

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

03-06-147М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«Сучасні біотехнології в галузі очищення води»

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Біотехнології»
спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія»
денної форми навчання

Рекомендовано
Науково-методичною радою
з якості ННІ БАД
Протокол № 1 від 28.08.2025 р.

Рівне – 2025

Методичні вказівки до практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Сучасні біотехнології в галузі очищення води» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Біотехнології» спеціальності G21 «Біотехнології та біоінженерія» денної форми навчання [Електронне видання] / Квартенко О. М. – Рівне : НУВГП, 2025. – 45 с.

Укладач: Квартенко О. М., д-р.техн.наук, доцент, професор кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., д-р.техн.наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення ОП:
G21 «Біотехнології та біоінженерія»

Грицина О. О.

© О. М. Квартенко, 2025
© НУВГП, 2025

ЗМІСТ

	Вступ	3
1	Тема 1. Розрахунок біореакторів для очищення підземних вод.	4
2	Тема 2. Визначення концентрацій забруднень в природних, виробничих та господарсько-побутових стічних водах.	9
3	Тема 3. Санітарні умови випуску стічних вод у водойми. Розбавлення стічних вод поверхневими водами.	11
4	Тема 4. Розрахунок біоставка для глибокого доочищення стічних вод які пройшли стадію біологічної очистки.	15
5	Тема 5. Визначення питомої швидкості росту біомаси в аеротенку.	18
6	Тема 6. Розрахунок аеротенка змішувача без вузла регенерації для очистки господарсько-побутових стічних вод.	20
7	Тема 7. Розрахунок аеротенка витиснювача із рециркуляцією активного мулу.	21
8	Тема 8. Розрахунок високо навантажувального біофільтра.	25
9	Тема 9. Розрахунок аеробних біореакторів з площинним завантаженням.	26
10	Тема 10. Розрахунок анаеробних біореакторів з контактним завантаженням.	29
11	Тема 11. Розрахунок аеротенку для очищення міських стічних вод з підвищеним вмістом азотовмісних сполук.	30
12	Тема 12. Видалення зі стічних вод сполук фосфору.	35
13	Тема 13. Формування умов середовища для прискорення біодеградації нафтопродуктів.	39
14	Тема 14. Вивчення мікроорганізмів – біоіндекаторів та деструкторів мікропластика. Визначення терміну необхідного для розщеплення мікропластика в одному кубічному метрі біологічно очищеної стічної води бактерією <i>Ideonella sakaiensis</i> 201-F6.	41
15	Самостійна робота	42
	15.1. Рекомендовані завдання для самостійної роботи	
	15.2. Оформлення звіту про самостійну роботу	
	Рекомендована література	44

ВСТУП

Основною метою даних методичних вказівок є надання здобувачам теоретичних знань та практичних навичок з біотехнології в галузі очищення природних, оборотних та стічних вод; вибір способів, прийомів, технологій, а також вивчення основ розрахунку та конструювання сучасного технологічного обладнання для забезпечення водоочищення біологічними методами, з метою одержання очищеної від різних забруднюючих речовин води у відповідності до санітарних вимог.

Тема 1. Розрахунок біореакторів для очищення підземних вод.

Біореактор призначений для створення оптимальних умов протікання процесу окислення двовалентного заліза у трьохвалентне та формування і часткового затримання пластівців гідроксиду заліза (III).

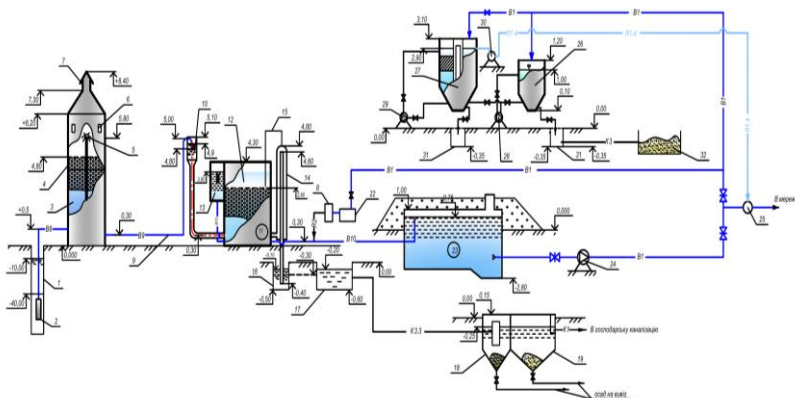


Рис.1. Технологічна схема очистки підземних вод. 1 - свердловина; 2 - занурений електронасос; 3- біореактор; 4- контактне завантаження; 5 - кавітатор; 6-7 - вентиляційні вікна та короб; 8- блок дозування коагулянту; 9 - трубопровід подачі води; 10- деаератор; 11- освітлювальний пінополістирольний фільтр; 12- промивний бак; 13- карман збору та відведення фільтрату; 14- гідроробот; 15- трубка зливу вакууму; 16- гідрозатвор; 17- канал для збору та відведення відпрацьованих промивних вод; 19- горизонтальний відстійник; 20- майданчик для збору осаду (накопичення); 21- насос дозатор гіпохлориту NaOH; 22- електролізер; 23- РЧВ; 24- НС-II; 25- змішувач; 26- розчинний бак; 27- освітлювач-рециркулятор з витратним баком; 28,29- циркуляційний насос; 30- насос дозатор освітленого розчину $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 31- канал збору осаду (шламу).

Загальна площа біореактор в плані становитиме:

$$F_{BP} = \frac{Q_{доб}}{V \cdot T}, \text{ м}^2. \quad (1)$$

де, T – час роботи біореактора, год ($T=24$ год);

V - швидкість руху води в біореакторі, м/год;

$$F_{BP} = \frac{1910}{15,01 \cdot 24} = 5,3 \text{ м}^2.$$

Діаметр біореактора в плані становитиме:

$$d_{BP} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{BP}}{\pi}}, \text{ м}. \quad (2)$$

$$d_{BP} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,3}{3,14}} = 2,6 \text{ м}.$$

Приймаємо d_{BP} стандартного сортаменту $d_{BP} = 2,6 \text{ м}$.

Визначаємо висоту біореактора:

$$H_{BP} = H_{заван} + \Delta h + h_{осад} + h_{сопла} + h_{короб}, \text{ м}$$

де $H_{заван}$ - висота шару завантаження, м ($H_{заван} = 3,4 \text{ м}$);

Δh - відносне розширення завантаження при його промивці, м

$$\Delta h = \frac{H_{заван} \cdot e}{100} + c, \text{ м}. \quad (3)$$

де e – відносне розширення завантаження, % ($e = 30 \dots 40\%$);

c – запас, $c = 0,3 \text{ м}$.

$$\Delta h = \frac{3,4 \cdot 40}{100} + 0,3 = 1,7 \text{ м}.$$

$h_{осад}$ - висота осадової частини біореактора, м, $h_{осад} = 1,0 \text{ м}$; $h_{сопла}$ - висота сопла біореактора, м ($h_{сопла} = 1,2 \text{ м}$); $h_{короб}$ - висота короба біореактора, м ($h_{короб} = 1,2 \text{ м}$).

Отже, висота біореактора:

$$H_{BP} = 3,4 + 1,6 + 1 + 1,2 + 1,2 = 8,4 \text{ м}.$$

Площа фільтра

Потрібна площа фільтрів, м^2 визначається з виразу:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{TV_{\phi}'' - 3,6 \cdot \alpha \cdot n_{np} I_{np} t - 3 n_{np} t V_{\phi}''}, \text{м}^2 \quad (4)$$

де: Q – корисна продуктивність станції, $\text{м}^3/\text{доб}$;

T – тривалість роботи станції протягом доби, год., $T=24\text{ год}$;

V_{ϕ}'' – розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі роботи, $\text{м}/\text{год}$, $V_{\phi}''=7 \text{ м}/\text{год}$; n_{np} – кількість промивок за добу,

$n_{np}=2$; I_{np} – інтенсивність промивки, $\text{л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$, $I_{np}=12 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$;

t – тривалість промивки, год, $t=0,06\text{ год}$;

α - коефіцієнт, який враховує відбір води з промивного баку, 1,03;

$$F_{\phi} = \frac{1910}{24 \cdot 7 - 3,6 \cdot 1,03 \cdot 2 \cdot 12 \cdot 0,06 - 3 \cdot 2 \cdot 0,06 \cdot 7} = 11,93 \text{ м}^2$$

Приймаємо площу фільтрів 12 м^2 .

Площа одного фільтра становить $f=4 \text{ м}^2$, з розмірами в плані $2 \times 2 \text{ м}$.

Кількість фільтрів визначається за формулою:

$$n_{\phi} = \frac{F_{\phi}}{f_{\phi}}, \text{шт} \quad (5)$$

$$n_{\phi} = \frac{12}{4} = 3 \text{ шт.}$$

Приймаємо кількість фільтрів 3 шт.

Розрахункову швидкість фільтрування при форсованому режимі, $\text{м}/\text{год}$, визначаємо за формулою:

$$V_{\phi}^{\phi} = V_{\phi}'' \frac{n_{\phi}}{n_{\phi} - 1}, \text{м}/\text{с}; \quad (6)$$

$$V_{\phi}^{\phi} = 7 \cdot \frac{3}{3-1} = 10,5 \text{ м}/\text{с}.$$

Будівельну висоту фільтра, м , визначаємо за формулою:

$$H_{\phi} = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 \quad (7)$$

де l_1 – висота опорних стійок, м, приймаємо $l_1 = 0,6\text{ м}$;

l_2 – відносне розширення засипки, м, визначаємо за формулою:

$$l_2 = l_3 \cdot \frac{e}{100} + C \quad (8)$$

де e – відносне розширення фільтруючого завантаження, для фільтрів з висхідним фільтраційним потоком $e = 40\%$;

C – запас висоти, який запобігає виносу фільтруючого завантаження за межі фільтра при промивці 0,2...0,5 м, приймаємо 0,5 м; l_3 – висота фільтруючого завантаження, м, приймаємо $l_3 = 1,2\text{ м}$

$$l_2 = 1,2 \cdot \frac{40}{100} + 0,5 = 1,02\text{ м}$$

l_4 – висота шару води над фільтруючим завантаженням, м, приймаємо $l_4 = 1,1\text{ м}$;

l_5 – висота будівельного запасу, м, приймаємо $l_5 = 0,3\text{ м}$:

$$H_{\phi} = 0,6 + 1,02 + 1,2 + 1,1 + 0,3 = 4,3\text{ м}$$

Приймаємо висоту фільтра $H_{\phi} = 4,3\text{ м}$.

Промивна витрата води:

$$q_{np} = F_{\phi 1} \cdot I_{np}, \text{ л/с} \quad (9)$$

$$q_{np} = 4 \cdot 12 = 48 \text{ л/с}$$

Приймаємо умовний діаметр колектору розподільчої системи $D_y = 200\text{ мм}$, розрахункова швидкість руху води $V_p = 1,4\text{ м/с}$, зовнішній діаметр $D_{\text{зов}}^{\kappa} = 219\text{ мм}$, розрахунковий діаметр $D_{\text{внут.}}^{\kappa} = 210\text{ мм}$ (труби сталеві електрозварні ГОСТ 10704-91).

Нижня дренажна система проектується з сталених труб. Відстань між відгалуженнями дорівнює $m = 0,3\text{ м}$. Діаметр визначається за умови пропуску промивних витрат зі швидкістю 1...1,2 м/с. В нижній твірній під кутом 45° до вертикалі в шаховому порядку влаштовують отвори діаметром 20 мм

Загальна кількість відгалужень, шт:

$$n_e = \frac{2 \cdot (B - t)}{m}, \text{шт.} \quad (10)$$

$$n_e = \frac{2 \cdot (2 - 0,2)}{0,3} = 12 \text{шт.}$$

Площа дна фільтра, яка припадає на одне відгалуження:

$$f_{\text{відг}} = (A - t - D_{\text{зоб}}^{\kappa}) \cdot m / 2 = (2 - 0,2 - 0,219) \cdot 0,25 / 2 = 0,19 \text{ м.} \quad (11)$$

Витрати води, які проходять через одне відгалуження:

$$q_{1\text{г}} = q_{np} / n_e = 48 / 12 = 4 \text{ л / с} \quad (12)$$

Приймаємо умовний діаметр відгалуження $d=50\text{мм}$ ($v=1,24\text{м/с}$). Отвори в відгалуженнях $d_0=20\text{мм}$ ($f_0=0,000314\text{м}^2$) виконуються під кутом 45° до вертикалі в шаховому порядку.

Сумарна площа отворів :

$$\sum f_0 = \frac{q_{np}}{\mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H_{np}}}, \text{м}^2. \quad (13)$$

q_{np} - витрата промивної води, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\mu = 0,62$ - коефіцієнт витрати;

H_{np} - витрачений на промивку напір, м.

$$H_{np} = (0,5 + e/100) \cdot H_s + 0,3, \text{м} \quad (14)$$

$$H_{np} = (0,5 + 30/100) \cdot 1,3 + 0,3 = 1,34 \text{ м.}$$

$$\sum f_0 = \frac{0,048}{0,62 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,34}} = 0,015 \text{ м}^2.$$

Кількість отворів у відгалуженнях становить:

$$n_0 = \frac{\sum f_0}{f_{10}} = \frac{0,015}{0,000314} = 48 \text{шт.} \quad (15)$$

Кількість отворів, які припадають на одне відгалуження:

$$n_0^e = \frac{n_0}{n_g} = \frac{48}{12} = 4 \text{шт.} \quad (16)$$

Довжина кожного відгалуження:

$$l_g = (A - t - D_{306}^{\kappa}) / 2 = (2 - 0,2 - 0,219) / 2 = 0,8 \text{м.}$$

Утримуюча решітка знаходиться на висоті:

$$H_{\text{реш}} = \frac{(100 + e)H_z}{100} + 0,3 + D_{\kappa} = \frac{(100 - 30) \cdot 1,2}{100} + 0,3 + 0,2 = 1,30 \text{м.}$$

Рекомендована література [4, 12].

Тема 2. Визначення концентрацій забруднень в природних, виробничих та господарсько-побутових стічних водах.

Параметри якості природних вод знаходяться безпосередньо під впливом як природних так і антропогенних факторів. Зазвичай, вниз за течією відбувається скид очищених та недостатньо очищених стоків від декількох промислових підприємств та населених пунктів із різними витратами та якісним складом забруднюючих інгредієнтів. Параметри якості води у суміші стоків, які скидаються в певному розрахунковому створі розраховуються за формулою:

$$C_{\text{сум}}^i = \frac{q_{\text{св}}^i \cdot C^i + \dots + q_{\text{св}}^n \cdot C^n}{\sum q_{\text{св}}}, \text{ мг/дм}^3 \quad (17)$$

де, C^i – концентрації забруднень, мг/дм³ (завислих речовин, БПК, іонів важких металів, жирів, Р₂О₅, азоту, ХПК, хлоридів) в суміші стічних вод;

Вдалим варіантом комплексної оцінки якості поверхневої води для кожного із розрахункових створів є графічний метод [10]. Метод враховує найбільш характерні лімітуючі елементи і дає

безрозмірну числову величину, яка характеризує екологічний стан басейну. Метод полягає в тому, що складається модель-карта якості поверхневих вод, що являє собою кругову діаграму з шкалами-радіусами [10, рис. 1.10]. Ціна поділки шкал відповідає максимальному значенню лімітуючого показника якості води, тобто за санітарно-екологічними нормативами, що відображено центральним заштрихованим колом. Кількість радіусів дорівнює кількості гідрохімічних характеристик, що визначаються. Фактичне нанесення стану річки діаграму показує напрямок змін гідрохімічних характеристик, за яким можна судити про можливі джерела забруднення, а відношення площі діаграми фактичного забруднення до площі заштрихованого круга дає можливість розрахувати сумарний екологічний коефіцієнт якості води у даному створі спостережень $K_{ек}$:

$$K_{ек} = \frac{F_{фактич.}}{F_{ГДК}} \quad (18)$$

де $F_{фактич}$ - площа фактичного забруднення; F_0 - площа за допустимими забруднень, при $R=1$ см.:

$$F_0 = \pi \cdot R^2 = 3,14 \text{ см}^2$$

Ступінь забруднення водоймищ розподіляється на: $K_{ек} < 1$ – допустима; $K_{ек} = 1.0 \dots 1.83$ – помірна; $K_{ек} = 1.83 \dots 2.62$ – висока; $K_{ек} > 2.62$ – дуже висока [10, 15].

Приклад рішення. Визначаємо концентрацію забруднюючих інгредієнтів у суміші стічних вод від міста ($0,2 \text{ м}^3/\text{с}$) та промислового підприємства ($0,02 \text{ м}^3/\text{с}$) [15].

Розрахунок. Розрахунки ведемо згідно (17):

$$C_{\text{сум}}^{\text{зр}} = \frac{q_{\text{св}}^{\text{ф}} \cdot 75 + q_{\text{св}}^{\text{п}} \cdot 75}{q_{\text{св}}^{\text{ф}} + q_{\text{св}}^{\text{п}}} = \frac{0,2 \cdot 75 + 0,02 \cdot 75}{0,2 + 0,02} = 75 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{\text{сум}}^{\text{БПК}} = \frac{0,2 \cdot 15 + 0,02 \cdot 15}{0,22} = 15 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{\text{сум}}^{\text{І.В.М.}} = \frac{0,2 \cdot 0,75 + 0,02 \cdot 1,5}{0,22} = 0,82 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{N_2O_5} = \frac{0,2 \cdot 15 + 0,02 \cdot 10}{0,22} = 14,5 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{P_2O_5} = \frac{0,2 \cdot 30 + 0,02 \cdot 2,5}{0,22} = 27,5 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{ХПК} = \frac{0,2 \cdot 35 + 0,02 \cdot 150}{0,22} = 45 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{\text{жир}} = \frac{0,2 \cdot 15 + 0,02 \cdot 19}{0,22} = 15,4 \text{ мг/дм}^3$$

$$C_{\text{хлориди}} = \frac{0,2 \cdot 0,8 + 0,02 \cdot 3,5}{0,22} = 0,75 \text{ мг/дм}^3$$

Рекомендована література [10].

Тема 3. Санітарні умови випуску стічних вод у водойми. Розбавлення стічних вод поверхневими водами.

Гранично допустимі концентрації та норми вмісту речовин у водоймах регламентується відповідними правилами та нормами [7, 8, 9, 13]. Загальні вимоги до складу води водойм та водотоків у місцях господарсько-питного, комунального побутового та рибогосподарського водокористування наведені у додатку 5 [10], ГДК нормативних речовин у воді водних об'єктів у додатку 2 [10].

Допустима концентрація завислих речовин у зворотних водах:

$$C_{ГДС} = n \cdot C_{ГДП} + C_{\phi} \quad (19)$$

де $C_{ГДП}$ - допустиме збільшення концентрації завислих речовин у річковій воді для водойм відповідної категорії водокористування.

Перед випуском зворотних вод у водойму необхідно перевірити їх на необхідність очищення від надлишкових забруднень:

$$C_{\text{над}} = C_{\text{вих}} - C_{\text{ГДС}} \quad (20)$$

де $C_{\text{вих}}$ – вихідна концентрація забруднюваних величин у зворотних водах, мг/л

Допустима концентрація нафтопродуктів у зворотних водах становить

$$C_{\text{ГДС}} = n \cdot (C_{\text{ГДК}} - C_{\phi}) + C_{\phi} \quad (21)$$

де $C_{\text{ГДК}}$ – гранично допустима концентрація нафтопродуктів у річковій воді.

Перевіряємо можливість випуску зворотних вод у водойму за вмістом органічних речовин з умови дотримання нормативного дотримання вмісту розчиненого кисню у воді за умови [10, 13]:

$$C_{\text{ГДС}}^{\text{БПК}_{\text{зал}}} \geq C_{\text{ГДС}}^{\text{ск}} \quad (22)$$

де $C_{\text{ГДС}}^{\text{БПК}_{\text{зал}}}$ – можливе залишкове значення БСК_{повн} яке може бути скинуто до водоймища; $C_{\text{ГДС}}^{\text{ск}}$ – значення БСК_{повн} у скидних водах з умови дотримання нормативного вмісту розчинного кисню у воді водойми.

$$C_{\text{ГДС}}^{\text{ск}} = \frac{Q}{0,4 \cdot q} (O_{\phi} - 0,4 \cdot C_{\phi} - O_{\text{ГДВ}}) - \frac{O_{\text{ГДВ}}}{0,4} \quad (23)$$

Q, q – витрати річкової та зворотних вод в однакових одиницях виміру;

O_{ϕ} – фоновий вміст розчиненого кисню у поверхневих водах до місця випуску зворотних вод, $\text{г } O_2/\text{м}^3$; C_{ϕ} – БСК_{повн} поверхневих вод до місця випуску зворотних вод, $\text{г } O_2/\text{м}^3$; $O_{\text{ГДВ}}$ – найменший допустимий вміст розчинного кисню, який повинен залишатися у воді водного об'єкта, $\text{г } O_2/\text{м}^3$; 0,4 – коефіцієнт для перерахунку БСК_{повн}.

Допустима БСК_{повн} зворотних вод становить [11]:

$$C_{ГДС}^{БПК_{зал}} = n \cdot [(C_{ГДК} - C_{ОД})e^{k_1 t} - C_{\phi}] + C_{\phi} \quad (24)$$

n – кратність розбавлення зворотних вод у розрахунковому створі;
 k_1 – усереднене значення коефіцієнта не консервативності органічних речовин, які обумовлюють БСК_{повн} фону та зворотних вод, дiб^{-1} ; $C_{ОД}$ – БСК_{повн} обумовлена метаболітами та органічними речовинами, що змиваються у водотік атмосферними опадами з площі водозбору на останній ділянці шляху перед контрольним створом довжиною 0,5 добового пробігу [10, 13].

Величину $C_{ОД}$ приймається ($\text{г О}_2/\text{м}^3$) для гірських річок – 0,6...0,8; для рівнинних річок, що протікають по території, ґрунти якої не дуже багаті на органічні речовини – 1,7...2; для річок болотного живлення 2,3...2,5. Якщо відстань від випуску зворотних вод до контрольного створу менша за 0,5 добового пробігу, то $C_{ОД} = 0$.

Тривалість переміщення води від місця випуску зворотних вод до розрахункового створу [10, 13]

$$t = \frac{L}{86400 \cdot v_{ср}} \quad (25)$$

де L – відстань до розрахункового створу, м; $v_{ср}$ – середня швидкість руху води у водотоку, м/с

$$k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{L_0^3 + (n-1)L_0^p}{L_0^3 - L_t^3 + (n-1)(L_0^p - L_t^p)} \quad (26)$$

де $L_0^p, L_t^p, L_0^3, L_t^3$ – відповідно БПК_{повн} та БПК₅ річкової і зворотних вод, $\text{мг О}_2/\text{л}$; $t = 5 \text{ дiб}$.

Для перерахунку отриманого значення $k_{1(20^0)}$ у значення $k_{1(2^0)}$, що відповідає зимовому режиму:

$$k_{1(T)} = k_{1(20^0)} \cdot 1,047^{T-20^0} \quad (27)$$

Кратність розбавлення n_i знаходиться за формулою:

$$n_i = \frac{\lambda \cdot Q_{95\%} + q_{св}}{q_{св}} \quad (28)$$

$Q_{95\%}$ - найменша середньомісячна витрата води у річці у дуже маловодний рік 95% забезпеченості, м³/с;

$q_{св}$ - втрата стічних вод від населеного пункту, або промислового підприємства у даному розрахунковому створі, м³/с;

χ - коефіцієнт змішування:

$$\lambda = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L_p}}}{1 + \frac{Q_{95\%}}{q_{св}} \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{L_p}}} \quad (29)$$

де L_p - відстань до розрахункового створу, м (за завданням);
 $q_{св}$ - створи скиду стічних вод від населеного пункту; α - коефіцієнт, який враховує вплив гідравлічних факторів:

$$\alpha = \varphi \xi^3 \sqrt[3]{\frac{V_p \cdot h_p}{200 \cdot q_{св}^n}} \quad (30)$$

де φ - коефіцієнт звивистості ріки визначається як відношення довжини річки (L) до довжини по прямій виміряній на плані;

ξ - коефіцієнт, який залежить від місця випуску стічних вод: для берегового випуску $\xi=1$; для руслового випуску $\xi=1,5$; V_p , h_p - середня швидкість та глибина річки;

Приклад рішення [10].

Розрахувати кратність розбавлення стічних вод від міста (витратою $q_{св}$ 1,5 м³/сек) у річці з найменшою середньомісячною витратою води у рік 95% забезпеченості ($Q_{95\%}$ 5,5 м³/сек), при $R_{ГДК}$ 0,75, при середній швидкості та глибині річки в розрахунковому створі відповідно V_p 2,7 м/сек, h_p 4,0 м. Відстань до розрахункового створу L_p 1500м, коефіцієнт звивистості річки 1,05, тип водовипуску береговий.

Розв'язок.

1. Визначається коефіцієнт який враховує вплив гідравлічних факторів:

$$\alpha = \varphi \xi \sqrt[3]{\frac{V_p \cdot h_p}{200 \cdot q_{св}^n}} = 1,05 \cdot 1,0 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,7 \cdot 4,0}{200 \cdot 1,5}} = 0,35$$

2. Коефіцієнт змішування:

$$\lambda = \frac{1 - e^{-\alpha \sqrt[3]{L_p}}}{1 + \frac{Q_{95\%}}{q_{св}} \cdot e^{-\alpha \sqrt[3]{L_p}}} = \frac{1 - e^{-0,35 \sqrt[3]{1500}}}{1 + \frac{5,5}{1,5} \cdot e^{-0,35 \cdot 0,35 \sqrt[3]{1500}}} = 0,917 \cdot$$

3. Кратність розбавлення n_i :

$$n_i = \frac{\lambda \cdot Q_{95\%} + q_{св}}{q_{св}} = \frac{0,917 \cdot 5,5 + 1,5}{1,5} = 4,36$$

Кратність розбавлення очищених стоків від міста у водотоці складає 4,36.

Рекомендована література [1, 7, 8, 9, 10].

Тема 4. Розрахунок біологічного ставка для глибокого доочищення стічних вод які пройшли стадію біологічної очистки.

Розрахувати біологічні ставки глибокого доочищення біологічно очищених стічних вод за такими даними: витрати стічних вод $Q_{дл}$ 3900 м³/добу; БСК_{повн} води, що надходить L_n 20 мг/дм³; необхідне БСК_{повн} очищеної води L_e 6мг/дм³; середня температура стічних вод влітку $T_{л}$ 20°C; взимку $T_{з}$ 14°C [6, 97-103].

Запроектуємо двоступеневі біологічні ставки з природною аерацією. Спочатку визначається тривалість перебування стічних вод в першому ступені, прийнявши ефект очищення таким, що дорівнює 50% (БСК_{повн} після першого ступеня L_1 10 мг/дм³): в літній період:

$$t_{\text{л}}^1 = \frac{1}{\alpha \cdot K'_{\text{л}}} \lg \frac{L_n}{L_1} = \frac{1}{0,85 \cdot 0,07} \lg \frac{20}{10} = 5,04 \text{ д} \quad (31)$$

в зимовий період:

$$t'_3 = \frac{1}{\alpha \cdot K'_3} \lg \frac{L_n}{L_1} = \frac{1}{0,85 \cdot 0,053} \lg \frac{20}{10} = 6,66 \text{ д} \quad (32)$$

де Кл 0,07 і Кз 0,053.

Тривалість перебування стічних вод в другому ступені біологічних ставків:

$$t_3^2 = \frac{1}{\alpha \cdot K} \lg \frac{L_1 - L_3}{L_1 - L_3} = \frac{1}{0,85 \cdot 0,06} \lg \frac{10-3}{6-3} = 7,22 \text{ діб} \quad (33)$$

$$t_{\text{л}}^2 = \frac{1}{0,85 \cdot 0,46} \lg \frac{10-2}{6-2} = 7,67 \text{ діб} \quad (34)$$

За розрахунковий приймається зимовий період року.

3. Визначаються об'єми першого і другого ступенів біологічних ставків:

$$V_1 = Q_{\text{д}} \cdot t_3^1 = 3900 \cdot 6,66 = 25974 \text{ м}^3 \quad (35)$$

$$V_2 = Q_{\text{д}} \cdot t_3^2 = 3900 \cdot 7,67 = 29913 \text{ м}^3 \quad (36)$$

Розраховується необхідна площа для першого ступеня біологічних ставків:
для літнього періоду:

$$F_{\text{л}}^1 = \frac{Q_{\text{д}} \cdot C_n \cdot (L_n - L_{\text{л}})}{\alpha \cdot (C_n - C_{\text{л}}) \cdot z} = \frac{3900 \cdot 9,02 \cdot (20-10)}{0,85 \cdot (9,02-2) \cdot 3,5} = 16844 \text{ м}^2 \quad (37)$$

для зимового періоду:

$$F_3^1 = \frac{3900 \cdot 10,26 \cdot (20-10)}{0,85 \cdot (10,26-2) \cdot 3,5} = 16283 \text{ м}^2 \quad (38)$$

Таким чином, для забезпечення достатньої кількості кисню протягом всього року площа першого ступеня біологічних ставків повинна бути 16844 м².

Визначається необхідна площа другого ступеня:

$$F_3^2 = \frac{3900 \cdot 10,26 \cdot (10 - 6)}{0,85 \cdot (10,26 - 2) \cdot 3,5} = 6513 \text{ м}^2$$

Обчислюється максимальна глибина біологічних ставків:
першого ступеня:

$$H_1 = V_1 / F_{\text{л}}^1 = 25974 / 16844 = 1,54 \text{ м} \quad (40)$$

другого ступеня:

$$H_2 = V_2 / F_{\text{л}}^2 = 29913 / 6738 = 4,44 \text{ м} \quad (41)$$

7. Глибину ставків з природною аерацією рекомендується приймати рівною 0,5...1 м. Приймаємо глибину першого ступеня ставка H_1 0,9 м, другого – H_2 1м. Тоді загальна площа першого і другого ступенів буде дорівнювати:

$$F_1 = 29000 \text{ м}^2; \quad F_2 = 20000 \text{ м}^2.$$

8. Приймаємо 4 паралельно працюючих біологічних ставків по два ступені в кожному. Розміри кожної секції першого ступеня 18 x 403 м, другого – 18 x 417 м.

Рекомендована література [6, 10].

Тема 5. Визначення питомої швидкості росту біомаси в аеротенку.

Швидкість ферментативної реакції, визначена через утворення кінцевого продукту (комплексу ES фермент-субстрат), дорівнює:

$$v = -\frac{d[ES]}{d\tau} = K_m[ES] \quad (42)$$

або, враховуючи концентрації діючих речовин ферменту E та субстрату S :

$$v = \frac{K_m[E_0][S]}{K_m + [S]} \quad (43)$$

Рівняння (42) є рівнянням Міхаеліса-Ментен. Коефіцієнт K_m називається *константою насичення*.

Ввівши поняття максимальної швидкості ферментативної реакції v_{max} , запишемо рівняння (43) у вигляді:

$$v = v_{max} \cdot \frac{[S]}{K_m + [S]} \quad (44)$$

При $v/v_{max}=0,5 \rightarrow K_m=[S]$. Це свідчить, що *константа насичення* кількісно дорівнює концентрації субстрату, при якій швидкість ферментативної реакції становить половину максимальної швидкості.

Швидкість росту біомаси dx/dt пропорційна концентрації x біомаси:

$$dx/d\tau = \mu x; \quad (45)$$

де μ - питома швидкість росту біомаси.

Тоді для фази логарифмічного росту при $\mu=const$ після інтегрування отримуємо рівняння:

$$\ln x = \ln x_0 + \mu\tau \quad (46)$$

або
$$x = x_0 e^{\mu\tau} \quad (47)$$

де x_0 - концентрація біомаси в момент $\tau=0$ на початку логарифмічної фази.

Залежність питомої швидкості росту від концентрації субстрату описується *моделлю Моно*:

$$\mu = \mu_{\max} \frac{s}{K_s + s}; \quad (48)$$

де K_s - константа насичення і $\mu_{\max}$ - максимальна питома швидкість росту біомаси. Структурно рівняння аналогічне рівнянню Міхаеліса-Ментен.

Якщо для росту *періодичної культури* обмеженням є лише початкова концентрація субстрату і реалізується ріст в закритій системі, то математична модель процесу може бути сформована очевидними рівняннями:

$$\begin{aligned} dx/d\tau &= \mu x; \\ \mu &= \mu_{\max} \frac{s}{s + K_s}; \\ x - x_0 &= Y(s_0 - s); \end{aligned} \quad (49)$$

де x_0 , x - початкова та поточна концентрація біомаси в процесі; s_0 , s - відповідно початкова та поточна концентрація субстрату; Y - економічний коефіцієнт (вихід біомаси).

Економічний коефіцієнт виходу біомаси визначається з рівняння:

$$Y = \frac{\Delta x}{\Delta s}, \quad (50)$$

в якому Δx - збільшення біомаси завдяки споживанню субстрату в кількості Δs .

Приклади рішення задач.

Задача. Визначити економічний коефіцієнт біохімічного процесу, якщо доза активного мулу зросла з 1,8 г/дм³ до 2,1 г/дм³, а концентрація субстрату за БПК зменшилась з 350 мг/дм³ до 50 мг/дм³.

Розв'язок. Приріст біомаси в процесі дорівнює:

$x - x_0 = 2,1 - 1,8 = 0,21$ (г/дм³), а зменшення концентрації субстрату $s_0 - s = 350 - 50 = 300$ (мг/дм³) = 0,3 г/дм³.

Економічний коефіцієнт виходу біомаси дорівнює:

$$Y = 0,21/0,3 = 0,7.$$

Задача. Визначити максимальну швидкість ферментативної реакції, якщо її швидкість при концентрації субстрату, яка кількісно дорівнює значенню константи насичення, становить 0,1 моль/хв.

Розв'язок. Виходячи з визначення константи насичення, за формулою (44) максимальна швидкість становить:

$$v_{\max} = v \cdot 2 \frac{[S]}{[S]} = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ моль/хв.}$$

Задача. Визначити питому швидкість росту біомаси в аеротенку, якщо за 5 годин аерації концентрація біомаси (доза мулу) збільшується з 1,5 г/дм³ до 2,7 г/дм³.

Розв'язок. Питома швидкість росту біомаси становить:

$$\mu = \frac{\ln 2,7 - \ln 1,5}{5} = 0,117 \text{ год}^{-1}$$

Задача. Визначити максимальну питому швидкість $v_{\max}$ споживання субстрату та константу K_m насичення, якщо при концентрації субстрату $S_1 = 120$ мг/дм³ питома швидкість споживання субстрату v_1 становить 0,05 год⁻¹, а при концентрації субстрату $S_2 = 280$ мг/дм³ питома швидкість споживання субстрату v_2 становить 0,07 год⁻¹.

Розв'язок. За формулою (49) запишемо рівняння для питомої швидкості споживання субстрату у двох випадках:

$$0,05 = v_{\max} \times \frac{0,120}{K_m + 0,120}$$

$$0,07 = v_{\max} \times \frac{0,280}{K_m + 0,280}$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, отримаємо: $K_m = 0,120$ (г/дм³), $v_{\max} = 0,1 \text{ год}^{-1}$.

Рекомендована література [3, 11].

Тема 6. Розрахунок аеротенка змішувача без вузла регенерації для очистки господарсько-побутових стічних вод.

Рекомендована література [2, 3, 11].

Тема 7. Розрахунок аеротенка витиснювача із рециркуляцією активного мулу.

Період аерації в аеротенках – витиснювачах:

$$t_{atv} = \frac{1 + \phi \cdot a_i}{\rho_{max} \cdot C_o \cdot a_i \cdot (1 - S)} \cdot \left[(C_o + K_o) \cdot (L_{mix} - L_{ex}) + K_l \cdot C_o \cdot l_n \cdot \frac{L_{mix}}{L_{ex}} \right] \cdot K_p \quad (51)$$

$$t_{atv} = \frac{1 + 0.07 \cdot 2.5}{85 \cdot 2 \cdot 2.5 \cdot (1 - 0.3)} \cdot \left[(2 + 0.625) \cdot (144.37 - 4.87) + 33 \cdot 2 \cdot l_n \cdot \frac{144.37}{4.87} \right] \cdot 1.5 = 3.45 \text{ год} \quad (52)$$

де, ϕ - коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, прийнятий для міських стічних вод 0,07 л/г; a_i - доза мулу, обумовлена за [3, 7]; ρ_{max} - максимальна швидкість окислювання для міських стічних вод приймається 85 мг БСК_{повн}/ (м · год);

C_o - концентрація розчиненого кисню в аеротенку, допускається приймати 2 мг/л;

S - зольність мулу, прийнята в частках одиниці, рівної 0,3;

K_o - константа, що характеризує вплив кисню для міських стічних вод, приймається рівної 0,625 мгО₂/л;

K_p - коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього перемішування: $K_p = 1,5$ при біологічному очищенні до $L_{ex} = 15$ мг/л; $K_p = 1,25$ при L_{ex} більше 30мг/л.

L_{en} - БСК_{повн} стічної води, що надходить в аеротенк, з урахуванням зниження БСК_{повн} при первинному відстоюванні;

L_{ex} - БСК_{повн} очищеної стічної води, мг/л, визначеної за необхідним ступенем очищення стічних вод;

K_l - константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, рівна для міських стічних вод 33 мг БСК_{повн}/л;

L_{mix} - БСК_{повн} стічної води, що надходить на початок аеротенка – витиснювача з урахуванням розведення циркуляційним мулом.

$$t_{atv} = \frac{1+0.07 \cdot 2.5}{85 \cdot 2 \cdot 2.5 \cdot (1-0.3)} \cdot \left[(2 + 0.625) \cdot (144.37 - 4.87) + 33 \cdot 2 \cdot l_n \cdot \frac{144.37}{4.87} \right] \cdot 1.5 = 3.45 \text{ год} \quad (53)$$

де R_i – ступінь рециркуляції активного мулу, визначають за формулою:

$$R_i = \frac{\alpha_i}{1000/J_i - \alpha_i} = \frac{2.5}{1000/100 - 2.5} = 0.24 \quad (54)$$

де J_i - муловий індекс, прийнятий за табл. 1.

Таблиця 1

Значення мулового індексу, J_i , см³/г, залежно від навантаження на мул, q_i , мг/(г × год), для міських стічних вод [7]

q_i , мг/(г × добу)	100	200	300	400	500	600
J_i , см ³ /г	130	100	70	80	96	130

У всіх випадках період аерації повинен бути не менше двох годин. Для уточнення значення мулового індексу варто розрахувати навантаження на мул, мг, БСК_{повн} на 1 м беззольної речовини мулу за добу за формулою:

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{mix} - L_{ex})}{a_i \cdot (1 - S) \cdot t_{at}} = \frac{24 \cdot (144.37 - 4.87)}{2.5 \cdot (1 - 0.3) \cdot 3.45} = 554.3 \text{ мг}/(\text{г} \cdot \text{доб.}) \quad (55)$$

де t_{at} – період аерації, год

Об'єм аеротенка – витиснювача визначають з урахуванням циркуляційної витрати:

$$W_{atv} = t_{atv} \cdot (1 + R_i) \cdot q_w = 3.45 \cdot (1 + 0.24) \cdot 4868.57 = 20827.74 \text{ м}^3 \quad (56)$$

де q_w - розрахункова витрата, дорівнює середньо годинному значенню в години максимального припливу стічних вод, м³/год.

Приріст активного мулу визначають за формулою:

$$P_i = 0.8 \cdot C_{cdp} + K_g \cdot L_{en} = 0.8 \cdot 150 + 0.3 \cdot 177.85 = 173.36 \text{ мг/л} \quad (57)$$

C_{cdp} - концентрація зважених речовин у стічній воді, що надходить в аеротенк, не більше 150 мг/л; K_g - коефіцієнт приросту, для міських і близьких до них за складом виробничих стічних вод $K_g=0,3$.

Для аеротенків з регенераторами визначають тривалість окислювання органічних забруднень за формулою:

$$t_o = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1 - S) \cdot \rho} = \frac{177.85 - 4.87}{0.24 \cdot 7.7 \cdot (1 - 0.3) \cdot 9.8} = 13.6 \text{ год.}, \quad (58)$$

де L_{en} – БСК_{повн} стічної води, що надходить в аеротенк, з урахуванням зниження БСК_{повн} при механічному очищенні, мг/л; L_{ex} – БСК_{повн} очищеної води, мг/л, визначеної за необхідним ступенем очищення стічних вод; R_i – ступінь рециркуляції активного мулу; S – зольність мулу, приймається в частках одиниці, рівної 0,3; ρ - питома швидкість окислювання, a_r - доза мулу в регенераторі, г/л, визначають за формулою:

$$a_t = a_i \left(\frac{1}{2 \times R} + 1 \right) = 2,5 \times \left(\frac{1}{2 \times 0,24} + 1 \right) = 7,7 \text{ г/л}$$

де a_i – доза мулу в аеротенку

$$\rho = \rho_{max} \cdot \frac{L_{ex} \cdot C_o}{L_{ex} \cdot C_o + K_1 \cdot C_o + K_o \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \phi \cdot a_i} = 85 \cdot \frac{4.87 \cdot 2}{4.87 \cdot 2 + 33 \cdot 2 + 0.625 \cdot 4.87} \cdot \frac{1}{1 + 0.07 \cdot 2.5} = 9.8 \quad (60)$$

де, ρ_{max} – максимальна швидкість окислювання для міських стічних вод, приймається рівною 85 мг БСК_{повн}/(м год);

C_o - концентрація розчиненого кисню в аеротенку, допускається прийняти 2 мг/л; K_1 – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин, для міських стічних вод дорівнює 33 мг БСК_{повн} /л; K_o – константа, що характеризує вплив кисню, для міських стічних вод приймається рівної 0,625 мО₂/л;

ϕ - коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу, рівний для міських стічних вод 0,07 л/г.

Тривалість обробки води в аеротенку, год:

$$t_{at} = \frac{2.5}{\sqrt{a_i}} \cdot \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}} = \frac{2.5}{\sqrt{2.5}} \cdot 1.47 = 2.3 \text{ год} \quad (61)$$

При розрахунку аеротенків - змішувачів з регенерацією доза мулу a_i приймається рівною дозі мулу в регенераторі a_r , при розрахунку аеротенків – витиснювачів з регенерацією $a_i = 2 - 4,5$ г/л.

Тривалість аерації в аеротенку t_{at} визначається з урахуванням розведення циркулюючою витратою, тривалість окислювання t_o – без урахування розведення.

Тривалість регенерації, год., знаходять за формулою:

$$t_r = t_o - t_{at} = 13.6 - 2.3 = 11.3 \text{ год.} \quad (62)$$

Місткість аеротенка, м^3 , розраховують за виразом:

$$W_{at} = t_{at} \cdot (1 + R_i) \cdot q_w \quad (63)$$

де q_w – розрахункова витрата, дорівнює середньо годинному значенню в години максимального припливу стічних вод, $\text{м}^3/\text{год}$.

Об'єм регенераторів W_r , м^3 , визначають за формулою:

$$W_r = t_r \cdot R_i \cdot q_w = 11.3 \cdot 0.24 \cdot 4868.57 = 13203.56 \text{ м}^3 \quad (64)$$

Загальний об'єм аеротенка і регенератора, м^3

$$W = W_{at} + W_r = 13885.16 + 13206.57 = 27091.72 \text{ м}^3 \quad (65)$$

Рекомендована література [3, 6, 14].

Тема 8. Розрахунок високо навантажувального біофільтра.

Розрахувати високонавантажений біофільтр, якщо відомо: витрати стічних вод Q_d 40000 $\text{м}^3/\text{добу}$; БСК_{повн} стічних вод,

які надходять, L_n 150 мг/дм³, після очищення L_e 20 мг/дм³; середньо зимова температура стічних вод T 14°C.

Визначається коефіцієнт K

$$K = L_n / L_B = 150 / 20 = 7,5 \quad (66)$$

За табл. 2 при температурі стічних вод 14 °С, гідравлічному навантаженні 30 м³/(м²·д) та питомих витратах повітря 10 м³/м³ коефіцієнт K 7,42 для H 4 м.

В зв'язку з тим, що табличне значення K менше розрахункового ($7,42 < 7,5$). необхідно передбачити рециркуляцію. Тоді БСК_{повн} суміші:

$$L_c = K \cdot L = 7,42 \cdot 20 = 148,4 \text{ мг/дм}^3 \quad (67)$$

4. Коефіцієнт рециркуляції:

$$n_p = \frac{L_n - L_c}{L_c - L_n} = \frac{150 - 148,4}{148,4 - 20} = 0,012 \quad (68)$$

5. Загальна площа біофільтрів:

$$F_{6\phi} = \frac{Q_d \cdot (n_p + 1)}{q_{6\phi}} = \frac{40000 \cdot (0,012 + 1)}{30} = 1350 \text{ м}^2 \quad (69)$$

6. Для очищення стічних вод використовуються два (N 2) круглих аерофільтри діаметром $D_{6\phi}$ 30 м кожний загальною площею:

$$F_3 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot N = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} \cdot 2 = 706,5 \cdot 2 = 1413 \text{ м}^2 \quad (70)$$

7. Фактичне гідравлічне навантаження на поверхню аерофільтрів

$$q_{6\phi}^{\phi} = \frac{Q_d}{F_3} = \frac{40000}{1413} = 28,3 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{д}) \quad (71)$$

тобто перебуває в межах норми.

8. Загальний об'єм фільтрувального матеріалу

$$V = H_{\text{бф}} \cdot F_3 = 4 \cdot 1413 = 5652 \text{ м}^3$$

де Н4 м.

9. Якщо прийняти питомі витрати повітря $q_{\text{п}} = 10 \text{ м}^3/\text{м}^2$, тоді необхідна кількість повітря становитиме:

$$V_n = q_n \cdot Q \cdot \Delta t = 10 \cdot 40000 = 400000 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (72)$$

10. Для подачі повітря в біофільтри встановлюються два робочих і один резервний вентилятори низького тиску Ц4-70 № 5 продуктивністю 6500 м³/год і напором до 80 мм

Рекомендована література [2, 3, 7, 11].

Тема 9. Розрахунок аеробних біореакторів з площинним завантаженням.

Розрахувати біофільтр з площинною засипкою за таких умов: витрати стічних вод $Q_d = 8000 \text{ м}^3/\text{добу}$; БСК₅ стічних вод, що надходять $L_{\text{п}} = 150 \text{ мг/дм}^3$; БСК₅ очищених стічних вод $L_{\text{в}} = 15 \text{ мг/дм}^3$; середньо зимова температура стічних вод $T = 12 \text{ }^\circ\text{C}$.

1. Вибирається фільтрувальний матеріал з плоских і гофрованих

поліетиленових листів з питомою площею поверхні $S_{\text{п}} = 100 \text{ м}^2/\text{м}^2$ і пористістю $P = 94\%$.

2. Висота шару засипки приймається $H_{\text{бф}} = 4 \text{ м}$ за табл. 2 при середньо зимовій температурі $T_3 = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ і $\varepsilon = 90\%$ визначається допустиме гідравлічне навантаження $q_{\text{бф}} = 10 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{добу})$.

3. Визначається необхідний об'єм засипного матеріалу біофільтра $V_{\text{бф}}$ і площа $F_{\text{бф}}$:

$$V_{\text{бф}} = Q_d / q_{\text{бф}} = 8000/10 = 800 \text{ м}^3 \quad (73)$$

$$F_{\text{бф}} = V_{\text{бф}} / H_{\text{бф}} = 800/4 = 200 \text{ м}^2 \quad (74)$$

4. Вибираються два біофільтри круглої форми в плані і розраховується їх діаметр:

$$D_{\text{бф}} = \sqrt{(F_{\text{бф}} \cdot 4) / (2 \cdot \pi)} = \sqrt{((200 \cdot 4) / (2 \cdot 3,14))} = 11,3 \text{ м} \quad (75)$$

Приймаються два біофільтри діаметром 12 м кожний і розташовуються в опалюваному приміщенні.

Таблиця 3

Параметри для розрахунку біофільтрів з площинною засипкою

Ефект очищення ε, %	Гідравлічне навантаження $q_{\text{бф}}$, м³/(м²·д) при висоті засипки $H_{\text{бф}}$, м							
	$H_{\text{бф}} = 3$				$H_{\text{бф}} = 4$			
	Температура стічних вод T , °C							
	8	10	12	14	8	10	12	14
90	6,3	6,8	7,5	8,2	8,3	9,1	10	10,9
85	8,4	9,2	10	11	11,2	12,3	13,5	14,7
80	10,2	11,2	12,3	13,3	13,7	15	16,4	17,9

Рекомендована література [2, 3, 7, 11].

Таблиця 2

Параметри для розрахунків високо навантажувальних біофільтрів

Питомі Витрати повітря $q_{\text{п}}, \text{м}^3/\text{м}^3$	Висот а біо- фільт- ра $H_{\text{бф}}, \text{м}$	Значення E при середньо зимовій температурі стічних вод, $T, ^\circ\text{C}$											
		8			10			12			14		
		Гідравлічне навантаження $q_{\text{бф}}, \text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{д})$											
		10	20	30	10	20	30	10	20	30	10	20	30
8	2	3.02	2.32	2.04	3.38	2.5	2.18	3.76	2.74	2.36	4.3	3.02	2.56
	3	5.25	3.53	2.88	6.2	3.96	3.22	7.32	4.64	3.62	8.95	5.25	4.09
	4	9.05	5.37	4.14	10.4	6.25	4.73	11.2	7.54	5.56	12.1	9.05	6.54
10	2	3.69	2.89	2.58	4.08	3.11	2.76	4.5	3.36	2.93	5.09	3.67	3.16
	3	6.1	4.24	3.56	7.08	4.74	3.94	8.23	5.31	4.36	9.9	6.04	4.84
	4	10.1	6.23	4.9	12.3	7.18	5.68	15.1	8.45	6.88	16.4	10.0	7.42
20	2	4.32	3.88	4.76	4.76	3.72	3.28	5.31	3.98	3.44	5.97	4.31	3.7
	3	7.25	5.01	8.35	8.35	5.55	4.78	9.9	6.35	5.14	11.7	7.2	5.72
	4	12	7.35	14.8	14.8	8.5	6.2	18.4	10.4	7.69	23.1	12.0	8.83

Тема 10. Розрахунок анаеробних біореакторів з контактним завантаженням.

Для попереднього зброджування стічних вод, зокрема, підприємств харчової промисловості можна застосовувати анаеробні реактори повного перемішування (Completely Mixed Anaerobic Reactor - CMAR), реактори із завислим шаром гранульованого анаеробного активного мулу (Upflow Anaerobic Sludge Blanket – UASB), анаеробні фільтри із висхідним потоком (Upflow Anaerobic Filter - UAF), із псевдозрідженим шаром анаеробного активного мулу, закріпленого на носії (Expanded Granular Sludge Bed – EGSB). У наш час для очищення стічних вод використовують UASB реактори.

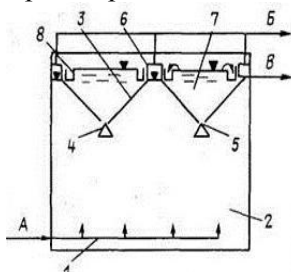


Рис. 9.1. UASB реактор: А-очищувані стічні води; Б-біогаз; В-очищені стічні води; 1-розподільна система стічних вод; 2-зона зброджування; 3-газонаправляюча перегородка; 4-дефлектор; 5-щілина (вхід у відстійну зону); 6-газозбірний короб; 7-зона відстоювання; 8-водозбірний лоток

Стічні води надходять до UASB знизу, проходячи через зону осаду. Осад і стічні води контактують, викликаючи анаеробну реакцію з виділенням біогазу, який піднімається у верхню частину трифазного сепаратора для поділу газу, твердої речовини та рідини. UASB може розпадатись понад 80% органічних забруднювачів та завершувати анаеробну реакцію. Шар внизу реактора щільніший (sludge bed), висотою 1,5–2,5 м з концентрацією біомаси 50–100 кг/м³, а вище – розріджений (sludge blanket) із концентрацією біомаси 5-20 кг/м³. Швидкість руху води у UASB-реакторі 0,5–1,5 м/год. Завдяки руху рідини і пухирцям газу, що утворюються, забезпечується перемішування всередині шару мулу, що сприяє інтенсивному протіканню процесу.

Рекомендована література [3, 5, 7].

Тема 11. Розрахунок аеротенку для очищення міських стічних вод з підвищеним вмістом азотовмісних сполук.

Розрахувати об'єм аеротенків для очищення міських стічних вод з підвищеним вмістом азотовмісних сполук при наступних вихідних даних: витрата стічних вод 50 000 м³/добу; БСК_п брудного стоку L_{ен}=200 мг/л; БСК_п очищених стоків L_{ех}=15 мг/л; Середньорічна температура стічних вод 15 °С; кількість завислих речовин у воді, що надходить, C_{сdp}=150 мг/л.

Період аерації в аеротенках-витиснювачах:

$$t_{atv} = \frac{1+\varphi\alpha_1}{\rho_{max}C_O\alpha_i(1-s)} \left[(C_O + K_O)(L_{mix} - L_{ex}) + K_i C_O \ln \frac{L_{en}}{L_{ex}} \right] K_p, \text{ год}, \quad (76)$$

де K_p – коефіцієнт, що враховує вплив поздовжнього перемішування: $K_p=1,5$ при біологічній очистці до $L_{ex}=15$; L_{mix} – БСК_п, що визначається з урахуванням розбавлення рециркуляційною витратою:

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex}(R_i + R_d)}{1 + R_i + R_d}, \text{ мг/л}; \quad (77)$$

R_i – ступінь рециркуляції активного мулу:

$$R_i = \frac{\alpha_i}{\frac{1000}{I_i} - \alpha_i}; \quad (78)$$

R_d – ступінь циркуляції денітрифікації (згідно досліджень лабораторій, можна приймати до 0,5); a_i – доза мулу в аеротенку: $a_i=2$ г/л; I_i – муловий індекс, см³/г. Приймаємо $I_i=100$ см³/г;

$$R_i = \frac{2}{\frac{1000}{100} - 2} = 0,25,$$

$$L_{mix} = \frac{200 + 15(0,25 + 0,3)}{1 + 0,25 + 0,3} = 134 \text{ мг/л}$$

C_O – концентрація розчиненого кисню: $C_O=3\text{мг/л}$;
 K_i – константа, що характеризує властивості органічних забруднюючих речовин (табл. В.4, ДБН): $K_i=33 \text{ мгБСКп/л}$;
 K_O – константа, що характеризує вплив кисню (табл. В.4, ДБН): $K_O=0,625 \text{ мгO}_2/\text{л}$;
 φ – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу (табл. В.4 ДБН): $\varphi = 0,07$;
 $\rho_{\max}$ – максимальна швидкість окислення $\text{мг/Г}\cdot\text{год}$ (табл. В.4 ДБН): $\rho_{\max}=85 \text{ мгБСКп/Г}\cdot\text{год}$;

$$t_{atv} = \frac{1 + 0,07 \cdot 2}{85 \cdot 3 \cdot 2(1 - 0,3)} \left[(3 + 0,625)(134 - 15) + 33 + 3 \ln \frac{200}{15} \right] 1,5 = 3,3 \text{ год}$$

Тривалість окислення органічних забруднюючих речовин:

$$t_0 = \frac{L_{en} - L_{ex}}{(R_i + R_d) \alpha_r (1 - S) \rho_r}, \text{ год}, \quad (79)$$

α_r – доза мулу в регенераторі: $\alpha_r=5\text{г/л}$.

ρ_r – питома швидкість окислення при дозі мулу α_r :

$$\begin{aligned} \rho_r &= \rho_{\max} \frac{L_{ex} C_O}{L_{ex} C_O + K_i C_O + K_O L_{ex}} \frac{1}{1 + \varphi \alpha_r} = \\ &= 85 \frac{15 \cdot 3}{15 \cdot 3 + 33 \cdot 3 + 0,625 \cdot 3} \frac{1}{1 + 0,07 \cdot 5} = 19,4 \text{ мгБСКп/Г}\cdot\text{год} \quad (80) \end{aligned}$$

$$t_0 = \frac{200 - 15}{(0,25 + 0,3) 5 (1 - 0,3) 19,4} = 5 \text{ год}.$$

Тривалість обробки води в аеротенку:

$$t_{at} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \log \frac{L_{en}}{L_{ex}} = \frac{2,5}{\sqrt{2}} \log \frac{200}{15} = 2,5 \text{ год}. \quad (81)$$

Тривалість регенерації:

$$t_r = t_0 - t_{at} = 5 - 2,5 = 2,5 \text{ год}. \quad (82)$$

Об'єм аеротенка:

$$W_{at} = t_{at}(1 + R_i + R_d)q_w, \text{м}^3. \quad (83)$$

q_w – розрахункова витрата стічних вод, м³/год.

$$W_{at} = 2,5(1 + 0,25 + 0,3)2083 = 8100 \text{ м}^3.$$

Об'єм регенератора:

$$W_r = t_r R_i q_w = 2,5 \cdot 0,25 \cdot 2083 = 1300 \text{ м}^3 \quad (84)$$

Порівняємо приріст мулу в традиційній схемі та прийнятій схемі. Приріст активного мулу в традиційній схемі:

$$P_i = 0,8C_{adp} + K_g L_{en}, \text{мг/л}. \quad (85)$$

K_g – коефіцієнт приросту: $K_g=0,3$ для міських стічних вод.

$$P_i = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 200 = 180, \text{мг/л}$$

Приріст мулу за добу при витраті 50000 м³ складатиме:

$$180 \text{ мг/л} \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot 50000000 \text{ л/доб} = 9000 \text{ кг/доб}.$$

приріст мулу складає 0,6 кг/кгБСКП вихідної води, тобто для 50000 м³/доб і БСКП=200мг/л приріст мулу складає:

$$200 \text{ мг/л} \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot 50000000 \text{ л/доб} \cdot 0,6 \text{ кг} = 6000 \text{ кг/доб},$$

В аеротенку дві зони – зона без аерації та зона постійної аерації. В зоні без аерації перемішування води та мулу здійснюється механічними мішалками. Приймаємо для зони денітрифікації занурені мішалки фірми Flygt типу SR 4660 (3 шт.). В якості насосів для перекачування мулу з зони нітрифікації в зону

денітрифікації приймаємо рециркуляційні насоси Flygt PP 4660.
Питома витрата повітря при пневматичній аерації:

$$q_{air} = \frac{q_0(L_{en}-L_{ex})}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_a - C_0)}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (86)$$

q_0 – питома витрата кисню повітря, приймається при очистці до БСК_П=15 мг/л: $q_0=1,1$ мг/мг БСК_П;

K_1 – коефіцієнт, що враховує тип аератора: для дрібнопухирцевої аерації $K_1=2,13$ (табл. В.6, ДБН);

K_2 – коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аераторів h_a (табл. В.7, ДБН): $K_2=2,08$ (при $h_a = 3$ м);

K_T – коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод: $K_T=1+0,02(T_w - 20)$;

T_w – середньомісячна температура води за літній період, °С;

$$K_T = 1 + 0,02(24 - 20) = 1,08;$$

K_3 – коефіцієнт якості води (табл. В.8. ДБН): $K_3 = 0,88$;

C_a – розчинність кисню повітря у воді:

$$C_a = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_T, \text{ мг/л} \quad (87)$$

C_T – розчинність кисню у воді: $C_T=9,95$ мг/л;

$$C_a = \left(1 + \frac{3}{20,6}\right) 9,95 = 11,4 \text{ мг/л}$$

$$q_{air} = \frac{1,1(200 - 15)}{2,13 \cdot 2,08 \cdot 1,08 \cdot 0,88(11,4 - 3)} = 5,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Інтенсивність аерації:

$$I_a = \frac{q_{air} H_{at}}{t_{at}}, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{год} \quad (88)$$

H_{at} – робоча глибина аеротенка: $H_{at}=3,2\text{м}$.

$$I_a = \frac{5,8 \cdot 3,2}{2,5} = 7,4 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год.}$$

Кількість аераторів:

$$N_{ma} = \frac{q_0(L_{en}-L_{ex})W_{at}}{1000K_TK_3 \frac{C_a-C_0}{C_a} t_{at}q_{ma}} \quad (89)$$

W_{at} – об'єм зони, що аерується: $W_{at}=0,75 \text{ W}=0,75 \cdot 8100=6075\text{м}^3$.

q_{ma} – продуктивність аератора за киснем: $q_{ma}=1,2 \text{ кг/год.}$

$$N_{ma} = \frac{1,1(200 - 15)6075}{1000 \cdot 1,08 \cdot 0,88 \frac{11,4 - 3}{11,4} 2,5 \cdot 1,2} = 585 \text{ шт.}$$

В зоні постійної аерації використовуємо аераційну систему з дрібнопухирцевими мембранними дифузорами Flygt-Sanitare.

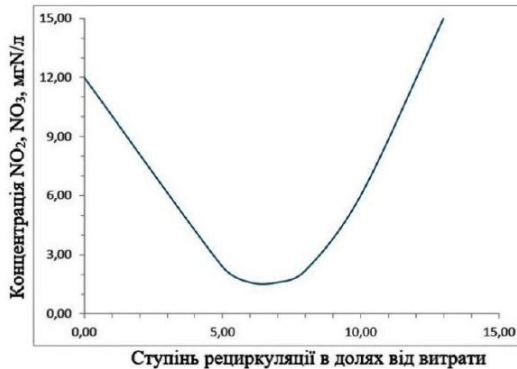


Рисунок 2 – Залежність ефективності видалення сполук азоту від ступеня рециркуляції

Рекомендована література [2, 3, 7].

Тема 12. Видалення зі стічних вод сполук фосфору. Приклади розрахунку реконструйованого аеротенка

На практиці для видалення із стічних вод сполук фосфору застосовується біолого-хімічне очищення. При біолого-хімічному очищенні традиційні схеми споруд біологічного очищення (з заключним фільтруванням стічних вод або без нього) доповнюються реагентним господарством, що включає розчинні і витратні баки для коагулянтів і приміщення для їх зберігання. Зазначене реагентне господарство розраховується відповідно до вимог ДБН. В.2.5-74:2013. Доза реагенту при його введенні в стічні води на етапі біологічної очистки визначається за формулою:

$$C_{\text{реаг}} = K C_{\text{Рзаб}}, \quad (90)$$

де K – коефіцієнт збільшення стехіометричного співвідношення, розрахований з врахуванням визначення за стандартними методиками вмісту загального фосфору (по PO_4^{3-}) та металів реагенту (по оксиду металу Me_2O_3), приймається за табл. 4; $C_{\text{Рзаб}}$ – концентрація загального фосфору у вихідній воді, мг/л. При відсутності даних про концентрацію у вихідній воді загального фосфору, орієнтовно може бути прийнято:

$$C_{\text{Рзаб}} = (2 - 3) C_{\text{PO}_4^{3-}} \quad (91)$$

C – концентрація фосфатів у вихідній воді мг PO_4^{3-} /л.

Таблиця 4

Значення коефіцієнту збільшення стехіометричного співвідношення

Ефективність видалення загального фосфору, %	Величина К при використанні		
	Сірчаноокислого заліза II	Сірчаноокислого заліза III	Сірчаноокислого алюмінію
60	0,33	0,15	0,35
65	0,5	0,25	0,4
70	0,66	0,33	0,5
75	1	0,5	0,65
80	1,34	0,66	0,74
85	1,67	1	0,9

З огляду на можливе пригнічення мікроорганізмів активного мулу при введенні реагентів в суміш мулу, не рекомендується приймати дози сірчаноокислого заліза (II) більше 25 мг/л по Fe_2O_3 ; сірчаноокислого заліза (III) більше 15 мг/л по Fe_2O_3 ; сірчаноокислого алюмінію понад 18 мг/л по Al_2O_3 .

З метою ефективного використання реагенту і з урахуванням його впливу на активний мул, рекомендується введення сірчаноокислого заліза (II) – у початок аеротенку або у флотаційну ємність, сірчаноокислого заліза (III) – перед вторинним відстійником, сірчаноокислого алюмінію – в кінець аеротенку.

При використанні в якості реагенту сірчаноокислого алюмінію, для зменшення концентрації завислих речовин в очищеній воді слід додавати поліакриламід (ПАА). Орієнтовна доза ПАА 0,2-1 мг/л. Введення розчину ПАА здійснюється в суміш мулу перед вторинним відстійником.

При наявності в схемі очищення стічних вод на завершальному етапі фільтрів з підвищеною брудомісткістю (наприклад, гравійно-піщаних фільтрів з висхідним потоком води) застосування ПАА не обов'язково.

Введення реагенту на етапі біологічної очистки дозволяє знизити вміст у воді загального фосфору до 85%, розчинних фосфатів до 95%. Більш глибоке видалення загального фосфору (до 90-95%) досягається в процесі доочищення стічних вод фільтруванням.

Введення реагенту повинно враховуватися при визначенні об'єму аеротенка зміною зольності мулу (коефіцієнт β) і питомої швидкості окислення (коефіцієнт m). Тоді формула (В.8) ДБН В.2.5-75:2013 визначення тривалості аерації набуде вигляду:

$$t_{atm} = \frac{L_{en} - L_{ex}}{\alpha_i(1 - \beta S)\rho m}, \quad (92)$$

де α_i – доза мулу, приймається за табл. 5; S – зольність мулу; β – поправка за рахунок введення реагенту, приймається за табл. 6. Питома швидкість окислення, мгБСК_П на 1г беззольної речовини за 1 год визначається за формулою (В.9) ДБН.

Таблиця 5

Рекомендована доза мулу

Доза реагенту по Me_2O_3 , мг/л	Рекомендована доза мулу α_i , мг/л залежно від БСК _П води, що надходить до аеротенка, мг/л			
	100	150	200	300
10	3	4	5	5
15	4	5	6	6
20	5	6	6	7
25	6	6	7	7

Примітка. При використанні сірчаноокислого алюмінію або сірчаноокислого заліза (III) дозу мулу слід приймати не більше 5 г/л.

Таблиця 6

Значення поправки β

Реагент	В при дозах реагенту, $\text{Me}_2\text{O}_3/\text{л}$				
	5	10	15	20	25
При використанні сірчаноокислого заліза II	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
При використанні других реагентів	1,07	1,15	1,2	1,22	1,22

Коефіцієнт, що враховує зміну швидкості окислення органічної речовини за рахунок введення реагенту по відношенню до швидкості окислення при біологічному очищенні, m , приймається по табл. 7 в залежності від навантаження по коагулянту $N_{\text{коаг}}$, $\text{мгMe}_2\text{O}_3/\text{г}$ беззольної речовини мулу, розрахованої за формулою:

$$N_{\text{коаг}} = \frac{C_{\text{реар}}}{\alpha_i(1-\beta S)}. \quad (93)$$

Таблиця 7

Значення коефіцієнту m

$N_{\text{коаг}}$	9	8	7	6	5	4	3	2
m	0,63	0,78	0,84	0,95	1	1,08	1,16	1,24

Питома витрата повітря, $\text{м}^3/\text{м}^3$, стічної води визначається за формулою (В.21) ДБН В.2.5-75:2013. При цьому в

схемі з введенням залізного купоросу середня концентрація кисню в аеротенках приймається рівною 5 мг/л.

Рециркуляційна витрата активного мулу орієнтовно приймається в залежності від робочої дози мулу в аеротенках та дози зворотного мулу за даними табл. 8.

Таблиця 8

Рециркуляційна витрата активного мулу

Робоча доза мулу в аеротенку, мг/л	Схема з введенням			
	Залізного купоросу		Сірчаноокислого заліза (III) або алюмінію	
	Доза, г/л	Рециркуляція, %	Доза, г/л	Рециркуляція, %
3	10	45	6,5	85
4	11,5	50	8,5	90
5	11,5	60	10,0	100
6	14,0	75	-	-
7	14,0	100	-	-

Вихідні дані: розрахункова витрата стічних вод $q_w=4160$ м³/год; БСК_п початкове і кінцеве $L_{ep}=200$ мг/л і $L_{ex}=15$ мг/л; вміст завислих речовин $C_{сдр}$ початковий і кінцевий 150 і 15 мг/л; вміст загального фосфору вихідної води 16 по PO_4^{3-} ; необхідна доза реагенту $C_{pear}=1 \cdot 16=16$ мг/л; $K=1$ – за табл. 4.

Необхідно видалити 75% загального фосфору.

При вихідному БСК_п=200 мг/л і необхідній дозі реагенту 16 мг/л відповідно табл. 6 біолого-хімічний процес доцільно вести при дозі активного мулу $a_i=6$ г/л. При цих параметрах збільшення зольного мулу приймаємо по табл. 6, $\beta=1,3$, тобто зольність мулу буде $0,3 \cdot 1,3=0,39$.

Навантаження по коагулянту визначаємо за формулою (93):

$$N_{коар} = \frac{16}{6(1 - 1,3 \cdot 0,3)} = 4,4 \text{ мг/г}.$$

За табл. 7 коефіцієнт зміни питомої швидкості окислення органічних забруднень при $N_{коар}=4,4$ мг/г складе $m=1,04$.

Швидкість окислення органічної речовини при біологічному очищенні визначаємо за формулою (В.9) ДБН В.2.5-75:2013:

$$\rho = 85 \cdot 15 \cdot 5 / [(15 \cdot 5 + 33 + 0,625 \cdot 15)(1 + 0,07 \cdot 6)] = 18 \text{ мг} \cdot \text{БСК}_{\Pi} / (\text{г} \cdot \text{год}),$$

де $\rho_{\max} = 85$ мгБСК_П/(г·год); $C_o = 5$ мг/л (використання залізного купоросу); $K_t = 33$ мгБСК_П/л; / $K_o = 0,625$ мг/л; $\phi = 0,07$ л/г. Питома швидкість окислення органічних речовин при біолого-хімічному очищенні $\rho_m = 18 \cdot 1,04 = 18,7$ мгБСК_П/(г·год).

Розрахунок періоду аерації в аеротенках виконуємо за формулою (92):

$$t_{atm} = (200 - 15) / 6(1 - 0,39) \cdot 7 = 2,73 \text{ год}$$

Рециркуляцію мулу приймаємо за табл. 5.16 – 75%. Тоді приріст мулу складатиме $1,16(0,8 \cdot 150 + 0,4 \cdot 15) = 145$ мг/л.

На завершення, визначимо кількість реагенту для розрахунку реагентного господарства при вмісті 52 % FeSO₄ в технічному залізному купоросі (P_{pear}) за формулою:

$$Q_{\text{pear}} = q_w C_{\text{pear}} / P_{\text{pear}} = 4160 \cdot 16 \cdot 1,9 \cdot 100 \cdot 24 / 52 \cdot 1000 \cdot 1000 = 5,76 \text{ т/доб.}$$

Рекомендована література [2, 3, 5, 7, 11].

Тема 13. Формування умов середовища для прискорення біодеградації нафтопродуктів.

Найбільш важливими бактеріями у біодеградації вуглеводнів у ґрунтах і морській воді є *Achromobacter*, *Acinetobacter*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Nocardia*, *Pseudomonas spp.* і *Corynebacterium sp.* Серед виділених з морської води дріжджів та грибів є *Aureobasidium*, *Candida*, *Rhodotorula*, *Sporobolomyces spp.* Виділені із забрудненого нафтою ґрунту штами *Pseudomonas pseudoalcaligenes*, *Bacillus firmus*, *Bacillus alvei*, *Penicillium*

funiculosum, *Aspergillus sydowii* і *Rhizopus sp.* здатні розкладали 79 %, 80 %, 68 %, 86 %, 81 % і 67 % від загальної кількості нафтових вуглеводнів.

В сучасних умовах найбільш поширеними способами біодеградації нафтопродуктів є:

1. Активація природних мікроорганізмів, здатних до окиснення нафти, шляхом створення оптимальних умов до їх розвитку.

2. Введення в забруднене середовище активних бактерій здатних до окиснення вуглеводнів.

Одними і основних факторів впливу на швидкість біологічної деградації вуглеводнів у воді є їх агрегатний стан, ступінь розчинності та дисперсності, а також величини рН 6,5-8,0 та температури (30-40 °С). Вуглеводні з великою довжиною ланцюга утилізуються при температурі не нижче 25 °С. Крім того, лімітуючим фактором є вміст біогенних елементів. Для систем біологічного очищення води від нафтопродуктів оптимальні співвідношення азоту та фосфору C:N = (9-200) : 1. Для їх підтримання, до води яка підлягає очищенню, вносять мінеральні добрива. Деякі мікроорганізми здатні продукувати біоемульгатори які руйнують суцільну плівку нафти на окремі сегменти які є більш придатними для переробки зовнішньо-клітинними ферментами. За літературними даними [3, 4, 7] активні біоемульгуючі комплекси здатні утворювати бактерії родів *Rhodococcus*, *Acinetobacter*, дріжджів *Yarrowia lipolytica*.

Фактори впливу на процес біодеградації нафтопродуктів:

1. Присутність кінцевих акцепторів електронів (молекулярного кисню, нітратів, сульфатів, тривалентного заліза або діоксиду вуглецю);

2. Наявність біогенних елементів (азот, фосфор), мікроелементів;

3. Максимальна площа контакту між мікроорганізмами та нафтопродуктами на поверхні розподілу вуглеводні-вода; отримання стійкої емульсованої суміші вуглеводнів у водному середовищі;

4. Обов'язкова присутність води і солоністю меншою ніж ~ 100-150 проміле;

5. Підтримання оптимальної температури води у межах: 20–30 °С – для прісної і 15–20 °С для морської води;

6. Відсутність бактерицидних речовин.

7. Можливість додавання необхідних ферментів для активації процесу синтезу;

8. Використання процесу ко-метаболізму.

9. Проходження процесу у аеробних умовах. Надходження кисню до системи повинне бути повільним, але достатнім для забезпечення постійного аеробного середовища для мікроорганізмів.

Рекомендована література [2, 3, 5, 13].

Тема 14. Вивчення мікроорганізмів – біоіндекаторів та деструкторів мікропластика. Визначення терміну необхідного для розщеплення мікропластика в одному кубічному метрі біологічно очищеної стічної води бактерією *Ideonella sakaiensis* 201-F6.

В ході дослідження мікроорганізмів, що живуть в океані, Японські вчені знайшли колонію бактерій, що отримала назву *Ideonella sakaiensis* 201-F6, яка використовує в вуглецевому і енергетичному обміні поліетилентерефталат (ПЕТФ), також відомий як лавсан або поліестер. При вирощуванні на ПЕТФ ця культура продукує два ферменти, здатних гідролізувати ПЕТФ, і проміжний продукт реакції – моно (2-гідроксіетил) терефталеву кислоту (МГЕТ ТФК). Обидва ферменти необхідні для ефективного ферментативного перетворення ПЕТФ в два екологічно безпечних мономера: терефталеву кислоту і етиленгліколь. Цей консорціум розкладає поверхню плівки ПЕТ зі швидкістю $0,13 \text{ мг/см}^2 \times \text{день}$ при 30° С. Бактерія *Ideonella sakaiensis* здатна жити в будь-яких середовищах, що підтримують життя, а також може відноситися до виду патогенних бактерій. Також вона аеробна, тобто, живе і розвивається в окисленому середовищі. Зростання бактерії відбувається оптимально при рН = 5,5 – 9 і температурі 15 – 42 °С.

Параметри очищеної стічної води яка скидається до відкритого водного об'єкта: 16 волокон, 7 синтетичних частинок і 125 чорних частинок на 1 літр. Якщо в якості питомої щільності гранул пластику приймати $1,15 \text{ г/см}^3 = 1150 \text{ мг/см}^3$ та умовно середній діаметр частинки мікропластику, який дорівнює $2,2 \text{ мм} = 0,22 \text{ см}$, тоді об'єм сферичної гранули мікропластика:

$$V = \frac{1}{6} \times \pi \times D^3 = \frac{1}{6} \times 3.14 \times 0.0106 = 0.0055 \text{ см}^3 \quad (94)$$

маса однієї частинки становить:

$$M = V \times \rho = 0.0055 \times 1150 = 6.325 \text{ мг} \quad (95)$$

На 1 літр у сумі щільність даних часток буде складати:

$$\rho_c = 148 \times 6.325 = 936 \text{ мг/л} = 0,936 \times 10^6 \text{ мг/м}^3 \quad (96)$$

В ємності об'ємом $1000 \text{ л} = 1 \times 10^6 \text{ см}^3$ міститься $0,936 \times 10^6 \text{ мг}$ мікропластика. Якщо площа поверхні складає 10000 см^2 , то щільність суспензії становить:

$$\rho = \frac{0,936 \times 10^6}{10000} = 93,6 \text{ мг/см}^2 \quad (97)$$

Час розкладу даної суспензії в одному кубічному метрі стічної води:

$$W = \frac{93.6}{0.13} = 720 \text{ днів}$$

Такий термін потрібно для розщеплення мікропластика в одному кубічному метрі механічно і біологічно очищеної стічної води бактерією *Ideonella sakaiensis* 201-F6.

Рекомендована література [5].

15. САМОСТІЙНА РОБОТА

Самостійна робота здобувача вищої освіти є невід'ємною складовою освітнього процесу. Це основа навчання, спрямована на формування самостійності майбутнього фахівця, уміння здійснювати

самостійний пошук, системний аналіз та узагальнення навчально-методичної та наукової інформації, професійно важливих дій до самопідготовки у процесах виробничої практики, здатності приймати конструктивні рішення тощо.

Метою самостійної роботи є підвищення конкурентоспроможності майбутніх фахівців на світовому ринку праці через формування їхніх вмінь та ключових навичок.

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни «Сучасні біотехнології в галузі очищення води» є складання письмового звіту за питаннями, що не розглядаються під час аудиторних занять.

15.1. Завдання для самостійної роботи

1. Шляхи забруднення та заходи по збереженню та відновленню чистоти водойм.
2. Вплив антропогенної діяльності на стан водних ресурсів.
3. Структурування молекул води на біологічних поверхнях та у біополімерах.
4. Оцінка біологічних процесів в системах комплексної підготовки питної води з урахуванням цілей, обмежень та ризиків.
5. Класифікація домішок природних вод за фазово-дисперсним станом Кульського Л.А.
6. Фотосинтетична аерація.
7. Математичне моделювання процесів біологічного очищення підземних вод в контактному завантаженні біореакторів
8. Вплив кисневих умов на бактерії та його використання в сучасних біотехнологіях очищення стічних вод.
9. Характеристика фізико-хімічних умов перебігу процесів нітрифікації, денітрифікації, анамокс.
10. Аналіз та застосування сучасних технологій на основі природного біоценоза з можливістю управління біотехнологічними процесами.
11. Біологічне очищення води та еволюція.
12. Моделювання процесів очищення оборотної води рибницьких господарств.
13. Поля фільтрації. Поля зрошення. Біологічні ставки.
14. Шахтні аеротенки. Окситенки. Біотенки.
15. Анаеробні гібридні реактори. Порівняльний аналіз та оцінка ефективності їх роботи.
16. Схеми біологічного очищення з модифікацією аеротенку для видалення азоту та фосфору.
17. Біологічна деноксація хімічних патогенів у водному середовищі.

18. Характеристика фізико-хімічних умов перебігу процесів нітрифікації, денітрифікації, анамокс.
19. Санітарні умови скиду стічної води у природні об'єкти.

15.2. Оформлення звіту про самостійну роботу

Підсумком самостійної роботи над вивченням дисципліни є складання письмового звіту за темами, вказаними в пункті 7.1.

Звіт оформлюється на стандартному папері формату А4 (210x297) з одного боку. Поля: верхнє, праве – 10 мм, нижнє – 17 мм, ліве – 20 мм. У тексті повинні бути зазначені посилання на використану літературу.

Звіт може бути рукописним або друкованим і виконується українською мовою.

На титульній сторінці звіту мають бути зазначені назва кафедри, тема самостійної роботи, прізвище та ініціали здобувача вищої освіти, група, прізвище та ініціали викладача, який приймає роботу, посада.

Загальний обсяг звіту – 10-15 сторінок. Звіт включає план, основну частину, висновки, список використаної літератури та додатки.

Здача звіту про самостійну роботу відбувається у терміни, спільно обумовлені викладачем і здобувачем вищої освіти.

Рекомендована література

Базова

1. Фізико-хімічні методи очищення води. Управління водними ресурсами. Проект «Water Harmony» / Астрелін І. М., Герасимов Е., Гіроль А. та ін. К. : Ніка-центр, 2015. 614 с.
2. Долина Л. Ф., Машихіна П. Б., Козачина В. А. Реконструкція систем водопостачання та водовідведення : монографія. Дніпро : Журфонд, 2021. 220 с.
3. Ковальчук В. А. Очистка стічних вод : навч. посіб. Рівне : БАТ «Рівненська друкарня», 2002. 622 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/15447/>
4. Знезалізнення підземних вод для питних цілей : монографія / Орлов В. О., Квартенко О. М., Мартинов С. Ю., Гордієнко Ю. І. Рівне : УДУВГП, 2003. 155 с.
5. Обладнання та проектування в біоенергетиці та водоочищенні та управління безпекою праці : підручник для студ. ВНЗ спец. «Біотехнології та біоінженерія», рекомендованою вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського / Саблій Л. А., Бунчак О. М., Жукова В. С., Кононцев С. В. ; під ред. Л. А. Саблій ; 2-е вид., перероб. і доп. Рівне : НУВГП, 2018. 377 с.
6. Природоохоронні технології : навчальний посібник. Ч. 2 : Методи очищення стічних вод / Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І.

Вінниця : ВНТУ, 2014. 258 с.

Нормативно-правова

7. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування: Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. [Чинний від 2014-01-01].

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>

8. Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотніми водами (Затв. Постановою Кабміну України від 25.03.1999. N 465. *Із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ N 748 (748-2013-н) від 07.08.2013*

URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/465-99-%D0%BF#Text>

9. Правила приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення : Наказ № 316 від 01.12.2017 р.; зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15.01.2018 р., № 56/31508. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0056-18#Text>

Допоміжна

10. Василенко А. О., Литвиненко Л. Л., Квартенко О. М. Рациональное використання водних ресурсів : навчальний посібник. Рівне, 2007. 245 с.

11. Долина Л. Ф. Реактори для очистки стічних вод. Дніпропетровськ : Дніпропетровський державний технічний університет залізничного транспорту, 2001. 82 с.

12. Kvartenko O. The Use of Biotechnologies for Treating Underground Waters in North-Western Regions of Ukraine, Chapter 18. P. 298–323 in collective monograph: Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone/ IGI Global – May, 2023. Pages: 479. DOI: 10.4018/978-1-6684-8248-3.ch018 SCOPUS

13. Kvartenko O., Prysiazniuk I., Mammadov G. Innovative technologies of oil-containing waters treatment using artificial intelligence. Chapter 2. In monography: Revolutionizing AI and Robotics in the Oil and Gas industry. IGI Global Publisher of TIMELY KNOWLEDGE, Hershey, PA 17033, U.S.A. Pages: 415 Projected Release Date: March, 2025 Scopus DOI:10.4018/979-8-3693-8156-4

14. Методичні вказівки до виконання курсової роботи та проведення практичних занять з дисципліни «Технологія очистки водно-дисперсних систем», Модуль 2: «Технологія очистки стічних вод» (для студентів 4 курсу денної форми навчання напряму підготовки 0926 «Водні ресурси», 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» спеціальності «Водопостачання та водовідведення») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: І. О. Гуцал. Х. : ХНАМГ, 2009. 58 с.