

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 1

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Державного університету
«Житомирська політехніка»
протокол від «30» березня 2023 р.
№7

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ для проведення практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «УПРАВЛІННЯ ТА ОЧИСТКА СТІЧНИХ ВОД»

для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр»
спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
освітньо-професійна програма «Технології захисту навколишнього середовища»
факультет гірничої справи, природокористування та будівництва
кафедра екології та природоохоронних технологій

Рекомендовано на засіданні кафедри
екології та природоохоронних
технологій
11 березня 2023 р., протокол № 03

Розробники: д.т.н., проф., завідувач кафедри екології та природоохоронних технологій
ПАЦЕВА Ірина, к.б.н., доц., доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
АЛПАТОВА Оксана

Житомир
2023

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 45 / 2</i>

Методичні рекомендації призначені для проведення практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Управління та очистка стічних вод» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр» денної та заочної форми навчання спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійна програма «Технології захисту навколишнього середовища». Житомир, Житомирська політехніка, 2023. 45 с.

Рецензенти:

к.т.н., доцент кафедри наук про Землю СКИБА Галина

д.с.-г.н., доцент кафедри екології та природоохоронних технологій ВАЛЕРКО Руслана

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 3

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Практичні роботи	6
Практична робота № 1. Розрахунок фракційного складу завислих речовин у стічних водах	6
Практична робота № 2. Визначення необхідного ступеня очищення виробничих стічних вод	9
Практична робота № 3. Визначення умов скидання стічних вод у поверхневі водойми	14
Практична робота № 4. Розрахунок параметрів горизонтальних і радіальних первинних відстійників	18
Практична робота № 5. Технологічний розрахунок апаратів очищення стоків методом іонного обміну	23
Практична робота № 6. Розрахунок параметрів фільтра для нейтралізації кислих стічних вод	27
Практична робота № 7. Розрахунок параметрів роботи аеротенків	31
Практична робота № 8. Глибоке очищення (доочищення) виробничих стічних вод	36
2. Самостійна робота	40
Теми для самостійної роботи здобувачів вищої освіти	40
Завдання для самостійної роботи здобувачів вищої освіти	41
Список використаної літератури	40

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 4

ВСТУП

Високі темпи розвитку потребують різкого прискорення темпів розвитку водопровідно-каналізаційного господарства та значного поліпшення якості води, що подається споживачу. Для виконання цих завдань необхідне будівництво нових, розширення існуючих водопровідно-каналізаційних споруд, розробка та впровадження ефективних методів обробки води, створення нових типів устаткування для обробки води.

Метою дисципліни «Управління та очистка стічних вод» є надання базових відомостей про управління та поводження зі стічними водами, ознайомлення з широтою спектру існуючих проблем і необхідністю вирішення їх на локальному, регіональному, національному та глобальному рівнях. А також у формуванні у студентів основних уявлень про менеджмент та очистку стічних вод, що у свою чергу, передбачає формування у них природоохоронного та екологічного світогляду.

Завданнями вивчення дисципліни є:

- вивчення та аналіз сучасних методів управління стічними водами і вміння наступного застосування сучасних концептуальних основ та методологічних підходів, спрямованих на вирішення проблеми забезпечення безпечності і стійкої взаємодії людини з природним середовищем;

- угруповання та аналіз сучасних методів управління стічними водами,

- ознайомлення з основними поняттями та визначеннями в галузі менеджменту стічних вод;

- технічні, організаційні, нормативні та економічні заходи забезпечення утилізації стічних вод;

- аналіз основних принципів охорони навколишнього середовища, причини і джерела забруднення довкілля, теоретичних основ менеджменту стічних вод;

- формування уявлення про концепцію безпечного поводження з стічними водами і необхідні заходи щодо її здійснення;

- формування повного уявлення про існуючі проблеми і методи їх вирішення в галузі управління та поводження зі стічними водами промислового та сільськогосподарського виробництва, споживання тощо;

- систематизація отриманих знань і формування навичок подальшої самостійної роботи по темі даного курсу.

Зміст навчальної дисципліни направлений на формування наступних компетентностей, визначених освітньо-професійною програмою «Технології захисту навколишнього середовища» другого (магістерського) рівня вищої освіти галузі знань 18 «Виробництво та технології» спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища»:

ЗК01. Здатність застосовувати знання в практичних ситуаціях.

ЗК04. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ЗК06. Здатність розробляти проекти та управляти ними.

СК01. Здатність контролювати й оцінювати екологічні ризики впливу техногенних об'єктів і господарської діяльності на довкілля.

СК03. Здатність планувати, проектувати та контролювати параметри роботи окремих видів обладнання, техніки і технологій захисту навколишнього середовища.

СК8. Здатність здійснювати моніторинг стану об'єктів природного середовища.

Отримані знання з навчальної дисципліни стануть складовими наступних програмних результатів навчання за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища»:

ПРО1. Аналізувати складні системи, розуміти їх взаємозв'язки та організаційну структуру.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	<i>Екземпляр № 1</i>	<i>Арк 45 / 5</i>

ПР04. Обґрунтовувати рішення направлені на мінімізацію екологічних ризиків господарської діяльності на загальнодержавному, регіональному й локальному рівнях.

ПР06. Здійснювати аналіз соціо-економіко-екологічного стану підприємств, населених пунктів, районів, областей та розробляти стратегії їх сталого розвитку.

ПР10. Оцінювати вплив промислових об'єктів на навколишнє середовище, наслідки інженерної діяльності на довкілля і пов'язану з цим відповідальність за прийняті рішення, планувати і проводити прикладні дослідження з проблем впливу промислових об'єктів на навколишнє середовище.

ПР13. Використовувати у практичній діяльності знання вітчизняного та міжнародного природоохоронного законодавства.

ПР14. Проектувати системи і технології захисту навколишнього середовища.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 6

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1 РОЗРАХУНОК ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН У СТІЧНИХ ВОДАХ

Мета роботи: Ознайомитись із методикою розрахунку 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.

Контрольне завдання

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

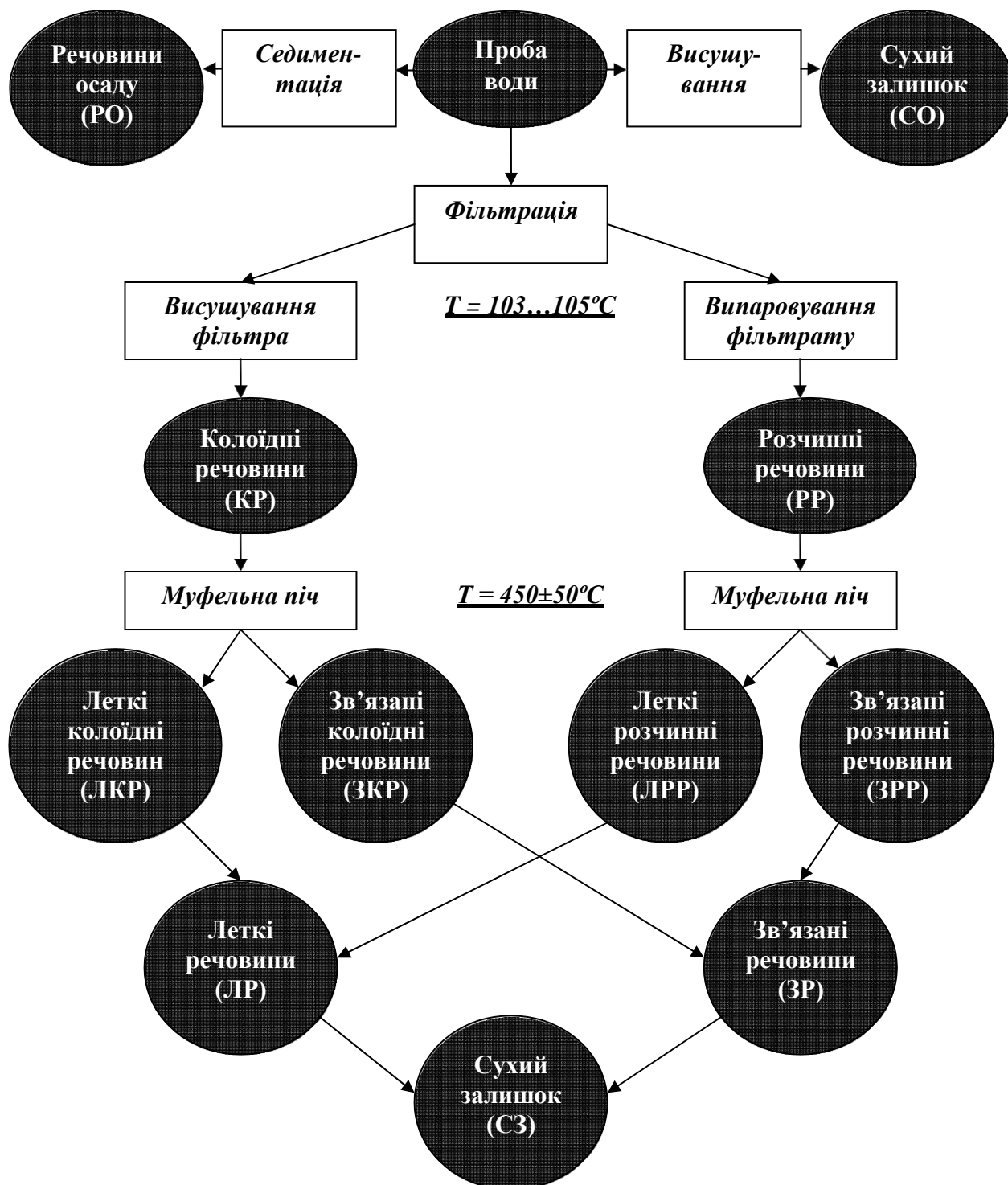


Рис. 1. Методологія визначення фракційного складу завислих частинок у стоках промислових підприємств

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 булизневоднені, висушені й прожарені поки не набули постійної маси.

За результатами тестування отримано такі експериментальні дані:

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 8

1. Маса чашки для випарювання рідини (Ч) становить 53,5433 г.
 2. Маса чашки для випарювання рідини + осад (О) 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:

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

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

$$КР = [Ф+О(105^\circ\text{C}) - Ф(105^\circ\text{C})] / V = (1,5554 \text{ г} - 1,5433 \text{ г}) / 0,050 \text{ л} = 0,242 \text{ г/л}.$$
4. Визначимо вміст фракції летких колоїдних речовин:

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

$$РР = СЗ - КР = 0,722 \text{ г/л} - 0,242 \text{ г/л} = 0,480 \text{ г/л}.$$
6. Визначимо вміст летких розчинних речовин:

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

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+О (105°C)	53,7632	53,3233	59,0355	53,9945
3	Маса чашки з осадом після прожарювання в муфельній печі ($T = 450 \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$), г	Ч+О(500°C)	53,7512	53,2573	58,9668	53,9805
4	Маса паперового фільтра для тонкого очищення рідини після сушіння, г	Ф(105°C)	1,5433	1,6287	1,5433	1,9174

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 9

5	Маса паперового фільтра для тонкої фільтрації рідин з осадом після сушіння, г	$\Phi + O(105^{\circ}\text{C})$	1,5851	1,6852	1,5741	1,9256
6	Маса паперового фільтра з осадом після прожарювання при 550°C, г	$\Phi + O(500^{\circ}\text{C})$	1,5763	1,6463	1,5498	1,9194
7	Об'єм проби води, л	V	0,05	0,05	0,05	0,05

№ 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

№ 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 10

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).

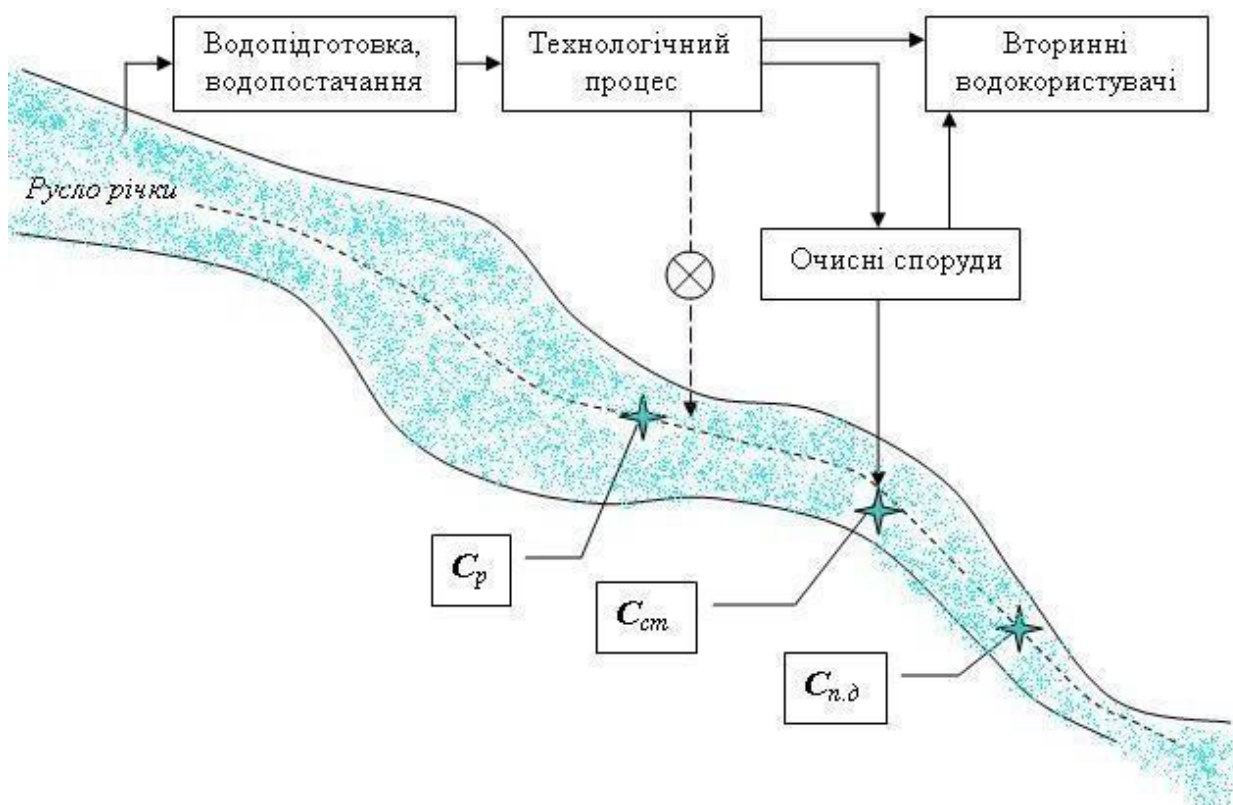


Рис. 2. Схема скидання стічних вод у водойму:

⊗ – 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:

$$C_{ст} \times q + C_p \times a \times Q = (a \times Q + q) \times C_{n.д}, \quad (2.1)$$

де $C_{ст}$ – 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; $C_{n.д}$ – 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 11

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), отримуємо значення $C_{ст}$, тобто величину концентрації забруднювача (шкідливої речовини) в стічних водах, якої потрібно досягти внаслідок їх очищення й знешкодження, а саме:

$$C_{ст} = \frac{a \cdot Q}{q} \times (C_{n.д} - C_p) + C_{n.д}. \quad (2.2)$$

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

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

де p – допустиме за санітарними правилами збільшення вмісту завислих частинок у водоймі після спуску стоків (залежно від виду водокористування), $г/м^3$; b – вміст завислих речовин у водоймі до спуску стоків, $г/м^3$.

Необхідний ступінь очищення за показником завислих речовин, %:

$$D_{техн} = \frac{C_{техн} - m}{C} \times 100, \quad (2.5)$$

де $C_{техн}$ – вміст частинок завислих речовин у стічній воді до очищення, $г/м^3$.

Визначення необхідного ступеня очищення за параметром БСКповн.

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:

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

де $L_{ст}$ – БСКповн у стічній рідині, якого потрібно досягти після очищення; L_p – БСКповн у річковій воді вище місця випуску стоків; $L_{п.д}$ – гранично допустима величина БСКповн суміші річкової та стічної води в розрахунковому створі; $k_{ст}$ 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 $l_{сп}$ і середньою швидкістю течії води в річці на даній ділянці $v_{ср}$.

Таким чином,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 12

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

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

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

Для спрощення розрахунків можна скористатися числовими даними, табл. 2.
Таблиця 2 – Значення величин $10^{-k_p t}$ та $10^{-k_p t}$ при змінних значеннях $k_{ст}$, k_p і t

$k_{ст}$ і k_p	$10^{-k_p t}$ 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

$T, ^\circ C$	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 $k_{ст}$ 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}.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 13

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

Розв'язування

1. Розраховуємо вміст нітратів у стічних водах таким чином:

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

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

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

$$C_{см} \leq 30,4 \text{ г/м}^3.$$

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:

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

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

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

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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 14

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 власногопрізвища в списку академічної групи.

Значення решти параметрів для розрахунку беремо з вихідних даних, щонаведені 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 СТІЧНИХ ВОДУ 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:

$$qC_{ст} + QC_p = (q + \gamma Q) \cdot C_{2,д}, \quad (3.1)$$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 15

звідси

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

де q і Q – витрата води у водотоці й витрата стічних вод, m^3/c ; C_p і $C_{ст}$ – концентрація даної шкідливої речовини у водотоці (фонова) і в стоках відповідно; γ – коефіцієнт змішування природної води зі стоками; $C_{п.д}$ – 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

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

інтегральний коефіцієнт:

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

L – відстань (м) по фарватеру від місця випуску стічних вод до найближчого створу водокористування, α – коефіцієнт, що враховує гідравлічні умови змішування,

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

його визначають таким чином:

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:

$$E = \frac{V_{сер} \cdot H_{сер}}{200},$$

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:

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 16

Концентрація шкідливої речовини $C_{ст}$, мг/л					Фонова концен-трація 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 17

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)	ζ	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?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 18

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.

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).

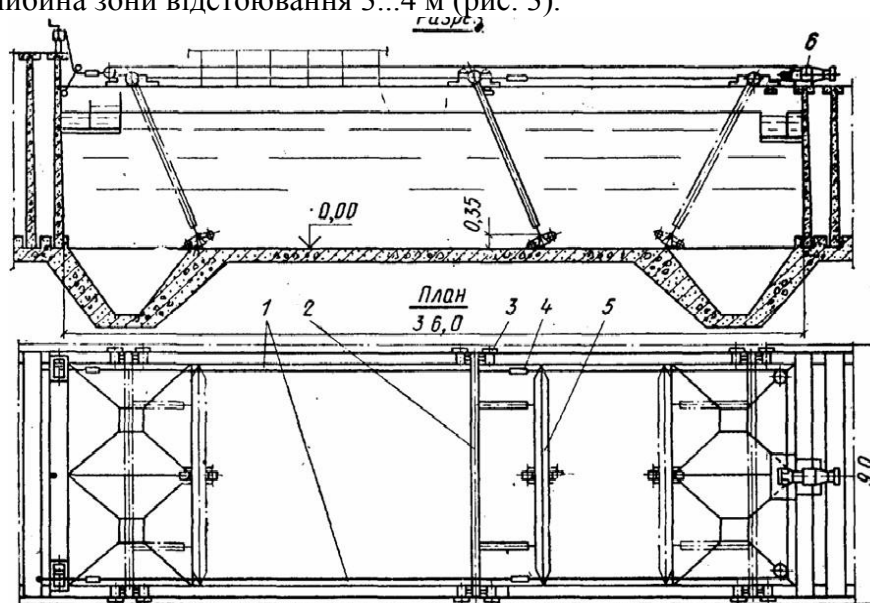


Рис. 3. Горизонтальний первинний відстійник:
1 – канат; 2 – балка; 3 – візок; 4 – динамометр; 5 – шкребок; 6 – електропривід

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 19

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.	$n = \frac{\lg t_1 - \lg t_2}{\lg h_1 - \lg h_2}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 20

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 речовин: 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.

5. 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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 21

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.

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 22

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

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

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

Контрольне завдання

1. Розрахувати розміри й пропускну здатність горизонтальних тарадіальних 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?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 23

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. Для подальших розрахунків основних параметрів установки спочатку визначають його сумарну площу перетину іонообмінних колон $S_{заг}$, тобто

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

де Q – витрата стічних вод, м³/год; v_{opt} – 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_d , кг-екв/т, її визначають таким чином:

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

Якщо тривалість робочого циклу в іонообмінних колонах між двомарегенераціями 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:

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

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:

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 24

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 л/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	$\text{м}^3/\text{год}$	350
Оптимальна швидкість фільтрування стоків через шар іоніту	v_{opt}	$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	20
Початкова концентрація іонів: хлоридів (Cl^-) сульфатів (SO_4^{2-})	C_n' C_n''	$\text{кг-екв}/\text{м}^3$	0,013044 0,0325
Кінцева концентрація іонів: хлоридів (Cl^-) сульфатів (SO_4^{2-})	C_k' C_k''	$\text{кг-екв}/\text{м}^3$	0,00026088 0,00065
Середня ефективність іонообмінних колон з іонітом марки АМ	η	%	98
Кількість повітряно-сухого іоніту	M_i	$\text{т}/\text{год}$	$M_i = \frac{Q(C_n - C_k)}{E_{\partial}}$
Динамічна місткість іоніту	E_{∂}	$\text{кг-екв}/\text{т}$	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	$\text{т}/\text{м}^3$	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		$n_k = \frac{4S_{заг}}{\pi D_k^2}$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 25

Розв'язування

1. Знайдемо сумарну площу перерізу іонообмінних колон таким чином:

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

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:

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

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

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_{∂} , кг-екв/т), а саме:

$$M_i = \frac{Q(C_H - C_K)}{E_{\partial}} = \frac{350 \cdot (0,045544 - 0,00091088)}{1,0} = 15,621592 = 15,62 \text{ т/год.}$$

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

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

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

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

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:

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

1. Обчислюємо висоту псевдозрідженого шару іоніту, а саме:

$$H = \frac{1,5 W_1}{S_{заг}} = 1,5 \cdot 3,281 = 4,923 \text{ м.}$$

Розраховуємо кількість іонообмінних колон, тобто

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 26

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

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?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 27

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, мрамур 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.

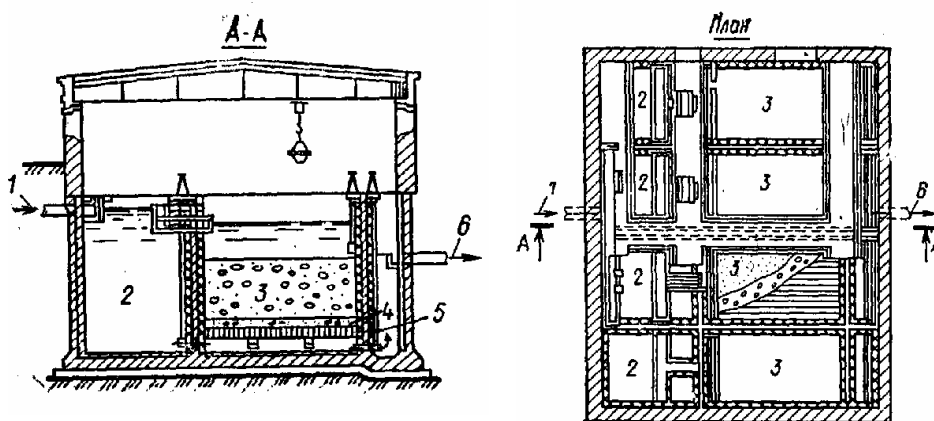


Рис. 4. Принципова схема вертикального доломітового фільтра-нейтралізатора: 1 – подача кислих стічних вод; 2 – приймальні камери; 3 – доломітові фільтри; 4 – гравій; 5 – дренаж; 6 – випуск нейтралізованих стічних вод

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:

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

де q – витрата стічних вод, що нейтралізуються, м³/с;

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 28

v – швидкість фільтрування, м/с.

Далі визначають добову витрату реагенту (завантаження), тобто

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

де a – витрата лужного реагенту на нейтралізацію (дані беруть із табл. 1);

A – концентрація кислоти, кг/м³; Q – витрата стічних вод, м³/добу.

Таблиця 1 – 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 лугу, 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

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

Визначаємо масу завантаженого у фільтр нейтралізувального матеріалу, тобто

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

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

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 2 – Вихідні величини для розрахунку параметрів вертикального фільтра

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 29

Найменування показника	Умовне познач.	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4
Висота шару нейтралізувального матеріалу	H	см	$H = Kd^n (3 + \lg b) \quad v$ (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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 30

Розв'язування

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

$$b = aA = 1,0 \cdot 0,204 = 0,204.$$

Тепер знаходимо висоту шару нейтралізувального матеріалу таким чином:

$$H = Kd^n (3 + \lg b) \sqrt{v} = 0,62 \cdot 30^{1,47} (3 + \lg 0,204) \cdot 2 = 92 \cdot 1,4 \cdot 2 = 257 \text{ см.}$$

2. Визначаємо площу фільтрування, тобто

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

1. Обчислимо добову витрату реагенту таким чином:

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

2. Тепер розраховуємо тривалість роботи фільтра, а саме:

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

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

Контрольне завдання

Розрахувати основні параметри вертикального фільтра для нейтралізації кислих стічних вод. Вихідні дані для розрахунку наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – 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?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 31

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:

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

де ρ_{\max} – максимальна швидкість окислення (для господарсько-побутових стічних вод $\rho_{\max} = 85$ 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 O_2 /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 господарськопобутових 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:

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

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,

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 32

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)

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

сде 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 висотистовпа 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 .

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	$\rho = \rho_{\text{макс}} \frac{L_0 C_0}{L_0 C_0 + K_1 C_0 + K_2 L_0} \cdot \left(\frac{1}{1 + \phi_a} \right)$
Максимальна швидкість окислення	$\rho_{\text{макс}}$ c	мг/г/год	85

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 33

Продовження табл.

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 34

Коефіцієнт якості стічної води, який показує зміну величини об'ємного коефіцієнта масопередачі в стічній воді по відношенню до водопровідної води, коли $T = 20^{\circ}\text{C}$	n_2	безрозм.	0,9
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:

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

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

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

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

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідас ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 35

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?

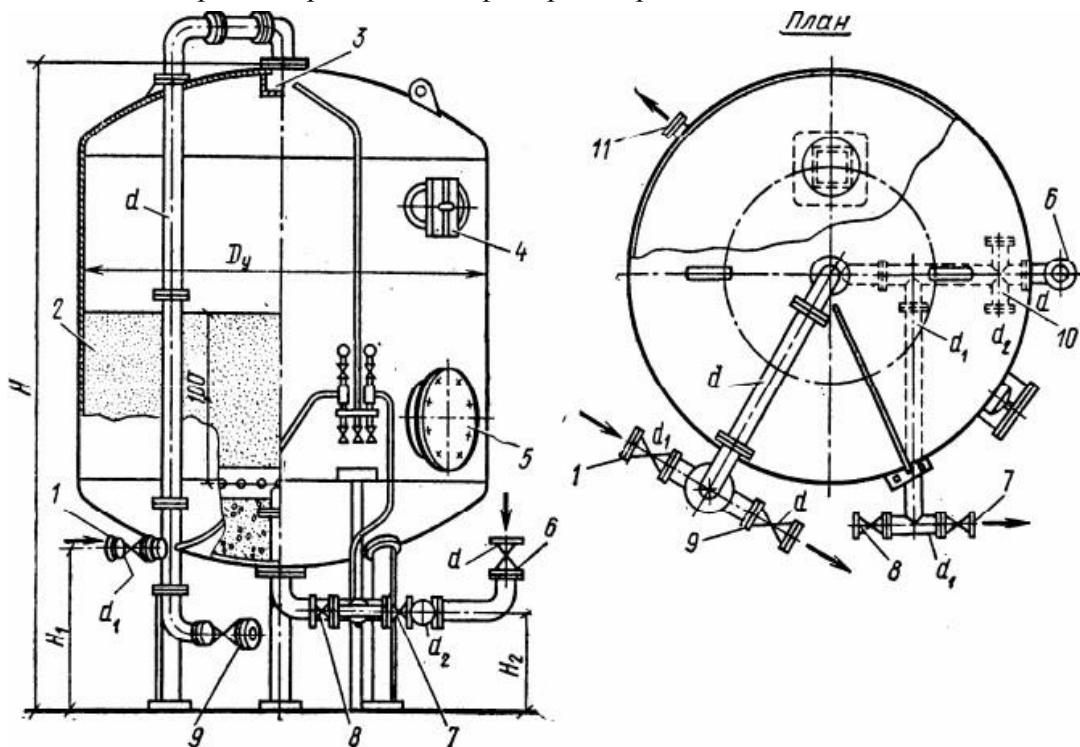
Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 36

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8 ГЛИБОКЕ ОЧИЩЕННЯ (ДООЧИЩЕННЯ) ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ 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. 1). Фільтр являє собою сталевий вертикальний резервуар зазвичай заводського виготовлення і завантажується, як правило, кварцовим піском висотою шару в 1 м.

Рис. 1. 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:

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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 37

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:

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

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 витративоди, у т. ч. на промивання фільтрів	Q_u	м ³ /год	$Q_u = 0,025 Q_p (n = 1)$, $Q_u = 0,05 Q_p (n = 2)$
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 $N < 20$, $m = 2$

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 38

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:

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

$$\text{Загальні циркуляційні витрати води } Q_u =$$

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

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:

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

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, 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

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 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 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?

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 40

ТЕМИ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Тема 1. Поняття про екологічний менеджмент.

1. Екологічний менеджмент, завдання та принципи.
1. Склад і властивості стічних вод.
3. Основні засади управління якістю очистки стічних вод.

Тема 2. Охорона поверхневих вод від забруднення стічними водами.

1. Класифікація водних об'єктів.
2. Самоочищення води у водних об'єктах.

Тема 3. Методи очистки стічних вод і схеми очисних станцій.

1. Методи очистки стічних вод і обробки осадів.
2. Технологічні схеми очисних станцій.

Тема 4. Методи та споруди для очищення стічних вод.

1. Методи очистки стічних вод і схеми очисних станцій.
2. Технологічні схеми очисних станцій.

Тема 5. Споруди для механічного очищення стічних вод.

1. Грати, дробарки, їх розрахунок.
2. Призначення і конструктивні відмінності піскоуловлювачів різних типів.
4. Видалення і обробка піску.
5. Конструктивні типи відстійників.

Тема 6. Інтенсифікація первинного відстоювання стічних вод.

1. Попередня аерація.
2. Освітлювачі з природною аерацією.

Тема 7. Біологічне очищення стічних вод

1. Біологічне очищення стічних вод в природних та штучних умовах.
2. Споруди біологічного очищення стічних вод у штучно створених умовах.

Тема 8. Методи та споруди для доочищення стічних вод.

1. Очищення стічних вод у біологічних ставках.
2. Доочистка стічних вод на фільтрах. Конструкції фільтрів.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 41

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТА

Будь-яка форма самостійної роботи розрахована, головним чином, на зацікавленого, активного студента, оскільки в ній виключається елемент зовнішнього примусу. Основна мотивація до самостійної роботи – прагнення до самовдосконалення і самоусвідомлення потреби знань.

Самостійна робота інтегрує в одне ціле навчальну, наукову і практичну роботу студента, тому завдання вищої школи полягає в тому, щоб навчити студента володіти широким колом форм і методів самостійної роботи, оскільки вони забезпечать можливість фахівцям протягом всього подальшого життя поповнювати, поглиблювати, поновлювати професійні знання, вміння та навички.

Організація самостійної роботи вимагає значного розширення і поглиблення індивідуальної роботи викладача зі студентами, конструктивного і детального рецензування всіх виконаних студентом робіт і обговорення цих рецензій зі студентом. Як уже відзначалося, до переліку індивідуальних завдань відносять описові, реферативні, навчально-дослідні та курсові роботи. Кожна з цих робіт буде достатньо ефективною, якщо викладач вчасно і якісно підготує перелік тем і завдань, а також забезпечить своєчасний і якісний контроль їх виконання.

Самостійна робота над навчальною дисципліною «Екологічна освіта» включає:

– опрацювання теоретичних основ прослуханого лекційного матеріалу та вивчення окремих додаткових тем або питань, що передбачені викладачем для самостійного опрацювання при:

- підготовці до практичних занять;
 - підготовці до виступів на практичних заняттях;
 - підготовці до поточного контролю знань (контрольних робіт, модульних контрольних робіт, інших форм поточного контролю);
 - підготовці до підсумкового контролю (залвіку);
- систематизація вивченого матеріалу перед написанням модульних контрольних робіт та підготовкою до іспиту;
- виконання і письмове оформлення індивідуальних завдань (рефератів, есе, реферативних матеріалів з фахових публікацій, власних досліджень до конференцій, тощо);
- аналіз конкретної практичної ситуації (індивідуально або в міні-групах) та підготовка доповіді та презентації.

Основними видами індивідуальних самостійних робіт студентів, передбачених в межах вивчення курсу «Управління та очистка стічних вод» є:

- Реферат – стисле викладення суті певного питання, теми на основі одного або кількох першоджерел (наукових видань, спеціалізованих періодичних видань, в тому числі розміщених в мережі Інтернет, ін.). В рефераті необхідно грамотно і логічно викласти основні ідеї, концепції, що містяться у використаних джерелах з заданої теми, згрупувати їх за точками зору, навести основні фактичні дані і висновки, а також аргументовано викласти власні думки щодо питання, що розглядається, навести порівняння, розмірковування.

- Есе – невелике за обсягом прозаїчне розмірковування з приводу певних наукових, культурних або суспільних проблемних питань, у жанрі художньо-публіцистичної, науково-популяризаторської творчості; характеризується вільним, не обов'язково вичерпним, але виразно індивідуальним трактуванням обраної теми. Есе передбачає розвиток аргументації і аналізу, їх обґрунтування, виходячи з наявних даних, інших аргументів і позицій щодо даного питання. Мета есе полягає у розвитку навичок самостійного творчого мислення і письмового викладення власних думок. Тема есе має містити у собі питання, проблему, мотивувати до міркувань.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 42

- Огляд науковий – містить систематизовані дані з певної тематики, є результатом аналізу першоджерел і призначений для ознайомлення із сучасним станом певних наукових проблем і перспективами їх розвитку.

- Огляд аналітичний – містить критичну оцінку інформації, поданої у досліджуваних матеріалах.

- Огляд тематичний – складений на підставі аналізу первинних матеріалів, об'єднаних однією темою.

Теми індивідуальних самостійних робіт можуть бути запропоновані викладачем або самими студентами, в останньому випадку вони мають бути завчасно узгоджені з викладачем. Нижче наведено приклади тем індивідуальних робіт, які студенти можуть виконати під час вивчення дисципліни.

Орієнтовні теми індивідуальних робіт

1. Водозабезпеченість в світі та Україні. Проблеми водозабезпечення.
2. Хімічні, фізичні та фізико-хімічні процеси очистки для підготовки води.
3. Класифікація, склад технологічних схем.
4. Фізико-хімічні основи очистки води коагулюванням.
5. Вертикальні, горизонтальні, тонкошарові, радіальні відстійники їх особливості та умови застосування.
6. Умови випуску промислових стічних вод у міську каналізацію та водні об'єкти.
7. Класифікація стічних вод. Показники та склад стічних вод.
8. Вибір методу очистки стічних вод. Методи знаходження необхідного ступеня очистки стічних вод.
9. Основні конструкції апаратів, установок і споруд для очистки стічних вод
10. Флотаційна очистка стічних вод.
11. Технологічна схема очистки стічних вод від поверхнево-активних речовин.
12. Хімічні методи очистки стічних вод.
13. Очистка стічних вод методами електрохімічного окиснення та електродіалізу.
14. Біохімічна очистка стічних вод.
15. Біосорбційні методи очистки стічних вод.
16. Перспективні методи очистки стічних вод: каталітичні методи, термічне та радіаційне знешкодження.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 43

Використана література

Основна:

1. Гомеля М.Д., Шаблій Т.О., Радовенчик Я.В. Фізико-хімічні основи процесів очищення води: підручник. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2019. 256 с.
2. Дичко А.О., Білявський Г.О., Мінаєва Ю.Ю. Технологічні аспекти екологічної безпеки водойм. Підручник. Видавничий дім: Гельветика, 2021. 216 с.
3. Дорощенко В. В., Коцюба І.Г., Єльнікова Т. О. Водні ресурси та їх охорона. Навчальний посібник. Житомир: Вид. О. О. Євенок, 2017. 264 с.
4. Дорощенко В.В. Водопідготовка: [навчальний посібник] / В.В. Дорощенко, І.Г. Коцюба, Т.О. Єльнікова, О.І. Уваєва. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. 163 с.
5. Уваєва О.І. Гідробіологія: [навчальний посібник] / О.І. Уваєва, І.Г. Коцюба, Т.О. Єльнікова. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. 196 с.
6. Бакка М.Т., Дорощенко В.В. Очисні споруди і пристрої. Житомир: ЖДТУ, 2005. 180 с.
7. Єльнікова Т.О. Екологічна характеристика водних об'єктів гірничодобувних регіонів (на прикладі річки Ірша Житомирської області). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Серія: Гідроекологія. Гідробіологія. 2021. Вип. № 4(62). С. 75-81. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2021.4.6>.
8. Єльнікова Т.О., Коцюба І.Г., Герасимчук О.Л., Скиба Г.В. Дослідження екологічного стану річки Ірша. Водні біоресурси та аквакультура. Херсон. 2021. Вип. 1 (9). С. 18-26. Режим доступу: http://wra-journal.ksauniv.ks.ua/archives/2021/1_2021/4.pdf
9. Єльнікова Т.О., Коцюба І.Г. Дослідження сучасного стану екологічної безпеки річки Уж у межах Житомирської області. Вісник Кам'янець-Подільського національного університету ім. Івана Огієнка. 2017, № 2. С. 71-79.
10. Єльнікова Т.О., Подчашинський Ю.О. Автоматизоване вимірювання геометричних параметрів та моделювання процесів розвитку фітопланктону у водоймах. Монографія. Житомир: Державний університет "Житомирська політехніка", 2019. 180 с. ISBN 978-966-683-531-7.
11. Методичні рекомендації призначені для проведення практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Управління та очистка стічних вод» для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня «магістр» денної та заочної форми навчання спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійна програма «Технології захисту навколишнього середовища». Укладачі: Алпатова О.М., Пацева І.Г. Житомир, Житомирська політехніка, 2023. 45 с.
13. Alpatova O., Maksymenko I., Patseva I., Khomiak I., Gandziura V. Hydrochemical state of the post-military operations water ecosystems of the Moschun, Kyiv region. In 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Vol. 2022, No. 1, pp. 1-5.
14. Korobiichuk I., Podchashinskiy Y., Elnikova T., Juś A. Geometrical parameter measurement and phytoplankton process modeling based on video images of water samples from reservoirs // Measurement: Journal of the International Measurement Confederation. 2018. Vol. 114. P. 226-232. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224117306206>.
15. Kotsiuba I., Lukianova V., Anpilova Y., Yelnikova T., Herasymchuk O., Spasichenko O. The Features of Eutrophication Processes in the Water of the Uzh River. Ecological Engineering & Environmental Technology 2022, 23(2), 9–15. - Режим доступу: <https://doi.org/10.12912/27197050/145613>.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 44

Додаткова

1. Водовідведення та очистка стічних вод міста. Курсове і дипломне проектування. Приклади та розрахунки: Навчальний посібник. / О. А. Василенко, С. М. Епоян, Г. М. Смірнова та ін. Київ-Харків, КНУБА, ХНУБА, 2012. 572 с.
2. Водовідведення та очищення стічних вод: навч. пос. Ч. 1. Водовідвідні мережі та споруди / Під заг. ред. А.І. Мацнева. Рівне: РДТУ, 1999. 203 с. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А. та ін. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. К.: Лібра, 2000. 552 с.
3. Єльнікова Т.О. Гідрохімічна характеристика річки Ірша. The I International scientific and theoretical conference "The driving force of science and trends in its development". January 29, 2021. Coventry, United Kingdom. Vol. 3, 2021. Pp. 10-14. Режим доступу: <https://doi.org/10.36074/scientia-29.01.2021.v3>
4. Єльнікова Т.О. Дослідження екологічного стану річки Возня. Тези Всеукраїнської науково-практичної online конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Житомир: «Житомирська політехніка». Секція 1. Геотехнології гірництва та промислова екологія, 2021. С. 173. Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/05/7.-geoteh.-gir-va-ta-prom.-ek-giyi.pdf>
5. Єльнікова Т.О. Дослідження якісного складу водойм господарсько-побутового призначення (на прикладі р. Тетерів Житомирської області) / Єльнікова Т.О. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Секція 8. Геотехнології гірництва та промислова екологія. Промислова екологія. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. С. 223. Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/05/8.-geotehnologiyi-girnytstva-ta-promyslova-ekologiya.pdf>
6. Єльнікова Т.О. Дослідження якісного складу річки Тетерів як джерела питного водопостачання міста Житомира. Science and education: problems, prospects and innovations. Abstracts of the 5th International scientific and practical conference. CPN Publishing Group. Kyoto, Japan. 2021. Pp. 21-27. Режим доступу: URL: <https://sci-conf.com.ua/v-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-science-and-education-problems-prospects-and-innovations-4-6-fevralya-2021-goda-kioto-yaponiya-arhiv/>.
7. Єльнікова Т.О. Еколого-гідрохімічні дослідження евтрофних процесів річки Тетерів. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції аспірантів, молодих учених та студентів, присвяченої Дню науки. Промислова екологія. Житомир: ЖДТУ, 2018. С. 222. Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2018/05/9-1.pdf>
8. Єльнікова Т.О., Сачук А.О., Борисюк Д.О. Моніторинг евтрофних процесів у водозборі Відсічне річки Тетерів Житомирської області. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки. Житомир: ЖДТУ, 2019. С. 246-247.
9. Іщик О.Ю., Кожар Н.В., Єльнікова Т.О. Оцінка екологічного стану річки Ірша за гідрохімічними показниками. Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених "Сталий розвиток країни у рамках Європейської інтеграції". 12 листопада 2020 року. Житомир: "Житомирська політехніка", 2020. С. 141. Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/stalyj-rozvytok-krayiny-v-ramkah-yeuropejskoyi-integratsiyi-12-lystopada-2020-r/>.
10. Ковальчук В.А. Очистка стічних вод: Навч. посібник. Рівне: ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. 622 с.
11. 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.

Житомирська політехніка	МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА» Система управління якістю відповідає ДСТУ ISO 9001:2015	Ф-23.07- 05.02/2/183.00.1/М/ОК9- 2023
	Екземпляр № 1	Арк 45 / 45

12. Рибалова О.В., Бригада О.В., Ільїнський О.В., Бондаренко О.О., Золотарьова С.О. Методи фіторемедіації для очищення стічних вод. Danish Scientific Journal. №41, 2020. С. 10-12.

13. Снежкін Ю.Ф., Петрова Ж. А., Пазюк В. М., Новікова Ю.П. Стан технологій очищення стічних вод в Україні та світі. Теплофізика та теплоенергетика. 2021. 43 (1). С. 5 – 12.

14. Сташук В. А., Мокін В. Б., Гребінь В. В. та ін. Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України за басейновим принципом: монографія. Херсон, 2014. 320 с.

Інформаційні ресурси

1. Кабінет Міністрів України / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.kmu.gov.ua/>

2. Законодавство України / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.rada.kiev.ua/>

3. Державний комітет статистики України / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>

4. Національна бібліотека ім. В.І. Вернадського / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.nbuv.gov.ua/>