

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ОЧИСТКА Й ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт студентами напряму
підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування

Дніпропетровськ
2013

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**



ГІРНИЧИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра екології

ОЧИСТКА Й ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт студентами напряму
підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування

Дніпропетровськ
НГУ
2013

Очистка й знезараження стічних вод. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт студентами напряму підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування / О.С. Ковров, Ю.В. Бучавий. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 51 с.

Автори:

О.С. Ковров, канд. техн. наук, доц.;

Ю.В. Бучавий, асист.

Затверджено до видання редакційною радою (протокол № 3 від 07.03.2013) за поданням методичної комісії з напряму підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування (протокол № 1 від 29.01.2013).

У методичних рекомендаціях описано методику виконання практичних робіт із розрахунків водоочисного устаткування при вивченні дисципліни; подано контрольні завдання, питання для самоконтролю, довідковий матеріал у вигляді схем, рисунків, таблиць, список рекомендованої літератури.

Видання має на меті допомогти студентам у засвоєнні теоретичного матеріалу, а також у виробленні практичних навичок розрахунку параметрів основних апаратів для очищення стічних вод у різних виробничих галузях та оцінюванні доцільності й ефективності їх застосування як частини комплексних природоохоронних заходів.

Рекомендовано до використання в навчальному процесі підготовки бакалаврів напряму 6.040106 Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування.

Відповідальна за випуск завідувач кафедри екології д-р біол. наук, проф. А.І. Горова.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Очищення й доочищення промислових стічних вод з подальшим їх використанням для промислового водопостачання підприємств, а в окремих випадках для потреб сільського господарства, – усе це можна віднести до важливих заходів, спрямованих на охорону водних об'єктів. У сучасних умовах раціональне використання водних ресурсів передбачає розробку нових технологічних процесів, що дозволяють запобігти забрудненню водойм і звести до мінімуму споживання прісної води, а також упровадження новітніх технологій очищення та знезараження стічних вод.

Виробничі функції майбутнього спеціаліста в галузі екології та охорони навколишнього середовища потребують оволодіння теоретичними знаннями про джерела утворення стічних вод у різних галузях промисловості й навичками використання засобів очищення, зокрема, стосовно:

- основних пристроїв і споруд очищення води й принципів їх дії, навичок моделювання схем очищення стоків промислових підприємств від забруднень унаслідок різноманітних технологічних процесів;
- експертного оцінювання доцільності впровадження того чи іншого засобу очищення стічних вод на промисловому підприємстві;
- розрахунку очисних споруд механічного, хімічного та біологічного обґрунтування комплексних схем очищення стічних вод;
- визначення ефективності очищення стоків для забезпечення необхідної якості поверхневих водойм.

Дані методичні рекомендації до виконання практичних робіт з дисципліни «Очистка та знезараження стічних вод» адресовано студентам напряму підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування.

Мета методичних рекомендацій полягає в закріпленні теоретичних знань, набутих студентами в лекційному курсі, а також у виробленні практичних навичок з обґрунтування та вибору оптимальних технологічних схем очищення стічних вод.

Основні завдання, які має виконати кожен студент:

- Оволодіти методами механічного, фізико-хімічного та біологічного очищення стічних вод й обґрунтувати їх застосування відповідно до конкретної ситуації;
- Навчитись розраховувати величини гранично допустимого скидання відходів, беручи до уваги певні технологічні умови;
- Набути навичок розрахунку технологічних параметрів первинних відстійників, аеротенків та біологічних ставків.
- Навчитись визначати ступінь очищення стічних вод при скиданні їх у водойми.

Методичні рекомендації складаються із 9 практичних робіт, що містять розрахунки параметрів основних водоочисних споруд.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

АНАЛІЗ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН У СТІЧНИХ ВОДАХ

Мета роботи: Ознайомитись із методикою аналізу фракційного складу завислих частинок речовин у стічних водах.

Методика розрахунку базується на ваговому аналізі окремих фракцій твердих домішок у стічних водах, що поступово вилучаються методами седиментації, фільтрації, випаровування та прожарювання. Послідовність операцій фракційного аналізу цих речовин зображено на рис. 1.

Склад стічних вод досить різноманітний, у них містяться різні фракції завислих частинок, серед яких колоїдні та розчинні. Розглянемо кожну з них.

Речовини осаду (РО) – фракція зважених частинок, які осідають протягом 1 години.

Сухий залишок (СО) – фракція зважених речовин, отриманих після висушування зразка при температурі 103 – 105 °С.

Колоїдні речовини (КР) – фракція зважених частинок, що затримуються на фільтрі, номінальний розмір пор якого становить 1,58 мкм при температурі 103...105 °С.

Розчинні речовини (РР) – фракція розчинних зважених частинок, які пройшли через фільтр й утворюються шляхом висушування при 103...105 °С. До того ж, у цій фракції присутні як розчинні, так і дрібнодисперсні (колоїдні) частинки розміром 0,001...1 мкм.

Леткі колоїдні речовин (ЛКР) – фракція зважених частинок, які можна відігнати шляхом прожарювання осаду фракції колоїдних речовин при температурі 500±50 °С.

Зв'язані колоїдні речовини (ЗКР) – фракція зважених частинок, яку отримують після прожарювання осаду фракції колоїдних речовин (КР) при температурі 500±50 °С.

Леткі розчинні речовини (ЛРР) – розчинні тверді частинки, які пройшли через фільтр і можуть бути відігнані за допомогою прожарювання фракції РР при 500±50 °С.

Зв'язані розчинні речовини (ЗРР) – осад, який залишається внаслідок прожарювання зразка РР при температурі 500±50 °С.

Леткі речовини (ЛР) – загальна кількість летких зважених частинок, які можна відігнати за допомогою прожарювання зразків при температурі 500±50 °С.

Зв'язані речовини (ЗР) – осад, який залишається після прожарювання зразка при температурі 500±50 °С [1].

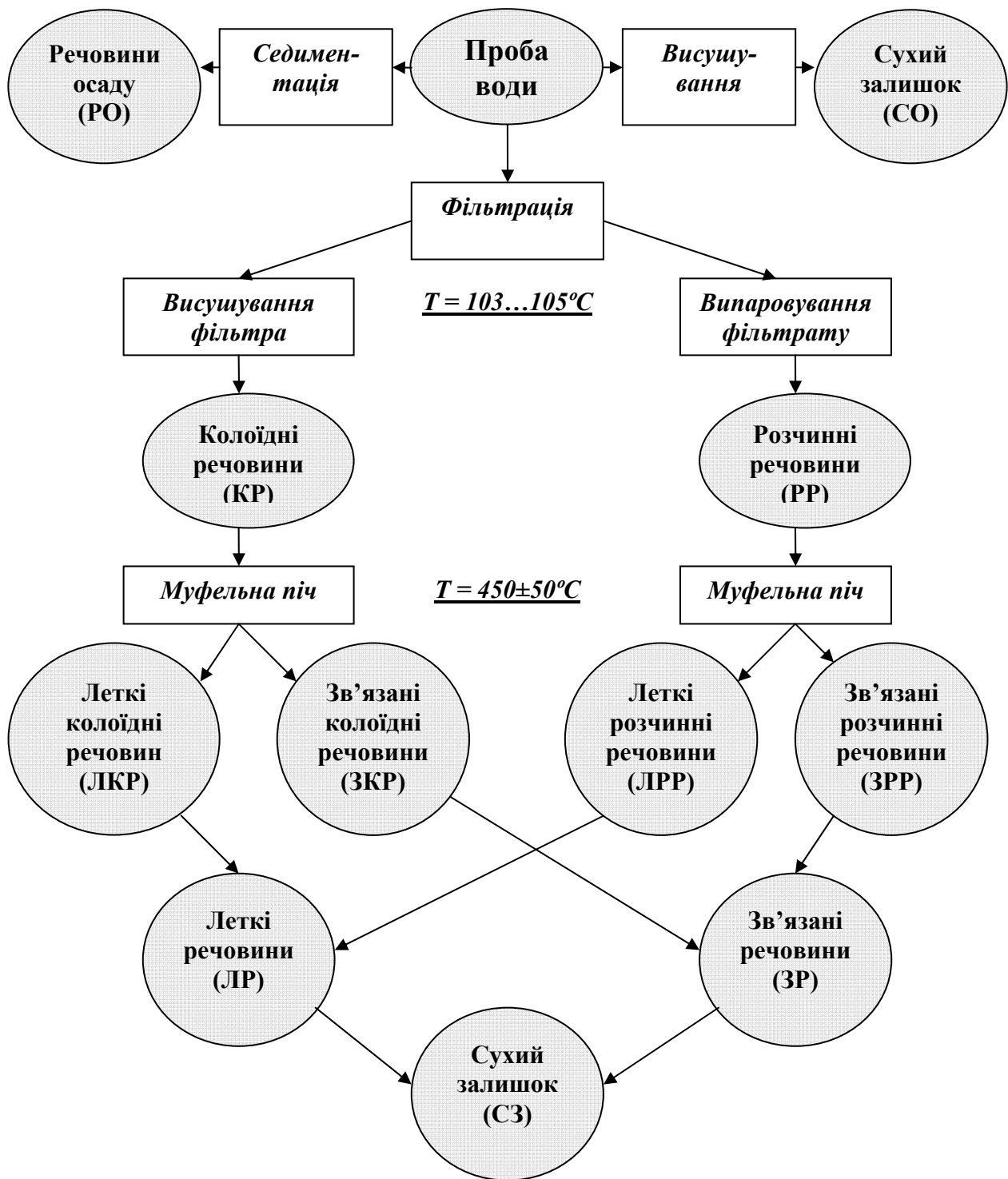


Рис. 1. Методологія визначення фракційного складу завислих частинок у стоках промислових підприємств

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Для аналізу стічних вод на вміст завислих частинок досліджувалася проба води об'ємом 50 мл. При цьому, всі зразки перед тестуванням були зневоднені, висушені й прожарені поки не набули постійної маси.

За результатами тестування отримано такі експериментальні дані:

1. Маса чашки для випарювання рідини (Ч) становить 53,5433 г.
2. Маса чашки для випарювання рідини + осад після випаровування рідкої фази ($T = 102 \dots 105 \text{ }^\circ\text{C}$) Ч+О(105 °C) = 53,5794 г.
3. Маса чашки для випарювання рідини з осадом після прожарювання в муфельній печі ($T = 450 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$) Ч+О(500 °C) = 53,5625 г.
4. Маса паперового фільтра для тонкого очищення рідини після сушіння Ф(105 °C) = 1,5433 г.
5. Маса паперового фільтра для тонкого очищення рідини з осадом після сушіння Ф+О(105 °C) = 1,5554 г.
6. Маса паперового фільтра для тонкого очищення рідини з осадом після прожарювання в муфельній печі ($T = 450 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$) Ф+О(500 °C) = 1,5476 г.

Визначити концентрацію фракцій зважених частинок речовин та встановити належність стічних вод до певного типу.

Розв'язування

1. Визначимо загальну концентрацію зважених речовин, тобто масу сухого залишку:

$$\text{СЗ} = [\text{Ч+О}(105^\circ\text{C}) - \text{Ч}] / V = (53,5794 \text{ г} - 53,5433 \text{ г}) / 0,050 \text{ л} = 0,722 \text{ г/л} = 722 \text{ мг/л.}$$

2. Обчислюємо вміст летких речовин:

$$\text{ЛР} = [\text{Ч+О}(105^\circ\text{C}) - \text{Ч+О}(500^\circ\text{C})] / V = (53,5794 \text{ г} - 53,5625 \text{ г}) / 0,050 \text{ л} = 0,338 \text{ г/л.}$$

3. Розраховуємо вміст фракції зважених колоїдних речовин:

$$\text{КР} = [\text{Ф+О}(105^\circ\text{C}) - \text{Ф}(105^\circ\text{C})] / V = (1,5554 \text{ г} - 1,5433 \text{ г}) / 0,050 \text{ л} = 0,242 \text{ г/л.}$$

4. Визначимо вміст фракції летких колоїдних речовин:

$$\text{ЛКР} = [\text{Ф+О}(105^\circ\text{C}) - \text{Ф+О}(500^\circ\text{C})] / V = 1,5554 \text{ г} - 1,5476 \text{ г} / 0,050 \text{ л} = 0,156 \text{ г/л.}$$

5. Обчислюємо вміст розчинних речовин:

$$\text{РР} = \text{СЗ} - \text{КР} = 0,722 \text{ г/л} - 0,242 \text{ г/л} = 0,480 \text{ г/л.}$$

6. Визначимо вміст летких розчинних речовин:

$$\text{ЛРР} = \text{ЛР} - \text{ЛКР} = 0,338 \text{ г/л} - 0,156 \text{ г/л} = 0,182 \text{ г/л.}$$

Контрольне завдання

1. Виконати фракційний аналіз стічних вод за вихідними даними, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Вихідні дані для фракційного аналізу стічних вод

№ п/п	Вихідні показники	Умовне позначення	№ варіанта			
			1	2	3	4
1	Маса чашки для випарювання рідини, г	$Ч$	53,5433	53,1424	58,478	53,7159
2	Маса чашки для випарювання рідини з осадом після випаровування при 105°C, г	$Ч+O(105^{\circ}C)$	53,7632	53,3233	59,0355	53,9945
3	Маса чашки з осадом після прожарювання в муфельній печі ($T = 450 \pm 50^{\circ}C$), г	$Ч+O(500^{\circ}C)$	53,7512	53,2573	58,9668	53,9805
4	Маса паперового фільтра для тонкого очищення рідини після сушіння, г	$\Phi(105^{\circ}C)$	1,5433	1,6287	1,5433	1,9174
5	Маса паперового фільтра для тонкої фільтрації рідини з осадом після сушіння, г	$\Phi + O(105^{\circ}C)$	1,5851	1,6852	1,5741	1,9256
6	Маса паперового фільтра з осадом після прожарювання при 550°C, г	$\Phi+O(500^{\circ}C)$	1,5763	1,6463	1,5498	1,9194
7	Об'єм проби води, л	V	0,05	0,05	0,05	0,05

Продовження табл. 1

№ п/п	№ варіанта							
	5	6	7	8	9	10	11	12
1	55,2816	52,9648	53,5433	53,7685	54,5433	56,1229	53,7159	53,5433
2	55,7793	53,2986	53,5794	53,9976	54,5579	56,1657	53,9945	53,7632
3	55,5625	52,9865	53,5625	53,8244	54,5496	56,1456	53,9805	53,7512
4	1,5433	1,8934	1,5433	1,6422	1,5433	1,5433	1,9174	1,5433
5	1,5745	1,9674	1,5554	1,6755	1,5554	1,5554	1,9256	1,5851
6	1,5576	1,9115	1,5476	1,6034	1,5476	1,5476	1,9194	1,5763
7	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Закінчення табл. 1

№ п/п	№ варіанта							
	13	14	15	16	17	18	19	20
1	53,1424	58,478	55,2816	52,9648	53,5433	53,7685	54,5433	56,1229
2	53,3233	59,0355	55,7793	53,2986	53,5794	53,9976	54,5579	56,1657
3	53,2573	58,9668	55,5625	52,9865	53,5625	53,8244	54,5496	56,1456
4	1,6287	1,5433	1,5433	1,8934	1,5433	1,6422	1,5433	1,5433
5	1,6852	1,5741	1,5745	1,9674	1,5554	1,6755	1,5554	1,5554
6	1,6463	1,5498	1,5576	1,9115	1,5476	1,6034	1,5476	1,5476
7	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Примітка. Номер варіанта кожен студент визначає за номером власного прізвища в списку академічної групи.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть методику виконання фракційного аналізу стічних вод.
2. У чому полягає різниця між фракціями колоїдних та розчинних речовин?
3. Що являє собою сухий залишок стічних вод?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

ВИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОГО СТУПЕНЯ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД

Мета роботи: Навчитись оцінювати належний ступінь очищення виробничих стічних вод за кількістю наявних там зважених речовин та БСК, враховуючи санітарно-гігієнічні вимоги.

Методика розрахунку. Щоб точно розрахувати потрібну якість очищення стічних вод, що скидаються у водойму, необхідно зібрати докладні дані про їх кількість і склад, а також врахувати місцеві гідрологічні й санітарні умови. В основі таких розрахунків – кількість зважених у стоках речовин, допустима величині біологічного споживання кисню (БСК) в суміші річкової води і стічних вод, гранично допустимі концентрації (ГДК) речовин-забруднювачів, а також інші параметри (рис. 2).

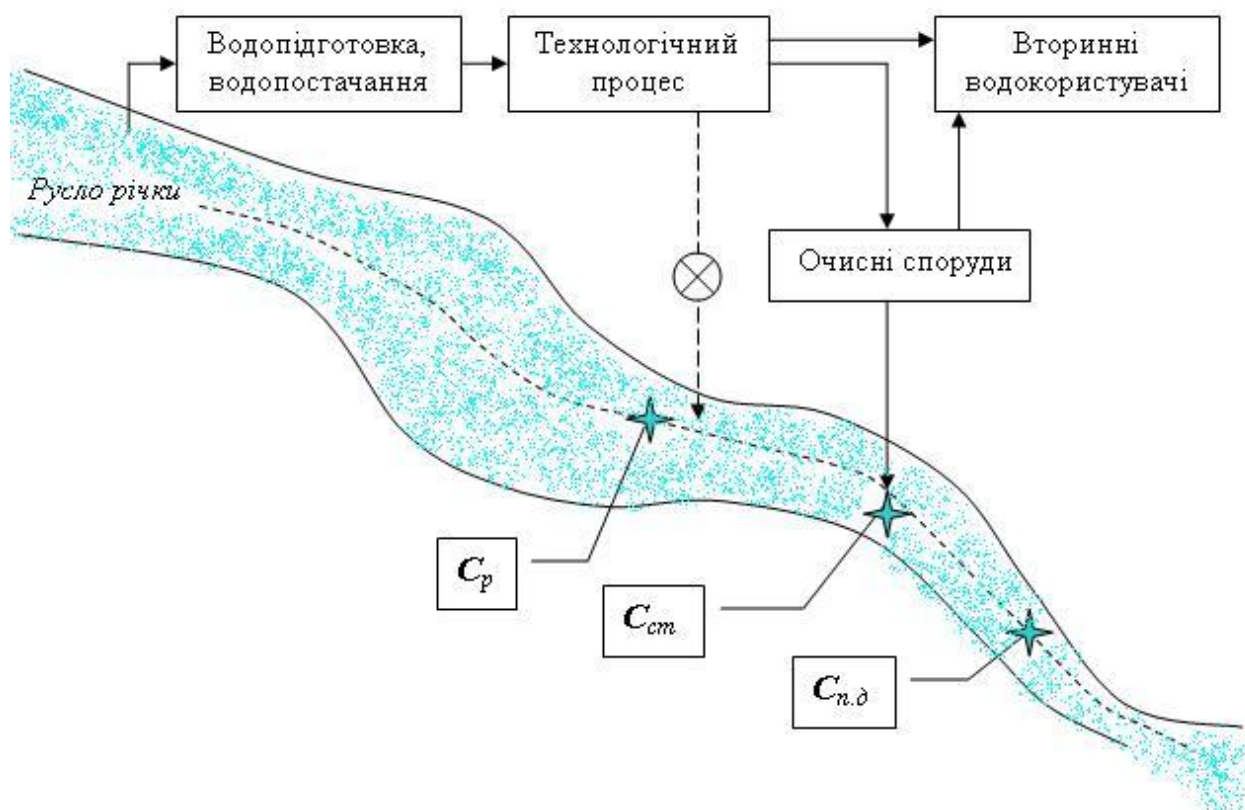


Рис. 2. Схема скидання стічних вод у водойму:

- ⊗ – надходження стоків, що відповідають санітарним вимогам;
- ★ – контрольні точки оцінювання якості стоків

Взаємозв'язок між санітарними вимогами до стоків, що надходять у водойми, та необхідним ступенем їх попереднього очищення в загальному вигляді можна описати такою формулою:

$$C_{cm} \cdot q + C_p \cdot a \cdot Q \leq (a \cdot Q + q) \cdot C_{n.d}, \quad (2.1)$$

де C_{cm} – концентрація забруднювача (шкідливої речовини) в стоках, при якій не будуть перевищені допустимі межі (вони відповідають санітарним вимогам), г/м³; C_p – концентрація цього ж виду забруднювача (шкідливої речовини) у водоймі вище місця скидання, г/м³; $C_{n.d}$ – гранично допустимий вміст забруднювача (шкідливої речовини) у водоймі, г/м³; a – коефіцієнт перемішування, що показує, яка частина витрат води у водоймі змішується зі стічними водами в розрахунковому створі; Q – витрата води у водоймі, м³/год; q – витрата стоків, що надходять у водойму, м³/год.

Величину Q визначають за даними гідрометеорологічної служби, показник q – за результатами технологічних розрахунків, а параметр C_p – на основі лабораторних аналізів. Значення коефіцієнта змішування a залежить від багатьох факторів: конструкції випускного обладнання, відстані до розрахункового створу, а також гідравлічних і гідрологічних параметрів водойми. Коефіцієнт a розраховують методом Фролова–Родзіллера. Перетворюючи формулу (2.1), отримаємо значення C_{cm} , тобто величину концентрації забруднювача (шкідливої речовини) в стічних водах, якої потрібно досягти внаслідок їх очищення й знешкодження, а саме:

$$C_{cm} \leq \frac{a \cdot Q}{q} \cdot (C_{n.d} - C_p) + C_{n.d}. \quad (2.2)$$

Необхідний ступінь очищення стоків визначають також за кількістю завислих речовин. Їх допустимий вміст m у стічних водах відповідно до санітарних правил може бути визначений шляхом перетворення такого рівняння:

$$a \cdot Q \cdot b + q \cdot m = (a \cdot Q + q) \cdot (p + b), \quad (2.3)$$

тобто

$$m = p \cdot \left(a \cdot \frac{Q}{q} + 1 \right) + b, \quad (2.4)$$

де p – допустиме за санітарними правилами збільшення вмісту завислих частинок у водоймі після спуску стоків (залежно від виду водокористування), г/м³; b – вміст завислих речовин у водоймі до спуску стоків, г/м³.

Необхідний ступінь очищення за показником завислих речовин, %:

$$D = \frac{C_{техн} - m}{C_{техн}} \cdot 100, \quad (2.5)$$

де $C_{техн}$ – вміст частинок завислих речовин у стічній воді до очищення, г/м³.

Визначення необхідного ступеня очищення за параметром БСК_{повн}.

В основу розрахунку покладено зміну ступеня забрудненості внаслідок розбавлення стоків вод річковою водою, а також унаслідок біохімічних процесів самоочищення стічних вод від органічних речовин. Баланс БСК в суміші річкової та стічної води в розрахунковому створі (без урахування реаерації) можна описати таким рівнянням:

$$q \cdot L_{cm} \cdot 10^{-k_{cm} t} + a \cdot Q \cdot L_p \cdot 10^{-k_p t} = (q + a \cdot Q) \cdot L_{n.d}, \quad (2.6)$$

де L_{cm} – БСК_{повн} у стічній рідині, якого потрібно досягти після очищення; L_p – БСК_{повн} у річковій воді вище місця випуску стоків; $L_{п.д}$ – гранично допустима величина БСК_{повн} суміші річкової та стічної води в розрахунковому створі; k_{cm} і k_p – коефіцієнти швидкості споживання кисню стічною та річковою водою відповідно; t – тривалість руху води від місця випуску стоку до розрахункового пункту (діб), дорівнює відношенню між відстанню по фарватеру від зазначеного місця до розрахункового пункту l_{cp} і середньою швидкістю течії води в річці на даній ділянці v_{cp} .

Таким чином,

$$L_{cm} = \frac{a \cdot Q}{q \cdot 10^{-k_{cm} t}} \cdot (L_{n.d} - L_p \cdot 10^{-k_p t}) + \frac{L_{n.d}}{10^{-k_{cm} t}}. \quad (2.7)$$

Якщо фактичне значення БСК_{повн} показує скидання стоків, тобто $L_a > L_{cm}$, то вода підлягає очищенню. Необхідний ступінь очищення в %, визначають за такою формулою:

$$E = \frac{L_a - L_{cm}}{L_a} \cdot 100 \quad (2.8)$$

Для спрощення розрахунків можна скористатися числовими даними, табл. 2.

Таблиця 2 – Значення величин $10^{-k_{cm} t}$ та $10^{-k_p t}$ при змінних значеннях k_{cm} , k_p і t

k_{cm} і k_p	$10^{-k_{cm} t}$ та $10^{-k_p t}$ при t , діб									
	0,25	0,5	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6
0,04	0,981	0,955	0,912	0,871	0,832	0,794	0,759	0,692	0,631	0,575
0,06	0,966	0,933	0,871	0,813	0,759	0,708	0,661	0,575	0,501	0,437
0,08	0,955	0,912	0,832	0,759	0,692	0,631	0,575	0,479	0,398	0,331
0,1	0,944	0,891	0,794	0,708	0,631	0,572	0,501	0,398	0,316	0,251
0,12	0,933	0,871	0,759	0,66	0,575	0,501	0,436	0,331	0,251	0,191
0,14	0,922	0,851	0,724	0,617	0,523	0,447	0,38	0,275	0,2	0,145
0,16	0,912	0,832	0,692	0,575	0,479	0,398	0,331	0,229	0,159	0,11
0,18	0,903	0,813	0,661	0,537	0,437	0,355	0,258	0,191	0,126	0,083
0,2	0,891	0,794	0,631	0,501	0,393	0,316	0,251	0,158	0,1	0,063
0,22	0,881	0,776	0,603	0,478	0,363	0,283	0,219	0,132	0,079	0,049
0,24	0,871	0,759	0,575	0,437	0,331	0,251	0,191	0,11	0,063	0,036
0,26	0,861	0,741	0,55	0,407	0,302	0,224	0,166	0,09	0,05	0,025

0,28	0,851	0,724	0,525	0,38	0,275	0,199	0,145	0,076	0,04	0,021
0,3	0,841	0,708	0,501	0,355	0,251	0,178	0,126	0,063	0,032	0,016
0,4	0,794	0,631	0,398	0,251	0,158	0,1	0,063	0,025	0,01	0,004
0,5	0,75	0,565	0,316	0,178	0,1	0,056	0,032	0,01	0,003	0,001

Значення параметра k_p залежить від температури води (див. табл. 3).

Таблиця 3 – Величина коефіцієнта k_p

$T, ^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30
k_p	0,04	0,05	0,063	0,08	0,1	0,126	0,158

Константу швидкості споживання кисню k_{cm} слід або визначати на основі даних у літературних джерелах, або проводити спеціальні дослідження [2].

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Шахтні води вуглевидобувного підприємства надходять у басейн р. Самара. Визначити умови скидання забруднювачів за показниками вмісту нітратів, завислих речовин та за параметром БСК_{повн}.

Вихідні дані: $C_p = 3,2 \text{ г/м}^3$; $C_{n.d} = 10 \text{ г/м}^3$; $a = 0,1$; $Q = 10500 \text{ м}^3/\text{год}$; $q = 350 \text{ м}^3/\text{год}$; $p = 0,25 \text{ г/м}^3$; $b = 10 \text{ г/м}^3$; $C_{техн} = 120 \text{ г/м}^3$; $L_{n.d} = 3 \text{ г/м}^3$; $L_p = 2,4 \text{ г/м}^3$; $L_a = 180 \text{ г/м}^3$; $k_{cm} = 0,3$, $k_p = 0,1$; $t = 0,25$ доби.

Розв'язування

1. Розраховуємо вміст нітратів у стічних водах таким чином:

$$C_{cm} \cdot q + C_p \cdot a \cdot Q \leq (a \cdot Q + q) \cdot C_{n.d};$$

$$C_{cm} \leq \frac{(a \cdot Q + q) \cdot C_{n.d} - C_p \cdot a \cdot Q}{q};$$

$$C_{cm} \leq \frac{(0,1 \cdot 10500 \text{ м}^3/\text{год} + 350 \text{ м}^3/\text{год}) \cdot 10 \text{ г/м}^3 - 3,2 \text{ г/м}^3 \cdot 0,1 \cdot 10500 \text{ м}^3/\text{год}}{350 \text{ м}^3/\text{год}};$$

$$C_{cm} \leq 30,4 \text{ г/м}^3.$$

2. Визначаємо допустимий вміст завислих речовин у стічних водах, а саме:

$$m = p \cdot \left(\frac{a \cdot Q}{q} + 1 \right) + b = 0,25 \text{ г/м}^3 \left(\frac{0,1 \cdot 10500 \text{ м}^3/\text{год}}{350 \text{ м}^3/\text{год}} + 1 \right) + 10 \text{ г/м}^3 = 11 \text{ г/м}^3.$$

3. Тепер необхідний ступінь очищення стоків

$$D = \frac{C_{техн} - m}{C_{техн}} \cdot 100 = \frac{120 \text{ г/м}^3 - 11 \text{ г/м}^3}{120 \text{ г/м}^3} \cdot 100\% = 90,83 \%$$

4. Обчислюємо необхідний ступінь очищення за параметром БСК_{повн}, тобто

$$L_{cm} = \frac{a \cdot Q}{q \cdot 10^{-k} \cdot t} \cdot (L_{n.д} - L_p \cdot 10^{-k} \cdot t) + \frac{L_{n.д}}{10^{-k} \cdot t} =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 10500 \text{ м}^3 / \text{ГОД}}{350 \text{ м}^3 / \text{ГОД} \cdot 0,841} \cdot (3 \text{ г/м}^3 - 2,4 \text{ г/м}^3 \cdot 0,944) + \frac{3 \text{ г/м}^3}{0,841} = 2,62 + 3,57 = 6,19 \text{ г/м}^3.$$

$$E = \frac{L_a - L_{cm}}{L_a} \cdot 100 = \frac{180 \text{ г/м}^3 - 6,19 \text{ г/м}^3}{180 \text{ г/м}^3} \cdot 100\% = 96,56 \%$$

Контрольні завдання

1. Визначити величину концентрації забруднювача в стічних водах, якої необхідно досягти внаслідок очищення й знешкодження.

2. Визначити необхідний ступінь очищення стоків за кількістю завислих частинок речовин.

3. Визначити необхідний ступінь очищення стоків за показником БСК_{повн}.
Вихідні дані для виконання завдань наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Вихідні дані для розрахунку необхідного ступеня очищення виробничих стічних вод

№ вар.	Витрата води у водоймі Q, м ³ /год	Витрата стоків, що скидаються у водойму q, м ³ /год	Коефіцієнт змішування води зі стоками a	№ вар.	Витрата води у водоймі Q, м ³ /год	Витрата стічних вод, що надходять у водойму q, м ³ /год	Коефіцієнт змішування води зі стоками a
1	1000	200	0,1	11	1500	300	0,19
2	1050	210	0,11	12	1550	310	0,18
3	1100	220	0,12	13	1600	320	0,17
4	1150	230	0,13	14	1650	330	0,16
5	1200	240	0,14	15	1700	340	0,15
6	1250	250	0,15	16	1750	350	0,14
7	1300	260	0,16	17	1800	360	0,13
8	1350	270	0,17	18	1850	370	0,12
9	1400	280	0,18	19	1900	380	0,11
10	1450	290	0,19	20	1950	390	0,1

Примітка. Номер варіанта кожен студент визначає за номером власного прізвища в списку академічної групи.

Значення решти параметрів для розрахунку беремо з вихідних даних, що наведені в умовах до розв'язування типової задачі.

Питання для самоконтролю

1. За яким критерієм перевіряється відповідність вмісту завислих частинок речовин у стічних водах?
2. Яким чином визначають ефективність очищення стічних вод?
3. Що характеризує показник БСК?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

ВИЗНАЧЕННЯ УМОВ СКИДАННЯ СТИЧНИХ ВОД У ПОВЕРХНЕВІ ВОДОЙМИ

Мета роботи: Навчитись визначати ступінь розбавлення стічних вод перед відведенням їх у водний об'єкт та максимальну граничну концентрацію шкідливої речовини в стоках підприємства.

Методика розрахунку. Визначення умов скидання стоків у водні об'єкти та максимальної граничної концентрації шкідливої речовини $C_{\text{макс}}$, що допустима в них при надходженні в поверхневі водойми, відбувається за поданою нижче послідовністю.

1. Основне рівняння, що описує умови змішування стічних вод з природними має такий вигляд:

$$qC_{cm} + QC_p = (q + \gamma Q) \cdot C_{z,d}, \quad (3.1)$$

звідси

$$C_{z,d} = \frac{qC_{cm} + \gamma QC_p}{q + Q}, \quad (3.2)$$

де q і Q – витрата води у водотоці й витрата стічних вод, $\text{м}^3/\text{с}$; C_p і C_{cm} концентрація даної шкідливої речовини у водотоці (фонова) і в стоках відповідно; γ – коефіцієнт змішування природної води зі стоками; $C_{z,d}$ – концентрація даної шкідливої речовини у водоймі перед розрахунковим пунктом водокористування (у загальному випадку це на відстані 1 км нижче за течією).

2. Для того, щоб визначити ступінь очищення або розбавлення стічних вод перед їх відведенням у водний об'єкт, необхідно спочатку розрахувати параметр γ за допомогою рівняння Фролова – Родзіллера [3], тобто

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q}{q}\beta}, \quad (3.3)$$

тут інтегральний коефіцієнт

$$\beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}, \quad (3.4)$$

L – відстань (м) по фарватеру від місця випуску стічних вод до найближчого

створу водокористування, α – коефіцієнт, що враховує гідравлічні умови змішування, його визначають таким чином:

$$\alpha = \xi \cdot \varphi^3 \sqrt{\frac{E}{q}}, \quad (3.5)$$

де φ – відношення відстаней від між місцем скидання стоків і місцем водокористування по фарватеру і по прямій лінії, передбачають, що параметр ξ дорівнює 1 та 1,5 в умовах берегового та стриженого скидання стічних вод відповідно; E – коефіцієнт турбулентної дифузії, який для рівнинних річок визначається за такою формулою:

$$E = \frac{V_{сер} \cdot H_{сер}}{200}, \quad (3.6)$$

де $V_{сер}$ – середня швидкість течії річки, м/год; $H_{сер}$ – середня глибина русла, м.

Остаточна кратність необхідного розбавлення стоків природною водою:

$$n = \frac{\gamma + Q + q}{q}. \quad (3.7)$$

Для визначення максимальної граничної концентрації шкідливої речовини $C_{макс}$, використовується таке рівняння:

$$C_{макс} = \frac{\gamma Q}{q} (C_{здж} - C_p) + C_{здж}. \quad (3.8)$$

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Визначити умови скидання промислових стоків у водні об'єкти та максимальну граничну концентрацію забруднювачів речовин $C_{макс}$, що допустима при надходженні в поверхневі водойми.

Таблиця 5 – Вихідні величини для розрахунку параметрів скидання стоків

Концентрація шкідливої речовини $C_{ст}$, мг/л					Фоновая концентрація C_p , мг/л	q , м ³ /с	Q , м ³ /с	L , м	ξ	$V_{сер}$, м/год	$H_{сер}$, м
фе-ноли	Cr ⁶⁺	Zn ²⁺	наф-та	Ni ⁺							
0,8	0,06	10	0,5	80,0	0,01 (Cr ⁶⁺)	0,8	0,1	6000	1	1,3	3,0

Розв'язування

1. Визначаємо параметр γ за допомогою рівняння Фролова – Родзіллера в такій послідовності:

$$E = \frac{V_{сер} \cdot H_{сер}}{200} = 0,0195; \quad \alpha = \xi \cdot \varphi^3 \sqrt{\frac{E}{q}} = 0,435; \quad \beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}} = 11,76;$$

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q}{q}\beta} = -4,356.$$

2. Концентрація кожної із шкідливих речовин $C_{2,d}$ в розрахунковому пункті водокористування має такі значення:

$$\text{для фенолу } C_{2,d} = \frac{qC_{cm} + \gamma QC_p}{q + Q} = \frac{0,8 \cdot 0,8 - 4,356 \cdot 0,1 \cdot 0}{0,8 + 0,1} = 0,711 \text{ мг/л};$$

$$\text{для Cr}^{+6} \quad C_{2,d} = \frac{qC_{cm} + \gamma QC_p}{q + Q} = \frac{0,8 \cdot 0,06 - 4,356 \cdot 0,1 \cdot 0,01}{0,8 + 0,1} = 0,049 \text{ мг/л};$$

$$\text{для Zn}^{2+} \quad C_{2,d} = \frac{qC_{cm} + \gamma QC_p}{q + Q} = \frac{0,8 \cdot 10 - 4,356 \cdot 0,1 \cdot 0}{0,8 + 0,1} = 8,89 \text{ мг/л};$$

$$\text{для нафти } C_{2,d} = \frac{qC_{cm} + \gamma QC_p}{q + Q} = \frac{0,8 \cdot 0,5 - 4,356 \cdot 0,1 \cdot 0}{0,8 + 0,1} = 0,444 \text{ мг/л};$$

$$\text{для Ni}^{+} \quad C_{2,d} = \frac{qC_{cm} + \gamma QC_p}{q + Q} = \frac{0,8 \cdot 80,0 - 4,356 \cdot 0,1 \cdot 0}{0,8 + 0,1} = 71,11 \text{ мг/л}.$$

3. Визначаємо максимальну граничну концентрацію кожної із перелічених вище шкідливих речовин, а саме:

$$\text{для фенолу } C_{ст.пр} = \frac{\gamma Q}{q}(C_{здк} - C_p) + C_{здк} = \frac{-4,356 \cdot 0,1}{0,8}(0,001 - 0) + 0,001 = 0,45 \text{ мкг/л};$$

$$\text{для Cr}^{+6} \quad C_{ст.пр} = \frac{\gamma Q}{q}(C_{здк} - C_p) + C_{здк} = \frac{-4,356 \cdot 0,1}{0,8}(0,05 - 0,01) + 0,05 = 0,028 \text{ мг/л};$$

$$\text{для Zn}^{2+} \quad C_{ст.пр} = \frac{\gamma Q}{q}(C_{здк} - C_p) + C_{здк} = \frac{-4,356 \cdot 0,1}{0,8}(1,0 - 0) + 1,0 = 0,4555 \text{ мг/л};$$

$$\text{для нафти } C_{ст.пр} = \frac{\gamma Q}{q}(C_{здк} - C_p) + C_{здк} = \frac{-4,356 \cdot 0,1}{0,8}(0,1 - 0) + 0,1 = 0,046 \text{ мг/л};$$

$$\text{для Ni}^{+} \quad C_{ст.пр} = \frac{\gamma Q}{q}(C_{здк} - C_p) + C_{здк} = \frac{-4,356 \cdot 0,1}{0,8}(0,1 - 0) + 0,1 = 0,046 \text{ мг/л}.$$

Контрольні завдання

1. Визначити кратність необхідного розбавлення стічних вод природною водою.

2. Обчислити концентрацію забруднювачів у водоймі перед розрахунковим пунктом водокористування.

3. Розрахувати максимальну граничну концентрацію забруднювачів у стоках підприємства.

Варіанти для виконання завдання наведено в табл. 6.

Таблиця 6 – Вихідні дані для визначення умов спуску стічних вод

Показник	Позначення	Значення для розрахунку	Одиниця виміру
Концентрація фенолу в стоках підприємства	$C(\text{фен})$	$0,1 \cdot N_{\text{вар}}$	мг/л
Концентрація хрому в стоках підприємства	$C(\text{Cr}^{+6})$	$0,01 \cdot N_{\text{вар}}$	мг/л
Концентрація цинку в стоках підприємства	$C(\text{Zn}^{2+})$	$N_{\text{вар}}$	мг/л
Концентрація нафти в стоках підприємства	$C(\text{наф})$	$0,5 \cdot N_{\text{вар}}$	мг/л
Концентрація нікелю в стоках підприємства	$C(\text{Ni}^{+})$	$10 \cdot N_{\text{вар}}$	мг/л
Значення коефіцієнта для різних видів скидання стічних вод (берегове – 1, стрижневе – 1,5)	ξ	Для парних номерів варіанта – берегове, для непарних – стрижневе	–

Примітка. Значення змінної $N_{\text{вар}}$ відповідає порядковому номеру студента в списку академічної групи.

Решту параметрів для розрахунку обираємо з вихідних даних в умовах до розв'язування типової задачі.

Питання для самоконтролю

1. Яке явище характеризує коефіцієнт турбулентної дифузії забруднювачів у водоймах?
2. Яким чином визначають ступінь розбавлення стоків природною водою перед їх відведенням у водний об'єкт?
3. Які дані використовують для визначення максимальної граничної концентрації шкідливої речовини в стічних водах?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ І РАДІАЛЬНИХ ПЕРВИННИХ ВІДСТІЙНИКІВ

Мета роботи: Навчитись визначати основні технологічні параметри горизонтальних і радіальних первинних відстійників.

Методика розрахунку. У розрахунку відстійників необхідно задіяти такі дані: максимальна витрата стічних вод Q , м³/год; концентрація в стоках завислих частинок речовин C , мг/л; необхідний ступінь очищення стоків або припустимий вміст завислих частинок речовин в освітленій воді $C_{зр}$, мг/л (його величину беруть із санітарних норм); u – гідравлічна крупність частинок,

які необхідно видалити для забезпечення необхідної ефективності очищення E , (вона становить 50 – 98 %). Гідравлічна крупність впливає на швидкість відстоювання стоків, яка у свою черги залежить від кривих кінетики відстоювання, отриманих у лабораторних умовах. Розрахунок гідравлічної крупності частинок виконується за такою формулою:

$$u = \frac{1000 \cdot H \cdot K}{t_1 \cdot (H \cdot K / h_1)^n}, \quad (4.1)$$

де H – глибина проточної частини відстійника, м; K – коефіцієнт використання об'єму відстійника; t_1 – тривалість відстоювання в лабораторному циліндрі при висоті шару h_1 , протягом якого досягається необхідний ефект освітлення; n – коефіцієнт пропорційності, що залежить від агломерування завислих частинок речовин у процесі осадження в різних шарах води ($h_1 > h_2$), його розраховують, використовуючи таку формулу:

$$n = \frac{\lg t_1 - \lg t_2}{\lg h_1 - \lg h_2}, \quad (4.2)$$

де h_1 і h_2 – висота шарів відстоювання в лабораторних умовах, мм; t_1 і t_2 – тривалість відстоювання у відповідних шарах, коли досягається необхідний ефект, с [2].

В очисних системах найбільш поширені горизонтально розміщені відстійники з такими розмірами: довжина 24...30 м, ширина кожного з робочих відділень 9 м, кількість відділень 4...8, глибина зони відстоювання 3...4 м (рис. 3).

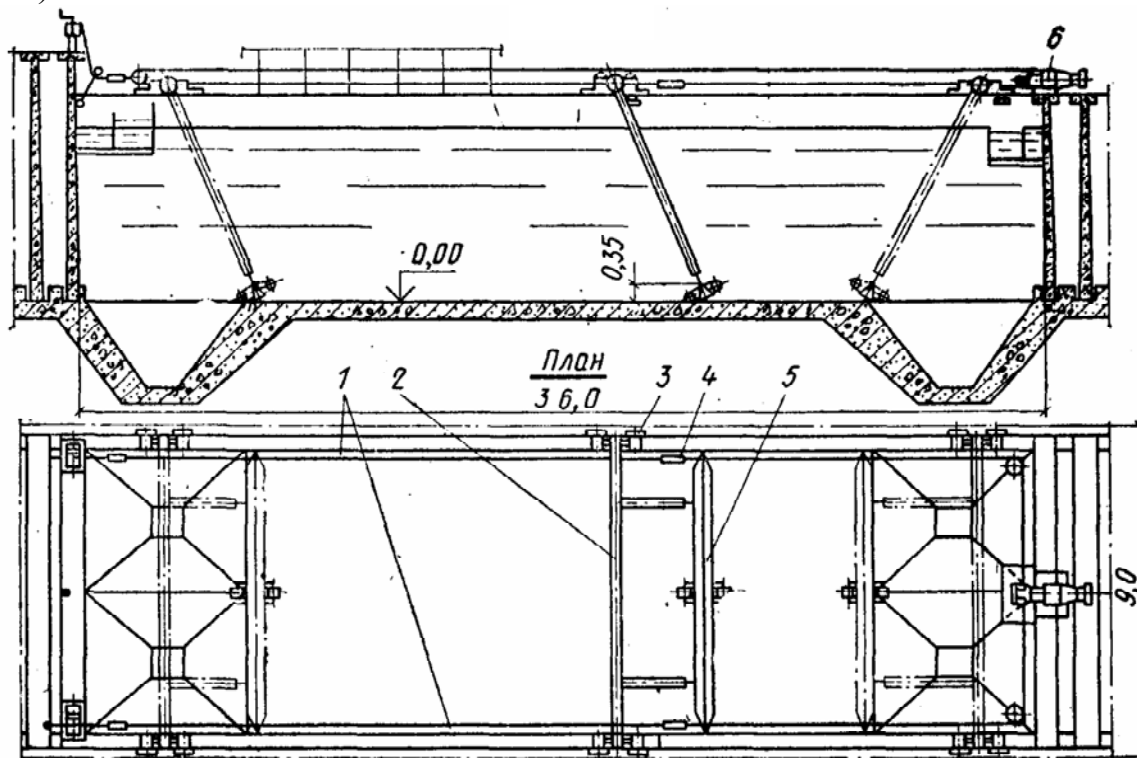


Рис. 3. Горизонтальний первинний відстійник:

1 – канат; 2 – балка; 3 – візок; 4 – динамометр; 5 – шкребок; 6 – електропривід

Середня тривалість відстоювання в таких апаратах становить 1...1,5 год. Технічні характеристики таких відстійників наведено в табл. 7.

Таблиця 7 – Технічні характеристики первинних горизонтальних відстійників

Показники	Пропускна здатність очисних споруд, тис. м ³ /добу				
	25	35	50	70	100
Витрати води, м ³ /год	1400	1900	2600	3500	4900
Пропускна здатність (м ³ /год) з тривалістю відстоювання 1,5 год	1160	1740	2130	3200	4260
Геометричні розміри, м:					
довжина	24	24	30	30	30
ширина	6	6	9	9	9
Кількість відстійників	4	6	4	6	8
Фактичний об'єм, м ³	1740	2610	3200	4800	6400

Приклад розв'язування типової задачі

Задача 3.1. Розрахувати розміри та пропускну здатність горизонтальних первинних відстійників механічної очистки виробничих стічних вод. Яка кількість відстійників необхідна для очисних споруд із пропускну здатністю 120 м³/год? Вихідні величини параметрів очисних споруд наведено в табл. 8.

Таблиця 8 – Вихідні величини для розрахунку параметрів очисних споруд

Назва показника	Умовне познач.	Одиниця виміру	Значення
Довжина відстійника	L	м	$L = \frac{vH}{K(u_0 - \omega)}$
Пропускна здатність відстійника	Q_1	м ³ /год	$Q_1 = 3,6KHBv$
Коефіцієнт використання об'єму відстійника	K	безрозм.	0,5
Робоча глибина відстійної частини	H	м	3
Ширина відстійника	B	м	9
Швидкість потоку	v	мм/с	10
Гідравлічна крупність частинок	u_0	мм/с	$u_0 = \frac{1000HK}{t_1(HK/h_1)^n}$
Коефіцієнт пропорційності, що залежить від агломерування завислих частинок у процесі утворення осаду	n	безрозм.	$n = \frac{\lg t_1 - \lg t_2}{\lg h_1 - \lg h_2}$

Висота шару відстоювання в лабораторних умовах	h_1	мм	200
	h_2	мм	1000
Тривалість відстоювання у відповідних шарах, коли досягається необхідний ефект очищення	t_1	с	135
	t_2	с	320
Концентрація завислих частинок у речовинах: до очищення після нього	$C_{зр}^1$	мг/л	120
	$C_{зр}^2$	мг/л	45

Примітка: $\omega = 0$, коли $v = 5$ мм/с; $\omega = 0,05$, якщо $v = 10$ мм/с.

Розв'язування

1. Знаходимо коефіцієнт пропорційності, значення якого залежить від агломерування завислих частинок речовин у процесі осадження, таким чином:

$$n = \frac{\lg t_1 - \lg t_2}{\lg h_1 - \lg h_2} = \frac{\lg 135 - \lg 320}{\lg 200 - \lg 1000} = \frac{2,13 - 2,51}{2,3 - 3} = \frac{-0,43}{-0,7} = 0,54.$$

2. Визначаємо гідравлічну крупність частинок, а саме:

$$u_0 = \frac{1000 \cdot H \cdot K}{t_1 (H \cdot K / h_1)^n} = \frac{1000 \cdot 3 \cdot 0,5}{135 \cdot (3 \cdot 0,5 / 0,2)^{0,54}} = \frac{1500}{135 \cdot 2,968} = \frac{1500}{400,74} = 3,74 \text{ мм/с.}$$

3. Обчислюємо пропускну здатність відстійника, тобто

$$Q_1 = 3,6 \cdot K \cdot H \cdot B \cdot v = 3,6 \cdot 0,5 \cdot 3 \cdot 9 \cdot 10 = 486 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Як бачимо, цей параметр відповідає проектним і фактичним показникам припливу стічних вод.

4. Розраховуємо довжину горизонтального відстійника таким чином:

$$L = \frac{vH}{K(u_0 - \omega)} = \frac{10 \cdot 3}{0,5 \cdot (3,74 - 0,05)} = \frac{30}{0,5 \cdot 3,69} = 16,26 \text{ м.}$$

Порівнюючи отримане значення з фактичними витратами стічних вод, робимо висновок, що наявного відстійника буде достатньо для первинного механічного очищення стічних вод.

4. Ефективність механічного очищення в первинних горизонтальних відстійниках розраховуємо як різницю значень концентрації завислих речовин у стічній воді до і після очисних споруд, а саме:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} = \frac{120 - 45}{120} = 0,63.$$

Отже, ефективність очищення становить 63 %.

Задача 3.2. На станції очищення побутових стічних вод використовуються 2 радіальних відстійники діаметром 20 м. Визначити номінальне значення діаметра радіальних відстійників. Чи буде достатньою їх пропускну здатність

при збільшенні витрати стічних вод на 40 %? Вихідні величини для обчислення параметрів відстійника наведено в табл. 9.

Таблиця 9 – Вихідні величини для розрахунку параметрів відстійника

Найменування показника	Умовне познач.	Один. виміру	Значення
Діаметр відстійника	D	м	$D = \sqrt{\frac{4Q_1}{3,6\pi K(u_0 - \omega)}}$
Пропускна здатність одного відстійника	Q_1	м ³ /ГОД	$Q_1 = \frac{Q_{заг}}{N}$
Пропускна здатність станції очищення стічних вод	$Q_{заг}$	м ³ /ГОД	5000
Кількість робочих відстійників	N	шт	2
Коефіцієнт використання об'єму відстійника	K	безрозм.	0,65
Робоча глибина відстійної частини	H	м	4
Гідравлічна крупність частинок шкідливих речовин	u_0	мм/с	3,5

Примітка. $Q_{заг}$ – розрахункова витрата стічних вод, м³/ГОД; $\omega = 0$, якщо $v = 5$ мм/с; $\omega = 0,05$, коли $v = 10$ мм/с.

Розв'язування

1. Обчислюємо пропускну здатність одного відстійника, тобто

$$Q_1 = \frac{Q_{заг}}{N} = \frac{5000}{2} = 500 \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

2. Визначимо номінальний діаметр радіального відстійника, таким чином:

$$D = \sqrt{\frac{4Q_1}{3,6\pi K(u_0 - \omega)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2500}{3,6 \cdot 3,14 \cdot 0,65(3,5 - 0,05)}} = 19,86 \text{ м}.$$

Робимо висновок, що отриманий параметр відповідає реальним потребам водоочисних споруд.

3. Виконаємо розрахунок діаметра радіального відстійника за умови збільшення його пропускну здатності на 40 %, а саме:

$$Q_1 = \frac{Q_{заг}}{N} = \frac{5000 + 5000 \cdot 0,4}{2} = 3500 \text{ м}^3/\text{ГОД}.$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q_1}{3,6\pi K(u_0 - \omega)}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3500}{3,6 \cdot 3,14 \cdot 0,65(3,5 - 0,05)}} = \sqrt{\frac{14000}{25,349}} = 23,5 \text{ м}.$$

Як бачимо, у таких умовах значення номінального діаметра радіального відстійника має становити 24 м.

Контрольне завдання

1. Розрахувати розміри й пропускну здатність горизонтальних та радіальних відстійників для механічного очищення стічних вод і визначити необхідну їх кількість. Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. 10.

Таблиця 10 – Вихідні дані для розрахунку первинних відстійників

№ вар.	Швидкість потоку v , мм/с	Робоча глибина відстійної частини H , м	Кількість відстійників N	№ вар.	Швидкість потоку v , мм/с	Робоча глибина відстійної частини H , м	Кількість відстійників N
1	5	2	1	11	15	4	3
2	6	3	2	12	16	3	2
3	7	4	3	13	17	2	1
4	8	5	2	14	18	3	2
5	9	4	1	15	19	4	3
6	10	3	2	16	20	5	2
7	11	2	3	17	21	4	1
8	12	3	2	18	22	3	2
9	13	4	1	19	23	2	3
10	14	5	2	20	24	3	2

Примітка. Номер варіанта студент визначає відповідно до номера свого прізвища в списку академічної групи.

Решту параметрів для розрахунку обираємо з вихідних даних, наведених в умовах до розв'язування типової задачі.

Питання для самоконтролю

1. Що являє собою коефіцієнт використання об'єму відстійника та як цей параметр впливає на його пропускну здатність?

2. Від яких параметрів залежить кількість необхідних на очисних спорудах відстійників?

3. Поясніть, що характеризує гідравлічна крупність частинок шкідливих речовин у стоках?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗРАХУНОК АПАРАТІВ ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ МЕТОДОМ ІОННОГО ОБМІНУ

Мета роботи: Навчитись розраховувати технологічні параметри іонообмінних колон та визначати необхідну для нейтралізації стічних вод кількість іоніту.

Методика розрахунку. З метою очищення стічних вод, забруднених мінеральними речовинами, застосовують іонообмінні колони, у яких передбачено використання з псевдозрідженого шару іоніту [4]. Для подальших розрахунків основних параметрів установки спочатку визначають його сумарну площу перетину іонообмінних колон $S_{заг}$, тобто

$$S_{заг} = \frac{Q}{v_{опт}}, \text{ м}^2, \quad (5.1)$$

де Q – витрата стічних вод, м³/год; $v_{опт}$ – оптимальна швидкість фільтрування стоків за допомогою псевдозрідженого шару іоніту, м³/(м²·год).

Загальна кількість іонів, що затримується в іонообмінній колоні за 1 год залежить від їх початкової C_n та кінцевої C_k концентрації, кг-екв/м³, відповідає такій величині: $Q(C_n - C_k)$. Для поглинання цієї кількості іонів в установці необхідно подати певну кількість повітряно-сухого іоніту M_i , т/год, з динамічною ємністю E_0 , кг-екв/т, її визначають таким чином:

$$M_i = \frac{Q(C_n - C_k)}{E_0}, \quad (5.2)$$

Якщо тривалість робочого циклу в іонообмінних колонах між двома регенераціями дорівнює t годин, то загальне їх завантаження:

$$M_{заг} = M_i t, \text{ т.} \quad (5.3)$$

Об'єм завантаження іонообмінних колон до місця утворення псевдозрідженого шару розраховують за такою формулою:

$$W_1 = \frac{M_{заг}}{d_h}, \text{ м}^3, \quad (5.4)$$

де d_h – насипна щільність іоніту, т/м³.

Оскільки для визначення сумарної площі перерізу іонообмінних колон використовують показник швидкості фільтрування стічних вод, то висоту набряклого шару іоніту в колоні до місця утворення псевдозрідженого шару розраховують за таким виразом:

$$H_1 = \frac{W_1}{S_{заг}}, \text{ м.} \quad (5.5)$$

З огляду на те, що оптимальне відношення висоти псевдозрідженого шару іоніту до висоти його нерухомого шару $H_2/H_1 = 1,5$, то величину H_2 , обчислюють таким чином:

$$H_2 = \frac{1,5W_1}{S_{заг}}. \quad (5.6)$$

Скориставшись заданою величиною діаметра іонообмінної колони D_k , можемо визначити кількість колон в очисних спорудах за такою формулою:

$$n_k = \frac{4S_{заг}}{\pi D_k^2}. \quad (5.7)$$

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Розрахувати параметри іонообмінних колон для очищення шахтних вод від хлоридів та сульфатів, коли середня величина витрати стічних вод становить 350 м³/год.

Таблиця 11 – Вихідні величини для розрахунку іонообмінних колон

Найменування показника	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
Сумарна площа перерізу іонообмінних колон	$S_{заг}$	м ²	$S_{заг} = \frac{Q}{v_{opt}}$
Витрата стічних вод	Q	м ³ /ГОД	350
Оптимальна швидкість фільтрування стоків через шар іоніту	v_{opt}	м ³ /(м ² ·ГОД)	20
Початкова концентрація іонів: хлоридів (Cl ⁻) сульфатів (SO ₄ ²⁻)	C_n' C_n''	кг-екв/м ³	0,013044 0,0325
Кінцева концентрація іонів: хлоридів (Cl ⁻) сульфатів (SO ₄ ²⁻)	C_k' C_k''	кг-екв/м ³	0,00026088 0,00065
Середня ефективність іонообмінних колон з іонітом марки АМ	η	%	98
Кількість повітряно-сухого іоніту	M_i	т/ГОД	$M_i = \frac{Q(C_n - C_k)}{E_0}$
Динамічна місткість іоніту	E_0	кг-екв/т	1,0
Тривалість робочого циклу іонообмінників між регенераціями	t	ГОД	5
Загальне завантаження іонообмінних колон	$M_{заг}$	т	$M_{заг} = M_i t$
Об'єм завантаження іонообмінних колон до місця утворення псевдозрідженого шару іоніту	W_1	м ³	$W_1 = \frac{M_{заг}}{d_h}$
Насипна щільність іоніту	d_h	т/м ³	1,36
Висота набряклого шару іоніту до місця утворення псевдозрідженого шару	H_1	м	$H_1 = \frac{W_1}{S_{заг}}$
Висота нерухомого шару іоніту	H_2	м	$H_2 = \frac{1,5W_1}{S_{заг}}$
Діаметр іонообмінної колони	D_k	м ²	
Число іонообмінних колон	n_k		$n_k = \frac{4S_{заг}}{\pi D_k^2}$

Розв'язування

1. Знайдемо сумарну площу перерізу іонообмінних колон таким чином:

$$S_{\text{заг}} = \frac{Q}{v_{\text{омт}}} = \frac{350}{20} = 17,5 \text{ м}^2.$$

2. Визначимо еквівалентні концентрації хлоридів E_{Cl} і сульфатів E_{SO_4} , користуючись відомими величинами вагових концентрацій. Еквіваленти хлоридів і сульфатів дорівнюють 34,5 і 48 відповідно. Концентрації хлоридів і сульфатів у шахтних водах становлять 450 мг/л і 1560 мг/л відповідно. Отже, початкові еквівалентні концентрації набувають таких значень:

$$E_{Cl} = 450:34,5 = 13,044 \times 10^{-3} \text{ кг-екв/м}^3 = 0,013044 \text{ кг-екв/м}^3;$$

$$E_{SO_4} = 1560:48 = 32,5 \times 10^{-3} \text{ кг-екв/м}^3 = 0,0325 \text{ кг-екв/м}^3.$$

Сумарна еквівалентна концентрація обох речовин дорівнює 0,045544 кг-екв/м³.

Враховуючи що середня ефективність уловлювання аніонів іонітом марки АМ становить 98 %, їх кінцеву еквівалентну концентрацію визначаємо таким чином:

$$E_{Cl} = 0,013044 \text{ кг-екв/м}^3 \times 0,02 = 0,00026088 \text{ кг-екв/м}^3.$$

$$E_{SO_4} = 0,0325 \text{ кг-екв/м}^3 \times 0,02 = 0,00065 \text{ кг-екв/м}^3.$$

Сумарна еквівалентна концентрація обох речовин становитиме 0,00091088 кг-екв/м³.

Розраховуємо витрату повітряно-сухого іоніту (його динамічна місткість E_0 , кг-екв/т), а саме:

$$M_i = \frac{Q(C_n - C_k)}{E_0} = \frac{350 \cdot (0,045544 - 0,00091088)}{1,0} = \frac{15,621592}{1,0} = 15,62 \text{ т/год.}$$

3. Якщо тривалість робочого циклу іонообмінних колон між двома процесами регенерації дорівнює 5 годин, то загальне їх завантаження:

$$M_{\text{заг}} = 15,621592 \cdot 5 = 78,10796 \text{ т.}$$

4. Об'єм завантаження іонообмінних колон до місця утворення псевдозрідженого шару іоніту знаходимо за такою формулою:

$$W_1 = \frac{M_{\text{заг}}}{d_h} = \frac{78,10796}{1,36} = 57,432 \text{ м}^3.$$

5. Оскільки для обчислення сумарної площі перерізу іонообмінних колон використовують показник швидкості фільтрування стоків, то висоту набряклого шару іоніту в колоні до місця псевдозрідженого шару визначають таким чином:

$$H_1 = \frac{W_1}{S_{\text{заг}}} = \frac{57,432}{17,5} = 3,282 \text{ м.}$$

6. Обчислюємо висоту псевдозрідженого шару іоніту, а саме:

$$H_2 = \frac{1,5W_1}{S_{\text{заг}}} = 1,5 \cdot 3,282 = 4,923 \text{ м.}$$

7. Розраховуємо кількість іонообмінних колон, тобто

$$n_{\kappa} = \frac{4S_{\text{заг}}}{\pi D_{\kappa}^2} = \frac{4 \cdot 17,5}{3,14 \cdot 2^2} = \frac{70}{12,56} = 5,57 \text{ шт.}$$

Отже, для очищення шахтних вод від сульфатів і хлоридів методом іонного обміну необхідно задіяти 6 колон. Далі обчислюють об'єм регенераційних розчинів та резервуарів для них.

Контрольні завдання

1. Розрахувати технологічні параметри іонообмінних колон.
2. Визначати необхідну для їх роботи кількість іоніту.
3. Обчислити кількість іонообмінних колон, потрібну для нейтралізації певного об'єму стічних вод.

Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. 12.

Таблиця 12 – Вихідні дані для розрахунку параметрів іонообмінних колон

№ вар.	Початкова концентрація хлоридів C_n' , кг-екв/м ³	Початкова концентрація сульфатів C_n'' , кг-екв/м ³	Діаметр іонообмінної колони D , м	№ вар.	Початкова концентрація хлоридів C_n' , кг-екв/м ³	Початкова концентрація сульфатів C_n'' , кг-екв/м ³	Діаметр іонообмінної колони D , м
1	0,01301	0,032	1	11	0,0132	0,037	3
2	0,01302	0,0325	2	12	0,01322	0,0375	2
3	0,01304	0,033	3	13	0,01324	0,038	1
4	0,01306	0,0335	2	14	0,01326	0,0385	2
5	0,01308	0,034	1	15	0,01328	0,039	3
6	0,0131	0,0345	2	16	0,0133	0,0395	2
7	0,01312	0,035	3	17	0,01332	0,04	1
8	0,01314	0,0355	2	18	0,01334	0,0405	2
9	0,01316	0,036	1	19	0,01336	0,041	3
10	0,01318	0,0365	2	20	0,01338	0,0415	2

Примітка. Номер варіанта студент визначає відповідно до номера свого прізвища в списку академічної групи.

Решту параметрів для розрахунку обираємо з вихідних даних, наведених в умовах до розв'язування типової задачі.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть, яким чином відбувається хімічне очищення стоків від солей?
2. Що являє собою іоніт як хімічний засіб очищення стоків та які його фізико-хімічні властивості?
3. Поясніть фізичний сенс сумарної еквівалентної концентрації забруднень у стоках?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ФІЛЬТРА ДЛЯ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ КИСЛИХ СТІЧНИХ ВОД

Мета роботи: Навчитись розраховувати технологічні параметри вертикального фільтра за допомогою якого нейтралізують кислі стічні води.

Методика розрахунку. Нейтралізація соляно- та азотнокислих, а також сірчано-кислих стічних вод, коли концентрація сірчаної кислоти в них становить не більше 1,5 г/л, відбувається на безперервно діючих фільтрах. Для завантаження цих фільтрів застосовують такі нейтралізувальні матеріали, як доломіт, вапняк, магнезит, крейда, мармур та ін. Крупність фракцій завантаженого матеріалу дорівнює 3...8 см; розрахункова швидкість фільтрування залежить від його виду, але не перевищує 5 м/год; тривалість контакту становить не менше 10 хв.

На рис. 4 наведено приклад вертикального фільтра-нейтралізатора, завантаженого доломітом.

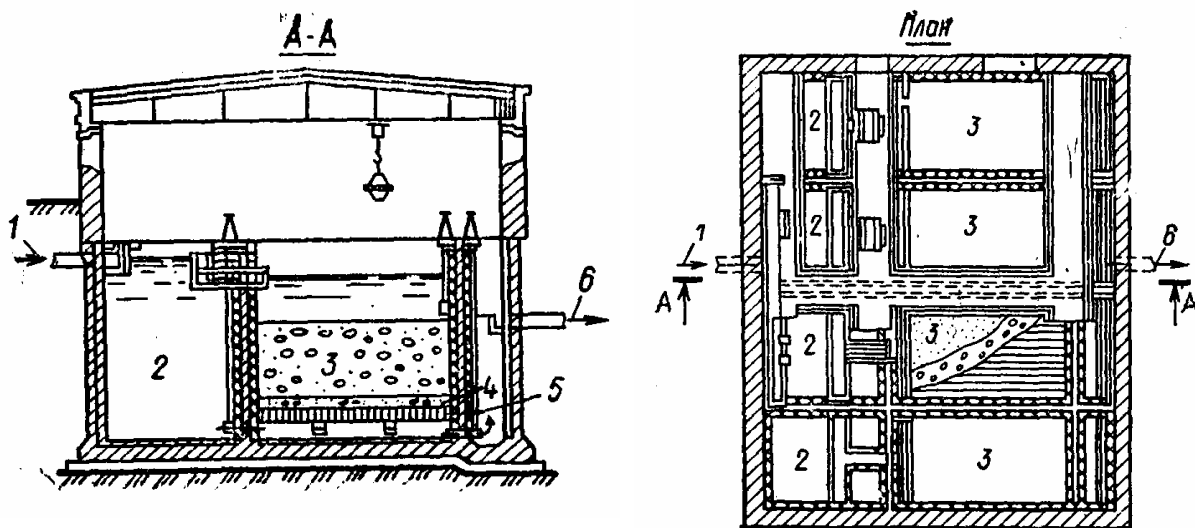


Рис. 4. Принципова схема вертикального доломітового фільтра-нейтралізатора:
1 – подача кислих стічних вод; 2 – приймальні камери; 3 – доломітові фільтри;
4 – гравій; 5 – дренаж; 6 – випуск нейтралізованих стічних вод

Конструкція фільтрів передбачає вертикальний рух кислих стічних вод. При нейтралізації стічної води на вертикальному фільтрі висоту шару завантаженого матеріалу H визначають за емпіричною формулою С.А. Вознесенського [5], а саме:

$$H = Kd^n (3 + \lg b) \sqrt{v}, \quad (6.1)$$

де K та n – емпіричні константи; d – діаметр зерен завантаженого матеріалу, мм; b – концентрація кислоти, г-екв/л; v – швидкість фільтрування, що звичайно дорівнює 4...8 м/год.

Величина n відносно постійна і в середньому дорівнює 1,47. Значення константи K залежить від сорту доломіту, наприклад, при використанні щолківського доломіту $K = 0,62$, а уральського – $K = 1,31$. Це рівняння справедливе тільки для опису нейтралізації сірчаної кислоти; у разі нейтралізації розчинів інших кислот значення емпіричних констант встановлюють експериментально.

Якщо концентрація кислоти A в стічних водах виражена в г/л, то для перерахунку її в г-екв/л можна скористатися перевідним коефіцієнтом a ; тоді $b = aA$. Так, коефіцієнт a для розчину сірчаної кислоти дорівнює 0,0204, соляної – 0,0277, азотної – 0,0159, оцтової – 0,0167. Якщо концентрація виражена у відсотках, то $b = 10aA$.

Після визначення величини H підраховують площу фільтрування за такою формулою:

$$f = \frac{q}{v}, \text{ м}^2, \quad (6.2)$$

де q – витрата стічних вол, що нейтралізуються, м³/с; v – швидкість фільтрування, м/с.

Далі визначають добову витрату реагенту (завантаження), тобто

$$M = \frac{a \cdot A \cdot Q}{1000}, \text{ т/добу} \quad (6.3)$$

де a – витрата лужного реагенту на нейтралізацію (дані беруть із табл. 13); A – концентрація кислоти, кг/м³; Q – витрата стічних вод, м³/добу.

Таблиця 13 – Витрата реагентів для нейтралізації 100 % кислот і лугів, кг/кг

Луги	Кислоти			
	сірчана	соляна	азотна	оцтова
Вапно:				
негашене	$\frac{0,56}{1,79}$	$\frac{0,77}{1,3}$	$\frac{0,46}{2,2}$	$\frac{0,47}{2,15}$
гашене	$\frac{0,76}{1,32}$	$\frac{1,01}{0,99}$	$\frac{0,59}{1,7}$	$\frac{0,62}{1,62}$
Сода:				
кальцинована	$\frac{1,08}{0,93}$	$\frac{1,45}{0,69}$	$\frac{0,84}{1,19}$	$\frac{0,88}{1,14}$
каустична	$\frac{0,82}{1,22}$	$\frac{1,1}{0,91}$	$\frac{0,64}{1,57}$	$\frac{0,67}{1,5}$
Аміак	$\frac{0,35}{2,88}$	$\frac{0,47}{2,12}$	$\frac{0,27}{3,71}$	

Примітка. Числа в знаменнику показують витрату луку, у чисельнику – кислоти.

Оскільки повне (100 %) використання активної частини завантаженого матеріалу фільтра практично неможливе, то вводиться коефіцієнт для визначення фактичної витрати матеріалу M_{ϕ} (наприклад, для доломіту $M_{\phi} = 1,5M$).

Тривалість роботи фільтра без перевантаження визначають за такою формулою:

$$t = \frac{P}{M_{\phi}}, \text{ год.} \quad (6.4)$$

Визначаємо масу завантаженого у фільтр нейтралізувального матеріалу, тобто

$$P = H \cdot f \cdot \gamma, \text{ т,} \quad (6.5)$$

де H – щільність завантаженого нейтралізувального матеріалу, т/м³, зокрема доломіту, вапна та мармуру вона становить 2,8; магнезиту – 3; крейди – 2,7 т/м³ [2, 5].

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Розрахувати основні параметри вертикального фільтра для нейтралізації кислих стічних вод (висоту шару нейтралізувального матеріалу, площу фільтрування, добову витрату реагенту, тривалість роботи фільтра).

Таблиця 14 – Вихідні величини для розрахунку параметрів вертикального фільтра

Найменування показника	Умове познач.	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4
Висота шару нейтралізувального матеріалу	H	см	$H = Kd^n (3 + \lg b)\sqrt{v}$ (емпірична формула С.А. Вознесенського)
Емпіричні константи	K n		0,62 1,47
Діаметр зерен нейтралізувального матеріалу	d	мм	30
Концентрація кислоти	b	г-екв/л	$b = aA$
Концентрація кислоти	A	г/л	1,2
Перевідний коефіцієнт для кислоти (сірчаної)	a	безрозм.	0,0204
Швидкість фільтрування	v	м/год	4

Витрата нейтралізувальних стічних вод	q	м ³ /с	0,073
Площа фільтрування	f	м ²	$f = \frac{q}{v}$
Добова витрата реагенту	M	т/добу	$M = \frac{cAQ}{1000}$
Витрата лужного реагенту на нейтралізацію стоків	c	безрозм.	0,76
Витрата стічних вод	Q	м ³ /добу	6310
Коефіцієнт для визначення фактичних витрат реагенту	M_{ϕ}	безрозм.	$M_{\phi} = 1,5M$
Тривалість роботи фільтра	t	діб	$t = \frac{P}{M_{\phi}}$
Маса завантаженого у фільтр нейтралізувального матеріалу	P	т	$P = Hf\gamma$
Щільність завантаженого у фільтр нейтралізувального матеріалу (доломіту)	γ	т/м ³	2,8

Розв'язування

1. Для обчислення висоти шару нейтралізувального матеріалу необхідно знайти концентрацію кислоти, а саме:

$$b = aA = 1, \times 0,204 = 0,0245.$$

Тепер знаходимо висоту шару нейтралізувального матеріалу таким чином:

$$H = Kd^n (3 + \lg b) \sqrt{v} = 0,62 \times 30^{1,47} (3 + \lg 0,0245) \times 2 = 92 \times 1,4 \times 2 = 257 \text{ см.}$$

2. Визначаємо площу фільтрування, тобто

$$f = \frac{q}{v} = 0,073 \times 3600 / 4 = 15,52 \text{ м}^2.$$

3. Обчислюємо добову витрату реагенту таким чином:

$$M = \frac{cAQ}{1000} = \frac{0,76 \cdot 1,2 \cdot 6310}{1000} = 5,75 = \text{т/добу.}$$

4. Тепер розраховуємо тривалість роботи фільтра, а саме:

$$P = Hf\gamma = 2,57 \times 65,52 \times 2,8 = 471,48 \text{ т;}$$

$$M_{\phi} = 1,5 \times M = 1,5 \times 5,75 = 8,625 \text{ т;}$$

$$t = \frac{P}{M_{\phi}} = \frac{471,48}{8,625} = 54,66 \text{ діб.}$$

Контрольне завдання

Розрахувати основні параметри вертикального фільтра для нейтралізації кислих стічних вод. Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. 15.

Таблиця 15 – Вихідні дані для розрахунку параметрів фільтра-нейтралізатора

№ вар.	Витрата стічних вод Q , м ³ /добу	Витрата стічних вод q , м ³ /с	Швидкість фільтрування v , м/год	№ вар.	Витрата стічних вод Q , м ³ /добу	Витрата стічних вод q , м ³ /с	Швидкість фільтрування v , м/год
1	5000	0,07	1	11	6000	0,08	3
2	5100	0,071	2	12	6100	0,081	4
3	5200	0,072	3	13	6200	0,082	1
4	5300	0,073	4	14	6300	0,083	2
5	5400	0,074	1	15	6400	0,084	3
6	5500	0,075	2	16	6500	0,085	4
7	5600	0,076	3	17	6600	0,086	1
8	5700	0,077	4	18	6700	0,087	2
9	5800	0,078	1	19	6800	0,088	3
10	5900	0,079	2	20	6900	0,089	4

Примітка. Номер варіанта студент визначає відповідно до номера свого прізвища в списку академічної групи.

Решту параметрів для розрахунку обираємо з вихідних даних, наведених в умовах до розв'язування типової задачі.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть, яким чином відбувається очищення кислих стоків від мінеральних солей за допомогою фільтра-нейтралізатора?
2. Що являє собою фільтр-нейтралізатор?
3. Які умови повинні виконуватися при фільтруванні кислих стоків?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ АЕРОТЕНКІВ

Мета: Навчитись розраховувати технологічні параметри процесів, що відбуваються в аеротенках.

Методика розрахунку. Технологічний розрахунок роботи аеротенків пов'язаний із визначенням основних параметрів системи (тривалість аерації, витрата повітря, величина приросту мулу), від якого залежать розміри та конструкція очисних споруд.

Тривалість циклу аерації в аеротенках, що працюють за принципом змішувачів, обчислюють за такою формулою:

$$t = \frac{L_a - L_t}{a(1 - S)\rho}, \text{ год}, \quad (7.1)$$

де S – зольність мулу, частки одиниці; ρ – швидкість окислення забруднень, мг БСК_{повн} на 1 г беззольної речовини мулу за 1 годину.

Швидкість окислення забруднень розраховують таким чином:

$$\rho = \rho_{\text{макс}} \frac{L_t C_o}{L_t C_o + K_i C_o + K_o L_t} \cdot \left(\frac{1}{1 + \varphi_a} \right), \text{ мг/г/год}, \quad (7.2)$$

де $\rho_{\text{макс}}$ – максимальна швидкість окислення (для господарсько-побутових стічних вод $\rho_{\text{макс}} = 85$ мг/г/год; C_o – концентрація розчиненого кисню, мг/л; K_o – константа, що характеризує вплив кисню (для виробничих стічних вод $K_o = 0,625$ мг О₂/л.; K_i – константа, що характеризує властивості органічних забруднень (для господарсько-побутових стічних вод $K_i = 33$ мг БСК_{повн}/л); φ – коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу (для господарсько-побутових стічних вод $\varphi = 0,07$ г/л; a – доза мулу, г/л.

Швидкість окислення забруднень залежить від багатьох факторів, серед яких: склад стічної води, ступінь адаптації біоценозу мулу, температура, рН середовища, наявність біогенних елементів, рівень техногенного навантаження на мул, концентрація розчиненого кисню та інгібувального фактора.

Витрату мулу, який циркулює в аеротенках, обчислюють за такою формулою:

$$Q_p = \frac{aQ}{1000 / I - a}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (7.3)$$

де Q – середня витрата стічних вод, м³/год; a – концентрація мулу, г/л; I – муловий індекс, см³/л.

Формула справедлива тоді, коли $I = 175$ см³/л; $a \leq 5$ г/л.

Навантаження на мул у розрахунку на 1 г беззольної речовини в ньому протягом доби

$$q = \frac{24(L_a - L_t)}{a(1 - S)t}, \text{ мг БСК}_{\text{повн}}/\text{г}. \quad (7.4)$$

Система аерації – найважливіший елемент аеротенка. Вона складається з комплексу споруд та спеціального обладнання, що забезпечує постачання рідини киснем, підтримання мулу в завислому стані та постійне перемішування його із стічною водою. Питому витрату повітря D в м³/м³ під час очищення виробничих стічних вод в аеротенках з пневматичною системою аерації визначають так само, як і для процесу очищення побутових стічних вод. При цьому розрахункова формула (розроблена науковцями ВНДІ ВОДГБО), являє собою відношення кількості кисню, потрібного для обробки 1 м³ води, до кількості кисню, відібраного з 1 м³ поданого в аеротенки повітря, тобто

$$D = \frac{Z(L_a - L_t)}{k_1 k_2 n_1 n_2 (C_p - C)}, \quad \text{м}^3/\text{м}^3, \quad (7.5)$$

де Z – питома витрата кисню, мг на 1 мг поглинутого БСК_{повн}; k_1 – коефіцієнт, що враховує тип аератора (залежить від розміру бульбашок, наприклад для тих, що утворюють дрібні бульбашки, це функція площі, зайнятої аераторами, по відношенню до загальної площі дзеркала води в споруді); k_2 – коефіцієнт, який враховує глибину занурення аератора; n_1 – коефіцієнт, який враховує температуру стічних вод; n_2 – коефіцієнт якості стічної води, який показує зміну величини об'ємного коефіцієнта масопередачі в стічній воді по відношенню до водопровідної, коли $T = 20$ °С; C_p – розчинність кисню у воді залежно від висоти стовпа стічної води над аератором, мг/л; C – допустима мінімальна концентрація кисню в стічній воді, яка не впливає на швидкість окисного процесу, мг/л.

Біомаса мулу в аеротенку збільшується за рахунок синтезу клітин (конструктивний обмін) та частини вихідних забруднень, поглинутих мулом, але неокислюваних біологічно, а зменшується внаслідок ендогенної респірації та виділення метаболітів в очищену воду.

Величина приросту мулу, яку належить враховувати, проектуючи аеротенк, включає, крім беззольної маси, також і зольну частину, яка становить від сухої речовини мулу значну частку (10...50 %), залежно від виду стічних вод та умов їх обробки [6].

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Розрахувати основні параметри аеротенків біологічного очищення господарсько-побутових стоків для муніципальних очисних споруд.

Таблиця 16 – Вихідні величини для технологічного розрахунку аеротенків

Найменування показника	Умовне познач.	Одиниці виміру	Значення
1	2	3	4
Тривалість циклу аерації в аеротенках	t	год	$t = \frac{L_a - L_t}{a(1 - S)\rho}$
Зольність мулу	S	частка од.	0,1
Питомий вміст мулу	a	г/л	5
БСК _{повн} очищуваних стоків	L_a	мг/л	30
БСК _{повн} очищеної води	L_t	мг/л	5
Швидкість окислення забруднень	ρ	мг БСК _{повн} на 1 г	$\rho = \rho_{\text{макс}} \frac{L_t C_o}{L_t C_o + K_t C_o + K_o L_t} \cdot \left(\frac{1}{1 + \phi_a} \right)$
Максимальна швидкість окислення	$\rho_{\text{макс}}$	мг/г/год	85

1	2	3	4
Концентрація розчиненого кисню	C_o	мг/л	6
Константа, що характеризує вплив кисню	K_o	мг O ₂ /л	0,625
Константа, що характеризує властивості органічних забруднень	K_i	мг БСК _{повн} /л	33
Коефіцієнт інгібування продуктами розпаду активного мулу	φ	г/л	0,07
Кількість мулу, що підлягає рециркуляції	Q_p	кг/год	$Q_p = \frac{aQ}{1000 / I - a}$
Витрата стічних вод	Q	м ³ /год	127,85
Муловий індекс	I	см ³ /л	175
Навантаження на мул	q	мг БСК _{повн} на 1 г	$q = \frac{24(L_a - L_t)}{a(1 - S)t}$
Питома витрата повітря	D	м ³ /м ³	$D = \frac{Z(L_a - L_t)}{k_1 k_2 n_1 n_2 (C_p - C)}$
Питома витрата кисню	Z	мг/мг	2
Коефіцієнт, що враховує тип аератора (за розміром бульбашок), для тих, що утворюють дрібні бульбашки, це функція площі, зайнятої аераторами, по відношенню до загальної площі дзеркала води, споруді	k_1	безрозм.	0,4
Коефіцієнт, що враховує глибину занурення аератора	k_2	безрозм.	0,72
Коефіцієнт, що враховує температуру стічних вод	n_1	безрозм.	0,2
Коефіцієнт якості стічної води, який показує зміну величини об'ємного коефіцієнта масопередачі в стічній воді по відношенню до водопровідної води, коли T = 20°C	n_2	безрозм.	0,9

1	2	3	4
Розчинність кисню у воді залежно від висоти стовпа стоків над аератором	C_p	мг/л	6
Допустима мінімальна концентрація кисню в стічній воді, яка не впливає на швидкість окисного процесу	C	мг/л	2
Об'єм аеротенка	W	м ³	$W = Qt$

Розв'язування

1. Для визначення тривалості процесу аерації в аеротенках знаходимо швидкість окислення забруднень таким чином:

$$\rho = \rho_{\max} \frac{L_t C_o}{L_t C_o + K_i C_o + K_o L_t} \cdot \left(\frac{1}{1 + \varphi_a} \right) = 85 \frac{5 \cdot 6}{5 \cdot 6 + 33 \cdot 6 + 0,625 \cdot 5} \cdot \frac{1}{1 + 0,07} = \frac{2550}{247,304} = 10,3;$$

$$t = \frac{L_a - L_t}{a(1-S)\rho} = \frac{30 - 5}{5(1 - 0,1) \cdot 10,3} = \frac{25}{46,35} = 0,54 \text{ год} = 32,4 \text{ хв.}$$

2. Обчислюємо витрату мулу, що підлягає рециркуляції, а саме:

$$Q_p = \frac{aQ}{1000/I - a} = \frac{5 \cdot 127,85}{1000/175 - 5} = \frac{639,25}{5,714 - 5} = 895,3 \text{ кг/год.}$$

3. Розраховуємо навантаження на мул, тобто

$$q = \frac{24(L_a - L_t)}{a(1-S)t} = \frac{24 \cdot (30 - 5)}{5 \cdot (1 - 0,1) \cdot 0,54} = \frac{600}{2,43} = 246,9 \text{ мг БСК}_{\text{повн}} / 1 \text{ г.}$$

4. Визначаємо питому витрату повітря що йде на аерацію в аеротенку-змішувачі таким чином:

$$D = \frac{Z(L_a - L_t)}{k_1 k_2 n_1 n_2 (C_p - C)} = \frac{2 \cdot (30 - 5)}{0,4 \cdot 1,72 \cdot 2,14 \cdot 1,94 \cdot (6 - 2)} = \frac{50}{11,425} = 4,38 \text{ м}^3 / \text{м}^3.$$

5. Обчислюємо об'єм аеротенку, тобто

$$W = Qt = 127,85 \cdot 0,54 \cdot 24 \text{ ч} = 1656,93 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

У більшості конструкцій аеротенків, призначених для очищення великої кількості виробничих і побутових стічних вод, передбачено, що робоча глибина становить 3...5 м. Тоді, коли об'єм стоків порівняно невеликий, цей параметр може не перевищувати 3 м. Ширина робочого коридора очисної споруди звичайно варіюється в діапазоні 4...6 м.

Таким чином, у разі вибору мінімальної площі робочого перерізу очисної споруди (12 м^2) лінійна довжина аеротенків буде становити 138,08 м. При цьому, коли середня довжина коридора перебуває в межах 20...30 м, то встановлюють від 5 до 7 аеротенків. У п'ятисекційному аеротенку-змішувачі при даній витраті виробничих стічних вод довжина секції буде становити 27,6 м.

Контрольне завдання

Розрахувати основні параметри аеротенків біологічного очищення стічних вод. Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. 17.

Таблиця 17 – Вихідні дані для розрахунку основних параметрів аеротенків

№ вар.	Концентрація розчиненого кисню C_o , мг/л	Середня витрата стічних вод Q , $\text{м}^3/\text{год}$	БСК _{повн} стічної води L_a , мг/л	№ вар.	Концентрація розчиненого кисню C_o , мг/л	Середня витрата стічних вод Q , $\text{м}^3/\text{год}$	БСК _{повн} стічної води L_a , мг/л
1	1	100	20	11	10	200	30
2	2	110	21	12	9	190	31
3	3	120	22	13	8	180	32
4	4	130	23	14	7	170	33
5	5	140	24	15	6	160	34
6	6	150	25	16	5	150	35
7	7	160	26	17	4	140	36
8	8	170	27	18	3	130	37
9	9	180	28	19	2	120	38
10	10	190	29	20	1	110	39

Примітка. Номер варіанта студент визначає відповідно до номера свого прізвища в списку академічної групи.

Решту параметрів для розрахунку обираємо з вихідних даних, наведених в умовах до розв'язування типової задачі.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть, яким чином відбувається очищення стоків в аеротенках?
2. Які процеси сприяють збільшенню біомаси мулу під час очищення стоків?
3. Які ви знаєте системи аерації?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8

ГЛИБОКЕ ОЧИЩЕННЯ (ДООЧИЩЕННЯ) ВИРОБНИЧИХ СТИЧНИХ ВОД

Мета роботи: Засвоїти методику розрахунку технологічних параметрів установок глибокого очищення стічних вод, у яких використано фільтри із зернистим наповненням.

Методика розрахунку. Напірні вертикальні фільтри із зернистим наповненням застосовуються для механічного очищення виробничих стічних вод після їхнього гравітаційного відстоювання (рис. 5). Фільтр являє собою сталевий вертикальний резервуар зазвичай заводського виготовлення і завантажується, як правило, кварцовим піском висотою шару в 1 м.

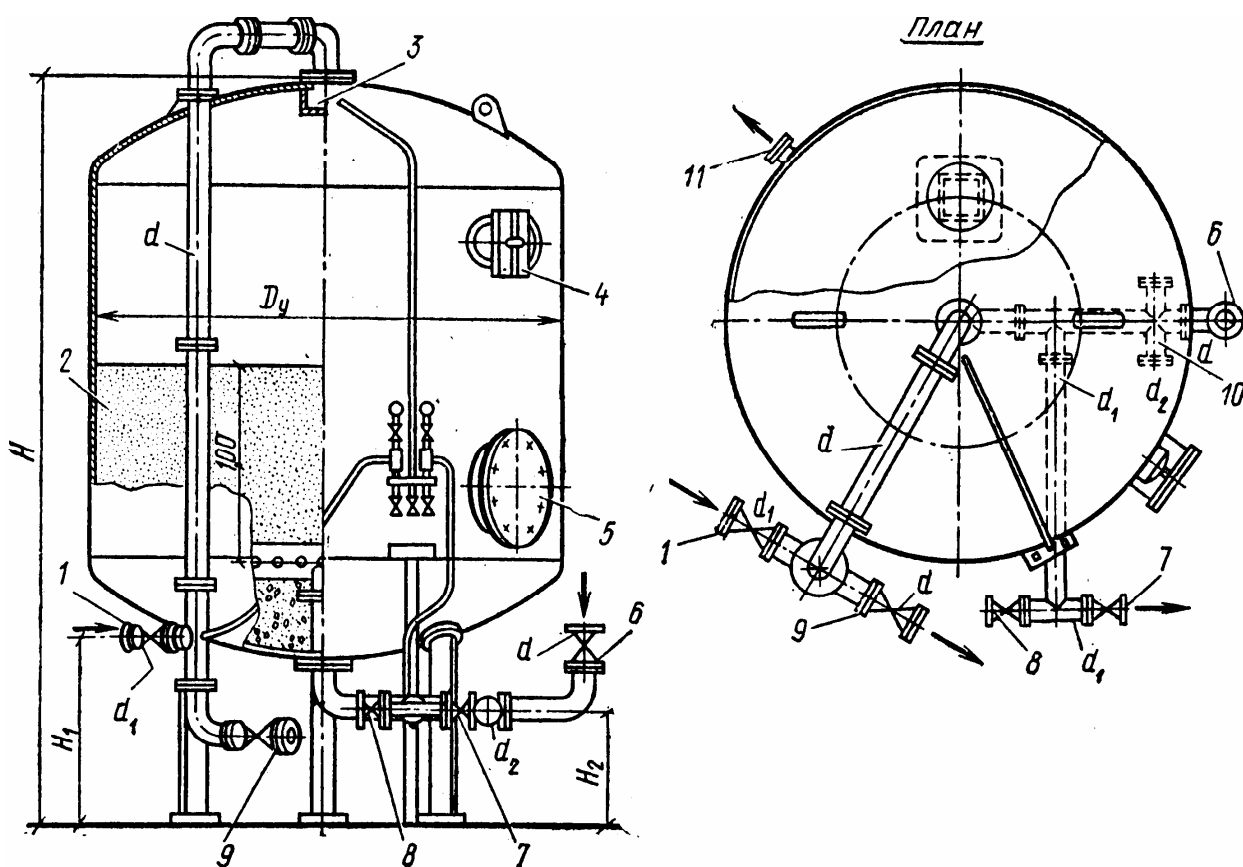


Рис. 5. Схема напірного вертикального фільтра із зернистим завантаженням:

- 1 – подача води на очищення; 2 – фільтрувальний шар із зернистим завантаженням; 3 – верхній розподільний пристрій; 4 – контрольний еліптичний люк; 5 – круглий люк; 6 – підведення промивної води;
- 7 – відведення першого фільтрату; 8 – відведення очищеної води;
- 9 – відведення промивної води; 10 – підведення стиснутого повітря;
- 11 – штуцер для гідравлічного завантаження фільтра

У напірних фільтрах очищення рідини відбувається зверху вниз, швидкість фільтрування перебуває в межах 50...120 м/год, а тривалість одного циклу

становить 12...48 годин залежно від фізико-хімічних властивостей стічних вод. В очищеній воді залишковий вміст нафтопродуктів має становити 7...20 мг/л (початковий – 40...80 мг/л), механічних домішок – 10...20 мг/л (початковий – 30...60 мг/л).

Сумарну площу фільтрів визначають за такою формулою:

$$F = \frac{(Q_p - Q_u)}{24 \cdot v_p - n \cdot v_p \cdot t}, \quad \text{м}^2, \quad (8.1)$$

де Q_p – розрахункові витрати стічних вод на спорудах глибокого очищення, м³/год; Q_u – загальні циркуляційні витрати, у тому числі витрати води на промивання фільтрів, барабанних сіток і скидання першого фільтрату, м³/год (в орієнтовних розрахунках слід приймати, що $Q_u = 0,025 \cdot Q_p$, коли $n = 1$, і $Q_u = 0,05 \cdot Q_p$, якщо $n = 2$); n – кількість циклів промивання одного фільтра на добу; t – тривалість простою одного фільтра під час промивання, год; v_p – розрахункова швидкість фільтрування, яку обчислюють за такою формулою:

$$v_p = \frac{v_\phi \cdot (N - m)}{N}, \quad \text{м/год} \quad (8.2)$$

де N – загальна кількість фільтрів; m – кількість фільтрів, що перебувають на ремонті (коли $N > 20$, то $m = 3$; якщо $N < 20$, то $m = 2$); v_ϕ – швидкість фільтрування у форсованому режимі, тобто при максимальній подачі води й вимиканні частини фільтрів у зв'язку з ремонтом, м/год [2, 7].

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Визначити основні параметри фільтра глибокого очищення стічних вод (загальну площу фільтрування, розрахункову швидкість фільтрування, кількість фільтрів) за умови, що середній приплив стоків дорівнює 120 м³/год.

Таблиця 18 – Вихідні величини для розрахунку параметрів фільтра глибокого очищення стоків

Назва показника	Умовне познач.	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4
Загальна площа фільтрування	F	м ²	$F = \frac{(Q_p + Q_u)}{24v_p - nv_p t}$
Розрахункові витрати стічних вод на спорудах їх глибокого очищення	Q_p	м ³ /год	120
Загальні циркуляційні витрати води, у т. ч. на промивання фільтрів	Q_u	м ³ /год	$Q_u = 0,025Q_p$ ($n = 1$), $Q_u = 0,05Q_p$ ($n = 2$)

1	2	3	4
Кількість циклів промивання одного фільтра на добу	n	шт.	1
Тривалість простою одного фільтра протягом промивання	t	год	1
Розрахункова швидкість фільтрування	v_p	м/год	$v_p = \frac{v_\phi(N - m)}{N}$
Швидкість форсованого фільтрування при найбільшому припливі стічної води	v_ϕ	м/год	14
Загальна кількість фільтрів	N	шт.	4
Кількість фільтрів, що перебувають на ремонті	m	шт.	коли $N > 20, m = 3$; коли $N < 20, m = 2$
Концентрація завислих речовин: до очищення	$C_{зав}^1$	мг/л	45
після нього	$C_{зав}^2$	мг/л	10

Розв'язування

1. Визначаємо розрахункові витрати стічних вод таким чином:

$$Q_p = 120 \text{ м}^3/\text{год} \cdot 24 \text{ год} = 2880 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Загальні циркуляційні витрати води

$$Q_u = 0,025 \cdot Q_p = 0,025 \cdot 2880 = 72 \text{ м}^3/\text{год}.$$

2. Знаходимо розрахункову швидкість фільтрування таким чином:

$$v_p = \frac{v_\phi(N - m)}{N} = \frac{14(4 - 2)}{4} = 7,0 \text{ м/год}.$$

3. Обчислюємо загальну площу фільтрів, тобто

$$F = \frac{(Q_p + Q_u)}{24v_p - nv_p t} = \frac{2880 + 72}{24 \cdot 7 - 1 \cdot 7 \cdot 1} = \frac{2952}{168 - 7} = \frac{2952}{161} = 18,35 \text{ м}^2.$$

4. Визначаємо діаметр фільтра у такій послідовності:

$$F' = F / N = 18,35 / 4 = 4,6 \text{ м}; F' = 4,6 = \frac{\pi D^2}{4}; D = 2,4 \text{ м}.$$

5. Ефективність тонкого механічного очищення стоків за допомогою фільтрів розраховуємо як різницю концентрацій завислих речовин у вихідній та в очищеній воді, а саме:

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1} = \frac{45 - 10}{45} = 0,78, \text{ тобто } 78 \%.$$

Контрольне завдання

Розрахувати основні параметри фільтра глибокого очищення стоків, користуючись даними табл. 19.

Таблиця 19 – Вихідні дані для розрахунку параметрів фільтра глибокого очищення стічних вод

№ вар.	Швидкість форсованого фільтрування при найбільшому припливі води v_{ϕ} , м ³ /год	Тривалість простою одного фільтра протягом промивання t , год	№ вар.	Швидкість форсованого фільтрування при найбільшому припливі води v_{ϕ} , м ³ /год	Тривалість простою одного фільтра протягом промивання t , год
1	5	0,05	11	15	0,55
2	6	0,1	12	16	0,6
3	7	0,15	13	17	0,65
4	8	0,2	14	18	0,7
5	9	0,25	15	19	0,75
6	10	0,3	16	20	0,8
7	11	0,35	17	21	0,85
8	12	0,4	18	22	0,9
9	13	0,45	19	23	0,95
10	14	0,5	20	24	1

Примітка. Номер варіанта студент визначає відповідно до номера свого прізвища в списку академічної групи.

Решту параметрів для розрахунку обираємо з вихідних даних, наведених в умовах до розв'язування типової задачі.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть процес глибокого очищення води за допомогою фільтрів із зернистим наповненням?
2. Які стадії підготовки проходить вода перед глибоким очищенням?
3. Які технологічні показники впливають на швидкість фільтрування?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 9

АДСОРБЦІЙНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Мета роботи: Засвоїти методику розрахунку технологічних параметрів адсорбційного очищення стічних вод.

Методика розрахунку. Сорбція являє собою процес поглинання речовини з навколишнього середовища твердим тілом або рідиною. Поглинальний агент

називається сорбентом, а речовина, яка поглинається, – сорбатом. Розрізняють два види сорбції: поглинання речовини-забруднювача із стічних вод усією масою рідкого сорбенту (абсорбція), а також поверхневим шаром твердого сорбенту (адсорбція). Сорбція – один із найбільш ефективних методів глибокого очищення стічних вод від розчинених органічних речовин, зокрема на підприємствах целюлозно-паперової, хімічної, нафтохімічної, текстильної та інших галузей промисловості.

Сорбентами в таких процесах найчастіше слугують різні штучні й природні пористі матеріали: зола, кокс, торф, силікагелі, алюмогелі, активна глина та ін. Ефективними сорбентами є також активоване вугілля різних марок, адсорбційні властивості якого наведено в табл. 20.

Таблиця 20 – Характеристики основних марок активованого вугілля

Марка вугілля	Повний питомий об'єм, см ³ /г	питомий об'єм пор, см ³ /г	Розмір зерен, мм	Насипна маса сорбенту, кг/м ³
АГ-2	0,6	0,3	1–3,5	600
БАУ	1,5	0,22	1–3,5	260
АГ-3	0,7	0,19	1–3,5	550
КАД йодатний	1,0	0,23	1–5	380
КАД мелений	–	0,12	<0,04	–
СКТ	0,98	0,51	1–3,5	420

Найбільш простим апаратом адсорбційної очистки є насипний фільтр, що являє собою колону з нерухомим шаром сорбенту, через який фільтрується стічна вода. Швидкість фільтрування залежить від концентрації розчинених у стічних водах речовин, зазвичай вона становить 1...6 м/год. Крупність зерен сорбенту перебуває в межах 1,5...5 мм. Найбільш раціональним визнано фільтрування рідини знизу вгору. Схема адсорбційного очищення може включати декілька апаратів (рис. 6).

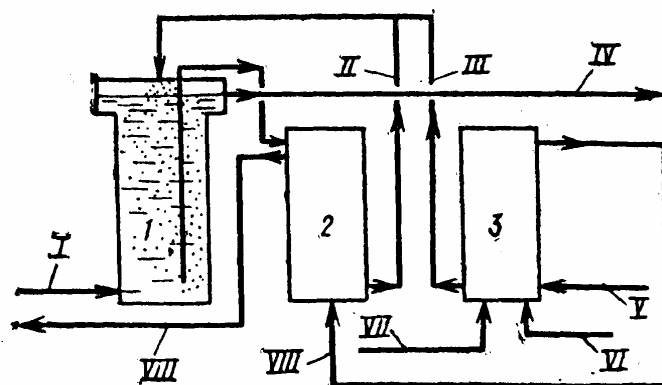


Рис. 6. Принципова схема адсорбційного очищення стоків:

Напрямки потоків: I – стічної води на очистку; II – регенованого антрациту; III – активованого антрациту; IV – стічної води на іонообмінні фільтри; V – свіжого антрациту на активацію; VI – водяної пари; VII – природного газу; VIII – димових газів; 1 – адсорбер; 2, 3 – піч регенерації та активації антрациту

Для розрахунку основних параметрів адсорбційної установки необхідно брати до уваги такі параметри: розміри адсорберів; об'єм і масу завантаження адсорбенту; режим зміни завантаження; кількість і технологічну схему адсорберів.

У цьому розрахунку використовують вихідні значення таких величин: витрата стічних вод; початкова концентрація речовин-забруднювачів; концентрація забруднювачів в очищеній воді; швидкість фільтрування стічної води через адсорбент; орієнтовна тривалість періоду роботи адсорбенту до моменту настання так званої проскокової концентрації шкідливої речовини, тобто до вичерпання місткості адсорбенту та його заміни; уявна й насипна щільність адсорбенту.

Розрахунок розмірів адсорберів починають із визначення загальної площі адсорбційної установки.

Зокрема площа її завантаження визначається за такою формулою:

$$F_{адс} = \frac{q_{см}}{V}, \text{ м}^2, \quad (9.1)$$

де $q_{см}$ – середньогодинна витрата стічної води, м³/год; V – швидкість потоку (не повинна перевищувати 10 м/год) [3].

Потім, вибравши варіант конструкції установки та значення площі поперечного перерізу одного адсорбера, розраховують мінімально необхідну їх кількість для паралельної роботи.

При цьому кількість адсорберів, що працюють послідовно, обчислюють за такою формулою:

$$N_{адс} = \frac{H_{заг}}{H_{адс}}, \quad (9.2)$$

де $H_{адс}$ – висота сорбційного завантаження одного фільтра, м (береться залежно від конструкції адсорбера); $H_{заг}$ – загальна висота сорбційного шару, м, яку визначають таким чином:

$$H_{заг} = H_1 + H_2 + H_3, \quad (9.3)$$

де H_1 – висота сорбційного шару, у якому за період $t_{адс}$ адсорбційна місткість сорбенту вичерпується до величини $K_{сорб}$, для визначення цього параметра використовуємо таку формулу:

$$H_1 = \frac{D_{сорб}^{мін} \cdot q_{см} \cdot t_{адс}}{F_{адс} \cdot \gamma_{сорб}^{нас}}, \text{ м}; \quad (9.4)$$

де $\gamma_{сорб}^{нас}$ – насипна щільність активованого вугілля, г/м³ (беруть за довідковими даними); $D_{сорб}^{мін}$ – мінімальна доза активованого вугілля, г/л, що вивантажується з адсорбера при коефіцієнті вичерпання місткості $K_{сорб}$, цю величину розраховують за таким виразом:

$$D_{сорб}^{мін} = \frac{C_{вихід} - C_{вихід}}{K_{сорб} \cdot a_{сорб}}, \quad (9.5)$$

$C_{\text{вхид}}, C_{\text{вихид}}$ – концентрація речовини-забруднювача у воді до і після очищення, мг/л; коефіцієнт вичерпання ресурсу ($K_{\text{сорб}} = 0,6 \dots 0,8$); $a_{\text{сорб}}^{\text{макс}}$ – максимальна сорбційна місткість активованого вугілля, мг/л (мг/г), визначена експериментально; H_2 – висота завантаження сорбційного шару, що забезпечує роботу установки до моменту досягнення концентрації забруднювачів $C_{\text{вхид}}$ упродовж часу $t_{\text{адс}}$, прийнятого з умов експлуатації; для визначення цієї величини користуються такою формулою:

$$H_2 = \frac{D_{\text{сорб}}^{\text{макс}} \cdot q_{\text{ст}} \cdot t_{\text{адс}}}{F_{\text{адс}} \cdot \gamma_{\text{сорб}}}, \quad (9.6)$$

де $D_{\text{сорб}}^{\text{макс}}$ – максимальний вміст активованого вугілля, г/л, що має таке значення:

$$D_{\text{сорб}}^{\text{макс}} = \frac{C_{\text{вхид}} - C_{\text{вихид}}}{a_{\text{сорб}}^{\text{мін}}}, \quad (9.7)$$

де $a_{\text{сорб}}^{\text{мін}}$ – мінімальна сорбційна місткість активованого вугілля, мг/л; H_3 – висота резервного шару сорбенту, розрахованого на той період роботи установки, коли відбувається її перевантаження для регенерації шару сорбенту висотою H_1 , м (тобто $H_1 = H_3$).

Мінімальна $a_{\text{сорб}}^{\text{мін}}$ й максимальна $a_{\text{сорб}}^{\text{макс}}$ сорбційна місткість сорбенту, мг/г, що визначають таким чином: $a_{\text{сорб}}^{\text{мін}} = 253C_{\text{вихид}}^{\frac{1}{2}}$ та $a_{\text{сорб}}^{\text{макс}} = 253C_{\text{вхид}}^{\frac{1}{2}}$.

Тривалість роботи одного адсорбера до моменту вичерпання його ресурсу визначаються таким чином:

$$t_{2\text{адс}} = \frac{2C_{\text{вхид}} \cdot K_{\text{сорб}} \cdot H_1 \cdot \varepsilon(a_{\text{сорб}}^{\text{макс}} + C_{\text{вхид}})}{V \cdot C_{\text{вхид}}^2}, \quad (9.8)$$

тут при пористості завантаження

$$\varepsilon = 1 - \frac{\gamma_{\text{сорб}}^{\text{нас}}}{\gamma_{\text{сорб}}^{\text{уяв}}}, \quad (9.9)$$

де $\gamma_{\text{сорб}}^{\text{уяв}}$ – уявна щільність вугілля, $\gamma_{\text{сорб}}^{\text{нас}}$ – насипна щільність вугілля.

Об'єм завантаження одного адсорбера розраховується за таким виразом

$$W_{\text{сорб}} = f_{\text{адс}} \cdot H_{\text{адс}}, \text{ м}^3, \quad (9.10)$$

а в перерахунку на суху речовину вугілля в одному адсорбері маса завантаження

$$P_{\text{сорб}} = W_{\text{сорб}} \cdot \gamma_{\text{сорб}}^{\text{нас}}, \text{ т.} \quad (9.11)$$

При перезавантаженні кожного з двох адсорберів через час $t_{2\text{адс}}$, год, (по одному з кожної лінії) витрати вугілля

$$M_{\text{сорб}} = \frac{P_{\text{сорб}}}{t_{2\text{адс}}}, \text{ м}^3/\text{добу} \quad (9.12)$$

що відповідає такій його питомій витраті:

$$D_{\text{сорб}} = \frac{M_{\text{сорб}}}{q_{\text{ст}}}, \text{ г/л} \quad (9.13)$$

Після технологічного обґрунтування сорбційного очищення стоків зазвичай виконують розрахунок економічних показників цього процесу [8, 9].

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Розрахувати основні параметри адсорбційної установки для глибокого очищення виробничих стічних вод пропускнуою здатністю 120 м³/год.

Таблиця 21 – Величини для розрахунку параметрів адсорбційної установки

Назва показника	Умовне познач.	Одиниця виміру	Значення
Розрахункові витрати стічних вод	$q_{\text{ст}}$	м ³ /год	120
Початкова величина хімічного споживання кисню (ХСК)	$C_{\text{вхід}}$	мг/л	125
Кінцева величина хімічного споживання кисню (ХСК)	$C_{\text{вихід}}$	мг/л	10
Максимальна сорбційна ємність відповідно до ізотерми Фрейндліха	$a_{\text{сорб}}^{\text{макс}}$	мг/г	$a_{\text{сорб}}^{\text{макс}} = 253C_{\text{вхід}}^{\frac{1}{2}}$
Мінімальна сорбційна місткість сорбенту	$a_{\text{сорб}}^{\text{мін}}$	мг/г	$a_{\text{сорб}}^{\text{мін}} = 253C_{\text{вихід}}^{\frac{1}{2}}$
Лінійна швидкість потоку відносно стін адсорбера	v	м/год	6
Коефіцієнт вичерпання місткості	$K_{\text{сорб}}$	безрозм.	0,7
Орієнтовна тривалість роботи установки до настання проскокової концентрації забруднювача	$t_{\text{адс}}^{\text{ор}}$	год	24
Уявна щільність вугілля	$\gamma_{\text{сорб}}^{\text{уяв}}$	безрозм.	0,9
Насипна щільність вугілля	$\gamma_{\text{сорб}}^{\text{нас}}$	безрозм.	0,55
Висота шару вугілля в одному адсорбері	$H_{\text{адс}}$	м	1,2
Діаметр адсорбера	D	м	2,2

Примітка. Тут адсорбентом слугує вугілля марки АГ-3.

Розв'язування

1. Знаходимо загальну площу адсорбентів, що працюють одночасно й паралельно, а саме:

$$F_{\text{адс}} = \frac{q_{\text{ст}}}{V} = \frac{120 \text{ м}^3 / \text{год}}{6 \text{ м} / \text{год}} = 20 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

2. Площа одного адсорбера

$$f_{адс} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot (2,2)^2}{4} = \frac{15,2}{4} = 3,8 \text{ м}^2.$$

3. Кількість адсорберів, що працюють одночасно й паралельно ($D = 2,2 \text{ м}$)

$$n_{адс} = \frac{F_{адс}}{f_{адс}} = \frac{20 \text{ м}^2}{3,8 \text{ м}^2} = 5,3 \approx 5.$$

Отже, в розрахунку беруть до уваги п'ять адсорберів, у яких швидкість фільтрації становить 6 м/год, а витрата стічних вод дорівнює $120 \text{ м}^3/\text{год}$.

4. Для розрахунку загальної висоти сорбційного шару $H_{заг}$ визначаємо мінімальну $a_{сорб}^{мін}$ і максимальну $a_{сорб}^{макс}$ сорбційну місткість сорбенту, тобто

$$a_{сорб}^{мін} = 253C_{вихід}^{\frac{1}{2}} = 253 \cdot (0,01)^{1/2} = 25,3 \text{ мг/г};$$

$$a_{сорб}^{макс} = 253C_{вихід}^{\frac{1}{2}} = 253 \cdot (0,125)^{1/2} = 89,45 \text{ мг/г}.$$

5. Мінімальний та максимальний вміст активованого вугілля, г/л (кг/м^3), що вивантажується з адсорбера при коефіцієнті вичерпання ресурсу $K_{сорб}$ набуває таких значень:

$$D_{сорб}^{мін} = \frac{C_{вихід} - C_{вихід}}{K_{сорб} \cdot a_{сорб}^{макс}} = \frac{125 - 10}{0,7 \cdot 89,45} = \frac{115}{62,615} = 1,836;$$

$$D_{сорб}^{макс} = \frac{C_{вихід} - C_{вихід}}{a_{сорб}^{мін}} = \frac{125 - 10}{25,3} = \frac{115}{25,3} = 4,545.$$

6. Обчислюємо висоту сорбційного шару, у якому за період $t_{адс}$ адсорбційна місткість сорбенту вичерпується до величини K_{sb} , таким чином:

$$H_1 = \frac{D_{сорб}^{мін} \cdot q_{ст} \cdot t_{адс}^{оп}}{F_{адс} \cdot \gamma_{сорб}^{нас}} = \frac{1,836 \text{ кг/м}^3 \cdot 120 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot 24 \text{ год}}{20 \text{ м}^2 \cdot 550 \text{ кг/м}^3} = \frac{5287,68}{11000} = 0,48 \text{ м};$$

Далі розраховуємо висоту завантаженого сорбційного шару, а саме:

$$H_2 = \frac{D_{сорб}^{макс} \cdot q_{ст} \cdot t_{адс}^{оп}}{F_{адс} \cdot \gamma_{сорб}^{нас}} = \frac{4,545 \text{ кг/м}^3 \cdot 120 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot 24 \text{ год}}{20 \text{ м}^2 \cdot 550 \text{ кг/м}^3} = \frac{13089,6}{11000} = 1,19 \text{ м}.$$

7. Висота шару відпрацьованого адсорбенту, що вивантажується з адсорбера, відповідає висоті завантаженого шару в одному адсорбері, тобто $H_{адс} = 1,2 \text{ м}$. При цьому резервний шар сорбційного завантаження $H_3 = 1,2 \text{ м}$.

Загальну висоту завантаження адсорбенту в адсорбційній установці визначають з огляду на використання одного резервного адсорбера, тоді

$$H_{заг} = H_1 + H_2 + H_3 = 0,48 + 1,19 + 1,2 = 2,87 \text{ м}.$$

8. Обчислюємо загальну кількість послідовно встановлених в одній лінії адсорберів таким чином:

$$N_{адс} = \frac{2,87}{1,2} = 2,5 \approx 3 \text{ шт.}$$

9. Тривалість роботи одного адсорбера до вичерпання ресурсу

$$t_{2адс} = \frac{2C_{вхид} \cdot K_{сорб} \cdot H_1 \cdot \varepsilon (a_{сорб}^{макс} + C_{вхид})}{V \cdot C_{вхид}^2} = \frac{2 \cdot 0,125 \text{ г/м}^3 \cdot 0,7 \cdot 0,48 \cdot 0,39(89,45 + 0,125)}{6 \text{ м/год} \cdot (0,125)^2} =$$

$$= \frac{2,9345}{0,09375} = 31,30 \approx 31 \text{ год,}$$

тут у разі пористості завантаження

$$\varepsilon = 1 - \frac{\gamma_{сорб}^{нас}}{\gamma_{сорб}^{уд}} = 1 - \frac{0,55}{0,9} = 0,39.$$

Таким чином, необхідний ступінь очищення може бути досягнутий завдяки безперервній роботі п'яти паралельних ліній адсорберів. У кожній лінії слід встановити два адсорбери, що працюють послідовно, із яких один резервний може працювати в режимі перевантаження. Кожен адсорбер, при цьому, працює протягом 31,3 годин до повного вичерпання ресурсу адсорбенту.

10. Розраховуємо об'єм завантаження одного адсорбера, а саме:

$$W_{сорб} = f_{адс} \cdot H_{адс} = 3,8 \text{ м}^2 \cdot 1,2 \text{ м} = 4,56 \text{ м}^3;$$

у перерахуванні на суху речовину маса вугілля в одному адсорбері

$$P_{сорб} = W_{сорб} \cdot \gamma_{сорб}^{нас} = 4,56 \text{ м}^3 \cdot 550 \text{ кг/м}^3 = 2508 \text{ кг.}$$

11. При перезавантаженні кожного з двох адсорберів через кожні 31,3 години (по одному з кожної лінії) витрати вугілля

$$M_{сорб} = \frac{P_{сорб}}{t_{2адс}} = \frac{2508 \text{ кг}}{31,3 \text{ год}} = 80,13 \text{ кг / год,}$$

що відповідає такій його питомій витраті:

$$D_{сорб} = \frac{M_{сорб}}{q_{ст}} = \frac{80,13 \text{ кг/год}}{120 \text{ м}^3 / \text{год}} = 0,67 \text{ г / л.}$$

Контрольне завдання

Розрахувати основні параметри адсорбційного очищення стічних вод за поданими в табл. 22 вихідними даними.

Решту параметрів для розрахунку беремо з вихідних даних в умовах до розв'язування типової задачі.

Таблиця 22 – Вихідні дані для розрахунку адсорбційного очищення стічних вод

№ вар.	Початкове значення ХСК $C_{вх\text{ид}}$, мг/л	Кінцеве значення ХСК $C_{вих\text{ид}}$, мг/л	Витрати стічних вод $q_{ст}$, м ³ /год	№ вар.	Початкове значення ХСК $C_{вх\text{ид}}$, мг/л	Кінцеве значення ХСК $C_{вих\text{ид}}$, мг/л	Витрати стічних вод $q_{ст}$, м ³ /год
1	100	5	80	11	200	15	180
2	110	6	90	12	210	16	190
3	120	7	100	13	220	17	200
4	130	9	110	14	230	18	210
5	140	10	120	15	240	19	220
6	150	11	130	16	250	20	230
7	160	12	140	17	260	20	240
8	170	13	150	18	270	20	250
9	180	14	160	19	280	20	260
10	190	15	170	20	290	20	270

Примітка. Номер варіанта студент визначає відповідно до номера свого прізвища в списку академічної групи.

Питання для самоконтролю

1. Поясніть, у чому полягає процес адсорбційного очищення стічних вод?
2. У яких галузях промисловості використовуються технологічні схеми адсорбційного очищення стоків?
3. Які технологічні параметри впливають на процес адсорбції?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 10

ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ОЧИЩЕНИХ СТІЧНИХ ВОД ОЗОНОМ

Мета роботи: Засвоїти методику розрахунку параметрів знезараження очищених стічних вод озоном.

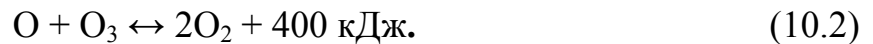
Методика розрахунку. Озон (O₃) є сильним окиснювачем, при нормальній температурі він має здатність руйнувати у водних розчинах органічні речовини та вбивати патогенні мікроорганізми. Переваги озону добре відомі, адже його бактерицидна дія значно сильніша, ніж у хлору; він також більш активно вбиває віруси, є потужним засобом боротьби з присмаками й запахами. Перспективність озонування зумовлена також тим, що при використанні цього методу вода не забруднюється продуктами реакції, а сам процес може бути легко автоматизованим.

У процесі обробки стічних вод озон, що подається в камеру реакції у вигляді озono-кисневої або озono-повітряної суміші, вступає в хімічні реакції з забруднювачами стічних вод.

В озонаторах молекули кисню під дією електричних розрядів дробляться, і атоми, що при цьому утворилися, легко приєднуються до цілих молекул завдяки їхній молекулярній спорідненості, унаслідок чого утворюються молекули озону, а саме:



Атом кисню, що виділяється в цій реакції, може приєднуватись до молекули озону з утворенням молекулярного кисню, що супроводжується виділенням теплоти, тобто



Озоно-повітряна суміш подається в реакційну камеру через трубки із пористої кераміки (це забезпечує барботаж суміші) [5].

У процесі розрахунку параметрів контактних реакційних камер, насамперед, визначають площу розпилювальних елементів, розміщених на дні камери для рівномірного розподілу озоноповітряної суміші у воді. Щоб забезпечити процес барботажу, використовують металокерамічні або керамічні труби з порами розміром відповідно 40...100 мкм, що здатні створювати оптимальний режим диспергування суміші, коли інтенсивність розпилювання становить 76...91 і 20...26 м³/(м²·год) відповідно.

Необхідну загальну площу всіх розпилювальних елементів контактної камери барботажного типу визначають за такою формулою:

$$f_{\text{заг}} = \frac{Q \cdot d_{\text{оз}}}{C \cdot w}, \text{ м}^2, \quad (10.3)$$

де Q – витрати стічних вод, м³/год; $d_{\text{оз}}$ – необхідний вміст озону, г/м³; C – концентрація озону в озоноповітряній суміші, г/м³; w – інтенсивність розпилювання на одиницю площі пористих розпилювачів, м³/(м²·год).

Кількість розпилювальних елементів знаходять із такого співвідношення:

$$n = \frac{f_{\text{заг}}}{f_e}, \quad (10.4)$$

де f_e – площа одного розпилювального елемента, м².

Металокерамічні розпилювальні труби розташовуються по дну контактних камер на відстані 0,4 м одна від одної, що зумовлює з'єднання барботажних факелів на висоті 2 м.

Загальний об'єм камери обчислюють за такою формулою:

$$W = k_{np} \cdot Q \cdot t, \text{ м}^3, \quad (10.5)$$

де k_{np} – коефіцієнт збільшення об'єму води за рахунок її продувки озоноповітряною сумішшю, звичайно дорівнює 1,1; t – тривалість перебування стічної води в реакційних камерах, год.

Величини $d_{\text{оз}}$ і t визначаються експериментально для кожного виду виробничих стічних вод. Висота шару води над розпилювачами $H = 4,5...5$ м. У двоступінчастих реакційних камерах висота шару води в кожному ступені становить 2,5...2,8 м.

Реакційні контактні камери можуть мати прямокутну й круглу форму, причому їх має бути не менше двох.

Необхідну питому витрату озону визначають за таким виразом:

$$D_{oz} = \frac{d_{oz} \cdot Q}{1000}, \text{ кг/ГОД}, \quad (10.6)$$

Кількість озонаторів знаходять, виходячи з їх продуктивності, тобто

$$m = \frac{k \cdot D_{oz}}{q_{oz}}, \quad (10.7)$$

тут коефіцієнт запасу $k = 1,05 \dots 1,1$; q_{oz} – продуктивність одного озонатора, кг/год.

У табл. 23 подано основні технічні характеристики найбільш поширених на виробництві озонаторів.

Тип озонаторного пристрою і витрати озону визначаються з урахуванням того, що концентрація озону становить 5 мг на 1 л стічної води. Залишковий вміст озону у воді дорівнює 0,2...0,5 мг/л. При розрахунку об'єму контактної камери для змішування озону з водою до уваги беруть тривалість їхнього контакту (20 хв.) і глибину шару води в камері (4...4,5 м) [2].

Таблиця 23 – Технічні характеристики озонаторів трубчастого типу

Тип озонатора	Номінальна продуктивність за озоном, кг/год	Концентрація озоноповітряної суміші, %	Середня витрата повітря, м ³ /год	Напруга на електродах, кВ
ОП-4	1,0	16–17	40	10
ОП-6	2,0	14–16	80	10
ОП-121	1,6	14–16	120	16
ОП-315	3,8	12–14	300	18
ОП-510	6,0	12–14	450	18

Приклад розв'язування типової задачі

Задача. Розрахувати основні параметри розпилювальних елементів озонаторного пристрою для обробки стічних вод пропускною здатністю 120 м³/год.

Таблиця 24 – Вихідні величини для розрахунку параметрів озонатора

Назва показника	Умовне познач.	Одиниця вимір.	Значення
1	2	3	4
Витрати стічних вод	Q	м ³ /год	120
Концентрація озону в озоноповітряній суміші	C	г/м ³	14

1	2	3	4
Інтенсивність розпилювання на одиницю площі пористих розпилювачів	w	$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	25
Тривалість перебування стічної води в реакційних камерах	T	год	0,33
Необхідний вміст озону	d_{oz}	$\text{г}/\text{м}^3$	10
Пропускна здатність одного озонатора	q_{oz}	$\text{кг}/\text{год}$	1,6

Розв'язування

1. Необхідну загальну площу всіх розпилювальних елементів реакційної камери барботажного типу визначаємо за такою формулою:

$$f_{заг} = \frac{Q \cdot d_{oz}}{C \cdot w} = \frac{120 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot 50 \text{ г}/\text{м}^3}{14 \text{ г}/\text{м}^3 \cdot 25 \text{ м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{год}} = \frac{6000}{350} = 17,14 \text{ м}^2,$$

де Q – витрати стічних вод, $\text{м}^3/\text{год}$; d_{oz} – необхідний питомий вміст озону, $\text{г}/\text{м}^3$ [для озонаторного пристрою ОП-121 (його номінальна продуктивність за озоном 6 $\text{кг}/\text{год}$) витрата стічних вод 120 $\text{м}^3/\text{год}$, $d_{oz} = 5 \text{ г}/\text{м}^3$]; C – концентрація озону в озоноповітряній суміші, $\text{г}/\text{м}^3$; w – інтенсивність розпилювання на одиницю площі пористих розпилювачів, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

2. Обчислюємо кількість розпилювальних елементів із такого співвідношення:

$$n = \frac{f_{заг}}{f_e} = \frac{17,14 \text{ м}^2}{0,471 \text{ м}^2} = 36,4 \approx 36,$$

де f_e – площа одного розпилювального елемента, м^2 (з цією метою рекомендується застосовувати керамічну трубу зовнішнім діаметром 30 мм і розміром пор 60...100 мкм); $f_e = 2\pi RL$, тут R – зовнішній радіус керамічної труби ($R = 0,015 \text{ м}$), L – довжина розпилювального елемента ($L = 5 \text{ м}$); $f_e = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,015 \cdot 5 = 0,471 \text{ м}^2$.

3. Загальний об'єм камери обчислюємо за такою формулою:

$$W = k_{np} \cdot Q \cdot t = 1,1 \cdot 120 \text{ м}^3 / \text{год} \cdot 0,333 \text{ год} = 43,956 \text{ м}^3,$$

де k_{np} – коефіцієнт збільшення об'єму води за рахунок її продувки озоноповітряною сумішшю, звичайно дорівнює 1,1; t – тривалість перебування стічної води в реакційних камерах, год.

Передбачаємо, що висота шару води над розпилювачами становить 4,5 м, довжина прямокутної камери дорівнює довжині розпилювального елемента ($L = 5 \text{ м}$). Ширину камери озонування визначаємо із такого співвідношення:

$$B = \frac{W}{L \cdot H} = \frac{43,956 \text{ м}^3}{5 \text{ м} \cdot 4,5 \text{ м}} = 1,953 \approx 2 \text{ м}.$$

4. Необхідну питому витрату озону обчислюємо за таким виразом:

$$D_{oz} = \frac{d_{oz} \cdot Q}{1000} = \frac{10 \text{ г/м}^3 \cdot 120 \text{ м}^3 / \text{год}}{1000} = \frac{1200}{1000} = 1,2 \text{ кг/год.}$$

5. Тоді кількість озонаторів з урахуванням пропускної здатності пристроїв

$$m = \frac{k \cdot D_{oz}}{q_{oz}} = \frac{1,1 \cdot 1,2 \text{ кг/год}}{1,6 \text{ кг/год}} = 0,825 \approx 1,$$

тут коефіцієнт запасу $k = 1,05 \dots 1,1$; q_{oz} – пропускна здатність одного озонатора, кг/год.

Таким чином, для обробки стічних вод, що очищаються озоном, вистачить одного озонатора.

Контрольне завдання

Розрахувати основні параметри озонаторного пристрою знезараження стічних вод, використовуючи перелічені в табл. 25 вихідні дані.

Таблиця 25 – Вихідні дані для розрахунку параметрів озонаторного пристрою

№ вар.	Концентрація озону C , г/м ³	Витрати стічних вод Q_w , м ³ /год	№ вар.	Концентрація озону C , г/м ³	Витрати стічних вод Q_w , м ³ /год
1	12	80	11	12	180
2	13	90	12	13	190
3	14	100	13	14	200
4	15	110	14	15	210
5	16	120	15	16	220
6	17	130	16	17	230
7	18	140	17	18	240
8	19	150	18	19	250
9	18	160	19	18	260
10	19	170	20	19	270

Примітка. Номер варіанта студент визначає відповідно до номера свого прізвища в списку академічної групи.

Решту параметрів для розрахунку обираємо з вихідних даних, наведених в умовах до розв'язування типової задачі.

Питання для самоконтролю

1. У чому полягає ефект знезараження стічних вод за допомогою озонування?
2. Опишіть принцип роботи озонаторного пристрою.
3. Які технологічні параметри впливають на технологічний процес озонування стічних вод?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Tchobanoglous G. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. – 4th ed. / G. Tchobanoglous, F.L. Burton, H.D. Stensel. – NY. : Metcalf & Eddy, Inc., McGraw Hill, 2003. – 1819 p.
2. Очистка производственных сточных вод [Текст] : учеб. пос. для вузов / под ред. С.В. Яковлева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1985. – 335 с., ил.
3. Водовідведення та очищення стічних вод: навч. пос. Ч. 1. Водовідвідні мережі та споруди / Під заг. ред. А.І. Мацнева. – Рівне : РДТУ, 1999. – 203 с.: іл.
4. Куликов Н.И. Теоретические основы очистки воды [Текст] / Н.И. Куликов, А.Я. Найманов, Н.П. Омельченко. – Макеевка : ДГАСА, 1999. – 277 с.
5. СНиП 2.04.03–85 – Канализация. Наружные сети и сооружения [Текст]. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 86 с.
6. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды [Текст]: Учебник / Д.М. Минц. – М. : Стройиздат, 1984. – 156 с.
7. Авраменко С.Х., Приклади та задачі з основ промислової екології: навч. посіб./ С.Х. Авраменко, М.Д. Волошин, Б.І. Мельников, В.М. Набивач. – Д. : Наука і освіта, 2000. – 128 с.
8. Долина Л.Ф. Сорбционные методы очистки производственных сточных вод. – Д. : Днепропетровский университет железнодорожного транспорта, 2000. – 72 с.
9. Долина Л.Ф. Реакторы для очистки сточных вод: учеб. пос. – Д. : Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, 2001. – 82 с.

ЗМІСТ

	Стор.
ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ	3
Практична робота № 1. Аналіз фракційного складу завислих речовин у стічних водах.....	4
Практична робота № 2. Визначення необхідного ступеня очищення виробничих стічних вод.....	8
Практична робота № 3. Визначення умов скидання стічних вод у поверхневі водойми.....	13
Практична робота № 4. Розрахунок параметрів горизонтальних і радіальних первинних відстійників.....	16
Практична робота № 5. Технологічний розрахунок апаратів очищення стоків методом іонного обміну.....	21
Практична робота № 6. Розрахунок параметрів фільтра для нейтралізації кислих стічних вод.....	26
Практична робота № 7. Розрахунок параметрів роботи аеротенків.....	30
Практична робота № 8. Глибоке очищення (доочищення) виробничих стічних вод.....	36
Практична робота № 9. Адсорбційне очищення стічних вод.....	39
Практична робота № 10. Знезараження очищених стічних вод озonom.....	46
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	51

Ковров Олександр Станіславович
Бучавий Юрій Володимирович

ОЧИСТКА Й ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД
МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичних робіт студентами напряму
підготовки 6.040106 Екологія, охорона навколишнього
середовища та збалансоване природокористування

Редактор О.Н. Ільченко

Підписано до друку 31.01.2013. Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 3,2.
Обл.-вид. арк. 2,6. Тираж 100 пр. Зам №

Державний ВНЗ «Національний гірничий університет»
49005, Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.