-1400 м³/добу, і промислових підприємств – молокозаводів, цукрових заводів та ін.

Для очищення малих об'ємів міських стічних вод за продуктивності $Q < 10000$ м³/доб використовують технологію очищення в біофільтрах, наведену на рис. 4.4.

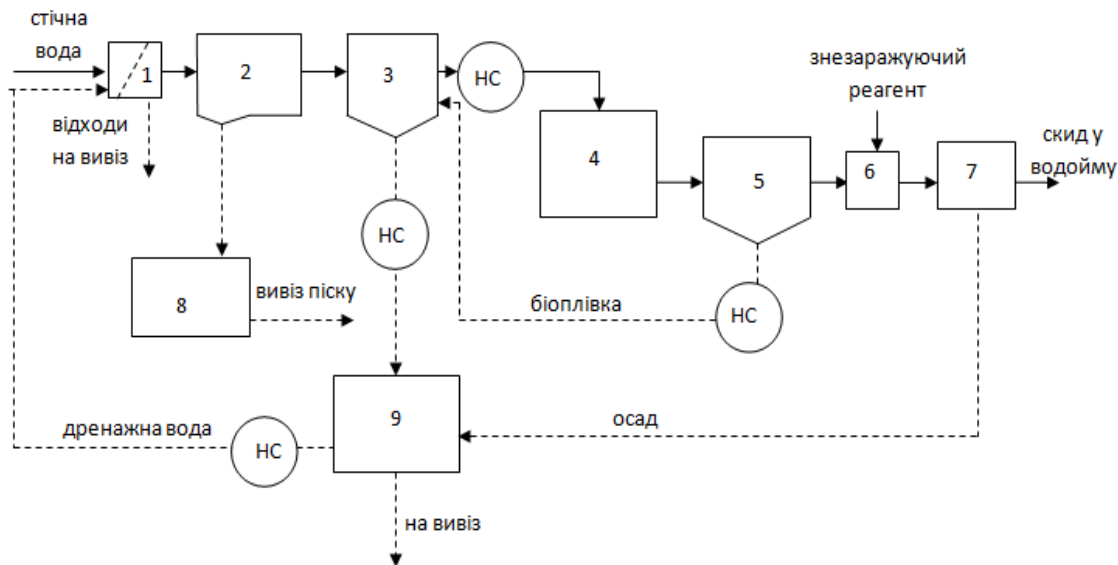


Рис. 4.4. Схема технології очищення малих об'ємів стічних вод у біофільтрах за продуктивності $Q < 10000$ м³/доб:

- 1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник (двох'ярусний відстійник, освітлювач-перегнівач); 4 – краплинний біофільтр; 5 – вторинний відстійник; 6 – змішувач води із знезаражуючим реагентом; 7 – контактний резервуар; 8 – піскові майданчики; 9 – мулові майданчики; НС – насосна станція

Технологія очищення стічних вод на біофільтрах використовується для повного біологічного очищення.

Біофільтр містить шар завантаження (гравій, щебінь, листи пластмаси), у пори якого надходить повітря. Стічні води подають на поверхню завантаження у верхній частині біофільтра, розбризкуючи по площі поверхні. При їх руху через завантаження зверху-вниз у вигляді тонких плівок, крапель, струменів вони омивають біологічну плівку на завантаженні та

постачають мікроорганізмам речовини, які містяться у стічних водах. При перевищенні БСК на вході в біофільтр використовують рециркуляцію стічної води для розбавлення вхідної. Відторгнута з поверхні завантаження біоплівка виноситься з біофільтра з очищеною водою та затримується у вторинних відстійниках і направляється в септичну камеру двох'ярусного відстійника для зброджування.

Технологія біологічного очищення стічних вод великих міст з використанням аеротенків за продуктивності $Q > 50000 \text{ м}^3/\text{добу}$ наведена на рис. 4.5.

Для повного біологічного очищення стічних вод в технології використовуються аеротенки. Якщо ступеня очищення стічних вод за технологією не достатньо для скиду очищеної води в річку, то використовують доочищення, наприклад, в біоставках або на зернистих фільтрах. Часто використовують каркасно-засипні фільтри. В таких фільтрах на шар гравію 1,8 м крупністю 40-60 мм – «каркас», на висоту 0,9 м засипають пісок з крупністю гранул 0,8-1,0 мм. Швидкість фільтрування стічних вод приймають 10 м/с. За початкових концентрацій в доочищуваних стічних водах: $ЗР - 20 \text{ мг/дм}^3$, ефект очищення $E_{ЗР}$ становить 70-80%; $БСК_{\text{повн}} - \text{до } 15-20 \text{ мг/дм}^3$, $E_{БСК} = 70\%$; $ПАР - \text{до } 2,5 \text{ мг/дм}^3$, $E_{ПАР} = 80\%$ [11].

За технологією, сирий осад з первинних відстійників перекачується в метантенк, де піддається анаеробному зброджуванню разом з ущільненим надлишковим активним мулом.

Біогаз, утворений в процесі зброджування осадів, збирається в газгольдерах, звідки надходить на очищення. Очищений біогаз подається в котельню, де спалюється. Використання біогазу покриває частину потреб тепла на підігрів метантенків і опалення будинків очисної станції.

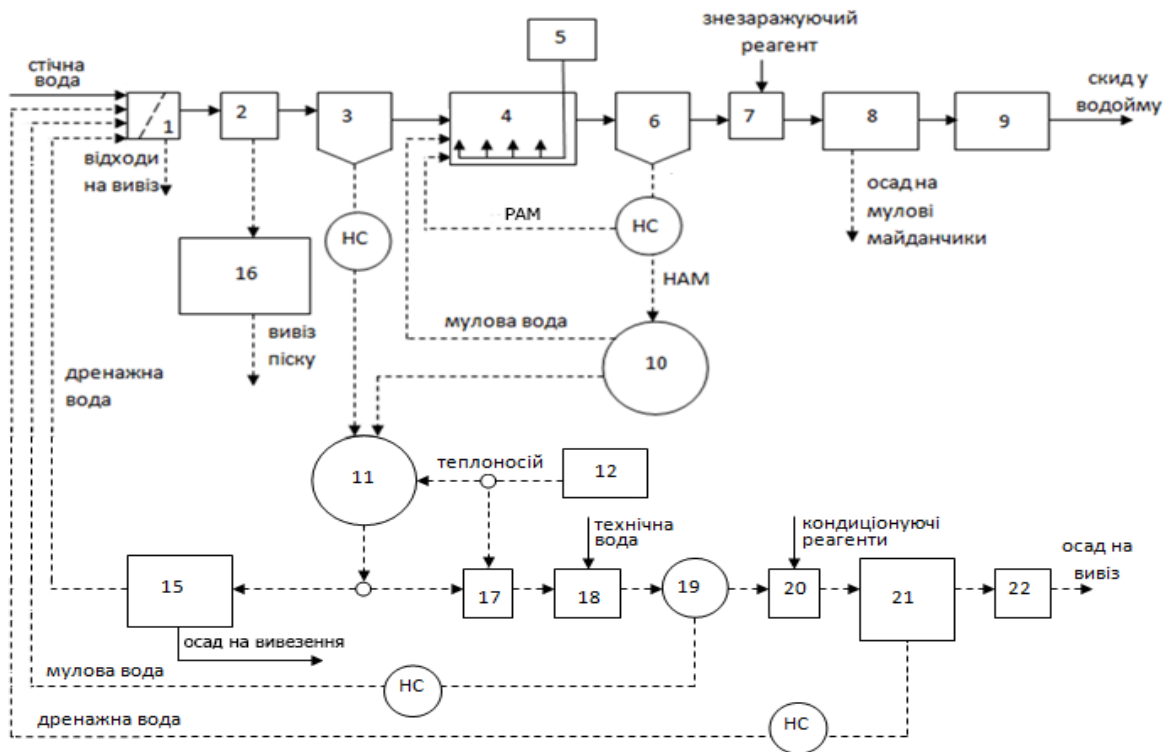


Рис. 4.5. Схема технології очищення великих об'ємів стічних вод в аеротенках за продуктивності $Q > 50000 \text{ м}^3/\text{добу}$:

- 1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник; 4 – аеротенк; 5 – повітродувна станція; 6 – вторинний відстійник; 7 – змішувач води із знезаражуючим реагентом; 8 – контактний резервуар; 9 – споруда для доочищення стічних вод; 10 – мулоуцільнювач; 11 – метантенк; 12 – котельня; 15 – аварійні мулові майданчики; 16 – піскові майданчики; 17 – камера дегельмінтизації; 18 – камера промивки осаду; 19 – згущувач осаду; 20 – камера реакції; 21 – цех механічного зневоднення; 22 – майданчик для складування висушеного осаду; АМ – активний мул; НАМ – надлишковий активний мул; РАМ – рециркуляційний активний мул; НС – насосна станція

Для знезараження зброджених осадів при мезофільному режимі (знищення яєць гельмінтів) часто використовують термічний метод – нагрівання осадів в камері дегельмінтизації парою протягом 15-20 хв. за температури 60°C . Ступінь видалення яєць гельмінтів становить 100%. При використанні термофільного режиму цей метод не застосовують, оскільки в метантенку відбувається повне знищення цих забрудників [4].

Для зневоднення осадів замість мулових майданчиків, що потребують значних земельних площ, використовують механічні методи: вакуум-фільтрування, фільтр-пресування або центрифугування.

Перед механічними методами потрібне кондиціонування осадів – промивка, ущільнення, обробка коагулянтами, флокулянтами, для поліпшення вологовіддаючих властивостей осадів.

Для обробки осадів можуть використовуватись аеробні стабілізатори (рис. 4.6).

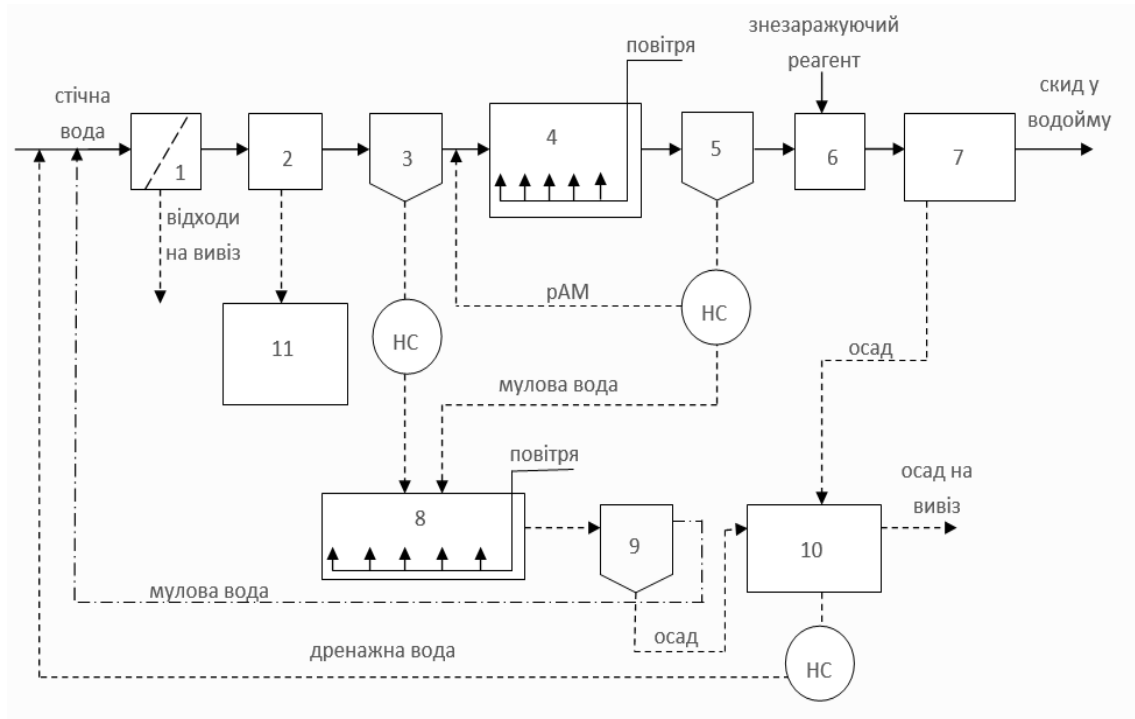


Рис. 4.6. Схема технології очищення стічних вод з використанням аеробної стабілізації осадів:

- 1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник; 4 – аеротенк; 5 – вторинний відстійник; 6 – змішувач води із знезаражуючим реагентом; 7 – контактний резервуар;
8 – аеробний стабілізатор; 9 – мулоущільнювач; 10 – мулові майданчики;
11 – піскові майданчики

Замість метантенків можна використовувати аеробні стабілізатори, в яких стабілізації піддається суміш надлишкового активного мулу та сирого осаду первинних відстійників. У такому випадку біогаз не утворюється, відсутнє газове господарство, газгольдини тощо.

На очисних спорудах середньої продуктивності від 10000 до 50000 м³/добу використовується технологія очищення міських стічних вод в біофільтрах, схему якої наведено на рис. 4.7.

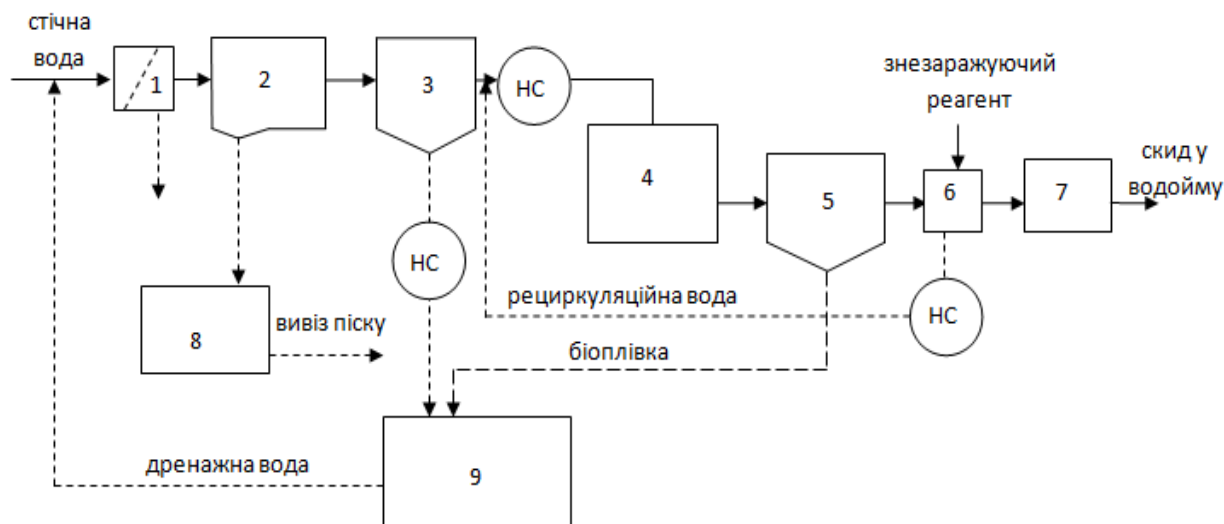


Рис. 4.7. Схема технології очищення стічних вод в біофільтрах

за продуктивності $Q > 10000 \text{ м}^3/\text{добу}$, але менше $50000 \text{ м}^3/\text{добу}$:

- 1 – решітки; 2 – пісковловлювач; 3 – первинний відстійник; 4 – висконавантажений біофільтр; 5 – вторинний відстійник; 6 – змішувач води із знезаражуючим реагентом; 7 – контактний резервуар; 8 – піскові майданчики; 9 – споруди для обробки осадів; НС – насосна станція

Повне біологічне очищення відбувається в біофільтрах. Часто використовують висконавантажені біофільтри – аерофільтри.

В схемі не потрібні мулоушільнювачі, оскільки вологість осаду біологічної плівки становить 96%. Біоплівка разом із сирым осадом може подаватись на стабілізацію як в метантенк, так і в аеробний стабілізатор. Подальше зневоднення може влаштовуватись як в попередніх схемах - на мулових майданчиках або з використанням механічних пристроїв.

При використанні висконавантажених біофільтрів подачу стічної води на біофільтри потрібно здійснювати за допомогою насосів, що збільшує будівельні й експлуатаційні витрати. По можливості використовують рельєф місцевості для створення необхідного напору для роботи біофільтрів. Подачу повітря в біофільтри здійснюють за допомогою вентиляторів.

4.2. ОЧИСНІ СПОРУДИ

4.2.1. Первинні відстійники

Відстійники широко використовують для очищення стічних вод завдяки простоті конструкції й обслуговування. Під дією сили тяжіння частинки завислих речовин осідають на дно споруди або спливають на поверхню рідини.

В залежності від призначення відстійники поділяють на такі: первинні; вторинні; третинні (контактні резервуари); мулоущільнювачі; осадоущільнювачі.

В залежності від напрямку руху води відстійники бувають горизонтальні, вертикальні, радіальні.

Первинні відстійники розташовують в технологічній схемі очищення стічних вод безпосередньо за пісковловлювачами; вони здійснюють видалення завислих речовин із стічної води на 40–60% в залежності від типу, а також зниження величини показника БСК - на 10-15%. Щоб запобігти підвищеному приросту надлишкового активного мулу в аеротенках і біоплівки в біофільтрах, залишкова концентрація завислих речовин у проясненій стічній воді після первинних відстійників не повинна перевищувати 150 мг/дм³, що в залежності від початкової концентрації завислих речовин у міських стічних водах 200–500 мг/дм³ обумовлює вибір споруди для первинного прояснення та потрібної тривалості відстоювання [4].

Тип відстійника – горизонтальний, вертикальний, радіальний, визначається в залежності від пропускної здатності очисних споруд.

Вертикальні відстійники доцільно приймати за продуктивності очисної станції до 20000 м³/добу; горизонтальні – понад 15000 м³/добу, радіальні – понад 20000 м³/добу.

Для інтенсифікації процесу відстоювання використовують тонкошарові відстійники. Особливість їх у тому, що відстійна зона розділяється

поличними секціями або трубчатими елементами на неглибокі шари висотою 0,025-0,2 м, де забезпечується ламінарний рух води, відбувається швидкий процес відстоювання, оскільки шлях руху осаджуваних частинок в десятки разів менший, ніж у звичайних відстійниках. Ефект освітлення стічних вод в таких відстійниках досягає 70-80%.

Схему до розрахунку горизонтального відстійника наведено на рис. 4.8.

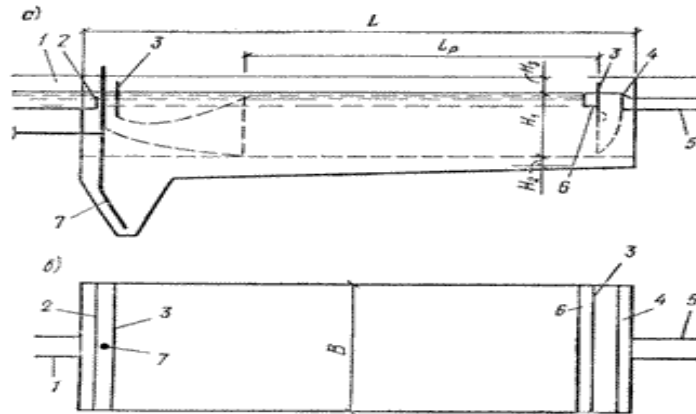


Рис. 4.8. Схема первинного горизонтального відстійника:

а – розріз; б – план; 1 – підвідний лоток; 2 – розподільний лоток; 3 – напівзанурені перегородки; 4 – збірний лоток; 5 – відвідний лоток; 6 – лоток для збору та видалення речовин, що плавають; 7 – трубопровід для видалення осаду

Продуктивність одного горизонтального відстійника визначають за формулою:

$$q_{set} = 3,6 \cdot K_{set} \cdot L \cdot B \cdot (U_0 - v), \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (4.1)$$

де K_{set} - коефіцієнт використання зони об'єму, залежить від типу відстійника, для горизонтальних – 0,5; L , B – довжина та ширина одного відділення горизонтального відстійника, м, (дод. Д, табл. Д.7); U_0 - гідравлічна крупність частинок, які будуть затримуватись у первинних відстійниках, мм/с. U_0 відповідає заданому ефекту освітлення води для реальних розмірів споруди і умов проектування [1]; v - турбулентна складова швидкості води у відстійнику, мм/с, [1].

Гідравлічну крупність U_0 визначають шляхом проведення лабораторних

досліджень в циліндрах 500 мл з висотою стовпа води $h = 500$ мм при статичному відстоюванні проб стічної води. За отриманими результатами будують криві кінетики освітлення води $E_{set} = f(t_{set})$. Результати експериментальних даних для господарсько-побутових стічних вод наведено в нормативній літературі. За цими даними можна визначити гідравлічну крупність частинок зависі.

Продуктивність одного радіального або вертикального відстійника визначають за формулою:

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D^2 - d^2) \cdot (U_0 - v), \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.2)$$

де D – діаметр відстійника, м; d – діаметр розподільного пристрою радіального відстійника (дод. Д, табл. Д.6) чи центральної труби вертикального відстійника, м; v – турбулентна складова, яка приймається в залежності від швидкості руху стічних вод у споруді 5-10 мм/с (дод. Д, табл. Д.5).

Діаметр центральної труби вертикального відстійника визначається за формулою:

$$d_{ц.м.} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\text{макс.сек.}}^{\text{сум.}}}{N \cdot \pi \cdot v_{ц.м.}}}, \text{ м}, \quad (4.3)$$

де $Q_{\text{макс.сек.}}^{\text{сум.}}$ – максимальна секундна витрата суміші побутових і виробничих стічних вод, м³/с; $v_{ц.м.}$ – розрахункова швидкість руху води у центральній трубі – 0,03 м/с; N – кількість відстійників, шт.

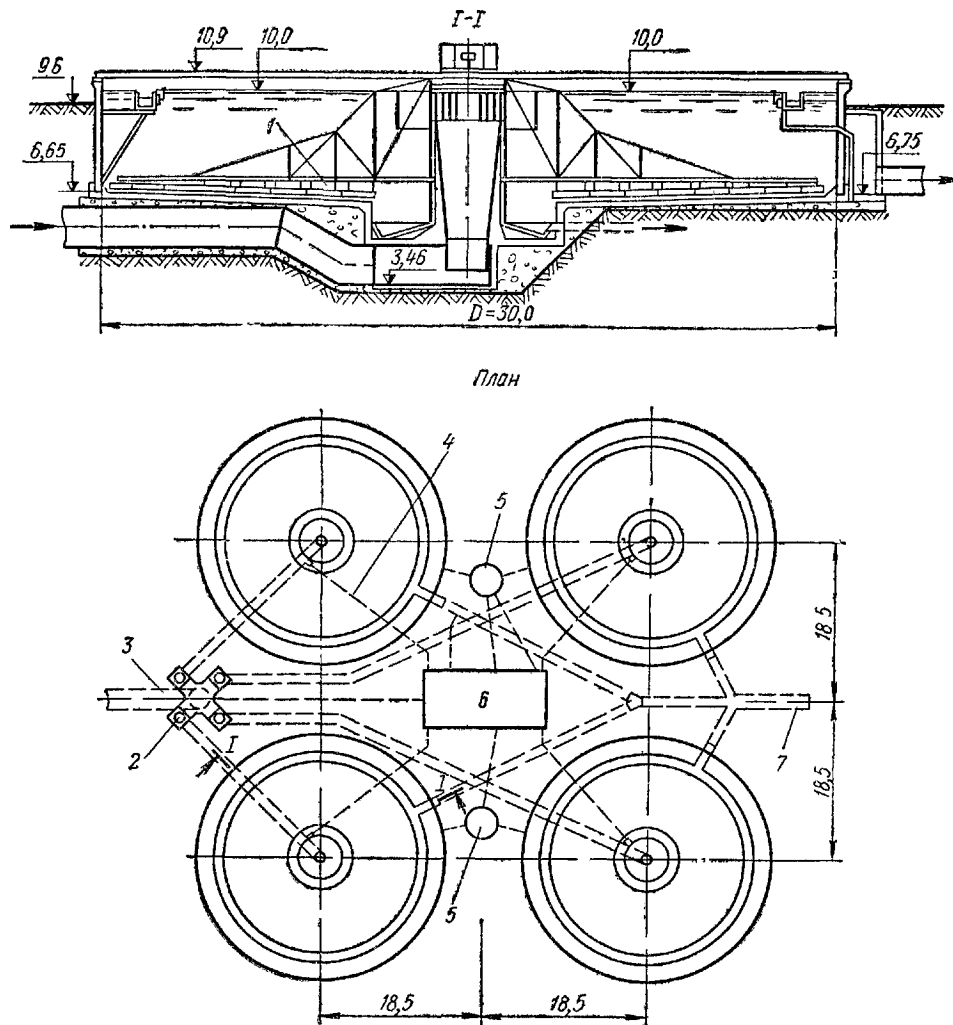


Рис. 4.10. Первинний радіальний відстійник:

1 – мулоскреб; 2 – розподільна чаша; 3 – підвідний трубопровід; 4 – трубопровід сирого осаду; 5 – жирозбірник; 6 – насосна станція; 7 – відвідний трубопровід

Ефективність E_{set} відстоювання обумовлюється тим, що на біологічне очищення рекомендується подавати стічну воду з вмістом завислих речовин, який не перевищує 150 мг/дм^3 [1, п. 10.2.4.6]. Ефективність видалення завислих речовин у первинних відстійниках обчислюється за формулою:

$$E_{set} = \frac{C_{zp}^n - C_{zp}^k}{C_{zp}^n} \cdot 100\% = \frac{291 - 150}{291} \cdot 100 = 48,5\%, \quad (4.4)$$

де C_{zp}^n - початкова концентрація завислих речовин у стічній воді на вході в первинні відстійники, мг/дм^3 ; C_{zp}^k - концентрація завислих речовин на виході з споруд, мг/дм^3 [1].

Тривалість відстоювання стічних вод, при якій забезпечується необхідний ефект прояснення стічних вод, визначається за дод. Д, табл. Д.1 в залежності від C_{3p}^n , E_{set} і становить $t_{set} = 634$ с.

Гідравлічна крупність частинок, які будуть затримуватись у первинних відстійниках, становить

$$U_o = \frac{1000 \cdot K_{set} \cdot H_{set}}{\alpha \cdot t_{set} \cdot \left(\frac{K_{set} \cdot H_{set}}{h} \right)^{n_2}} = \frac{1000 \cdot 0,45 \cdot 3,1}{1,0 \cdot 634 \left(\frac{0,45 \cdot 3,1}{0,5} \right)^{0,21}} = 1,77 \text{ мм/с}, \quad (4.5)$$

де K_{set} - коефіцієнт використання об'єму, залежить від типу відстійника (дод. Д, табл. Д.4); H_{set} - робоча глибина відстійника, залежить від типу відстійника (дод. Д, табл. Д.6); α - коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод (дод. Д, табл. Д.2); t_{set} - тривалість освітлення стічних вод в циліндрі $h = 0,5$ м в лабораторних умовах, с; n_2 - показник степеню, який залежить від агломерації частинок, приймається за дод. Д, табл. Д.3 в залежності від C_{3p}^n і E_{set} .

Визначається потрібна продуктивність первинного радіального відстійника за формулою (4.2):

$$q_{set} = 2,8 \cdot K_{set} \cdot (D^2 - d^2) (U_o - v) = 2,8 \cdot 0,45 (18^2 - 1,4^2) (1,77 - 0) = 718 \text{ м}^3 / \text{год},$$

де D - діаметр відстійника, м; d - діаметр розподільного пристрою радіального відстійника (дод. Д, табл. Д.6), м; v - турбулентна складова, мм/с. Приймається в залежності від швидкості руху стічних вод у споруді 5-10 мм/с (дод. Д, табл. Д.5).

При визначенні розмірів радіальних відстійників доцільно орієнтуватися на розміри типових споруд (дод. Д, табл. Д.6).

Кількість первинних відстійників визначається за формулою:

$$N = \frac{Q_{max}}{q_{set}} = \frac{2502}{718} = 3,48 \text{ шт}, \quad (4.6)$$

де Q_{max} - максимальна витрата суміші стічних вод, м³/год.

Приймається 4 первинних радіальних відстійники діаметром 18 м.

Розраховуємо фактичну продуктивність одного відстійника діаметром 18 м за формулою (4.6):

$$q_{\phi} = \frac{Q_{\text{max}}}{N_{\phi}} = \frac{2502}{4} = 626 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Фактична гідравлічна крупність затриманих частинок становить

$$U_o^{\phi} = \frac{q_{\phi}}{2,8 \cdot K_{\text{set}} \cdot (D^2 - d^2)} = \frac{626}{2,8 \cdot 0,45 \cdot (18^2 - 1,4^2)} = 1,54 \text{ мм/с}. \quad (4.7)$$

Фактична тривалість перебування стічних вод у первинному відстійнику становить

$$t_{\text{set}}^{\phi} = \frac{1000 \cdot K_{\text{set}} \cdot H_{\text{set}}}{U_o^{\phi} \cdot \alpha \cdot \left(\frac{K_{\text{set}} \cdot H_{\text{set}}}{h} \right)^{n_2}} = \frac{1000 \cdot 0,45 \cdot 3,1}{1,54 \cdot 1,0 \cdot \left(\frac{0,45 \cdot 3,1}{0,5} \right)^{0,21}} = 730 \text{ с}. \quad (4.8)$$

Фактична ефективність прояснення стічних вод при $C_{\text{поч}}$ і t_{set}^{ϕ} становить (дод. Д, табл. Д.1) $E^{\phi} = 52,8 \%$.

При отриманому E^{ϕ} концентрація завислих речовин

$$C_{\text{зр}}^{\kappa, \phi} = C_{\text{зр}}^n - \frac{E^{\phi} \cdot C_{\text{зр}}^n}{100} = 291 - \frac{52,8 \cdot 291}{100} = 137,4 \text{ мг} / \text{дм}^3. \quad (4.9)$$

Маса сухої речовини осаду, що затримується у первинних відстійниках, становить

$$M_{\text{ос}} = \frac{(C_{\text{зр}}^n - C_{\text{зр}}^{\kappa, \phi}) \cdot Q_{\text{сер.доб}} \cdot K}{10^6} = \frac{(291 - 137,4) \cdot 40000 \cdot 1,2}{10^6} = 7,37 \text{ т} / \text{добу}, \quad (4.10)$$

де $Q_{\text{сер.доб}}$ - витрата стічних вод, м³/добу; $K = 1,1-1,2$ коефіцієнт, що враховує збільшення об'єму осаду за рахунок крупних часток зависі, які не виявляються при відборі проб для аналізу.

Добовий об'єм осаду

$$V = \frac{100 \cdot M_{\text{ос}}}{(100 - W_{\text{ос}}) \cdot \gamma} = \frac{100 \cdot 7,37}{(100 - 95) \cdot 1} = 147,4 \text{ м}^3, \quad (4.11)$$

де $W_{\text{ос}}$ – вологість осаду, %; γ - густина осаду, т/м³.

4.2.2. Аеротенки

Аеротенк – очисна споруда для аеробного біологічного очищення стічних вод з використанням мікроорганізмів активного мулу. Аеротенк представляє собою резервуар, в якому стічна вода та активний мул насичуються повітрям і перемішуються, внаслідок чого відбувається очищення стічної води.

Для нормальної життєдіяльності мікроорганізмів в аеротенк потрібно безперервно подавати кисень повітря. Активний мул являє собою біоценоз мікроорганізмів-деструкторів і найпростіших, має вигляд компактних пластівців, утворених зооглейними скупченнями бактерій, найпростіших, водних грибів, дріжджів і більш високоорганізованих представників фауни: коловерток, черв'яків, личинок комах, які розвиваються в аеробних умовах на частинках органічних забруднень. Розміри пластівців складають 2-3 мм, іноді більші, пластівці здатні сорбувати на своїй поверхні й окиснювати в присутності кисню органічні речовини, які містяться в стічній воді. Для активного мулу характерна висока активна поверхня, що досягає 100 м² на 1 г сухої речовини мулу.

Домінуюча роль у активному мулі належить різноманітним групам бактерій, здатних не тільки вилучати з води розчинені та завислі частинки, а й самоорганізовуватись у колонії – пластівці, що можна відокремити від води відстоюванням. Кількість бактерій складає від $1 \cdot 10^9$ до $4 \cdot 10^{10}$ на 1 г сухої речовини мулу. Бактерії в умовах аеротенків у результаті метаболізму органічних речовин утворюють зооглейні скупчення різноманітної форми й консистенції, зазвичай це компактна або рихла маса. У спорудах аеробного очищення господарсько-побутових стічних вод найчастіше зустрічаються представники таких родів: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Bacterium*, *Flavobacterium* та ін. Часто в мулах спостерігають зооглейні скупчення бактерій *Zoogloea ramigera* [7].

Якість мулу визначається багатьма чинниками. Вона залежить від співвідношення між масою органічних забруднюючих речовин (за показником ХСК чи БСК), які містяться в стічній воді, і масою активного мулу (за сухою або беззольною речовиною) в одиницю часу. Цей показник одержав назву навантаження за органічною речовиною на мул і може бути представлено як

$$q_i = L_{en} / [a_i (1 - s) t_{at}], \quad (4.12)$$

де q_i – навантаження на активний мул, мг БСК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу за 1 год.; L_{en} – БСК_{повн} стічної води на вході в аеротенк, мг/дм³; a_i – доза активного мулу, г/дм³; s – зольність мулу, частки одиниці; t_{at} – тривалість перебування стічної води в аеротенку, год.

Як правило, 1 г мулу (за беззольною речовиною) зберігає свою нормальну активність за добового навантаження на нього 150–500 мг БСК_{повн}. При більших навантаженнях – понад 500 мг/(г·добу), аеротенк є високонавантаженим і працює на неповне очищення, а активний мул варто регенерувати. За менших навантажень – 65–150 мг БСК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу за добу, має місце так звана «продовжена аерація», за якої відбувається самоокиснення клітинної речовини активного мулу.

Масу мулу в аеротенку виражають через його концентрацію в муловій суміші в г сухої речовини мулу в 1 дм³ рідини. Концентрацію активного мулу, яку підтримують в аеротенку, називають «дозою активного мулу».

Різниця між БСК_{повн} стічної води на вході в аеротенк і на виході з нього називається знятим БСК_{повн}. Відношення знятого БСК_{повн} до маси мулу й тривалості аерації – питомою швидкістю вилучення забруднень зі стічної води, що очищається, тобто

$$\rho = (L_{en} - L_{ex}) / [a_i (1 - s) t_{at}], \quad (4.13)$$

де ρ – питома швидкість, мг БСК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу за 1 год.; L_{en} , L_{ex} – БСК_{повн} стічної води на вході в аеротенк і на виході, мг/дм³; a_i – доза активного мулу, г/дм³; s – зольність мулу, частки одиниці; t_{at} – тривалість перебування рідини в аеротенку, год.

Важливим показником якості активного мулу є його здатність до осідання. Оцінюється ця властивість величиною мулового індексу, який являє собою об'єм активного мулу в дм^3 після 30-хвилинного відстоювання 100 дм^3 мулової суміші, віднесений до 1 г сухої речовини мулу. Чим краще мул відстоюється, тим менше його муловий індекс. Нормальний муловий індекс становить 70–100 $\text{дм}^3/\text{г}$ [4].

Особливістю аеротенка як споруди біологічного очищення є те, що процес очищення можна регулювати до необхідного ступеня. Чим триваліші процеси аерації, чим більше повітря й активного мулу, тим краще очищується стічна вода.

Збільшення значення дози мулу в аеротенку призводить до підвищення його окисної потужності. Під окисною потужністю розуміють кількість забруднень, які вилучаються в одиницю часу масою активного мулу, що міститься в об'ємі споруди. Зазвичай окисну потужність виражають у г знятих забруднень за $\text{БСК}_{\text{повн}}$, що припадають на 1 м^3 споруди за добу, і визначають за формулою:

$$OP = (L_{en} - L_{ex}) \cdot Q_{\text{доб}} / W, \quad (4.14)$$

де OP – окисна потужність аеротенка, г $\text{БСК}_{\text{повн}}/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$; $Q_{\text{доб}}$ – добова витрата стічних вод, $\text{м}^3/\text{добу}$; W – об'єм аеротенка, м^3 .

Окисна потужність аеротенка може становити від 300 г $\text{БСК}_{\text{повн}}$ до 2–3 кг $\text{БСК}_{\text{повн}}$ на 1 м^3 споруди за добу в залежності від технологічного режиму його роботи.

Підвищення дози мулу в аеротенку і, відповідно, його окисної потужності за умови збереження необхідного ступеня очищення стічних вод є на сьогодні одним із напрямків інтенсифікації роботи споруд аеробного біологічного очищення.

Ще однією з важливих характеристик активного мулу є вік мулу, під яким розуміють середню тривалість його перебування в спорудах біологічного очищення. Оскільки частина спожитих мулом органічних забруднень йде на побудову нових бактеріальних клітин, то маса мулу

збільшується. Це збільшення називають приростом мулу і виражають в мг/дм^3 або г/дм^3 . Експериментально встановлено, що в масу приросту мулу включається близько 25–30% знятого в аеротенку $\text{БСК}_{\text{повн}}$ і близько 75–80% завислих речовин, які містяться у стічній воді на вході в споруду. Проте, в аеротенку може підтримуватись лише певна за даних умов концентрація мулу, тому масу мулу, що приросла, потрібно своєчасно видаляти із системи біологічного очищення.

Цей приріст мулу називають надлишковим активним мулом, на відміну від мулу, що повертають із вторинного відстійника в аеротенк і який називають зворотним або циркуляційним активним мулом.

Чим вище приріст мулу, тим більше кількість надлишкового активного мулу, а отже, тим швидше оновлюється мул, і тим менше його вік. Вік мулу B_m , діб, може бути визначено за формулою:

$$B_m = [(W_{\text{аер}} + W_{\text{кан}}) a_i + W_{\text{в.з}} \cdot a_{i \text{сер}}] / (Pr \cdot Q_{\text{доб}}), \quad (4.15)$$

де $W_{\text{аер}}$, $W_{\text{кан}}$, $W_{\text{в.з}}$ – об'єми, відповідно, аеротенків, каналів, відстійних зон вторинних відстійників, м^3 ; a_i , $a_{i \text{сер}}$ – середня концентрація активного мулу в муловій суміші, відповідно, в аеротенках і каналах, у відстійній зоні вторинних відстійників, г/дм^3 ; Pr – приріст активного мулу, г/дм^3 ; $Q_{\text{доб}}$ – добова витрата стічної води, що очищується, $\text{м}^3/\text{добу}$.

Практика показує, що середній вік мулу для нормальної роботи аеротенка та забезпечення достатньої метаболічної активності мулу становить 2–5 діб.

Аеротенки використовують для повного і неповного очищення. За повного біологічного очищення окиснення органічних речовин відбувається майже повністю, тобто здійснюється повна мінералізація органічних речовин до утворення продуктів, які не розкладаються мікробіальною клітиною і не містять запасу енергії, що може бути вивільненою звичайними хімічними реакціями, наприклад, таких як вуглекислота й вода. $\text{БСК}_{\text{повн}}$ знижується до 15–20 мг/дм^3 , в результаті стічна вода не здатна до загнивання. За неповного біологічного очищення $\text{БСК}_{\text{повн}}$ знижується до величини понад 20 мг/дм^3 .

На рис. 4.11 наведено схему роботи аеротенка на повне очищення.

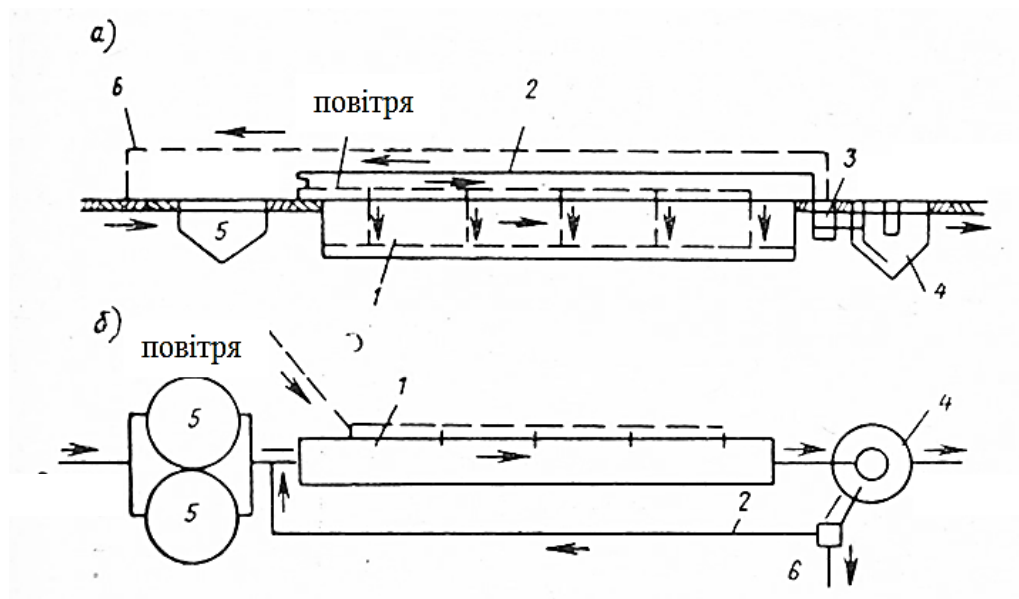


Рис. 4.11. Схема роботи аеротенка на повне біологічне очищення:

а – розріз; *б* – план; 1 – аеротенк; 2 – циркуляційний активний мул; 3 – насосна станція; 4 – вторинні відстійники; 5 – первинні відстійники; 6 – надлишковий активний мул

Суміш очищеної стічної води з активним мулом виходить з аеротенка і подається у вторинний відстійник, де активний мул відокремлюється від очищеної стічної води. Відокремлений активний мул – зворотний або циркуляційний, знову перекачують у канал перед аеротенком для подальшого використання. В залежності від концентрації активного мулу в практиці роботи очисних станцій кількість зворотного мулу становить 30–60% кількості стічної води, що надходить на очищення.

У процесі окиснення активним мулом органічної речовини кількість мулу в результаті розмноження мікроорганізмів і сорбційної здатності активного мулу в аеротенках весь час зростає. Надлишок мулу не тільки не прискорює процес очищення, але може гальмувати його, тому частину мулу (приріст) потрібно безперервно видаляти. Наступну обробку видаленого надлишкового мулу виконують разом з обробкою осаду з первинних відстійників, наприклад, у метантенках. Проте, мул через його високу

вологість (понад 99%) попередньо ущільнюють у спеціальних спорудах, які називають мулоущільнювачами.

Сам хід споживання кисню з часом при біохімічному окисненні в аеротенку вказує на те, що можна розділити споруди на дві частини відповідно до фаз окиснення. На першому ступені конструкцію аеротенка розраховують на тривалість перебування в ньому стічної води у відповідності з першою фазою окиснення. Для відновлення сорбційної здатності активного мулу використовують додаткову його аерацію в резервуарах, які називають регенераторами. На другому ступені приймають споруду, розраховану на тривалість перебування й аерації стічної води, що пройшла очищення в аеротенку, для забезпечення проходження стадії нітрифікації амонійних сполук. Таку споруду називають нітрифікатором.

Аеротенки поділяють в залежності від способу подачі та розподілу повітря в них на такі: з пневматичною аерацією; з поверхневою або механічною аерацією; з аерацією змішаного типу.

В аеротенки з пневматичною аерацією повітря подають повітродувками через аератори. Механічну аерацію здійснюють спеціальними механічними аераторами, які інтенсивно перемішують мулову суміш, захоплюють повітря та диспергують його у рідині. Найбільше розповсюдження здобули пневматичні аератори, але для малих установок можна застосовувати й механічні.

Аеротенки можуть влаштовувати за одноступінчастими і двоступінчастими схемами. При цьому в тому й іншому випадках їх використовують як із регенерацією, так і без.

Для повного біологічного очищення господарсько-побутових стічних вод або їх суміші з виробничими стічними водами раніше частіше всього використовували звичайні одноступінчасті схеми (рис. 4.12, а, б, в, г). Порівняно з іншими, вони відносно прості в експлуатації, але недостатньо економічні. У цих аеротенках очищення стічної води та регенерація активного мулу відбуваються в одній споруді, тому при залповому

надходженні стічних вод, які містять токсичні домішки, життєдіяльність активного мулу та робота аеротенків можуть різко погіршитись. Тому, на разі одноступінчаті аеротенки без регенерації використовують за БСК_{повн} стічної води не більше 150 мг/дм³.

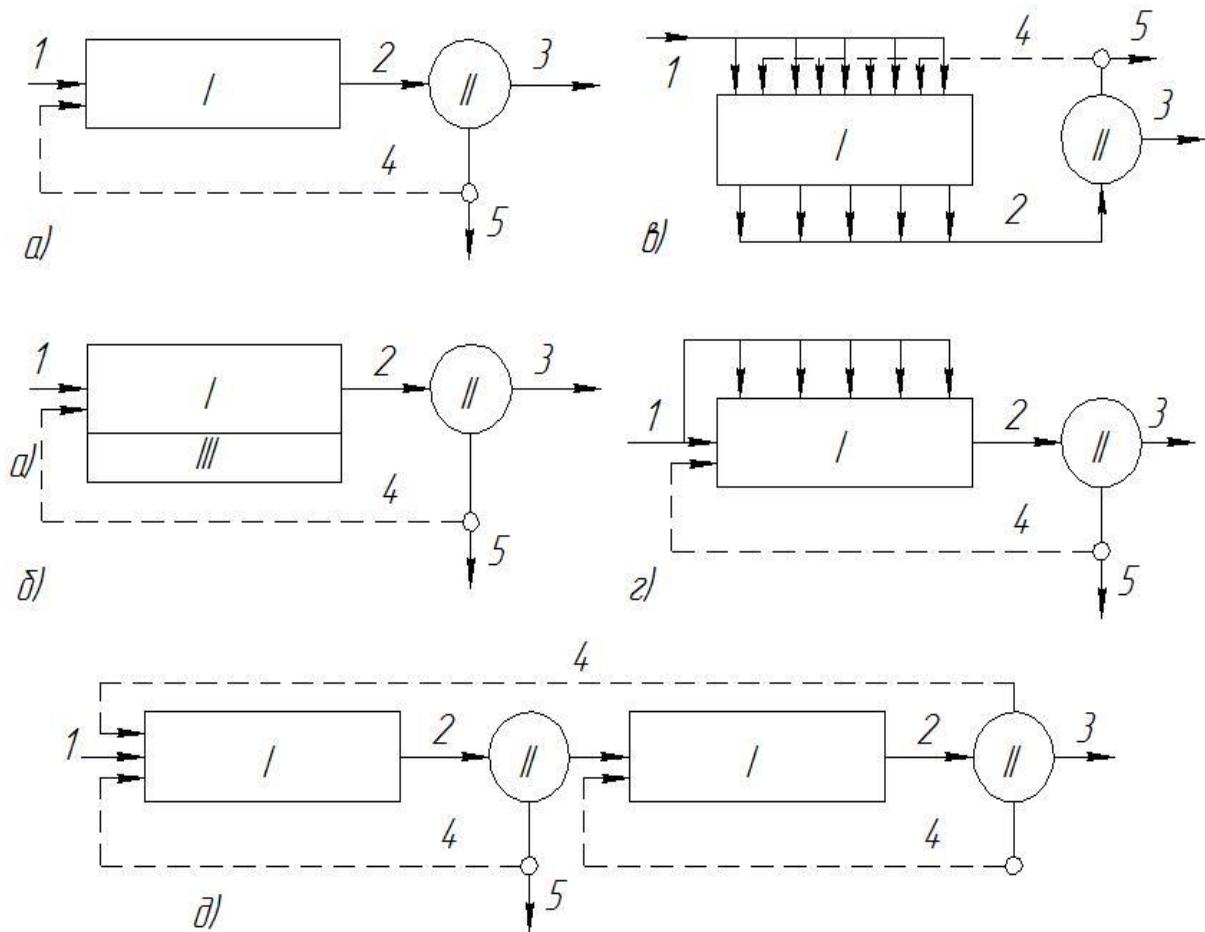


Рис. 4.12. Схеми роботи аеротенків:

а – аеротенк-витиснювач без регенератора; *б* – аеротенк-витиснювач з регенератором;
в – аеротенк-змішувач; *г* – аеротенк з розосередженим впуском води;
а, б, в, г – одноступінчасті схеми; *д* – двоступінчаста схема очищення; I – аеротенк;
 II – вторинний відстійник; III – регенератор; 1 – стічні води на очищення; 2 – мулова суміш; 3 – очищена вода; 4 – циркуляційний мул; 5 – надлишковий мул

Аеротенки, які працюють з регенераторами (рис. 4.12, б), не мають подібних недоліків. Для їх роботи характерна стабільність процесу біохімічного очищення стічних вод. Процес вилучення забруднень із води відокремлений від окиснення їх в активному мулі. Власне аеротенки

проектують на меншу тривалість перебування в них стічної води, їх завдання – вилучити забруднення.

У регенераторах відбувається окиснення забруднень, затриманих активним мулом. В них активний мул знаходиться триваліший час. Такий спосіб очищення, коли в аеротенку проходить перша фаза процесу, а в регенераторі – друга й третя стадії, дозволяє збільшити концентрацію забруднень, що припадають на активний мул. В аеротенку підтримують звичайне навантаження на мул, а в регенераторі – підвищене. Таким чином, середнє навантаження на мул зростає, і ці споруди працюють продуктивніше.

Використання аеротенків з регенераторами дозволяє зменшити загальний будівельний об'єм цих споруд на 10–20%, порівняно з об'ємом аеротенків без регенераторів [4].

Аеротенки з регенераторами використовують за $БСК_{повн}$ стічної води понад 150 мг/дм^3 і за наявності шкідливих виробничих домішок.

В залежності від схеми руху потоків стічної води та зворотного активного мулу розрізняють такі споруди:

- аеротенки-змішувачі – подачу й випуск стічної води та мулу здійснюють рівномірно вздовж довгих сторін коридору аеротенка;
- аеротенки-витиснювачі – стічну воду та зворотний активний мул подають зосереджено з однієї з торцевих сторін аеротенка, а випускають також зосереджено з іншої торцевої сторони;
- аеротенки проміжного типу. В спорудах із розосередженою подачею стічної води здійснюють її введення в кількох точках по довжині аеротенка, а відведення – зосереджено з його торцевої частини. Зворотний активний мул подають зосереджено на початок аеротенка.

Аеротенки-змішувачі використовують за $БСК_{повн}$ стічної води до 1000 мг/дм^3 . Дозу активного мулу в аеротенках-змішувачах без регенерації приймають 3 г/дм^3 , з регенерацією – $2\text{--}4,5 \text{ г/дм}^3$ [4].

Аеротенки-витиснювачі використовують за $БСК_{повн}$ стічної води до 300 мг/дм^3 . Дозу активного мулу в аеротенках-витиснювачах без регенерації

приймають 3–5 г/дм³, з регенерацією – 2–4,5 г/дм³. Для забезпечення режиму витиснення співвідношення довжини й ширини коридору повинно становити понад 30:1 [4].

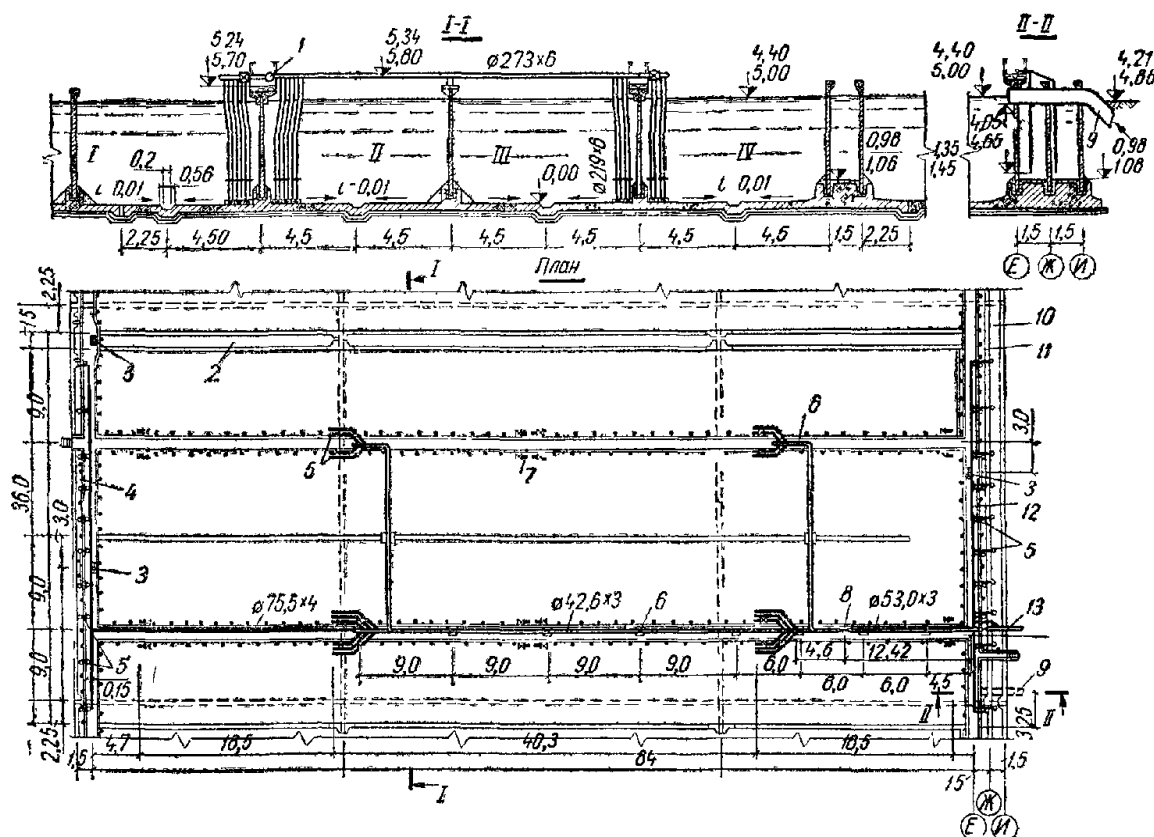


Рис. 4.13. Типовий чотирьохкоридорний аеротенк-витиснювач

(діаметри вказано в мм, розміри – в м):

- 1 – повітропровід; 2 – середній канал; 3 – щитові затвори; 4 – верхній канал проясненої води; 5 – повітряні стояки; 6 – ковзаюча опора; 7 – водоскидні стояки; 8 – труби Вентурі;
- 9 – трубопровід циркуляційного активного мулу (від розподільної камери);
- 10 – розподільний канал вторинних відстійників; 11 – нижній канал проясненої води;
- 12 – повітропровід на каналі; 13 – повітропровід секції

У практиці проєктування робочу глибину аеротенків приймають 3–6 м, відношення ширини коридору до робочої глибини від 1:1 до 2:1. Для аеротенків і регенераторів число секцій повинно бути не менше 2. Для станцій продуктивністю до 50 тис. м³/добу найдоцільніше число секцій – 4–6, а за більшої продуктивності – 6–8; всі секції робочі, кожна складається з 2–4 коридорів [4].

Для проєктування аеротенків використовують типові проєкти аеротенків-змішувачів і аеротенків-витиснювачів (рис. 4.13).

Приклад 4.2

Розрахувати аеротенки для очисної станції продуктивністю $Q_{\text{сер.доб.}} = 40000 \text{ м}^3/\text{доб.}$, $Q_{\text{max}} = 2502 \text{ м}^3/\text{год.}$. Показник $\text{БСК}_{\text{повн}}$ стічних вод на вході в аеротенк $C_{\text{БСК}}^{\text{сум}} = 253 \text{ мг/дм}^3$, концентрація завислих речовин $C_{\text{зр}}^{\text{к.ф.}} = 134,4 \text{ мг/дм}^3$. Середньорічна температура стічних вод 21°C .

Рішення.

Значення $\text{БСК}_{\text{повн}}$ стічних вод, які надходять в аеротенк, становить 253 мг/дм^3 . Згідно [1], при величині $\text{БСК}_{\text{повн}} < 500 \text{ мг/дм}^3$ доцільно прийняти аеротенк-витиснювач з регенерацією активного мулу ($\text{БСК}_{\text{повн}} > 150 \text{ мг/дм}^3$) [1, п. 10.3.2.2].

Попередньо приймається доза активного мулу в зоні аерації в межах $2\text{-}4,5 \text{ г/дм}^3$ та значення мулового індексу $70\text{-}100 \text{ см}^3/\text{г}$. Для прийнятих значень визначається ступінь рециркуляції активного мулу:

$$R = \frac{a_a}{\frac{1000}{J} - a_a} = \frac{2,5}{\frac{1000}{85} - 2,5} = 0,27, \quad (4.16)$$

де a_a – доза мулу, що прийнята $2,5 \text{ г/дм}^3$; J – муловий індекс, який прийнято $85 \text{ см}^3/\text{г}$.

Згідно [1] або дод. В, п. В.2.3, значення R при видаленні активного мулу з вторинних відстійників за допомогою мулососів приймається не менше $0,3$, тому для подальших розрахунків приймається $R = 0,3$ (за допомогою мулоскребів – $0,4$, самопливом – $0,6$).

Доза активного мулу в регенераторі визначається за формулою:

$$a_p = a_a \cdot \left(\frac{1}{2R} + 1 \right) = 2,5 \cdot \left(\frac{1}{2 \cdot 0,3} + 1 \right) = 6,67 \text{ г/дм}^3. \quad (4.17)$$

Концентрація органічних забруднень за $\text{БСК}_{\text{повн}}$ в суміші стічних вод та циркуляційного активного мулу визначається за формулою:

$$L_{\text{сум}} = \frac{C_{\text{сум,БСК}}^a + C_{\text{БСК}}^k \cdot R}{1 + R} = \frac{253 + 15 \cdot 0,3}{1 + 0,3} = 198 \text{ мг/дм}^3, \quad (4.18)$$

де $C_{\text{сум,БСК}}^a$ - показник БСК_{повн} стічних вод, що надходять в аеротенк, з врахуванням зниження БСК_{повн} після первинного відстоювання на 10-15%, мг/дм³; $C_{\text{БСК}}^k$ - показник БСК_{повн} в очищеній воді після повного біологічного очищення, мг/дм³, приймається 15 мг/дм³.

Тривалість обробки стічних вод в аеротенку визначається за формулою:

$$t_a = \frac{2,5}{\sqrt{a_a}} \cdot \lg \frac{L_{\text{сум}}}{C_{\text{БСК}}^k} = \frac{2,5}{\sqrt{2,5}} \cdot \lg \frac{198}{15} = 1,77 \text{ год}. \quad (4.19)$$

Питома швидкість окиснення забруднень, мг БСК_{повн} на 1 г беззольної речовини активного мулу за 1 год, визначається за формулою:

$$\rho = \rho_{\text{max}} \frac{C_{\text{БСК}}^k \cdot C_o}{C_{\text{БСК}}^k \cdot C_o + K_L \cdot C_o + K_o \cdot C_{\text{БСК}}^k} \cdot \frac{1}{1 + \phi \cdot a_p} = \quad (4.20)$$

$$85 \frac{15 \cdot 2}{15 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0,625 \cdot 15} \cdot \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 6,67} = 16,5 \frac{\text{мг}}{\text{г} \cdot \text{год}},$$

де $\rho_{\text{max}} = 85$ мг/(г·год) – максимальна швидкість окиснення стічних вод (дод. Е, табл. Е.1); C_o – концентрація розчиненого кисню в муловій суміші, яка приймається 2 мг/дм³; K_L – константа, яка характеризує властивості органічних забруднень, складає 33 мг·БСК_{повн}/дм³ (дод. Е, табл. Е.1); K_o – константа, яка характеризує вплив кисню, становить 0,625 мгО₂/дм³ (дод. Е, табл. Е.1); ϕ - коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, складає 0,07 дм³/г (дод. Е, табл. Е.1).

Тривалість окиснення органічних забруднень визначається за формулою:

$$t_o = \frac{C_{\text{сум,БСК}}^a - C_{\text{БСК}}^k}{a_p (1 - S) \cdot \rho \cdot R} \cdot \frac{15}{T_{\text{сер.р}}} = \frac{253 - 15}{6,67 (1 - 0,3) \cdot 16,5 \cdot 0,3} \cdot \frac{15}{21} = 7,36 \text{ год}, \quad (4.21)$$

де S – зольність активного мулу, приймається 0,3; $T_{\text{сер.р}}$ – середньорічна температура стічних вод, становить 21 °С.

Тривалість регенерації активного мулу

$$t_p = t_o - t_a = 7,36 - 1,77 = 5,59 \text{ год.} \quad (4.22)$$

Середня тривалість перебування стічних вод в системі аеротенк-регенератор буде дорівнювати

$$t_{cep} = (1 + R) \cdot t_a + t_p \cdot R = (1 + 0,3) \cdot 1,77 + 5,59 \cdot 0,3 = 3,98 \text{ год.} \quad (4.23)$$

Середня доза активного мулу в системі аеротенк-регенератор визначається за формулою:

$$\begin{aligned} a_{cep} &= \frac{a_a (1 + R) \cdot t_a + a_p \cdot R \cdot t_p}{t_{cep}} = \\ &= \frac{2,5(1 + 0,3) \cdot 1,77 + 6,67 \cdot 0,3 \cdot 5,59}{3,98} = 4,26 \text{ г / дм}^3. \end{aligned} \quad (4.24)$$

Навантаження на активний мул при прийнятих вихідних даних буде складати

$$q_m = \frac{24(C_{\text{сум, БСК}}^a - C_{\text{БСК}}^k)}{a_{cep} \cdot (1 - S) \cdot t_{cep}} = \frac{24(253 - 15)}{4,26 \cdot (1 - 0,3) \cdot 3,98} = 481 \text{ мг / г} \cdot \text{добу}. \quad (4.25)$$

З урахуванням навантаження на активний мул визначається фактичне значення мулового індексу, згідно (дод. Е, табл. Е.2), яке становить $I_\phi = 92 \text{ см}^3/\text{г}$.

При фактичному значенні мулового індексу ступінь рециркуляції становитиме

$$R^\phi = \frac{a_a}{\frac{1000}{I_m} - a_a} = \frac{2,5}{\frac{1000}{92} - 2,5} = 0,3.$$

Розрахунок вважається завершеним, коли нове значення R^ϕ не перевищує попереднього або відрізняється від нього в межах точності розрахунку 5%. Інакше розрахунок повторюється, починаючи з формули (4.13).

Робочий об'єм аеротенка та регенератора визначається за формулами:

$$W_a = (1 + R) \cdot t_a \cdot Q_{\max} = (1 + 0,3) \cdot 1,77 \cdot 2502 = 5757 \text{ м}^3;$$

$$W_p = t_p \cdot R \cdot Q_{\max} = 5,59 \cdot 0,3 \cdot 2502 = 4196 \text{ м}^3,$$

де $Q_{\max}$ – максимальна витрата стічних вод, м³/год.

Загальний об'єм становить

$$W = W_a + W_p = 5757 + 4196 = 9953 \text{ м}^3.$$

Мінімальна кількість секції $N = 2$.

Об'єм однієї секції при кількості $N = 2$ складає

$$W_1 = \frac{W}{N} = \frac{9953}{2} = 4977 \text{ м}^3.$$

Визначається розподіл об'ємів регенератора і аеротенка. Об'єм регенератора становить $\frac{W_p}{W} = \frac{4196}{9953} \cdot 100 = 42,2\%$ загального об'єму.

Приймається 2 секції чотирьохкоридорного аеротенка з робочою глибиною $H = 4,4$ м, шириною секції $B = 4,5$ м за ТП 902-2-178 (дод. Е, табл. Е.3).

В секції аеротенка (з 4-ьох коридорів) потрібно виділити 2 коридори під безпосередньо аеротенк і 2 коридори під регенератор.

Довжина секції становить

$$L = \frac{W_1}{B \cdot H \cdot n_k} = \frac{4977}{4,5 \cdot 4,4 \cdot 4} = 63 \text{ м},$$

де n_k – кількість коридорів у секції, шт.

Приріст активного мулу в аеротенку розраховується за формулою:

$$П = 0,8 \cdot C_{3P}^{к,ф} + K_{П} \cdot C_{\text{сум,БСК}}^a = 0,8 \cdot 134,4 + 0,3 \cdot 253 = 183 \text{ мг / дм}^3,$$

де $C_{3P}^{к,ф}$ – концентрація завислих речовин, що надходять в аеротенк, мг/дм³;

$K_{П}$ - коефіцієнт приросту активного мулу, становить 0,3.

Приклад 4.3.

За даними прикладу 4.2 розрахувати витрату повітря, необхідну для роботи аеротенків-витиснювачів, при продуктивності очисної станції $Q_{\text{сер.доб.}} = 40000 \text{ м}^3/\text{доб.}$, $Q_{\max} = 2502 \text{ м}^3/\text{год.}$ Середньорічна температура стічних вод за літній період 21°C .

Рішення.

Аеротенки-витиснювачі обладнуються системою аерації. Приймається пневматична система аерації з використанням фільтросних пластин. Її розрахунок полягає у визначенні питомої витрати повітря, яка визначається за формулою:

$$q_{пов} = \frac{q_o \cdot (C_{сум}^{бнк} - L_w)}{K_1 K_2 K_3 K_T (C_a - C_o)} = \frac{1,1 \cdot (253 - 15)}{1,39 \cdot 2,68 \cdot 0,59 \cdot 1,02 \cdot (10,74 - 2)} = 13,36 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

де q_o – питома витрата кисню повітря, що приймається при повному біологічному очищенні 1,1 мг/дм³; K_1 – коефіцієнт, який враховує тип аератора і приймається для дрібнобульбашкової аерації в залежності від співвідношення площ аерованої зони та аеротенка ($f_{a.з}/f_a$) (дод. Е, табл. Е.4).

Приймається 1 ряд фільтросних пластин в коридорі аеротенка, тоді

$$f_{a.з} = b_{ф.н.} \cdot L = 0,3 \cdot 63 = 18,9 \text{ м}^2; f_a = B \cdot L = 4,5 \cdot 63 = 283,5 \text{ м}^2;$$

$$f_{a.з} / f_a = 0,07; K_1 = 1,39,$$

K_2 – коефіцієнт, який залежить від глибини занурення аераторів (дод. Е, табл. Е.5) при $H = 4,4$ м, $K_2 = 2,68$; K_3 – коефіцієнт якості води; для стічних вод (дод. Е, табл. Е.4) $K_3 = 0,59$; K_T – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод, який визначається в залежності від середньомісячної температури стічних вод за літній період ($T_{сер.м}$) за виразом:

$$K_T = 1 + 0,02 \cdot (T_{сер.м} - 20) = 1 + 0,02 \cdot (21 - 20) = 1,02,$$

C_a – розчинність кисню повітря у воді, яка визначається в залежності від глибини занурення аераторів (h_a) за формулою:

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) \cdot C_T = \left(1 + \frac{4,4}{20,6}\right) \cdot 8,85 = 10,74 \text{ мг/дм}^3,$$

де C_T – розчинність кисню у воді в залежності від температури та атмосферного тиску, становить 8,85 мг/дм³ (дод. Е, табл. Е.6).

C_o – середня концентрація кисню в аеротенку, яку приймають 2 мг/дм³.

Інтенсивність аерації мулової суміші в аеротенку визначається за формулою:

$$I = \frac{q_{нов} \cdot H}{t_{сер}} = \frac{13,36 \cdot 4,4}{3,98} = 14,8 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}),$$

де H – глибина аеротенка, м.

З додатку Е, табл. Е.4 $I_{\max} = 7 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Отже $I > I_{\max}$. В цьому випадку потрібно збільшити кількість рядів фільтросних пластин $n_{\phi n}$. Приймається $n_{\phi n} = 2$. Тоді

$$f_{a.3} = 2 \cdot 0,3 \cdot 63 = 37,8 \text{ м}^2; \quad f_{a.3} / f_a = 0,13; \quad K_1 = 1,74; \quad K_3 = 0,61.$$

$$q_{нов} = \frac{q_o \cdot (C_{сум}^{бнк} - L_w)}{K_1 K_2 K_3 K_T (C_a - C_o)} = \frac{1,1 \cdot (253 - 15)}{1,74 \cdot 2,68 \cdot 0,61 \cdot 1,02 \cdot (10,74 - 2)} = 10,32 \text{ м}^3 / \text{м}^3,$$

Перераховується I за формулою:

$$I = \frac{q_{нов} \cdot H}{t_{сер}} = \frac{10,32 \cdot 4,4}{3,98} = 11,4 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}),$$

$I_{\max} = 13 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ (дод. Е, табл. Е.4). Отже $I < I_{\max}$, що допустимо.

$I_{\min} = 3,3 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ (дод. Е, табл. Е.5). Отже $I > I_{\min}$, що допустимо.

Таким чином приймається до установлення в аеротенку 2 ряди фільтросних пластин, які забезпечать інтенсивність аерації $I = 11,4 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Загальна витрата повітря, яке подається в аеротенк, визначається за максимальною годинною витратою стічних вод:

$$Q_{пов}^{сер} = q_{нов} \cdot Q_{\max} = 10,32 \cdot 2502 = 25821 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Повітродувки підбирають за каталогом, виходячи із загальних втрат тиску і розрахункової витрати повітря.

4.2.3. Біологічні фільтри

Біологічні фільтри – споруди, в яких процес аеробного біологічного очищення стічних вод відбувається в штучно створених умовах при

протіканні води через товщу завантаження, на поверхні якого знаходиться біологічна плівка мікроорганізмів.

Біофільтри поділяють на крапельні, високонавантажені та баштові. За способом подачі в них повітря є біофільтри з природною і зі штучною аерацією (аерофільтри).

За технологічною схемою роботи біофільтри можуть бути одноступінчастими і двоступінчастими, режим роботи – з рециркуляцією й без.

Крапельний біофільтр (рис. 4.14) – найбільш простий за конструкцією, складається з таких основних частин: непроникної основи, дренажу, бічних стінок, фільтрувального матеріалу й розподільних пристроїв. Біофільтри в плані можуть мати форму кола, квадрату або восьмикутника.

Поверхню крапельного біофільтра зрошують зверху рівномірно з невеликими проміжками часу. Стічну воду подають у вигляді крапель, струменів або у вигляді тонкого шару води.

Повітря в крапельні біофільтри надходить природним шляхом – зверху через відкриту поверхню біофільтра і знизу через дренаж. Для цього передбачено вікна, розташовані рівномірно по периметру стін міждонного простору. Площа вікон повинна становити 1–5% площі біологічного фільтра. Вікна обладнують пристроями для їх зачинення. Такі біофільтри мають низькі гідравлічні навантаження – $1\text{--}3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$; висоту шару завантаження – 1,5–2 м; малий розмір фракцій – 20–30 мм, з великою макропористою поверхнею. Нижній підтримуючий шар висотою 0,2 м завантажують матеріалом крупністю 70–100 мм. В якості завантажувального матеріалу використовують гравій, щебінь, керамзит, шлак тощо. Об'єм завантажувального матеріалу таких біофільтрів відзначається підвищеною концентрацією мікроорганізмів [4].

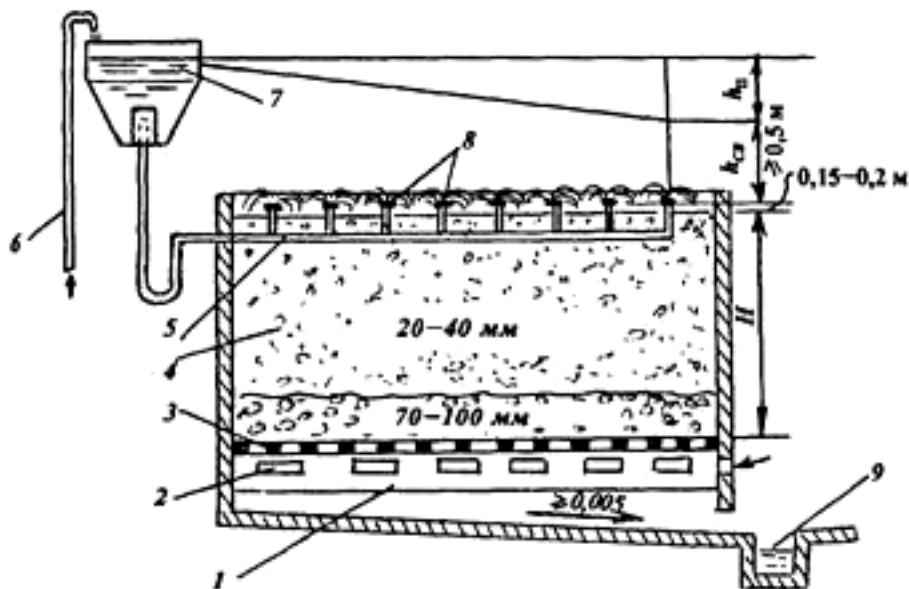


Рис. 4.14. Схема крапельного біофільтра:

1 – піддренажний простір для підтримування завантаження; 2 – вентиляційні вікна;
3 – дренаж; 4 – завантаження біофільтра; 5 – розподільний трубопровід; 6 – трубопровід для подачі води на очищення; 7 – дозувальний бак для подачі стічної води; 8 – спринклери для автоматичної подачі води на поверхню біофільтра; 9 – відвідний канал

Крапельні біофільтри рекомендують використовувати при витратах стічних вод до $1000 \text{ м}^3/\text{добу}$; вони забезпечують повне біологічне очищення (до $\text{БСК}_{\text{повн}} = 15 \text{ мг/дм}^3$). Допустиме $\text{БСК}_{\text{повн}}$ стічних вод, які подають на біофільтр, становить 220 мг/дм^3 . За більших величин показника $\text{БСК}_{\text{повн}}$ слід використовувати рециркуляцію.

Ефект очищення біофільтрів даного типу високий і може досягати за $\text{БСК}_{20} - 90\%$ і вище.

Крапельні біофільтри розташовують у неопалюваних приміщеннях у вигляді окремих секцій, кількість і розміри яких залежать від способів розподілу стічної води по поверхні, умов їх експлуатації тощо. Число секцій приймають не менше 2 і не більше 8; всі секції повинні бути робочими.

Недолік крапельних фільтрів – заболочування завантаження, що знижує ступінь очищення стічних вод.

Цей недолік усувається у високонавантажених біофільтрах шляхом збільшення гідравлічного навантаження і розмірів фракцій завантажувального матеріалу.

Високонавантажений біофільтр або аерофільтр (рис. 4.15) у 1929 році вперше було запропоновано професорами Н.А. Базякиною і С.Н. Строгановим. Такий біофільтр має низку переваг порівняно з крапельним та відрізняється особливостями конструкції й експлуатації.

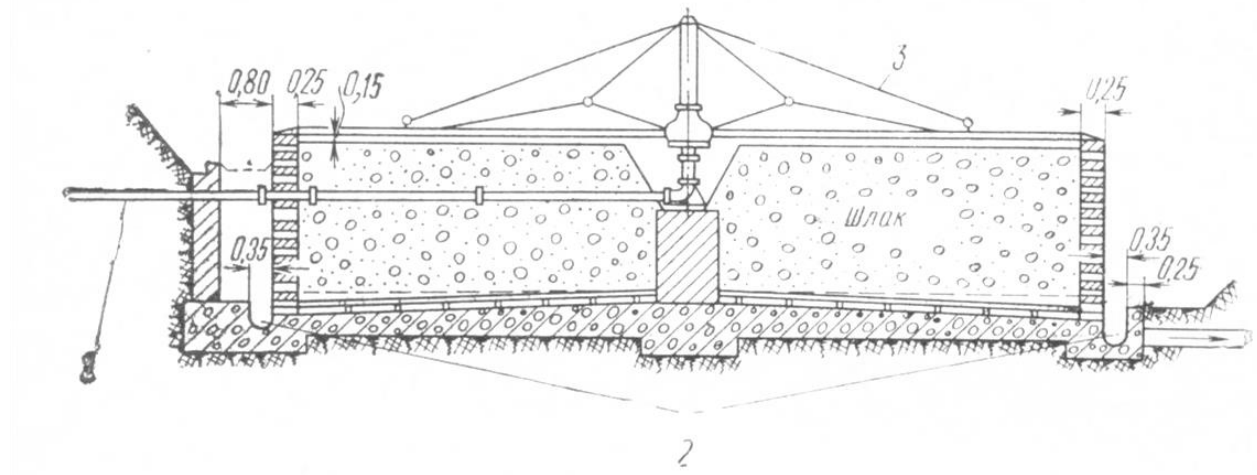


Рис. 4.15. Біофільтр круглої форми:

1 – подача проясненої води; 2 – відвідний лоток; 3 – обертовий розподільувач

Для аерофільтра характерне збільшення розмірів зерен завантажувального матеріалу до 40–60 мм по всій висоті завантаження; матеріал такий самий, як і в крапельному; штучна продувка матеріалу завантаження повітрям; збільшення висоти шару фільтрувального завантаження до 2–4 м; збільшення гідравлічного навантаження до 10–30 $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$ з метою створення умов для самодовільної промивки фільтра. Використовують при витратах стічних вод до 50000 $\text{м}^3/\text{добу}$ як для повного, так і для неповного біологічного очищення. Допустима величина БСК_{повн} стічних вод, які надходять на біофільтр, становить 300 $\text{мг}/\text{дм}^3$. При більших значеннях вводять рециркуляцію [1, п. 10.3.1.8].

До переваг високонавантажених біофільтрів слід віднести високий ефект очищення за БСК₅ – до 10–12 $\text{мг}/\text{дм}^3$ в очищеній стічній воді, проходження

процесу нітрифікації, про що свідчить висока концентрація нітратів на виході із споруд. Практично це означає, що в тілі біофільтра відбуваються не тільки процеси адсорбції, але й окиснення затриманих органічних речовин.

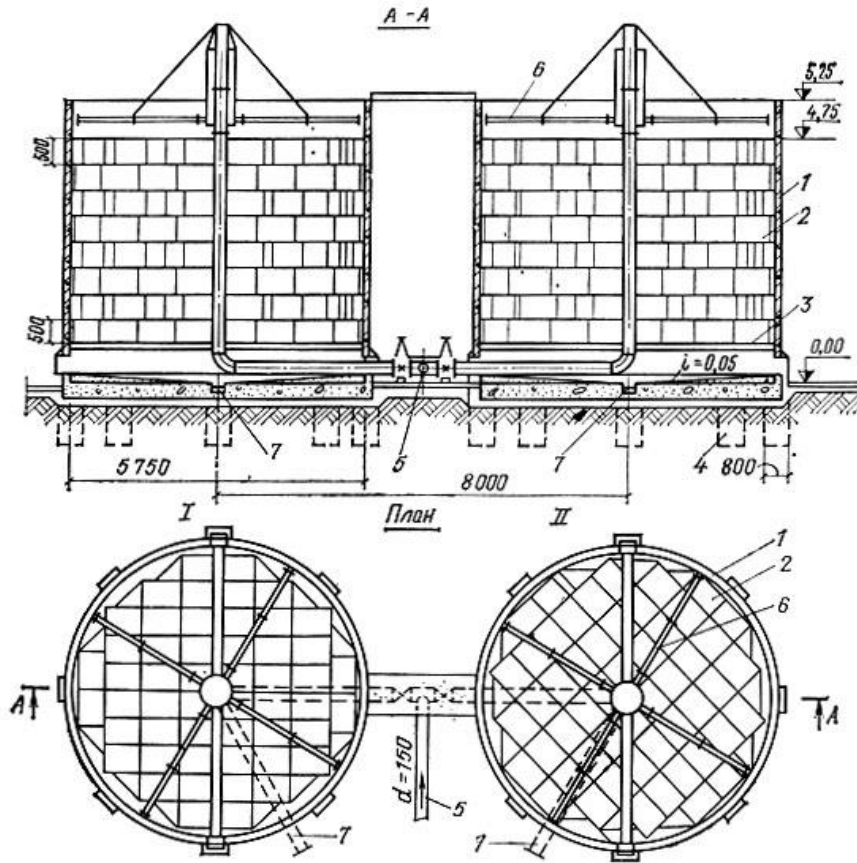


Рис. 4.16. Біофільтр круглої форми в плані пропускною спроможністю 1400 м³/добу з пластмасовим завантаженням:

I і II – розкладка блоків у непарних і парних рядах; 1 – корпус із сегментних збірних залізобетонних блоків; 2 – пластмасове завантаження; 3 – решітка; 4 – бетонні колони;
5 – підвідний трубопровід; 6 – реактивний зрошувач; 7 – відвідні лотки

Високонавантажені біофільтри поділяють за висотою на низькі – до 2 м, високі 2 м та вище і, так звані, баштові – 8–16 м з розмірами зерен завантажувального матеріалу 60–80 мм. Високонавантажені біофільтри, як правило, розміщують на відкритому повітрі.

В окрему групу виділяють біофільтри з пластмасовим завантаженням (рис. 4.16). Їх особливість – завантаження з пластмасового матеріалу з полівінілхлориду, полістиролу, поліетилену, поліпропілену тощо, виконаного

у вигляді жорстких блоків з решіток, листів, пакетів; засипних елементів – кілець, коротко нарізаних перфорованих труб; м'яких – плівок.

Наявність у біофільтрі сприятливих умов для обтікання повітрям біологічної плівки на поверхні матеріалу завантаження робить його більш продуктивним, аніж біофільтри інших типів. Навантаження в таких біофільтрах може бути доведено до 10 м^3 води на 1 м^3 завантаження матеріалу. Допустиме $\text{БСК}_{\text{повн}}$ стічних вод, що надходять на очищення, становить за повного біологічного очищення 250 мг/дм^3 , за неповного – не обмежують. Такі біофільтри проєктують круглими або багатокутними у плані висотою 3–4 м. Гідравлічне навантаження – $6\text{--}18 \text{ м}^3/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$ визначають в залежності від необхідного ступеня очищення за $\text{БСК}_{\text{повн}}$ за ефектами 80–90%. Зазвичай їх розташовують в опалюваному приміщенні.

Крапельні, високонавантажені та баштові відносять до біофільтрів з об'ємним (зернистим) завантаженням (гравій, щебінь, керамзит, шлак тощо). Матеріал має щільність $500\text{--}1500 \text{ кг/м}^3$ і пористість 40–50 %. До недоліків таких завантажувальних матеріалів відносять наступні: замулення товщі матеріалу у разі збільшення органічного навантаження понад допустиме, недостатність аерації усього шару завантаження й утворення анаеробних зон, невелику площу активної поверхні завантаження тощо.

У 50-их роках ХХ ст. поява біофільтрів із площинним – засипним, м'яким, блочним завантаженнями; дозволила значно збільшити продуктивність біофільтрів. Пористість площинних завантажувальних матеріалів (87–99 %) більш ніж удвічі вища, ніж у об'ємних, що дозволило відмовитись від примусової вентиляції і зекономити значну кількість електроенергії. Питома поверхня площинних матеріалів $80\text{--}450 \text{ м}^2/\text{м}^3$ проти $50\text{--}80 \text{ м}^2/\text{м}^3$ у об'ємних. Проте, навіть за однакової величини активна поверхня площинних матеріалів значно більша за рахунок відсутності мертвих зон, що утворюються при дотику фракцій засипного матеріалу.

Біофільтри з жорстким засипним (керамічні, пластмасові, металеві засипні елементи: кільця, обрізки труб, кульки; щільність $100\text{--}600 \text{ кг/м}^3$,

пористість 70–90 %, висота шару 1–6 м) і м'яким або рулонним (металеві сітки, пластмасові плівки, синтетичні тканини: нейлон, капрон, які кріплять на каркасах або укладають у вигляді рулонів; щільність 5–60 кг/м³, пористість 94–99 %, висота шару 3–8 м) завантаженням рекомендують застосовувати за витрат до 10000 м³/добу як для повного, так і для неповного очищення [4].

Біофільтри з жорстким блочним (пластмасове: гофровані й плоскі листи або просторові елементи, азбестоцементні листи; щільність пластмасового завантаження 40–100 кг/м³, пористість 90–97%, висота шару 2–16 м; щільність азбестоцементного – 200–250 кг/м³, пористість 80–90%, висота шару – 2–6 м) рекомендують використовувати за витрат стічних вод до 50000 м³/добу.

До біофільтрів з площинним завантаженням відносять також занурені біофільтри, які ділять на дискові, барабанні, шнекові, трубчасті біофільтри. Їх використовують для очищення побутових і виробничих стічних вод за малих витрат до 1000 м³/добу. Відмінною особливістю таких біофільтрів є просторова конструкція завантаження, яке має розвинуту поверхню і закріплене на горизонтальному валу. Вал розміщують у резервуарі над поверхнею стічної води, він постійно обертається за допомогою електродвигунів або інших пристроїв.

Приклад 4.4.

Розрахувати високонавантажений біофільтр для очисної станції продуктивністю $Q_{\text{сер.доб.}} = 28000 \text{ м}^3/\text{добу}$. Показник $\text{БСК}_{\text{повн}}$ стічних вод на вході в біофільтр $C_{\text{сум.БСК}}^{\text{б}} = 180 \text{ мг/дм}^3$, очищеної води $C_{\text{сум.БСК}}^{\text{к}} = 20 \text{ мг/дм}^3$. Середньозимова температура стічних вод 14 °С.

Рішення.

Розрахунок високонавантажуваних біофільтрів здійснюється у наступній послідовності. Визначається коефіцієнт K за формулою:

$$K = C_{\text{сум, БСК}}^{\text{б}} / C_{\text{БСК}}^{\text{к}} = 180 / 20 = 9, \quad (4.26)$$

де $C_{\text{сум, БСК}}^{\text{б}}$ - показник БСК_{повн} стічних вод, що надходять в біофільтр, з врахуванням зниження БСК після первинного відстоювання на 10-15%, мг/дм³; $C_{\text{БСК}}^{\text{к}}$ - показник БСК_{повн} в очищеній воді після повного біологічного очищення, мг/дм³.

Висоту біофільтра знаходимо за розрахунковою середньозимовою температурою 14 °С з дод. Ж, табл. Ж.1 $H_{af} = 3$ м при гідравлічному навантаженні $q_{af} = 10$ м³/(м²·добу) та питомій витраті повітря $q_a = 8$ м³/м³ для $K = 8,95$, близького до розрахункового значення $K = 9$.

В даному випадку рециркуляція води не потрібна.

Розрахункова площа поверхні біофільтрів визначається за формулою:

$$F = Q_{\text{сум.доб.}} / q_{af} = 28000 / 10 = 2800 \text{ м}^2, \quad (4.27)$$

де $Q_{\text{доб.}}^{\text{сум.}}$ - середньодобова витрата стічних вод, м³/доба; q_{af} - табличне значення гідравлічного навантаження (чи знайдене методом інтерполяції), м³/(м²·доб).

У вітчизняній практиці високонавантажені біофільтри влаштовують зі збірного залізобетону у вигляді циліндричних резервуарів за типовими проектами. Діаметр резервуара - 6, 12, 15, 21, 24, 27 і 30 м.

Діаметр біофільтра визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot n}},$$

де n – кількість біофільтрів. Мінімальна кількість приймається – 2. Найбільша (раціональна) кількість біофільтрів – 8.

Приймається $n = 4$, тоді діаметр біофільтра буде

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 28000}{\pi \cdot 4}} = 29,9 \text{ м}.$$

Приймаємо 4 типові біофільтри діаметром 30 м з висотою фільтруючого завантаження 3 м.

Об'єм фільтруючого завантаження біофільтра становить

$$V_{ф.з.} = \frac{P \cdot d^2}{4} \cdot H_{af} = \frac{3.14 \cdot 30^2}{4} \cdot 3 = 2119.5 \text{ м}^3.$$

Загальний об'єм фільтруючого завантаження

$$V_{ф.з.}^{заг} = V_{ф.з.} \cdot n = 2119.5 \cdot 4 = 8478 \text{ м}^3.$$

Витрата повітря на аерацію біофільтрів визначається за формулою:

$$Q_{пов} = \frac{q_a \cdot Q_{сум.доб}}{24} = \frac{8 \cdot 28000}{24} = 9333 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Приклад 4.5.

Розрахувати високонавантажені біофільтри для очисної станції продуктивністю $Q_{сер.доб.} = 6500 \text{ м}^3/\text{добу}$. Показник $БСК_{повн}$ стічних вод на вході в біофільтр $C_{сум.БСК}^б = 450 \text{ мг} / \text{дм}^3$, очищеної води $C_{сум.БСК}^к = 25 \text{ мг} / \text{дм}^3$. Середньозимова температура стічних вод 14°C .

Рішення.

Визначається величина коефіцієнта K за формулою:

$$K = \frac{300}{C_{БСК}^к} = \frac{300}{25} = 12,$$

де 300 – $БСК_{повн}$ стічних вод, допустиме на вході у високонавантажений біофільтр, $\text{мг}/\text{дм}^3$; $C_{БСК}^к$ – $БСК_{повн}$ очищених стічних вод, $\text{мг}/\text{дм}^3$.

З табл. Ж, дод. Ж.1 за показниками $T = 14^\circ\text{C}$ і $K = 12$ знаходиться висота біофільтра $H_{af} = 4 \text{ м}$, гідравлічне навантаження $q_{af} = 20 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб})$, питома витрата повітря $q_a = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Визначається коефіцієнт рециркуляції води за формулою:

$$n = \frac{C_{сум.БСК}^б - C_{БСК}^{гран}}{C_{БСК}^{гран} - C_{БСК}^к} = \frac{450 - 300}{300 - 25} = 0,55. \quad (4.28)$$

Розрахункова площа поверхні біофільтрів складає

$$F = Q_{сум.доб} (1 + n) / q_{af} = 6500 \cdot (1 + 0,55) / 20 = 503,8 \text{ м}^2. \quad (4.29)$$

Приймається мінімум 2 біофільтра, але не більше 8.

У практиці проектування застосовують типові конструкції біофільтрів прямокутної форми в плані з розмірами сторін: 3х3, 6х4, 9х12, 12х12, 15х15, 12х18 м, з висотою шару завантаження: 2, 3 і 4 м, а також круглої форми в плані діаметром: 6, 12, 18, 24, 30 м, з висотою шару завантаження: 2, 3, 4 м.

Визначаємо площу одного біофільтра при кількості біофільтрів – 2,

$$F_1 = \frac{F}{n} = \frac{503,8}{2} = 251,9 \text{ м}^2. \quad (4.30)$$

Діаметр біофільтра визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 251,9}{\pi}} = 17,9 \text{ м}. \quad (4.31)$$

Приймаємо 2 високонавантажених біофільтра з наступними параметрами: діаметр - 18 м, висота завантаження - 4 м; гідравлічне навантаження - 20 м³/(м²·доб); питома витрата повітря на аерацію $q_a = 12 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Необхідна витрата повітря для аерації біофільтрів визначається за формулою:

$$Q_{\text{пов.}} = \frac{q_a \cdot Q_{\text{сум.доб}}}{24} = \frac{12 \cdot 6500}{24} = 3250 \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (4.32)$$

де q_a - прийняте значення питомої витрати повітря, м³/м³.

Для аерації використовують вентилятори, кількість робочих приймають $n_{\text{роб}} \geq 2$, які вибирають з каталогів, передбачають установку резервних агрегатів.

Приклад 4.6.

За даними прикладу 4.5 розрахувати реактивний зрошувач для високонавантажених біофільтрів, якщо розрахункова витрата стічних вод $Q_{\text{max.сек}} = 0,12 \text{ м}^3/\text{с}$.

Рішення.

Розрахунок реактивного зрошувача полягає у визначенні його розмірів, кількості розподільних труб, числа отворів на них і відстаней між ними,

кількості обертів зрошувача і напору води, при якому забезпечується необхідна швидкість виходу рідини з отворів зрошувача.

Діаметр зрошувача приймається на 0,2 м меншим від діаметра біофільтра

$$D_{зр} = D - 0,2 = 12 - 0,2 = 11,8 \text{ м.} \quad (4.33)$$

Діаметр зрошувальних труб визначається за умови дотримання швидкості руху води 0,5 - 1,0 м/с

$$D_{тр.} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\max.сек}}{\pi \cdot V_{тр.} \cdot n \cdot N_{тр.}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,12}{3,14 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 4}} = 0,138 \text{ м,} \quad (4.34)$$

де $V_{тр.}$ - швидкість руху води у зрошувальних трубах, м/с. Приймається 1 м/с.

n - кількість біофільтрів, шт., $n = 2$; $N_{тр.}$ - кількість труб зрошувача (приймається 2, 4 або 6 шт.), шт., $N_{тр.} = 4$.

Приймаємо діаметр зрошувальних труб - $D_{тр} = 150$ мм.

Число отворів на кожній розподільній трубі зрошувача визначається за формулою:

$$n_{отв.} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{2a}{D_{з.р}}\right)^2} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{80}{11800}\right)^2} = 74, \quad (4.35)$$

де a - відстань між двома останніми отворами (приймається рівною 40 мм);

$D_{зр}$ - діаметр зрошувача, мм.

Відстань від центру i -го отвору до центру зрошувача можна визначити за формулою:

$$r_i = R_{зр.} \sqrt{i / n_{отв.}}, \text{ мм,} \quad (4.36)$$

де $R_{зр.}$ - радіус зрошувача, мм; i - порядковий номер отвору від осі реактивного зрошувача. Наприклад, $r_1 = R_{зр.} \sqrt{1 / n_{отв.}} = 5900 \sqrt{1 / 74} = 686 \text{ мм.}$

Діаметр отворів визначається за умови швидкості витікання води $V_{отв}$ не менше 0,5 м/с і приймається не менше 10 мм. За $V_{отв} = 1$ м/с діаметр

отворів буде

$$d_{отв.} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{сер.сек}}{\pi \cdot V_{отв.} \cdot n \cdot n_{отв} \cdot N_{тр.}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,12}{3,14 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 74 \cdot 4}} = 0,016 \text{ м.} \quad (4.37)$$

Приймаємо діаметр отворів $d_{отв} = 15$ мм.

Швидкість обертання зрошувача визначається за формулою:

$$n_{об} = \frac{34,8 \cdot 10^6}{n_{отв} \cdot d_{отв.}^2 \cdot D_{зр.}} \cdot \frac{Q_{сер.сек.}}{n \cdot N_{тр.}} = \frac{34,8 \cdot 10^6}{74 \cdot 15^2 \cdot 11800} \cdot \frac{120}{2 \cdot 4} = 2,66 \text{ хв}^{-1}, \quad (4.38)$$

де $D_{зр}$ - діаметр зрошувача, мм; $d_{отв}$ - діаметр отворів, мм;
 $q_{сек}$ - максимальна секундна витрата стічних вод, $\text{дм}^3/\text{с}$.

Напір для забезпечення необхідної швидкості витікання води з отворів, а також для подолання опорів тертя у підшипнику і трубах визначається за формулою:

$$H_{зр} = \left(\frac{q_{сек.}}{n \cdot N_{тр.}} \right)^2 \cdot \left(\frac{256 \cdot 10^6}{n_{отв}^2 \cdot d_{отв.}^4} - \frac{81 \cdot 10^6}{D_{тр.}^4} + \frac{294 \cdot D_{зр.}}{\kappa^2 \cdot 10^3} \right), \text{ мм,} \quad (4.39)$$

$$H_{зр} = \left(\frac{120}{2 \cdot 4} \right)^2 \cdot \left(\frac{256 \cdot 10^6}{74^2 \cdot 15^4} - \frac{81 \cdot 10^6}{150^4} + \frac{294 \cdot 11800}{134^2 \cdot 10^3} \right) = 215 \text{ мм}$$

або 0,22 м.

де $q_{сек.}$ - розрахункова витрата стічних вод, $\text{дм}^3/\text{с}$; n - кількість біофільтрів;
 $n_{отв.}$ - кількість отворів в одному плечі зрошувача; $d_{отв}$ - діаметр отворів, мм;
 $D_{тр}$ - діаметр труби зрошувача, мм; $D_{зр}$ - діаметр зрошувача, мм; κ - модуль витрати, $\text{дм}^3/\text{с}$.

Модуль витрати κ може бути визначений за формулою М. Павловського або за таблицею, наведеною в додатку Ж (табл. Ж.2) в залежності від діаметра трубопроводу $D_{тр}$.

Отже, в кожному біофільтрі потрібно установити реактивні зрошувачі $D_{зр} = 11,8$ м з чотирма розподільними трубами $D_{тр} = 150$ мм, які

розміщуються на 0,2 м вище поверхні завантаження матеріалу.

4.2.4. Вторинні відстійники

Вторинні відстійники розташовують у технологічній схемі безпосередньо після споруди для біологічного очищення стічних вод, вони слугують для відокремлення активного мулу від біологічно очищеної стічної води, яка виходить з аеротенків, або для затримання біологічної плівки, що надходить з водою з біофільтрів.

Ефективність роботи вторинних відстійників визначає кінцевий ефект очищення стічної води від завислих речовин.

Для технологічних схем біологічного очищення стічних вод в аеротенках вторинні відстійники якоюсь мірою визначають також об'єм аераційних споруд, що залежить від концентрації зворотного мулу та ступеня його рециркуляції, спроможності відстійників ефективно розділяти висококонцентровані мулові суміші.

За конструкцією вторинні відстійники бувають вертикальні, горизонтальні, радіальні й тонкошарові. Для малих очисних станцій з пропускною спроможністю до 20000 м³/добу використовують вертикальні відстійники, для очисних станцій середньої та великої пропускної спроможності понад 15000 м³/добу – горизонтальні, понад 20000 м³/добу - радіальні. Тонкошарові відстійники використовують для інтенсифікації процесу відстоювання.

Кількість вторинних відстійників потрібно приймати не менше трьох за умови, що всі відстійники є робочими.

При проектуванні очисних станцій доцільно приймати вторинні відстійники того ж типу, що й первинні.

Розрахунок вторинних відстійників здійснюється за гідравлічним навантаженням на одиницю площі поверхні, яке для відстійників після аеротенків визначається за формулою:

$$q = \frac{4,5 \cdot K_{відст.} \cdot H_{з.в.}^{0,8}}{(0,1 \cdot J_m^\phi \cdot a_a)^{0,5-0,01 \cdot a_t}}, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (4.40)$$

де $K_{відст.}$ - коефіцієнт використання об'єму відстійників, що приймається для радіальних - 0,4, вертикальних - 0,35 і горизонтальних відстійників - 0,45; $H_{з.в.}$ - глибина зони відстоювання, м; J_m^ϕ - фактичне значення мулового індексу, $\text{см}^3/\text{г}$; a_a - концентрація активного мулу в аеротенку, $\text{г}/\text{дм}^3$; a_t - концентрація активного мулу у воді після відстоювання ($15 \text{ мг}/\text{дм}^3$), $\text{мг}/\text{дм}^3$.

Гідравлічне навантаження на поверхню вторинних відстійників після біофільтрів визначається за формулою:

$$q = 3,6 K_{відст.} \cdot u_0, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (4.41)$$

де u_0 - гідравлічна крупність біоплівки, яка приймається при повній біологічній очистці $1,4 \text{ мм}/\text{с}$.

Для розрахунку споруд для обробки осадів витрату сухої речовини надлишкової біоплівки визначають за формулою:

$$M_{сх.}^{\delta.н.} = \frac{P_{\delta.н.} \cdot N}{10^6}, \text{ т} / \text{доб}, \quad (4.42)$$

де $P_{\delta.н.}$ - приріст надлишкової біоплівки приймають $28 \text{ г}/(\text{люд} \cdot \text{добу})$; N - число жителів, чол.

Загальна площа поверхні вторинних відстійників визначається за формулою:

$$F_{відст..} = \frac{Q_{\max}}{q}, \text{ м}^2, \quad (4.43)$$

де $Q_{\max}$ - максимальна витрата стічних вод з врахуванням рециркуляційної витрати (при необхідності), $\text{м}^3/\text{год}$.

Кількість вторинних відстійників приймається не менше трьох, усі відстійники - робочі. При трьох відстійниках розрахунковий об'єм збільшується в 1,2-1,3 рази. Розміри типових вторинних відстійників наведені у дод. 3, табл. 3.1, 3.2.

Приклад 4.6.

Розрахувати вторинні відстійники після аеротенків на повне очищення. Доза активного мулу в аеротенках 2 г/дм^3 , фактичний муловий індекс $J_m^\phi = 80 \text{ см}^3 / \text{г}$, витрата стічних вод $Q_{\max} = 4022 \text{ м}^3/\text{год}$. Винесення завислих речовин з очищеною стічною водою на виході з вторинних відстійників $a_t = 15 \text{ мг/дм}^3$.

Рішення.

Приймаємо радіальні вторинні відстійники. Приймаємо глибину зони відстоювання $3,1 \text{ м}$. Гідравлічне навантаження визначається за формулою:

$$q = \frac{4,5 \cdot 0,4 \cdot 3,1^{0,8}}{(0,1 \cdot 80 \cdot 15)^{0,5-0,01 \cdot 15}} = 1,69 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

Загальна площа відстійників становитиме

$$F_{\text{відст.}} = \frac{4022}{1,69} = 2380 \text{ м}^2.$$

Приймаємо кількість відстійників – 4.

$$\text{Площа одного відстійника } F_1 = \frac{2380}{4} = 595 \text{ м}^2.$$

$$\text{Діаметр відстійника } D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 595}{3,14}} = 27,5 \text{ м}.$$

Приймаємо 4 вторинних радіальних відстійники діаметром 30 м за типовим проєктом 902-2-89/75 з дод. 3, табл. 3.2 з такими розмірами: загальна глибина $3,7 \text{ м}$, об'єм зони відстоювання 2190 м^3 , об'єм зони осаду 440 м^3 .

5. ТЕХНОЛОГІЇ І СПОРУДИ ДЛЯ ОБРОБКИ ОСАДІВ

Для обробки осадів, які утворюються при біологічному очищенні стічних вод використовують технології, схеми яких із зазначенням споруд і пристроїв наведено в підрозділі 4.1. Обробка осадів первинних відстійників і надлишкового активного мулу включає методи стабілізації, знезараження, зневоднення, а також кондиціонування. Вибір методів і технології в цілому для обробки осадів залежить від властивостей осадів, їх кількості, утилізації і насамперед визначається техніко-економічними розрахунками, можливістю одержання біогазу, використанням осадів як добрива та ін.

5.1. МУЛОУЩІЛЬНЮВАЧІ

Відокремлення активного мулу від очищеної води після аеротенків звичайно здійснюють у вторинних відстійниках, звідки більшу частку мулу повертають в аеротенки, а надлишковий активний мул спрямовують на подальшу обробку. Для зменшення вологості надлишковий активний мул ущільнюють в мулоущільнювачах, які конструктивно являють собою вертикальні чи радіальні відстійники.

Кількість мулоущільнювачів (N) приймається не менше двох.

Якщо за розрахунком кількість вертикальних мулоущільнювачів перевищує 4, то рекомендується застосовувати радіальні мулоущільнювачі, які мають більші розміри.

При розрахунку радіальних мулоущільнювачів визначають корисну площу поверхні за формулою:

$$F_m = \frac{q_{nam}}{q_o}, \text{ м}^2, \quad (5.1)$$

де q_o - розрахункове навантаження на одиницю площі поверхні, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, яке приймається 0,3 при концентрації активного мулу 5-8 г/дм^3 та 0,5 - при концентрації мулу 2-3 г/дм^3 .

Діаметр радіального мулоущільнювача визначають за формулою:

$$D = \sqrt{4F_m / (\pi \cdot N)}, \text{ м}, \quad (5.2)$$

де N - кількість споруд.

Радіальні мулоушільнювачі влаштовують на базі типових вторинних радіальних відстійників.

Висоту зони ущільнення мулу визначають за формулою:

$$H_{\text{ущ}} = q_0 \cdot t, \text{ м}, \quad (5.3)$$

де t - тривалість ущільнення активного мулу, год, приймається 5-8 год при концентрації НАМ – 2-3 г/дм³ та 10 год при концентрації НАМ - 5-8 г/дм³.

Приклад 5.1.

Розрахувати мулоушільнювачі для очисної станції з аеротенками для очищення господарсько-побутових стічних вод продуктивністю $Q_{\text{сер.доб}} = 50000 \text{ м}^3/\text{добу}$. Концентрація завислих речовин у стічних водах на вході в аеротенки $C_{\text{ЗР}}^{\text{кф}} = 134 \text{ мг} / \text{дм}^3$, $C_{\text{сум,БСК}}^a = 338 \text{ мг} / \text{дм}^3$. Концентрація активного мулу в регенераторі $C_{\text{НАМ}} = 8000 \text{ мг} / \text{дм}^3$.

Рішення.

Приріст активного мулу в аеротенку розраховується за формулою:

$$P = 0,8 \cdot C_{\text{ЗР}}^{\text{кф}} + K_{\text{П}} \cdot C_{\text{сум,БСК}}^a = 0,8 \cdot 134 + 0,3 \cdot 338 = 208 \text{ мг} / \text{дм}^3, \quad (5.4)$$

де $C_{\text{ЗР}}^{\text{кф}}$ – концентрація завислих речовин в стічній воді, що надходить в аеротенк, мг/дм³; $C_{\text{сум,БСК}}^a$ - показник БСК_{повн} стічної води, що надходить в аеротенк, мг/дм³; $K_{\text{П}}$ - коефіцієнт приросту активного мулу для господарсько-побутових стічних вод та близьких до них за складом виробничих стічних вод, який становить 0,3.

Максимальна годинна витрата надлишкового активного мулу визначається за формулою:

$$q_{\text{нам}} = \frac{1,3 \cdot P \cdot Q_{\text{сум.доб}}}{24 \cdot C_{\text{НАМ}}} = \frac{4,3 \cdot 208 \cdot 50000}{24 \cdot 8000} = 70,4 \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (5.5)$$

де $Q_{\text{сум.доб}}$ – добова витрата суміші побутових та виробничих стічних вод,

м³/добу; C_{HAM} - концентрація надлишкового активного мулу, мг/дм³, яка приймається рівною дозі активного мулу у регенераторі; 1,3 - коефіцієнт сезонної нерівномірності приросту активного мулу.

Витрата мулової рідини, яка утворюється під час ущільнення мулу, визначається за формулою:

$$q_{mp} = \frac{q_{nam} \cdot (W_{ny} - W_{yuc})}{100 - W_{yuc}} = \frac{70,4 \cdot (99,2 - 97)}{100 - 97} = 51,6 \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (5.6)$$

де W_{ny} - вологість неущільненого мулу, %; W_{yuc} - вологість ущільненого мулу, приймається 97-98 %.

Годинна витрата ущільненого мулу складає

$$q_{yuc} = q_{nam} - q_{mp} = 70,4 - 51,6 = 18,8 \text{ м}^3 / \text{год}. \quad (5.7)$$

Приймається вертикальний мулоущільнювач.

Площа поперечного перерізу центральної труби вертикального мулоущільнювача буде складати

$$F_{um} = \frac{q_{nam}}{3600 \cdot v_{mp}} = \frac{70,4}{3600 \cdot 0,1} = 0,2 \text{ м}^2, \quad (5.8)$$

де v_{mp} - швидкість руху мулу в центральній трубі, яка приймається 0,1 м/с.

Площа поперечного перерізу зони ущільнення буде складати

$$F_{zy} = \frac{q_{mp}}{3,6 \cdot v_{zy}} = \frac{51,6}{3,6 \cdot 0,1} = 143,3 \text{ м}^2, \quad (5.9)$$

де v_{zy} - швидкість руху мулової рідини в зоні ущільнення, мм/с. Приймається 0,1 мм/с.

Діаметр мулоущільнювача визначається за формулою:

$$D = \sqrt{\frac{F_{um} + F_{zy}}{0,785 \cdot N}} = \sqrt{\frac{0,2 + 143,3}{0,785 \cdot 3}} = 7,8 \text{ м}, \quad (5.10)$$

де N - кількість мулоущільнювачів, приймаємо $N = 3$.

Вертикальні мулоущільнювачі влаштовують на базі типових первинних відстійників (дод. Д, табл. Д.8). Приймається вертикальний мулоущільнювач $D = 9$ м. При розрахунку вертикальних мулоущільнювачів висоту робочої

зони визначають за формулою:

$$H_p = 3,6 \cdot v \cdot t = 3,6 \cdot 0,1 \cdot 10 = 3,6 \text{ м}, \quad (5.11)$$

де v - швидкість руху мулової рідини в зоні ущільнення, мм/с. Для вертикальних мулоущільнювачів приймається 0,1 мм; t - тривалість ущільнення активного мулу, год. Приймається 10-12 год.

Тривалість ущільнення мулової суміші становить

$$T_{\text{ущ}} = \frac{H_p}{3,6 \cdot v_{\text{зп}}} = \frac{3,6}{3,6 \cdot 0,1} = 10 \text{ год}, \quad (5.12)$$

де H_p - робоча висота вертикального мулоущільнювача, м.

Отримане значення тривалості ущільнення повинно знаходитись в рекомендованих межах - 10-12 год.

Об'єм мулової частини мулоущільнювача

$$W_m = q_{\text{НАМ}} \frac{100 - W_{\text{ну}}}{100 - W_{\text{ущ}}} \cdot \frac{t_m}{N} = 70,4 \frac{100 - 99,2}{100 - 97} \cdot \frac{8}{3} = 50,1 \text{ м}^3, \quad (5.13)$$

де t_m - тривалість перебування мулу в муловій частині, при вивантаженні його 1 раз на зміну приймається рівною 8 год.

5.2. РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ ОСАДІВ І НАДЛИШКОВОГО АКТИВНОГО МУЛУ

Приклад 5.2.

Визначити витрати осадів і надлишкового активного мулу для очисної станції продуктивністю $Q_{\text{сум.доб}} = 50000 \text{ м}^3/\text{добу}$. Концентрація завислих речовин у стічній воді перед первинними відстійниками $C_{\text{зр}}^{\text{сум}} = 325 \text{ мг/дм}^3$, ефект очищення від завислих речовин $E = 58\%$. Приріст активного мулу в аеротенках $\Pi = 208 \text{ мг/дм}^3$, винесення активного мулу з вторинних відстійників $b = 15 \text{ мг/дм}^3$. Вологість осаду з первинних відстійників $W_{\text{ос}} = 95\%$, вологість ущільненого активного мулу $W_m = 97\%$.

Рішення.

Для розрахунку метантенка або аеробного стабілізатора потрібно визначити витрату сухої речовини осаду

$$O_{\text{сух}} = \frac{C_{3P}^{\text{сум}} \cdot E \cdot k \cdot Q_{\text{сум.доб}}}{10^6} = \frac{325 \cdot 0,58 \cdot 1,1 \cdot 50000}{10^6} = 10,37 \text{ т} / \text{доб}, \quad (5.14)$$

де $C_{3P}^{\text{сум}}$ - концентрація завислих речовин в суміші побутових і виробничих стічних вод міста, мг/дм³; E - ефект затримання завислих речовин у первинних відстійниках у частках 1; k - коефіцієнт, що враховує крупні частинки, які не уловлюються при відборі проб (рекомендується приймати рівним 1,1-1,2); $Q_{\text{сум.доб}}$ - розрахункова витрата стічних вод, м³/добу.

Визначається витрата надлишкового активного мулу

$$M_{\text{сух}} = \frac{Q_{\text{сум.доб}} \cdot (П - b)}{10^6} = \frac{50000(208 - 15)}{10^6} = 9,65 \text{ т} / \text{доб}, \quad (5.15)$$

де $П$ - приріст активного мулу, мг/дм³; b - концентрація активного мулу в стічній воді на виході з вторинних відстійників, 15 мг/дм³.

Витрату беззольної речовини осаду ($O_{\text{без}}$) та надлишкового активного мулу ($M_{\text{без}}$) визначають за формулами:

$$O_{\text{без}} = \frac{O_{\text{сух}} \cdot (100 - B_{\text{ос}}) \cdot (100 - Z_{\text{ос}})}{10^4} = \frac{10,37 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{10^4} = 6,9 \text{ т} / \text{доб}, \quad (5.16)$$

$$M_{\text{без}} = \frac{M_{\text{сух}} \cdot (100 - B_{\text{м}}) \cdot (100 - Z_{\text{м}})}{10^4} = \frac{9,65 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{10^4} = 6,42 \text{ т} / \text{доб}, \quad (5.17)$$

де $B_{\text{ос}}$ та $B_{\text{м}}$ - гігроскопічна вологість осаду та активного мулу, яка приймається 5-6 %; $Z_{\text{ос}}$ та $Z_{\text{м}}$ - зольності, відповідно, осаду та активного мулу, які для побутових стічних вод приймають рівними 30%.

Витрати осаду та активного мулу фактичної вологості за умови, що їх густина дорівнює 1 т/м³, визначають за формулами:

$$V_{\text{ос}} = \frac{100 \cdot O_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{ос}}) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 10,37}{(100 - 95) \cdot 1} = 207,4 \text{ м}^3 / \text{доб}, \quad (5.18)$$

$$V_{\text{м}} = \frac{100 \cdot M_{\text{сух}}}{(100 - W_{\text{м}}) \cdot \rho} = \frac{100 \cdot 9,65}{(100 - 97) \cdot 1} = 321,7 \text{ м}^3 / \text{доб}, \quad (5.19)$$

де $W_{\text{ос}}$ - вологість осаду, яка приймається: при самопливному видаленні – 95 %, при видаленні плунжерними насосами - 93,5-94,0 %; $W_{\text{м}}$ - вологість ущільненого мулу, % (дод. К, табл. К.1).

Вміст сухої речовини в осаді

$$S_{\text{сух}} = O_{\text{сух}} + M_{\text{сух}} = 10,37 + 9,65 = 20,02 \text{ т} / \text{доб}. \quad (5.20)$$

Вміст беззольної речовини в осаді

$$S_{\text{без}} = O_{\text{без}} + M_{\text{без}} = 6,9 + 6,42 = 13,32 \text{ т} / \text{доб}. \quad (5.21)$$

Загальна витрата осаду та активного мулу буде складати

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{ос}} + V_{\text{м}} = 207,4 + 321,7 = 529,1 \text{ м}^3 / \text{доб}. \quad (5.22)$$

Середня вологість суміші осаду та активного мулу буде дорівнювати

$$W_{\text{сер}} = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_{\text{сух}}}{V_{\text{заг}}}\right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{20,02}{529,1}\right) = 96,2 \%. \quad (5.23)$$

Середня зольність суміші осаду та активного мулу буде дорівнювати

$$Z_{\text{сер}} = \left[1 - \frac{S_{\text{без}}}{O_{\text{сух}} \cdot \left(\frac{100 - B_{\text{ос.}}}{100}\right) + M_{\text{сух}} \cdot \left(\frac{100 - B_{\text{м.}}}{100}\right)} \right] \cdot 100, \%. \quad (5.24)$$

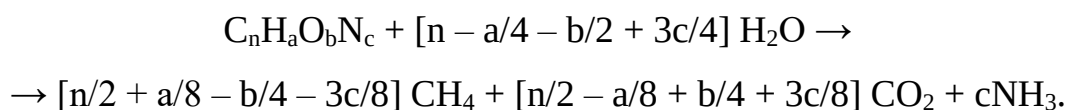
$$Z_{\text{сер}} = \left[1 - \frac{13,32}{10,37 \cdot \left(\frac{100 - 5}{100}\right) + 9,65 \cdot \left(\frac{100 - 5}{100}\right)} \right] \cdot 100 = 30\%.$$

5.3. МЕТАНТЕНКИ

Для знешкодження осадів стічних вод використовують анаеробне зброджування, яке здійснюють у метантенках. Метантенк являє собою циліндричний залізобетонний або сталевий резервуар з конічним або плоским днищем і герметичним покриттям, у верхній частині якого є ковш для збору газу, звідки він відводиться для використання.

Метанове зброджування – це процес розкладення органічних речовин до кінцевих продуктів, здебільшого метану та вуглекислого газу в результаті життєдіяльності складного комплексу мікроорганізмів в анаеробних умовах. За оптимальних умов ці гази можуть утворюватись у кількості, рівній 90–95% органічної речовини, що біологічно розкладається. Решта 5–10% витрачається на відтворення бактеріальних клітин.

Хімічне рівняння повного перетворення органічної речовини осадів у кінцеві продукти було запропоновано Басвеллом



Маккарті запропонував хімічну формулу органічної речовини осаду первинних відстійників при очищенні побутових стічних вод і показав, що його повна деструкція здійснюється таким чином:



Для активного мулу було запропоновано низку формул:

- Поргесом – $C_5H_7O_2N$;
- Берхедом і Ведлом – від C_4H_9ON до $C_8H_{15}O_5N$ у залежності від тривалості перебування в аеротенку;
- Карюхиною Т.А. – $C_7H_{13}O_3N$.

Суміш метану й оксиду карбону (IV) називають біогазом; його теплота згоряння складає 18–24 МДж/м³, а чистого метану – 37,3 МДж/м³.

Згідно із сучасними уявленнями, анаеробне метанове зброджування включає чотири взаємозв'язані стадії [4]:

- ферментативного гідролізу нерозчинених складних органічних речовин з утворенням більш простих розчинених;
- кислотоутворення з виділенням летких жирних кислот (ЛЖК), амінокислот, спиртів, а також водню й вуглекислого газу – кислотогенна;
- ацетогенну – перетворення ЛЖК, амінокислот і спиртів на оцтову кислоту, яка дисоціює на аніон ацетату й катіон водню;

– метаногенну – утворення метану з оцтової кислоти, а також у результаті реакції відновлення воднем вуглекислого газу.

Метанові бактерії, які беруть участь у процесі, – *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanotrix*, *Methanosarcina*.

При зброджуванні осадів міських стічних вод із метаногенів, які використовують ацетат, переважно розвиваються дві останні групи бактерій. Залежно від рН, тривалості зброджування й температури переважає одна з них. Так, в мезофільному режимі (32–38°C) сарцини ростуть швидше, та їх чисельність подвоюється за 20–30 год., а бактерії *Methanotrix* ростуть повільніше – 200–300 год., проте використовують більш низькі концентрації ацетату, в результаті чого вони більш стійко ростуть в асоціації та витісняють метаносарцини [4].

Для перемішування осаду в метантенку можна використовувати насоси, які забирають осад із нижньої частини споруди та подають у верхню, гідроелеватори або спеціальні мішалки.

Основним чинником, який визначає швидкість процесу бродіння органічної речовини в метантенку, є температура. У метантенках використовують два температурних режими:

- мезофільний з оптимальною температурою в межах 32–35°C;
- термофільний з оптимальною температурою 52–55°C.

Температура впливає насамперед на швидкість біологічної конверсії органічної речовини мікроорганізмами. Швидкість розпаду жирів, вуглеводів і білків у термофільних умовах у 1,6–1,7 рази вища, ніж у мезофільних. Вміст жирів, вуглеводів і білків в органічній речовині осадів міських стічних вод складає 65–80%, решта – в основному, це лігніно-гумусовий комплекс, який у газоутворенні не бере участь.

Перевагами термофільного режиму є підвищення виходу газу, зменшення об'ємів метантенків, зниження санітарно-гігієнічної небезпеки осаду, але більші енерговитрати ніж при використанні мезофільного режиму.

Для підігріву осаду передбачають установку парових інжекторів і підігрів здійснюють гострою парою.

Найбільша кількість газу 60–65% утворюється за рахунок розпаду жирів, решта 40–35% – приблизно порівну припадає на вуглеводи й білки. Всі три компоненти органічної речовини осадів зброджуються не повністю: межі їх зброджування складають 70% – для жирів, 62,5% – для вуглеводів і 48% – для білків.

Кількість газу, що виділяється з 1 кг органічної речовини осаду при розпаді, – вихід газу, можна розрахувати за рівнянням Маккарті: вона становить 1,2 м³, у тому числі 0,7 м³ СН₄ і 0,5 м³ СО₂. Вихід газу з органічної речовини осаду можна обчислити за показником ХСК: 1 г ХСК осаду, що розклався, згідно рівнянню за стандартних умов, утворює 0,35 дм³ СН₄. Проте, навіть при нескінченно довгому перебуванні осаду не відбувається повного розпаду всієї органічної речовини осаду та перетворення її на біогаз. Частина органічної речовини синтезується в біомасу мікроорганізмів, що беруть участь у процесі, частина переходить у розчинений стан, створюючи лужність середовища, а частина зовсім не зброджується (лігнін).

Практично вихід газу при зброджуванні 1 кг сирих завантажених осадів міських стічних вод складає 0,49–0,52 м³, для надлишкового активного мулу – 0,42–0,43 м³. Вихід біогазу на 1 кг беззольної речовини, що розклалась, становить 0,95 і 1,07 м³ для осадів первинних відстійників, що в середньому на 10 % не узгоджується із значенням, одержаним за рівнянням Маккарті (1,2 м³/кг). Очевидно, це можна пояснити тим, що рівняння не враховує приріст біомаси та незброджену частину органічної речовини, яка залишилась.

Практична межа зброджування осаду змінюється від 40 до 70 % за зниженням беззольної речовини, від 40 до 60 % за ХСК і від 60 до 90 % за БСК сирих і зброджених осадів.

Ступінь зброджування активного мулу завжди менший, ніж осаду з первинних відстійників, і його межа становить 20–50%. Межа зброджування

активного мулу залежить від часу його перебування та навантаження за забрудненнями, при яких він працював в аеротенку. Чим молодший мул, тим у ньому більше живих бактеріальних клітин, які біологічно розкладаються на 68%, тим вище практична межа зброджування, хоча внаслідок високого вмісту у мулі білків вона нижча, ніж у осадів. На зниження практичної межі зброджування впливає і вміст у старих мулах залишків мертвих клітин, які біологічно погано розкладаються, та стійких органічних речовин, гідроліз яких лімітує процес зброджування.

За конструкцією метантенки поділяють на:

- метантенки з нерухомим незатопленим перекриттям;
- метантенки з рухомим (плаваючим) перекриттям.

Розрахункова схема метантенки наведена на рис. 5.1.

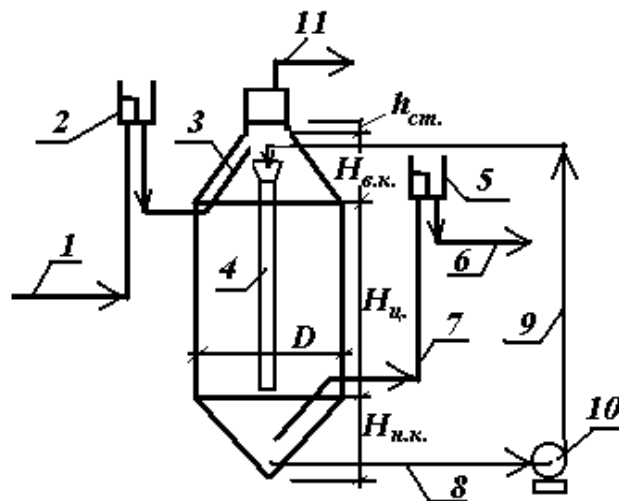


Рис. 5.1. Розрахункова схема метантенки:

- 1 - трубопровід подачі осаду на зброджування; 2 - завантажувальна камера;
 3 - впускний трубопровід; 4 - труба з гідроелеватором; 5 - розвантажувальна камера;
 6 - трубопровід випуску збродженого осаду; 7 - випускний трубопровід;
 8 - всмоктувальний трубопровід системи перемішування; 9 - напірний трубопровід системи перемішування; 10 - насос для перемішування осаду; 11 - випуск газу

Метантенк з нерухомим незатопленим перекриттям наведено на рис. 5.2.

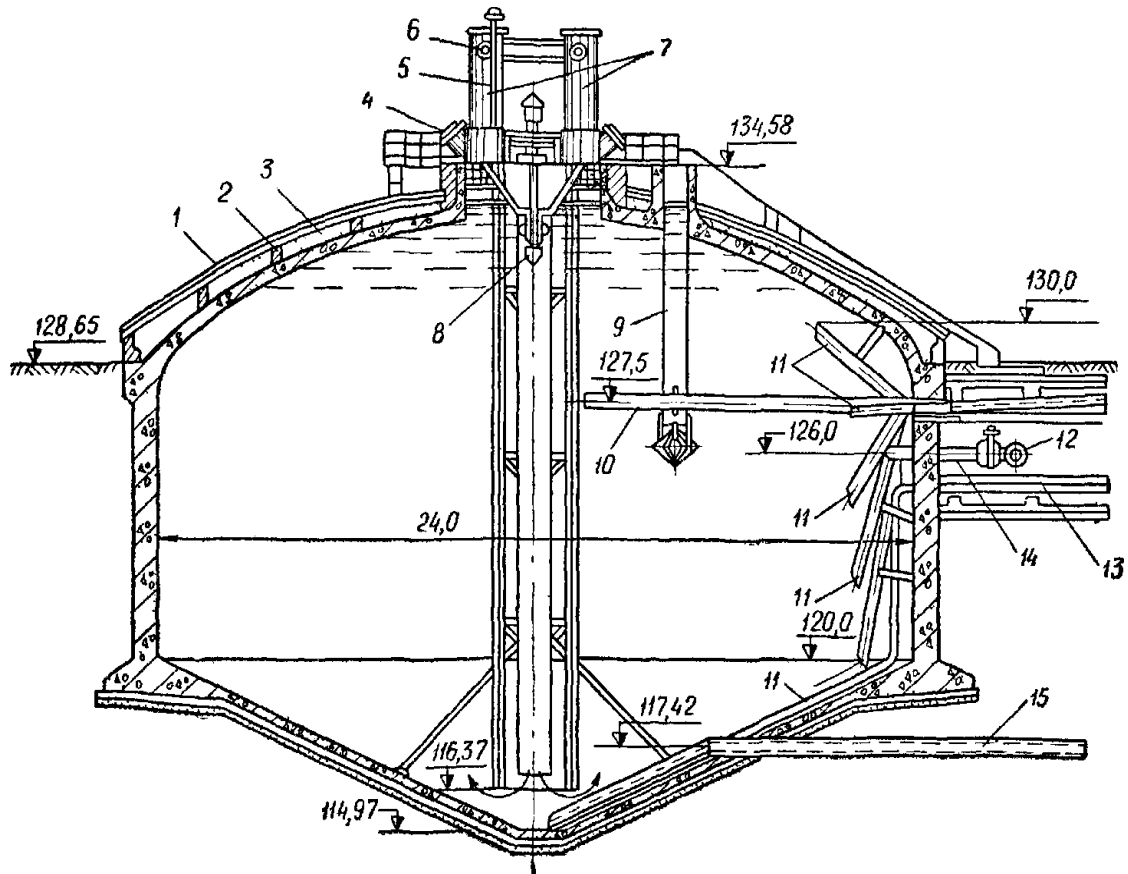


Рис. 5.2. Метантенк:

1 – м'яка покрівля; 2 – цегла; 3 – шлак; 4 – оглядовий люк; 5 – труба для випуску газу в атмосферу; 6 – газопровід, $d = 200$ мм, від газового ковпака; 7 – газові ковпаки; 8 – пропелерна мішалка; 9 – переливна труба; 10 – трубопровід, $d = 250$ мм, для завантаження сирого осаду та активного мулу; 11 – трубопроводи, $d = 220$ мм, для видалення мулової води та вивантаження збродженого осаду з різних горизонтів; 12 – інжектор, $d = 300$ мм, для підігріву метантенків; 13 – трубопровід, $d = 250$ мм, для вивантаження збродженого осаду з конусної частини метантенка; 14 – термометр опору; 15 – трубопровід, $d = 250$ мм, для спорожнення метантенка (в футлярі)

У верхній частині перекриття метантенка розташовано горловину. Поверхня маси, яка бродить, завжди знаходиться вище основи горловини, внаслідок чого площа вільного дзеркала в метантенку значно зменшується. При цьому збільшується інтенсивність газовиділення на одиницю площі, що сприяє розбиванню кірки, яка може утворюватися на поверхні осаду.

У метантенку потрібно забезпечити газо- та теплоізоляцію перекриття.

При пониженні рівня осаду в метантенку в момент випуску збродженого осаду тиск у газовому просторі може впасти настільки, що утворюється вакуум. Це викликає надходження в газовий простір повітря, яке в суміші з газом у певних співвідношеннях утворює вибухову суміш. Тому, необхідно регулювати тиск газу в межах 0,1–0,2 м вод. ст., що досягається влаштуванням на лінії газопроводу газгольдера.

Біогаз, що одержують в метантенках у результаті процесу зброджування осаду, містить 65–70% метану і 25–30% оксиду вуглецю (IV) за об'ємом; у невеликих кількостях містяться й інші складові: 2–4% CO, до 1% азоту, водень, а також до 1,5% різних вуглеводнів (крім метану) і невелика кількість сірководню.

Надлишковий тиск біогазу на виході з метантенків становить 2000–4000 Па (200–400 мм вод. ст.), температура біогазу залежить від режиму зброджування. Густина біогазу залежить від його складу і зазвичай дорівнює 1,0–1,2 кг/м³. Оскільки метан є основним компонентом біогазу, останній можна розглядати як паливо. Використання 1 м³ біогазу при ККД = 100% еквівалентне економії 0,714 кг умовного палива. Корисна теплота згоряння біогазу, як правило, не нижче 20 МДж/м³ [4].

Через нерівномірність виходу біогазу на газопроводі метантенків звичайно влаштовують акумулятор – мокрий газгольдер.

Приклад 5.4.

Розрахувати метантенки для очисної станції з витратою осаду та активного мулу $V_{\text{заг}} = 529,1 \text{ м}^3/\text{добу}$. Середня вологість $W_{\text{сер}} = 96,2\%$. Концентрація ПАР у стічних водах на вході на очищення $C_{\text{ПАР}} = 10 \text{ мг/дм}^3$. Дані прийняти з прикладу 5.2.

Рішення.

Робочий об'єм метантенка визначається за формулою:

$$V_{мет} = \frac{100 \cdot V_{заг.}}{D} = \frac{100 \cdot 529,1}{9,2} = 5751 м^3, \quad (5.25)$$

де D - добова доза завантаження осаду в метантенк, %, яка приймається в залежності від режиму зброджування та середньої вологості завантажуваного осаду. При $W_{сер} = 96,2\%$, $D = 9,2\%$ (дод. Л, табл. Л.1). Приймається режим зброджування – мезофільний.

При наявності в стічних водах поверхнево-активних речовин прийняту дозу завантаження необхідно перевірити за формулою:

$$D^{ПАР} = \frac{10 \cdot D_{зр}^{ПАР}}{C_{ПАР} \cdot (100 - W_{сер})}, \%, \quad (5.26)$$

де $D_{зр}^{ПАР}$ - гранично-допустиме завантаження робочого об'єму метантенків ПАР, яке для побутових стічних вод приймається рівним $65 \text{ г}/(\text{м}^3 \cdot \text{добу})$; $C_{ПАР}$ – концентрація поверхнево-активних речовин в осаді, мг/г.

Концентрація поверхнево-активних речовин в суміші осаду та активного мулу визначається за виразом:

$$C_{ПАР} = \frac{(a_o \cdot O_{сyx} + a_m \cdot M_{сyx})}{S_{сyx}} = \frac{(9 \cdot 10,37 + 5 \cdot 9,65)}{20,02} = 7,1 \text{ мг} / \text{г}, \quad (5.27)$$

де a_o та a_m - концентрація ПАР в осаді та в активному мулі, мг/г, яка приймається в залежності від концентрації ПАР у стічній воді (дод. Л, табл. Л.2).

$$D^{ПАР} = \frac{10 \cdot 65}{7,1 \cdot (100 - 96,2)} = 24,1\%,$$

При концентрації ПАР у стічних водах $C_{ПАР} = 10 \text{ мг}/\text{дм}^3$ $a_o = 9 \text{ мг}/\text{г}$, $a_m = 5 \text{ мг}/\text{г}$. Оскільки $D < D^{ПАР}$, то об'єм метантенків визначаємо за величиною D .

Якщо при перевірочному розрахунку виявиться, що $D > D^{ПАР}$, то об'єм метантенків визначають за величиною $D^{ПАР}$. Кількість метантенків приймається не менше двох, обидва робочі. Розміри типових метантенків наведено в додатку Л, табл. Л. 3.

Приймаються 4 метантенки за ТП 902-2-228 об'ємом $V_{мет}^1 = 1600 м^3$, діаметром 15 м, висотою верхнього конуса 2,35 м, циліндричної частини 7,5 м, нижнього конуса 2,6 м. Загальний об'єм метантенків $V_{мет} = 4 \cdot 1600 = 6400 м^3$.

Максимально можливий розпад беззольної речовини суміші осаду та активного мулу визначається за формулою:

$$R_{zp} = \frac{(R_o \cdot O_{без} + R_m \cdot M_{без})}{S_{без}} = \frac{53 \cdot 6,9 + 44 \cdot 6,42}{13,32} = 48,7\%, \quad (5.28)$$

де R_o та R_m - максимально можливий розпад беззольної речовини осаду та активного мулу, який складає, відповідно, 53 та 44 %.

Фактичний розпад беззольної речовини буде складати

$$R = R_{zp} - (D^\phi \cdot K_p) = 48,7 - (8,3 \cdot 0,53) = 44,3\%, \quad (5.29)$$

де K_p - коефіцієнт, який залежить від вологості 96,2% та режиму зброджування - мезофільний (дод. Л. табл. Л.4) $K_p = 0,53$; D^ϕ - фактична доза завантаження метантенка, %.

$$D^\phi = \frac{100 \cdot V_{заг}}{V_{мет}} = \frac{100 \cdot 529,1}{6400} = 8,3\%.$$

Кількість беззольної та сухої речовини в збродженій суміші буде складати

$$S_{без}^{зб} = \frac{S_{без} \cdot (100 - R)}{100} = \frac{13,32 \cdot (100 - 44,3)}{100} = 7,42 м / доб; \quad (5.30)$$

$$S_{сух}^{зб} = (S_{сух} - S_{без}) + S_{без}^{зб} = (20,02 - 13,32) + 7,42 = 14,12 м / доб. \quad (5.31)$$

Зольність та вологість збродженої суміші визначаються за формулами:

$$Z_{заг}^{зб} = 100 \cdot \left(1 - \frac{100 \cdot S_{без}^{зб}}{S_{сух}^{зб} (100 - B_z)} \right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{100 \cdot 7,42}{14,12 \cdot (100 - 5)} \right) = 55,3\%, \quad (5.32)$$

$$W_{заг}^{зб} = 100 \cdot \left(1 - \frac{S_{сух}^{зб}}{V_{заг}} \right) = 100 \cdot \left(1 - \frac{14,12}{529,1} \right) = 97,3\%, \quad (5.33)$$

де B_z - гігроскопічна вологість збродженої суміші, яка приймається 5-6 %.

При метановому зброджуванні осаду утворюється біогаз із розрахунку

1 г газу на 1 г розкладеної беззольної речовини. Об'ємна вага газу (ρ_z) складає 1 кг/м³. Тоді витрата утвореного біогазу буде складати

$$Q_{\Gamma} = \frac{1000 \cdot q_z \cdot S_{\text{без}}^{\text{зо}}}{\rho_z} = \frac{1000 \cdot 1 \cdot 7,42}{1} = 7420 \text{ м}^3 / \text{добу}, \quad (5.34)$$

де q_z – питомий вихід газу, який становить 1 м³ на 1 кг беззольної речовини осаду, що розклався в процесі зброджування.

Для регулювання тиску та зберігання газу у складі очисних споруд передбачаються газгольдини «мокрого типу», об'єм яких розраховується на 2-4 години перебування газу (t_{Γ}) [1, п.10.7.8].

$$V_{\Gamma} = \frac{Q_{\Gamma} \cdot t_{\Gamma}}{24} = \frac{7420 \cdot 4}{24} = 1236,7 \text{ м}^3. \quad (5.35)$$

Розміри типових газгольдерів наведено в додатку Л, табл. Л.5. Кількість газгольдерів приймається не менше двох.

Приймаємо 2 газгольдини «мокрого типу» об'ємом 600 м³, діаметром 11,48 м, висотою 15,4 м.

5.4. АЕРОБНІ СТАБІЛІЗАТОРИ

Аеробна стабілізація полягає в тривалій аерації надлишкового активного мулу (ущільненого або неущільненого) чи суміші неущільненого надлишкового активного мулу та сирого осаду первинних відстійників, внаслідок чого вони втрачають здатність до загнивання. На початку процесу органічна речовина осаду метаболізується активним мулом, що призводить до зменшення маси органічної речовини осаду та приросту активного мулу. Після повного використання органічних речовин починається стабілізація власне активного мулу. Отже, в процесі аеробної стабілізації відбувається біохімічне окиснення ендogenous субстрату в аеробних умовах, що супроводжується нітрифікацією амонійного азоту.

Розпад беззольної речовини осаду в процесі аеробної стабілізації залежить від межі її розпаду, тривалості стабілізації та величини константи

швидкості розпаду беззольної речовини осаду.

Встановлено, що біохімічному розпаду піддається близько 65-80% беззольної речовини активного мулу та близько 60% - сирого осаду з первинних відстійників. В процесі аеробної стабілізації жири розпадаються на 65-75%, білки – на 20-30%, а вміст вуглеводів майже не змінюється.

Значення константи швидкості розпаду беззольної речовини осаду залежить від виду осаду, температури процесу, віку мулу, його концентрації в стабілізаторі та ін. При збільшенні температури, віку мулу та його концентрації швидкість стабілізації зростає.

Критерієм закінчення процесу стабілізації є розпад беззольної речовини, який для надлишкового активного мулу повинен становити 20-30%, для його суміші із сирим осадом первинних відстійників – 30-40%. Такий розпад забезпечується при тривалості перебування в аеробному стабілізаторі за температури 20 °C:

- надлишкового активного мулу – 2-5 діб;
- суміші сирого осаду та неущільненого активного мулу – 6-7 діб;
- суміші сирого осаду та ущільненого активного мулу – 8-12 діб.

Для аеробної стабілізації слід передбачати споруди типу коридорних аеротенків. Для подачі повітря використовують пневматичну систему аерації - крупно- або середньобульбашкову. Питому витрату повітря на аерацію потрібно приймати 1-2 м³/год на 1 м³ об'єму стабілізатора. Інтенсивність аерації повинна становити не менше 5 м³/(м²·год) для активного мулу та не менше 6 м³/(м²·год) для суміші осаду й мулу для забезпечення підтримання осаду в завислому стані та необхідної кількості кисню для окиснення органічних речовин осаду.

В процесі аеробної стабілізації спостерігається зменшення вмісту в осаді патогенних мікроорганізмів, зменшення вмісту кишкової палички досягає 70-99%, інактивуються віруси. Проте яйця гельмінтів не гинуть, тому потрібно використовувати після стабілізації дегельмінтизацію осадів для безпечної їх утилізації, наприклад, як добрива.

Перевагами аеробних стабілізаторів є простота конструкції та експлуатації, вибухобезпечність, покращення вологовіддаючих властивостей осадів, мала (порівняно з анаеробним зброджуванням) залежність процесу від токсичних домішок, СПАР, іонів важких металів, які можуть міститись в осаді. Недоліки – значна витрата електроенергії на аерацію, обов’язкове знезараження стабілізованих осадів, зниження ефективності стабілізації взимку.

Приклад 5.4.

Розрахувати аеробні стабілізатори для очисної станції з витратою осаду та неущільненого активного мулу $V_{заг} = 529,1 \text{ м}^3/\text{добу}$. Дані прийняти з прикладу 5.2.

Рішення.

Визначається розрахунковий об’єм аеробного стабілізатора за формулою:

$$V_{ac} = V_{заг.} \cdot t_{ac} = 529,1 \cdot 7 = 3704 \text{ м}^3, \quad (5.36)$$

де t_{ac} - тривалість стабілізації осаду за температури, яка приймається рівною мінімальній середньомісячній температурі стічних вод, діб. Приймається для суміші осаду з первинних відстійників та неущільненого активного мулу 6-7 діб, для суміші осаду з первинних відстійників та ущільненого активного мулу 8-12 діб. Приймаємо перший варіант - $t_{ac} = 7 \text{ діб}$.

При розпаді в процесі аеробної стабілізації 40 % беззольної речовини осадів (X) масу сухої речовини аеробно стабілізованого осаду можна визначити за формулою:

$$M_{сух}^{ac} = S_{сух} - S_{без} \cdot \frac{(100 - X)}{100} = 20,02 - 13,32 \cdot \frac{(100 - 40)}{100} = 12,03 \text{ т / доб.} \quad (5.37)$$

Ущільнення аеробно стабілізованого осаду доцільно здійснювати у спеціально виділеній зоні в аеробному стабілізаторі. Об’єм зони ущільнення осаду при цьому складе

$$V_{з.у.} = \frac{V_{заг.} \cdot t_y}{24} = \frac{529,1 \cdot 3}{24} = 66,1 \text{ м}^3, \quad (5.38)$$

де t_y - тривалість ущільнення аеробно стабілізованого осаду, яка приймається 1,5-5 годин.

Аеробну стабілізацію влаштовують у спорудах типу коридорних аеротенків [4]. Кількість секцій аеробного стабілізатора (не менше двох) при цьому складе

$$N_{ac} = \frac{(V_{ac} + V_{з.у.})}{V_1} = \frac{3704 + 66,1}{1896} = 1,99 \text{ шт}, \quad (5.39)$$

де V_1 - об'єм однієї секції аеробного стабілізатора, м^3 .

Приймається $N_{a.c.}^{\phi} = 2$ шт.

Тоді фактичний сумарний об'єм аеробного стабілізатора при цьому буде

$$V_{a.c.}^{\phi} = (V_1 \cdot N_{a.c.}^{\phi}) - V_{з.у.} = (1896 \cdot 2) - 66,1 = 3726 \text{ м}^3, \quad (5.40)$$

де $N_{a.c.}^{\phi}$ - прийнята кількість секцій аеробного стабілізатора.

Приймається з дод. Е, табл. Е.3 типовий аеротенк-витиснювач ТП 902-2-195 об'ємом секції 1896 м^3 , розмірами: ширина коридору $B = 4,5 \text{ м}$, робоча висота $H_p = 4,4 \text{ м}$, кількість коридорів - 2.

Витрата повітря, що подається в аеробний стабілізатор, повинна складати

$$Q_{нов.}^{a.c.} = V_{a.c.}^{\phi} \cdot q_{ac} = 3726 \cdot 2 = 7452 \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (5.41)$$

де $q_{a.c.}$ - питома витрата повітря, $\text{м}^3/\text{год}$ на 1 м^3 об'єму аеробного стабілізатора. Приймається рівною $1-2 \text{ м}^3/(\text{год} \cdot \text{м}^3)$ у залежності від вологості суміші осаду та надлишкового активного мулу $B_{сум}$, відповідно, 99,5-97,5 %.

Інтенсивність аерації при цьому складає

$$I = \frac{Q_{нов.}^{a.c.} \cdot H}{V_{a.c.}^{\phi}} = \frac{7452 \cdot 4,4}{3726} = 8,8 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год}), \quad (5.42)$$

де H - робоча висота аеробного стабілізатора, м , яка дорівнює висоті води в аеротенку, $H = 4,4 \text{ м}$.

Інтенсивність аерації в аеробному стабілізаторі не повинна бути меншою $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Умова виконується.

Витрата ущільненого аеробно стабілізованого осаду складає

$$V_{\text{заг.}}^y = \frac{M_{\text{сух.}}^{a.c.} \cdot 100}{100 - W_{a.c.}^y} = \frac{12,03 \cdot 100}{100 - 97} = 401 \text{ м}^3 / \text{добу}, \quad (5.43)$$

де $W_{a.c.}^y = 96,5\text{-}98,5 \%$ - вологість ущільненого аеробно стабілізованого осаду.

Мулова вода направляється в аеротенки з витратою

$$V_{\text{м.в.}} = V_{ac} - V_{\text{заг.}}^y = 529,1 - 401 = 128,1 \text{ м}^3 / \text{доб.} \quad (5.44)$$

6. ПРОЄКТУВАННЯ ОЧИСНОЇ СТАНЦІЇ ДЛЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

В результаті виконаних розрахунків очисних споруд за вибраною технологією біологічного очищення стічних вод і прийняття конструктивних рішень завершальною стадією є розробка генерального плану очисної станції та креслення висотної схеми розташування очисних споруд.

6.1. ПРОЄКТУВАННЯ ГЕНПЛАНУ ОЧИСНИХ СПОРУД

Вибір і обґрунтування технологічної схеми очищення міських стічних вод, які є сумішшю господарсько-побутових і виробничих стічних вод, залежать від кількості й фізико-хімічного стану забруднюючих речовин, які містяться в них, а також від вимог до ступеня очищення.

Розробку технологічних схем і компоновку очисних станцій належить здійснювати на підставі норм, правил, нормативних вказівок і спеціальних рекомендацій науково-дослідних інститутів, а також досвіду експлуатації діючих споруд.

Більшість великих міських очисних станцій, які побудовано раніше, мають двоступінчасту схему: механічне та біологічне очищення. У зв'язку з підвищеними вимогами до ступеня очищення стічних вод і охорони навколишнього середовища від забруднення все частіше проєктують очисні станції за трьохступінчастою схемою з глибоким очищенням або доочищенням біологічно очищених стічних вод. Існує багато типів очисних споруд і велике різноманіття технологічних схем, які використовують для двоступінчастої та трьохступінчастої технологій.

Вибір майданчика для будівництва очисної станції здійснюють згідно схеми районного планування. При цьому враховують забезпечення під'їзними шляхами, умови водогазотеплопостачання й електропостачання станції.

Майданчик для будівництва станції очищення стічних вод потрібно вибирати, як правило, з підвітряної сторони для пануючих вітрів теплого

періоду року відносно житлової забудови й нижче розташованого населеного пункту за течією ріки. По можливості майданчик повинен мати ухил, який забезпечує самопливний рух стічної води по спорудах і відведення поверхневих вод; його потрібно розташовувати на території, яку не затоплюють паводкові води, з низьким рівнем ґрунтових вод, і забезпечувати раціональне розташування споруд по території як на розрахунковий період, так і на перспективний розвиток станції.

Санітарно-захисні зони потрібно вимірювати від границь житлової зони, ділянок громадських будинків і виробничих будівель харчової промисловості до границь території очисних споруд з урахуванням їх перспективного розвитку. Розміри санітарно-захисних зон для каналізаційних очисних споруд потрібно приймати в залежності від методу очищення стічних вод і продуктивності станції (табл. 6.1).

Таблиця 6.1. Розміри санітарно-захисних зон споруд водовідведення [1]

Споруди	Санітарно-захисна зона, м, за розрахункової продуктивності споруд, тис. м ³ /добу			
	≤ 0,2	0,2-5	5-50	50-280
Споруди механічного та біологічного очищення з муловими майданчиками, а також окремо розташовані мулові майданчики	150	200	400	500
Те ж, з термічною та/або механічною обробкою осадів у закритих приміщеннях	100	150	300	400
Поля фільтрації	200	300	500	-
Землеробські поля зрошення	150	200	400	-
Біологічні ставки	200	200	300	300
Споруди з циркуляційними окиснювальними каналами	150	-	-	-
Насосні станції, регулюючі резервуари закритого типу	15	20	20	30

Примітки: 1. Санітарно-захисні зони від каналізаційних споруд продуктивністю понад 280 тис. м³/добу встановлюють на підставі розрахунків розсіювання газів з неприємним запахом, розташування об'єктів, рози вітрів і ін. чинників.

2. Санітарно-захисні зони від споруд механічного та біологічного очищення з муловими майданчиками та від окремо розташованих мулових майданчиків за потужності більше 500 тис. м³/добу приймають не менше, ніж 1 км.

3. У разі розташування житлової забудови з підвітряного боку по відношенню до очисних споруд указані в таблиці розміри санітарно-захисної зони можна збільшувати, але не більше, ніж у 2 рази, за сприятливої рози вітрів – зменшувати не більше, ніж на 25%.

4. За відсутності мулових майданчиків на території очисних споруд потужністю понад 0,2 тис. м³/добу розмір санітарно-захисної зони зменшують на 30%.

5. Санітарно-захисну зону від споруд механічного та біологічного очищення на біофільтрах продуктивністю до 50 м³/добу приймають 100 м.

6. Санітарно-захисну зону для існуючих полів фільтрації, землеробських полів зрошення, біологічних ставків і циркуляційних окиснювальних каналів встановлено у додатку 12 до Державних санітарних правил планування та забудови населених пунктів.

7. При використанні фільтруючих траншей, фільтруючих колодязів, а також піщано-гравійних фільтрів в якості споруд доочищення після аераційних установок або септиків, які використовують як основні очисні споруди стічних вод, санітарно-захисну зону приймають таким чином:

- для фільтруючих траншей і піщано-гравійних фільтрів – 25 м;
- для фільтруючих колодязів – 8 м;
- для септиків – 5 м;
- для аераційних установок на повне окиснення з аеробною стабілізацією мулу продуктивністю до 700 м³/добу – 50 м.

8. Санітарно-захисну зону від очисних споруд поверхневих вод відкритого типу із сельбищних територій, а також від окремо розташованих споруд глибинного доочищення біологічно очищених стічних вод приймають 100 м, від насосних станцій поверхневих вод – 15 м, від очисних споруд промислових підприємств – згідно з галузевими будівельними нормами.

9. Санітарно-захисну зону від зливних станцій приймають 300 м.

10. Санітарно-захисні зони від шламонакопичувачів приймають залежно від складу й властивостей шламу, згідно з ДБН В.2.4-5.

Компонування очисних споруд на кресленні майданчика залежить від набору споруд, які входять у склад очисної станції, та рельєфу. Особливу увагу потрібно приділяти пристроям для рівномірного розподілу стічних вод між спорудами, для відключення споруд, спорожнення, промивки, очистки й ремонту, а також самопливного аварійного скиду стічних вод.

Споруди компонують із урахуванням почергового будівництва очисної станції та можливості розширення її на перспективу. Взаємне розташування споруд повинне забезпечити доступ до них для ремонту й обслуговування, а також мінімальну довжину комунікацій (лотків, каналів, трубопроводів, дюкерів тощо) [22].

Розриви між групами й окремими спорудами на майданчиках із відносно спокійним рельєфом приймають:

- групи однойменних споруд – 2–3 м;
- групи різнойменних споруд (з невеликими перепадами між ними) – 5–10 м;
- групи споруд механічного та біологічного очищення – 15–20 м;
- споруди та мулові майданчики з урахуванням обсадки їх деревами, пристроями для відведення поверхневих вод, під'їзними шляхами й підвідними комунікаціями – 25–30 м;
- метантенки, газгольдери й інші споруди в залежності від їх ємності – 20–50 м.

Схему компонування очисних споруд наведено на рис. 6.1 і 6.2.

6.2. ПРОЄКТУВАННЯ ВИСОТНОЇ СХЕМИ РОЗТАШУВАННЯ ОЧИСНИХ СПОРУД

При висотному розміщенні очисних споруд враховують розрахункові перепади напору в спорудах, з'єднувальних комунікаціях і вимірювальних пристроях.

Очисні споруди потрібно розташовувати блоками (насосні, решітки, котельні, повітродувки, преаератори з первинними відстійниками, первинні відстійники, аеротенки та вторинні відстійники; лабораторії, адміністративну будівлю тощо).

На території очисної станції передбачають допоміжні споруди: майстерні, лабораторії, гаражі, побутові приміщення, електрогосподарство, водопровід, каналізацію тощо.

Після визначення відмітки випуску стічних вод визначають відмітку їх входу й виходу з берегового колодязя та відмітки споруд, рухаючись проти течії води за диктуючим напрямком. Одночасно враховують рельєф місцевості та необхідне поєднання об'ємів виїмок і насипів, орієнтовні втрати напору в окремих спорудах і комунікаціях. Відмітка входу стоків на першу споруду (решітку або пісковловлювач) диктує умову для

попереднього визначення висоти подачі води головною насосною станцією або відмітку підвідного колектора.

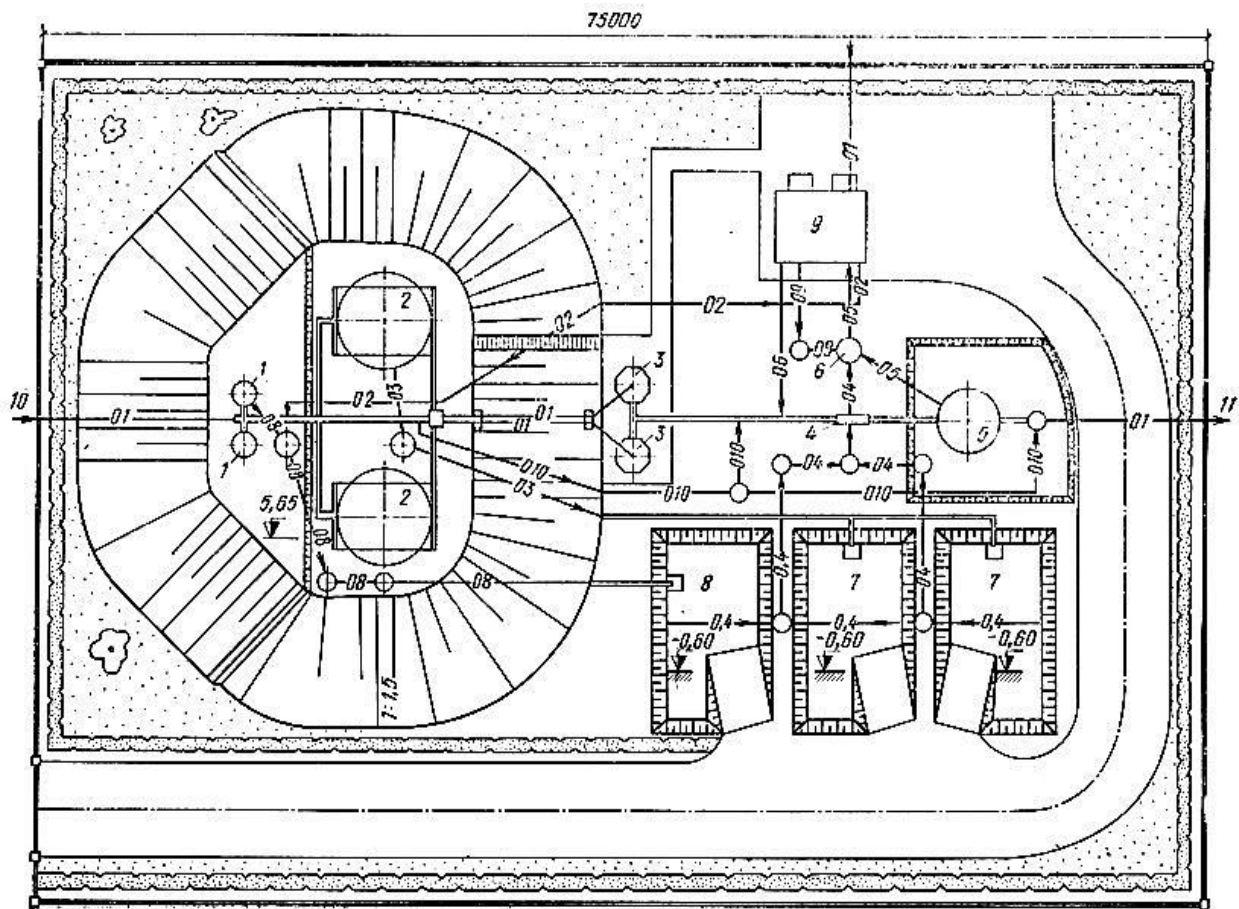


Рис. 6.1. Генеральний план очисних споруд пропускною спроможністю 200 м³/добу:

1 – пісковловлювач; 2 – двох'ярусний відстійник; 3 – біофільтр з пластмасовим завантаженням; 4 – змішувач; 5 – вторинний відстійник; 6 – муловий резервуар; 7 – мулові майданчики; 8 – піскові майданчики; 9 – насосна станція з хлораторною; 10 – трубопровід подачі стічних вод; 11 – трубопровід відведення очищених стічних вод.

Трубопроводи: 01 – самотливні; 02 – напірні; 03 – самотливні збродженого осаду; 04 – самотливні дренажних вод; 05 – самотливні активного мулу; 06 – самотливні хлорної води; 07 – водопровід; 08 – піскопровід; 09 – самотливні побутових вод від насосної станції; 010 – аварійні для скиду стічних вод

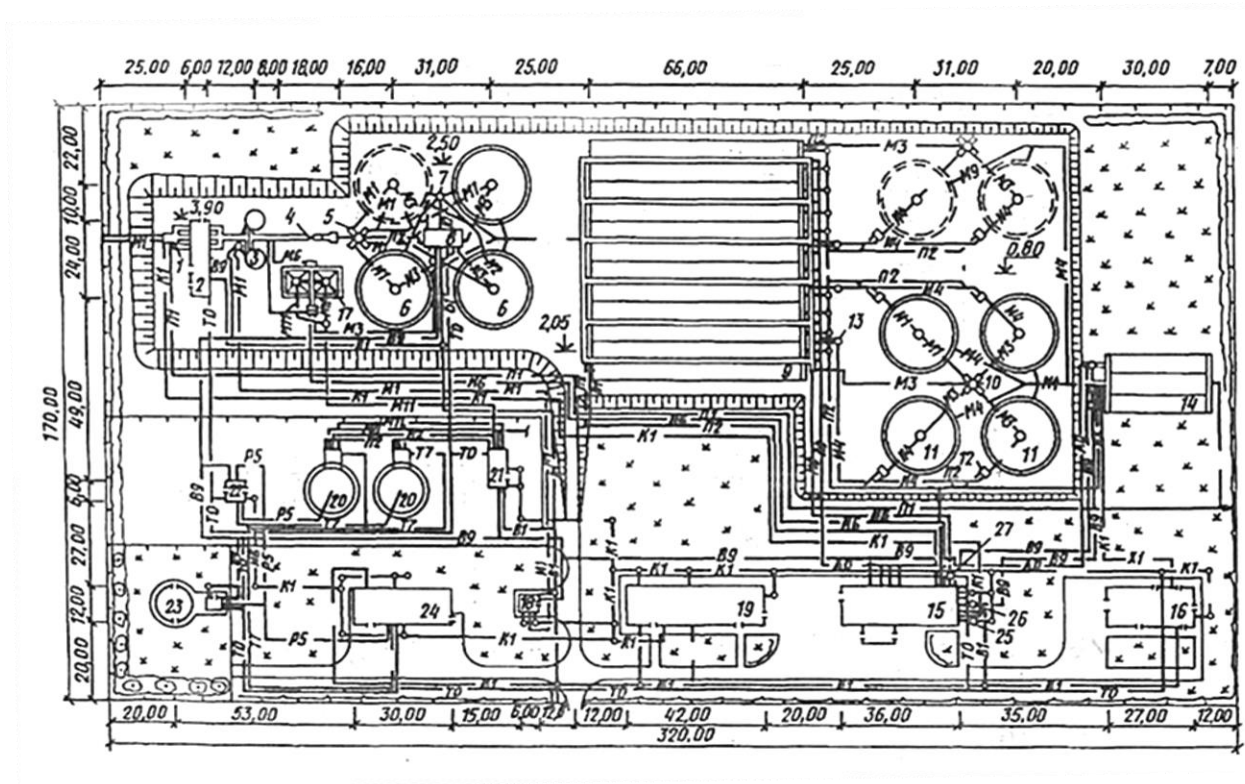


Рис. 6.2. Генеральний план станції біологічного очищення стічних вод

пропускною спроможністю 50–70 тис. м³/добу:

- 1 – приймальна камера; 2 – будівля механізованих решіток; 3 – горизонтальний пісковловлювач із круговим рухом стічних вод; 4 – лоток Вентурі; 5 – розподільна чаша;
- 6 – насосна станція сирого осаду; 9 – аеротенки з розосередженим впуском стічних вод;
- 10 – розподільна чаша вторинних відстійників; 11 – радіальні вторинні відстійники діаметром 24 м; 12 – мулова камера; 13 – камера для ерліфта; 14 – контактні резервуари;
- 15 – насосно-повітродувна станція; 16 – хлораторна зі складом хлору; 17 – мулозгущувач; 18 – бункери піску; 19 – блок виробничих і побутових приміщень; 20 – метантенки діаметром 12,5 м;
- 21 – насосна станція; 22 – газовий кіоск; 23 – мокрий газгольдер;
- 24 – котельня; 25 – резервуар господарсько-побутової каналізації; 26 – резервуар технічної води;
- 27 – резервуар надлишкового активного мулу.

Умовні позначення мереж: M1 – стічні води, що надходять на очищення;

M2 – стічні води після механічного очищення; M3 – стічні води після аеротенків;

M4 – стічні води після біологічного очищення; M6 – зливні води; I2 – плаваючі речовини; I3 – сирий осад; I4 – рециркуляційний активний мул; I6 – надлишковий активний мул неущільнений;

I11 – щільна суміш сирого осаду та надлишкового активного мулу; I13 – зброджений осад із метантенків; П1 – аварійний скид; П2 – спорожнення; X1 – хлорна вода; B1 – господарсько-протипожежний водопровід; B9 – технічний водопровід; K1 – господарсько-побутова каналізація; AO – повітропровід; TO – тепломережа; P5 – газопровід; 024 – споруди на I чергу будівництва; 025 – споруди на розрахунковий термін; 026 – дороги; 027 – озеленення; 028 – огорожа

Оскільки стічні води потрібно послідовно пропускати через низку споруд самопливом, вихід їх із кожної попередньої споруди має бути розташовано вище входу в наступну споруду. За наявності в комплексі груп однойменних споруд втрати напору визначають за найбільш віддаленою спорудою.

Орієнтовні втрати напору в окремих спорудах приймають таким чином:

- механічні решітки та пісковловлювачі – 0,1–0,2 м;
- решітки-дробарки та аеровані пісковловлювачі – 0,15–0,25 м;
- жировловлювачі, преаератори – 0,2–0,25 м;
- відстійники:
 - горизонтальні – 0,2–0,4 м;
 - вертикальні – 0,4–0,5 м;
 - радіальні – 0,5–0,6 м;
- аеротенки – 0,4–0,5 м;
- біофільтри:
 - із зрошувачами – 2,5–3 м;
 - із спринклерами – 5–6 м;
 - баштові – 10–20 м;
- контактні резервуари та змішувачі – 0,15–0,3 м.

Приклад висотної схеми очисних споруд (профіль за рухом стічних вод) наведено на рис. 6.3.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 128 с.
2. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною / Затверджені наказом Міністерства охорони здоров'я України № 400 від 12.05.2010 р.
3. Постанова від 25.03.1999 № 465 Про затвердження Правил охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами.
4. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні і управління безпекою праці [Текст] : підруч. для студентів, які навчаються за спец. "Біотехнології та біоінженерія" спеціалізацією "Екологічна біотехнологія та біоенергетика" / Л. А. Саблій [та ін.] ; під ред. д-ра техн. наук, проф. Л. А. Саблій ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т ім. Ігоря Сікорського", [Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування]. - 2-ге вид., перероб. і допов. - Рівне : НУВГП, 2018. - 376 с. : рис., табл. - Бібліогр.: с. 367-376 . - 500 прим. - ISBN 978-966-327-376-1.
5. Мацнєв А. І. Водовідведення на промислових підприємствах: [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.] / А. І. Мацнєв, Л. А. Саблій. – Рівне : Укр. держ. акад. водного господарства, 1998. – 219 с.
6. Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод : [учеб. для вузов] / Ю. В. Воронов, С. В. Яковлев // Под общ. ред. проф., д.т.н. Ю. В. Воронова. – М. : Изд-во Ассоц. строит. вузов, 2006. – 704 с.
7. Голубовская Э. К. Биологические основы очистки воды / Э. К. Голубовская. – М. : Высшая школа, 1978. – 268 с.
8. ДБН А.2.2-1-2003. Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд.
9. ДСТУ 3041-95. Гідросфера. Використання і охорона води. Терміни та визначення. – К. : Держстандарт України, 1995. – 36 с.

10. ДСТУ Б А.2.4-1:2009. Умовні зображення і позначки трубопроводів та їх елементів. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 12 с.
11. Журба М. Г. Водоочистные фильтры с плавающей загрузкой : науч. изд. / М. Г. Журба – М., 2011. – 536 с.
12. Запольский А. К. Очистка воды коагулированием : монография / А. К. Запольский. – Каменец-Подольский : ЧП «Медоборы-2006», 2011. – 296 с.
13. Інструкція про порядок розробки та затвердження гранично допустимих скидів (ГДС) речовин у водні об'єкти із зворотними водами / Затверджена наказом Мінприроди України № 116 від 15.12.1994 р.
14. КНД 211.1.0.009-94. Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних вод.
15. КНД 211.1.2.008-94. Гідросфера. Правила контролю складу і властивостей стічних та технологічних вод.
16. Кононцев С. В. Екологічна біотехнологія очищення стічних вод та культивування кормових організмів: монографія / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій, Ю. Р. Гроховська. – Рівне : НУВГП, 2011. – 151 с.
17. Мацнев А. І. Моніторинг та інженерні методи охорони довкілля / А. І. Мацнев, С. Б. Проценко, Л. А. Саблій. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2000. – 504 с.
18. Мацнев А. І. Практикум з моніторингу та інженерних методів охорони довкілля / А. І. Мацнев, С. Б. Проценко, Л. А. Саблій. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2002. – 460 с.
19. Мишуков Б. Г. Удаление азота и фосфора на очистных сооружениях городской канализации / Б. Г. Мишуков, Е. А. Соловьева – Санкт-Петербург: ЗАО «Водопроект-Гипрокоммунводоканал Санкт-Петербурга», 2004. – 75 с.
20. Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / [Хенце М., Армоэс П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. М.] : «Мир». – 2006. – 480 с.

21. Про затвердження Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення та Порядку визначення розміру плати, що справляється за понаднормативні скиди стічних вод до систем централізованого водовідведення / Затверджені наказом Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України № 316 від 01.12.2017 р.
22. Правила технічної експлуатації систем водопостачання та каналізації населених пунктів України / Затверджені наказом Держжитлокомунгоспу України № 30 від 05.07.1995 р.
23. Саблій Л. А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: монографія / Л. А. Саблій. – Рівне : НУВГП, 2013. – 292 с.
24. Удосконалення технології біологічного очищення стічних вод / [Волошин М. Д., Щербак О. Л., Черненко Я. М. та ін.]. – Дніпродзержинськ: Дніпродзерж. держ. техн. ун-т, 2009. – 230 с.
25. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підруч. / [А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. А. Астрелін та ін.] ; за заг. ред. А. К. Запольського. – К. : Лібра, 2000. – 552 с.
26. Экологическая биотехнология: Пер. с англ. / Под. ред. К.Ф. Форстера. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.
27. Электрохимическая технология очистки промышленных сточных вод / [В. А. Колесников, В. И. Ильин, С. О. Вараксин и др.] // Наука – производству. – 2004. – № 7. – С. 7.

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1 - Загальні коефіцієнти нерівномірності припливу стічних вод у населених пунктах [1]

Загальний коефіцієнт нерівномірності припливу стічних вод	Середня витрата стічних вод, $\text{дм}^3/\text{с}$								
	5	10	20	50	100	300	500	1000	5000 і більше
Максимальний $K_{\text{gen,max}}$	2,50	2,10	1,90	1,70	1,60	1,55	1,50	1,47	1,44
Мінімальний $K_{\text{gen,min}}$	0,38	0,45	0,50	0,55	0,59	0,62	0,66	0,69	0,71

Примітка. За проміжних значень середньої витрати стічних вод загальні коефіцієнти нерівномірності визначаються інтерполяцією.

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Кількість забруднювальних речовин на одного жителя
[1, табл. 16]

Показник	Величина
Завислі речовини	65
БСК ₅ непроясненої рідини	54
БСК _{повн} непроясненої рідини	75
ХСК непроясненої рідини	87
Азот загальний	11
Азот амонійних солей	8
Фосфор загальний	1,8
Фосфор фосфатів	1,44
Хлориди	9
Поверхнево-активні речовини (ПАР)	2,5

Додаток В

Таблиця В.1 – Нормативи забрудненості води і ГДК деяких забруднюючих речовин у розрахунковому створі водойми [18]

Показник	Одиниця виміру	ГДК для водокористування, мг/дм ³			
		господарсько-питного	комунально-побутового	рибогосподарського категорії	
				вищої, I	II
За нормативами якості води водойми					
Розчинений кисень:					
влітку	мг/дм ³	≥ 4	≥ 4	≥ 6	≥ 6
взимку	-«-	≥ 4	≥ 4	≥ 6	≥ 4
БСК _{повн} за температури 20°C	мг О ₂ /дм ³	≤ 3	≤ 6	≤ 3	≤ 3
Підвищення концентрації завислих речовин не більше ніж на	мг/дм ³	0,25	0,75	0,25	0,75
ХСК	мг О ₂ /дм ³	≤ 15	≤ 30	Не нормують	
рН	6,5-8,5				
Загальна мінералізація (за сухим залишком)	мг/дм ³	1000	1000	Не нормують	
У тому числі: хлориди	мг/дм ³	350	350	Не нормують	
сульфати	-«-	500	500	Не нормують	
За ГДК деяких шкідливих речовин					
Аміак (за азотом)	-«-	2		0,05	
Амоній	-«-	2		0,5	
Нітрати	-«-	45		40	
Нітрити	-«-	3,3		0,08	
СПАР аніонні	-«-	0,5		0,5	
СПАР нейоногенні	-«-	0,1		0,1	
Нафтопродукти	-«-	0,3		0,05	
Залізо	-«-	0,3		0,1	
Цинк	-«-	1		0,01	
Нікель	-«-	0,1		0,01	
Мідь	-«-	1		Приріст до фону 0,001	
Сірковуглець	-«-	1		1	

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Значення константи швидкості споживання кисню k при температурі T , °C [18]

T , °C	12	15	18	20	22	24	26	28
k	0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Тривалість відстоювання t_{set} води в залежності від ефекту E_{set} її освітлення та концентрації завислих речовин C_{zp}^n [1]

Ефект освітлення, E_{set} , %	Тривалість відстоювання у стандартному циліндрі t_{set} , с, при концентрації C_{zp}^n завислих речовин, мг/дм ³			
	100	200	300	400
30	900	540	320	260
40	1320	650	450	390
50	1900	900	640	450
60	3800	1200	870	680
70	-	3600	2600	1830

Таблиця Д.2 – Залежність коефіцієнта α від температури t , °C [1]

α	1,00	1,14	1,30	1,50
t	20	15	10	6

Таблиця Д.3 – Залежність показника ступеня n_2 від ефекту E_{set} освітлення та концентрації завислих речовин C_{zp}^n [1]

Ефект освітлення, E_{set} , %	Коефіцієнт n_2 , при початковій концентрації C_{zp}^n завислих речовин, мг/дм ³			
	150	200	300	400
50	0,38	0,31	0,20	0,14
60	0,45	0,37	0,27	0,21
70	0,27	0,16	0,12	0,10

Таблиця Д.4 – Розрахункові параметри первинних відстійників [1, табл. 21]

Відстійник	K_{set}	H_{set} , м	B_{set} , м	V_{set} , мм/с
Горизонтальний	0,50	1,5...4,0	$(2...5) H_{set}$	5...10
Радіальний	0,45	1,5...5,0	-	5...10
Вертикальний	0,35	2,7...3,8	-	-

Таблиця Д.5 – Розрахункові параметри первинних відстійників [1]

v_w , мм/с	5	10	15
v , мм/с	0	0,05	0,1

Таблиця Д.6 – Типові розміри первинних радіальних відстійників [6]

Параметри	Діаметр відстійника, м			
	18	24	30	40
Типовий проект	ТП 902-2-362.83	ТП 902-2-363.83	ТП 902-2-378.83	ТП 902-2-383.83
Діаметр розподільного пристрою, м	1,4	1,6	1,8	2,0
Гідравлічна глибина, м	3,4	3,4	3,4	4,0
Висота зони осаду, м	0,3	0,3	0,3	0,35
Об'єм зони осаду, м ³	110	210	340	710

Таблиця Д.7 – Типові розміри первинних горизонтальних відстійників [6]

Параметри	Значення параметрів для типових проектів				
Типовий проект	ТП 902-2-305	ТП 902-2-304	ТП 902-2-386.85	ТП 902-2-387.85	ТП 902-2-388.85
Ширина відділення, м	6	6	9	9	9
Довжина відділення, м	24	24	30	30	30
Гідравлічна глибина, м	3,15	3,15	3,22	3,22	3,22
Число відділень	4	6	4	6	8
Розрахунковий об'єм, м ³	1160	1740	2132	5214	6952

Таблиця Д.8 – Типові розміри первинних вертикальних відстійників [6]

Параметри	Значення параметрів для типових проектів	
Типовий проект	ТП 902-2-165	ТП 902-2-166
Діаметр, м	6	9
Глибина циліндричної частини, м	4,2	4,2
Глибина конічної частини, м	3,3	5,1
Розрахунковий об'єм, м ³	102	230

Додаток Е

Таблиця Е.1 – Коефіцієнт $\rho_{\max}$, k_l , k_0 , φ , S [1]

Стічні води господарсько-побутової каналізації населеного пункту	Коефіцієнти				
	$\rho_{\max}$, мгБСК- повн/(Г·ГОД)	k_l , мг БСК- повн/дм ³	k_0 , мгО ₂ /дм ³	φ , дм ³ /Г	S
	85	33	0,625	0,07	0,3

Таблиця Е.2 – Значення мулового індексу [1]

Стічні води	Муловий індекс J , см ³ /Г при навантаженні на мул q , мг/(Г·доб)					
	100	200	300	400	500	600
Міські	130	100	70	80	95	130

Таблиця Е.3 – Основні параметри типових аеротенків-витиснювачів [6]

Ширина коридору, м	Робоча глибина, м	Число коридорів	Робочий об'єм однієї секції, м ³ , при її довжині, м							Номер типового проекту
			36-42	48-54	60-66	72-78	84-90	96-102	108-114	
4,5	3,2	2	1040-1213	1386-1559	1732					902-2-195
		3	1560-1820	2080-2340	2600					902-2-192
		4	2070-2416	2762-3108	3494-3200					902-2-178
	4,4	2	1420-1658	1896-2134	2372					902-2-195
		3	2140-2496	2852-3208	3564					902-2-192
		4	2850-3325	3800-4275	4750-5225					902-2-178
6	4,4	2		2530-2847	3154-3471	3788				902-2-196
		3		3800-4275	4750-5225	5700				902-2-193
		4		5700	5334-6968	7602-8230	6870			902-2-179
	5	2		2880-3240	3600-3960	4320				902-2-196
		3		4320-4860	5400-5940	6480				902-2-193
		4		6500	7220-7940	8666-9380	10100			902-2-179

9	4,4	2				6180	6655-7130	7505-7980	8455	902-2-197
		3				9270	9983-10696	11409-12122	12 835	902-2-194
		4					18300-14250	15200-16150	17100-18050	902-2-180
	5	2				7020	7560-8100	8640-9180	9720	902-2-197
		3				10 530	11340-12150	12960-13770	14580	902-2-194
		4					15120-16200	17280-18360	19440-20520	902-2-180

Таблиця Е.4 – [1]

f_{az} / f_{at}	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1
K_1	1,34	1,47	1,68	1,89	1,94	2	2,13	2,3
$J_{a \max},$ $m^3/(m^2 \cdot год)$	5	10	20	30	40	50	75	100
K_3	0,59	0,59	0,64	0,66	0,72	0,77	0,88	0,99

Таблиця Е.5 – [1]

h_a, m	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	3	4	5	6
K_2	0,4	0,46	0,6	0,8	0,9	1	2,08	2,52	2,92	3,3
$J_{a, \min},$ $m^3/(m^2 \cdot год)$	48	42	38	32	28	24	4	3,5	3	2,5

Таблиця Е.6 – Розчинність кисню у воді при тиску 0,1 МПа [1]

Температура, °С	$C_T, \text{мг/дм}^3$	Температура, °С	$C_T, \text{мг/дм}^3$
14	10,26	20	9,02
16	9,82	22	8,67
18	9,4	24	8,33

Додаток Ж

Таблиця Ж.1 – Розрахункові дані для високонавантажених біофільтрів [1]

$q_a, \text{м}^3/\text{м}^3$	$H_{af}, \text{м}$	Коефіцієнт K_{af} при $T_w, ^\circ\text{C}, H_{af}, \text{м}, q_{af}, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$											
		$T_w = 8$			$T_w = 10$			$T_w = 12$			$T_w = \text{Н}$		
		$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$	$q_{af}=10$	$q_{af}=20$	$q_{af}=30$
8	2	3,02	2,32	2,04	3,38	2,50	2,18	3,76	2,74	2,36	4,30	3,02	2,56
	3	5,25	3,53	2,89	6,20	3,96	3,22	7,32	4,64	3,62	8,95	5,25	4,09
	4	9,05	5,37	4,14	10,40	6,25	4,73	11,20	7,54	5,56	12,10	9,05	6,54
10	2	3,69	2,89	2,58	4,08	3,11	2,76	4,50	3,36	2,93	5,09	3,67	3,16
	3	6,10	4,24	3,56	7,08	4,74	3,94	8,23	5,31	4,36	9,90	6,04	4,84
	4	10,10	6,23	4,90	12,30	7,18	5,68	15,10	8,45	6,88	16,40	10,00	7,42
12	2	4,32	3,38	3,01	4,76	3,72	3,28	5,31	3,98	3,44	5,97	4,31	3,70
	3	7,25	5,01	4,18	8,35	5,55	4,78	9,90	6,35	5,14	11,70	7,20	5,72
	4	12,00	7,35	5,83	14,80	8,50	6,92	18,40	10,70	7,69	23,10	12,00	8,83

Таблиця Ж.2 – Величина модуля витрати K [6]

Діаметр зрошувальних труб $D_{тр}, \text{мм}$	50	63	75	100	125	150	175	200	250
Модуль витрати $K, \text{дм}^3/\text{с}$	6	11,5	19	43	86,5	134	200	300	560

Додаток 3

Таблиця 3.1 – Типові розміри вторинних вертикальних відстійників [6]

Номер типового проекту	Діаметр, м	Будівельна висота, м		Пропускна здатність, м ³ /год за час відстоювання, год	
		циліндричної частини	конічної частини	1,5	1,0
902-2-23	4	2,1	1,8	-	22,1
902-2-24	6	3,0	2,8	-	49,7
902-2-167	6	3,0	3,3	49,4	-
902-2-168	9	3,0	5,1	111,5	-

Таблиця 3.2 – Типові розміри вторинних радіального відстійників [6]

Номер типового проекту	Діаметр, м	Глибина, м	Діаметр трубопроводу, мм		Об'єм зони, м ³	
			підвідного	відвідного	мулової	відстійника
902-2-87/76	18	3,7	800	500	160	788
902-2-88/75	24	3,7	1200	700	280	1400
902-2-89/75	30	3,7	1400	900	440	2190
902-2-90/75	40	4,35	2000	1200	915	4580

Додаток К

Таблиця К.1 – Показники ущільнення в гравітаційному мулоущільнювачі [6]

Вид активного мулу, що ущільнюється	Вологість ущільненого мулу, %		Тривалість ущільнення, год		Швидкість води в проточній частині, мм/с
	Тип ущільнювача				
	Вертикальний	Радіальний	Вертикальний	Радіальний	Вертикальний
Активний мул з вторинних відстійників з концентрацією-г/дм ³	97-98	97-98	10-12	9-11	0,1
Активний мул із зони відстоювання аеротенків-відстійників з концентрацією 4,5-6,5 г/дм ³	93	97	16	12-15	0,1
Суміш осаду з первинних відстійників і активного мулу	93-95	93-95	7-10	7-10	<0,3

Додаток Л

Таблиця Л.1 – Добова доза завантаження в метантенк [1]

Режим зброджування	Доза завантаження, %, при вологості осаду, %, не більше				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	7	8	8	9	10
Термофільний	14	16	17	18	19

Таблиця Л.2 – Вміст поверхнево-активних речовин в осаді та активному мулі [6]

Вихідна концентрація ПАР в стічних водах, мг/дм ³	Вміст ПАР, мг/г сухої речовини	
	в осаді з первинних відстійників	в надлишковому активному мулі
5	5	5
10	9	5
15	13	7
20	17	7
25	20	12
30	24	12

Таблиця Л.3 – Розміри типових метантенків [6]

Корисний об'єм, м ³	Діаметр, м	Висота, м		
		верхнього конуса	циліндричної частини	нижнього конуса
1	2	3	4	5
1000	12,5	1,9	6,5	2,15
1600	15	2,35	7,5	2,6
2500	17,5	2,5	8,5	3,05
4000	20	2,9	10,6	3,5
6000	18	3,15	18	3,5
8000	22,6	4,45	16,3	3,7

Таблиця Л.4 – Значення коефіцієнта K_p [1]

Режим зброджування	Значення K_p при вологості осаду, %				
	93	94	95	96	97
Мезофільний	1,05	0,89	0,72	0,56	0,40
Термофільний	0,455	0,385	0,31	0,24	0,17

Таблиця Л.5 – Розміри типових газгольдерів [6]

Об'єм газгольдера, м ³	Діаметр резервуара, мм	Висота газгольдера, мм
100	7400	7450
300	9300	12500
600	11480	15400
1000	14500	15400
3000	21050	20100
6000	26900	24200

Навчальне видання

Саблій Лариса Андріївна
Бунчак Олександр Миронович
Жукова Вероніка Сергіївна

Практикум з біотехнологій очищення води

Навчальний посібник

*В авторській редакції
Надруковано з оригінал-макета замовника*

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Свідоцтво про державну реєстрацію: серія ДК № 5354 від 25.05.2017 р.
просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056

Підп. до друку 13.01.2022. Формат 60×84¹/₈. Папір офс. Гарнітура Times.
Спосіб друку – електрографічний. Ум. друк. арк. 12,55. Обл.-вид. арк. 15,38.
Поз. 21-1-2-014. Наклад 100 пр. Зам. № 22-002.

Видавництво «Політехніка» КПІ ім. Ігоря Сікорського
вул. Політехнічна, 14, корп. 15
03056, м. Київ
тел. (044) 204-81-78