

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ТА СТІЧНИХ ВОД

Методичні вказівки

до виконання розрахункової роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня вищої освіти
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітня програма «Водопостачання та водовідведення»

Київ 2024

УДК 628.1

T30

Укладач: Т.В. Аргатенко, канд. техн. наук, доцент

Рецензент С. Й. Шаманський, д-р техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск В.П. Хоружий, д-р техн. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри водопостачання, протокол №7 від
6 березня 2024 року.*

В авторській редакції.

Теоретичні основи технології очистки природних та стічних вод:
T30 методичні вказівки до виконання розрахункової роботи / уклад.:
Т.В. Аргатенко. –Київ: КНУБА, 2024. – 32 с.

Подано вихідні дані до розрахункової роботи, методику розв'язання задач, необхідні для розрахунку нормативні дані.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня вищої освіти спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітня програма «Водопостачання та водовідведення» денної форми навчання.

© КНУБА, 2024

ЗМІСТ

Загальні положення.....	3
Розділ 1. Закон збереження маси в технології водопідготовки.....	4
Розділ 2. Ефективність очищення.....	6
Розділ 3. Кінетика хімічних реакцій.....	9
Розділ 4. Адитивність шкідливих речовин.....	14
Розділ 5. Гравітаційне освітлення стічних вод.....	20
Розділ 6. Очистка стічних вод на біофільтрах.....	24
Розділ 7. Зневоднення та ущільнення.....	27
Список літератури.....	31

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Студенти, що набувають спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітньою програмою “Водопостачання та водовідведення”, поряд з іншими дисциплінами вивчають питання очищення природних та стічних вод. Вибіркова дисципліна «Теоретичні основи технології очистки природних та стічних вод» знайомить здобувачів із сутністю процесів, що відбуваються під час підготовки питної води та очищення стічних вод.

Наведено умови задач, вихідні дані та інформацію, необхідну для їх розв’язання. Виконання розрахункової роботи підготує студентів до вивчення обов’язкових курсів «Водопровідні очисні споруди» та «Очисні споруди водовідведення».

Розділ 1. Закон збереження маси в технології водопідготовки

В результаті певного технологічного процесу водовикористання у воді при витраті Q_0 ($\text{м}^3/\text{доб}$) зростає концентрація розчинених солей до величини C_0 ($\text{г}/\text{м}^3$). При багаторазовому використанні цієї води в технологічному процесі найбільша дозволена концентрація солей у ній не повинна перевищувати C_k ($\text{г}/\text{м}^3$).

Для опріснення цієї води використовується технологія електродіалізу (рис.1), причому, обробці піддається частина Q_x ($\text{м}^3/\text{доб}$) основного потоку солоної води. Вихід знесоленої води із опріснювача становить G (%) при солемісті C_n ($\text{г}/\text{м}^3$). Крім знесоленої води із опріснювача виходить висококонцентрований розсіл.

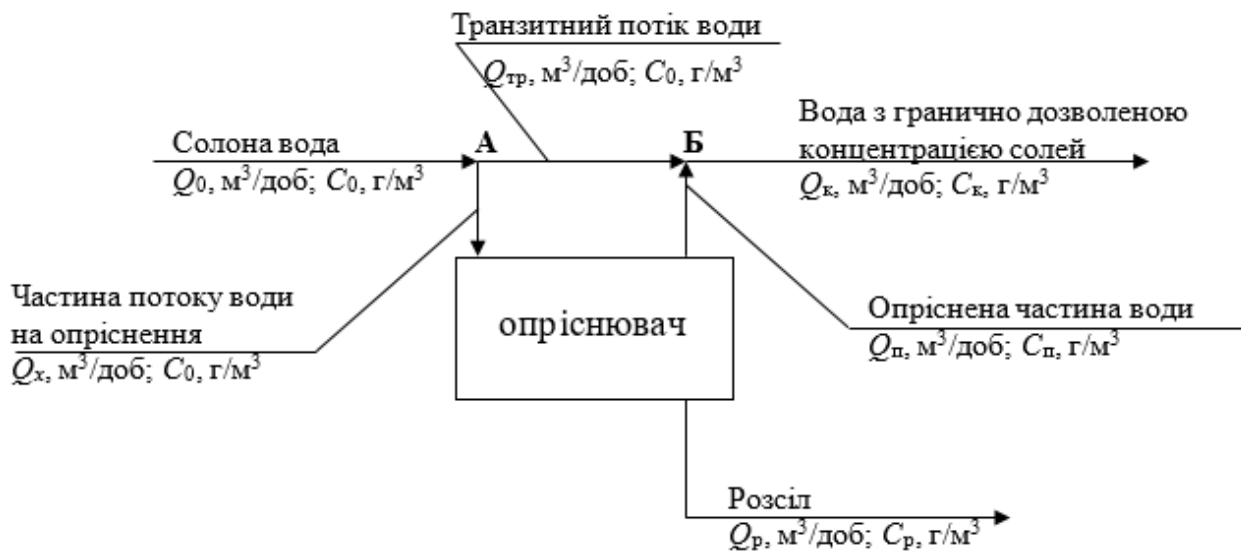


Рис. 1. Балансова схема процесу опріснення технологічної води

В т. А від витрати Q_0 солоної води відокремлюється витрата Q_x на знесолення в опріснювачі. По ділянці А-Б рухається транзитна витрата солоної води $Q_{\text{тр}} = Q_0 - Q_x$ з концентрацією солей C_0 .

Із опріснювача виходить 2 потоки:

- знесолена вода з витратою Q_n і концентрацією солей C_n ;
- розсіл з витратою Q_p і концентрацією солей C_p .

Про витрату знесоленої води відомо, що вона складає G % від Q_x , тобто

$$Q_n = Q_x \cdot G / 100. \quad (1)$$

Тоді витрата розсолу

$$Q_p = Q_x - Q_n = Q_x \frac{100-G}{100}. \quad (2)$$

В т. Б приходить два потоки:

- транзитний ($Q_{\text{тр}}; C_0$);
- знесолений із опріснювача ($Q_n; C_n$),

а виходить суміш цих 2-х потоків з гранично дозволеною концентрацією солей C_k ($Q_k; C_k$), причому, $Q_k = Q_n + Q_{тр}$.

Розглянемо баланс маси солей в т. Б:

$$(Q_0 - Q_x) \cdot C_0 + Q_x \cdot \frac{G}{100} \cdot C_n = \left(Q_0 - Q_x + Q_x \cdot \frac{G}{100} \right) \cdot C_k. \quad (3)$$

Із рівняння (1) знаходиться Q_x , а далі – визначається $Q_{тр}$, Q_n , Q_k , Q_p .

Для розрахунку концентрації розсолу C_p розглянемо баланс маси солей в опріснювачі:

$$Q_x \cdot C_0 = Q_n \cdot C_n + Q_p \cdot C_p \quad (4)$$

При визначених раніше величинах Q_x , Q_n , Q_p із рівняння (4) знаходиться C_p .

Задача 1

За вихідними даними (табл. 1) визначити витрату Q_x (м³/доб), яку необхідно обробити для отримання води з гранично дозволеним вмістом солей C_k (г/м³) після змішування з основним потоком, а також $Q_{тр}$ (м³/доб), Q_n (м³/доб), Q_k (м³/доб), Q_p (м³/доб) і C_p (г/м³).

Скласти балансову схему процесу.

Таблиця 1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, м³/год	75	105	84	62	123	114	98	56	79	116
C₀, г/м³	1750	1240	1350	1580	640	1105	1110	1450	1200	1300
C_к, г/м³	840	350	500	450	350	850	650	780	900	800
C_п, г/м³	450	230	450	200	150	350	200	150	100	200
G, %	65	45	70	80	65	50	60	70	55	80
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Q, м³/год	102	45	82	71	112	94	68	74	52	49
C₀, г/м³	1500	1700	1800	600	900	1000	1050	980	680	1020
C_к, г/м³	500	750	640	510	780	900	800	700	600	500
C_п, г/м³	200	500	400	350	100	550	210	340	260	110
G, %	65	40	75	85	50	75	70	60	80	50
Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Q, м³/год	80	120	115	68	74	92	47	55	110	69
C₀, г/м³	1110	1500	1250	1300	1440	1800	1650	1450	1600	1700
C_к, г/м³	800	700	400	1000	500	540	840	760	1200	1000
C_п, г/м³	250	400	350	230	160	180	140	200	400	480
G, %	55	60	85	65	50	70	85	40	55	45

Розділ 2. Ефективність очищення

Очисний комплекс системи водовідведення промислового підприємства обладнаний трьома однотипними установками (реакторами), які забезпечують вилучення із стічної води забруднюючої речовини «X», концентрація якої становить C_0 (г/м³). Загальна витрата очищуваних стічних вод становить Q_0 (м³/год). Ефективність очистки СВ в кожному окремому реакторі E_P залежить від витрати СВ через реактор Q_P (м³/год):

$$E_P = E' \left(1 - 10^{-\frac{m}{Q_P+q}} \right), \quad (5)$$

де E' ; m ; q – параметричні характеристики реактора.

За величиною E_P визначається концентрація речовини «X» у СВ після даного реактора C_t (г/м³):

$$C_t = C_0(1 - E_P). \quad (6)$$

Реактори в очисному комплексі можуть бути розташовані за трьома рекомендованими схемами – паралельною, послідовною та комбінованою (рис.2).

Таблиця 2

Параметричні характеристики реакторів

Тип	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15
E'	0,84	0,88	0,8	0,72	0,7	0,82	0,76	0,84	0,8	0,76	0,86	0,78	0,74	0,7	0,72
m	116	122	124	132	130	104	128	114	120	118	126	108	106	112	110
q	78	74	72	76	88	84	84	92	90	90	88	80	86	86	82

Для кожної із трьох схем розташування реакторів (рис.2) слід окремо врахувати баланси витрат і мас забруднень.

Схема А:

$$Q_0 = Q_{P1} + Q_{P2} + Q_{P3}; \quad (7)$$

$$C_{1A} = f(Q_{P1}; E_{P1}; C_0); C_{2A} = f(Q_{P2}; E_{P2}; C_0); C_{3A} = f(Q_{P3}; E_{P3}; C_0); \quad (8)$$

$$Q_{P1} \cdot C_{1A} + Q_{P2} \cdot C_{2A} + Q_{P3} \cdot C_{3A} = Q_0 \cdot C_{заг\ A}. \quad (9)$$

Схема Б:

$$Q_0 = Q_{P1} = Q_{P2} = Q_{P3}; \quad (10)$$

$$C_{1B} = f(Q_{P1}; E_{P1}; C_0); \quad (11)$$

$$C_{2B} = f(Q_{P2}; E_{P2}; C_{1B}); \quad (12)$$

$$C_{3B} = C_{заг\ Б} = f(Q_{P3}; E_{P3}; C_{2B}). \quad (13)$$

Схема А – паралельне з'єднання

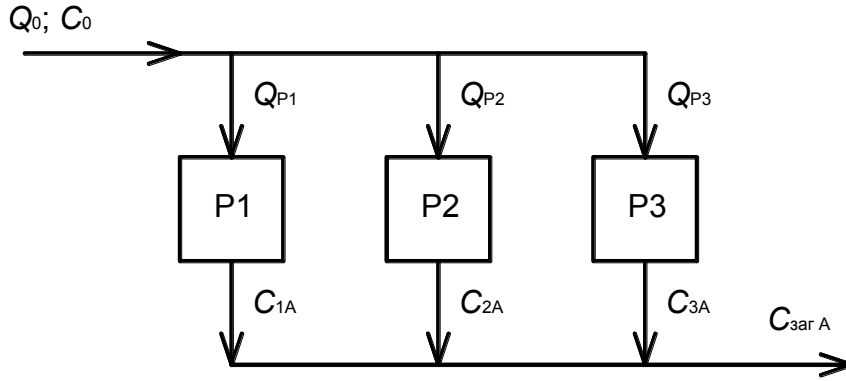


Схема Б – послідовне з'єднання

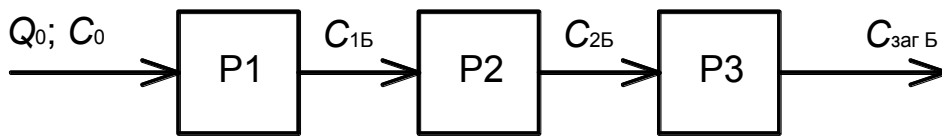


Схема В – комбіноване з'єднання

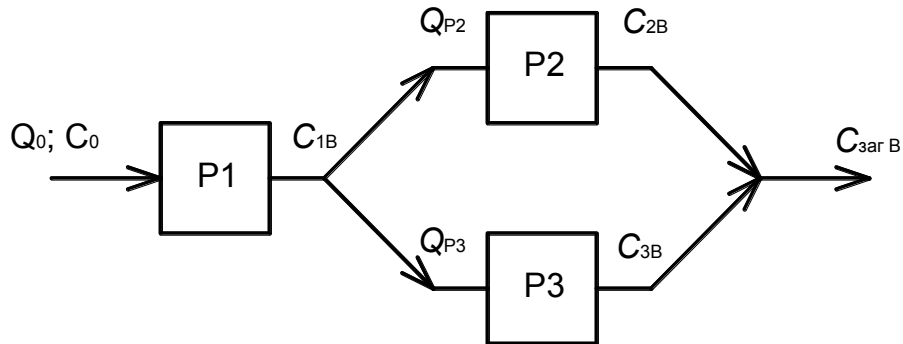


Рис. 2. Рекомендовані схеми організації процесу очистки виробничих стічних вод

Схема В:

$$Q_0 = Q_{P1} = Q_{P2} + Q_{P3}; \quad (14)$$

$$C_{1B} = f(Q_{P1}; E_{P1}; C_0); \quad (15)$$

$$C_{2B} = f(Q_{P2}; E_{P2}; C_{1B}); \quad (16)$$

$$C_{3B} = f(Q_{P3}; E_{P3}; C_{1B}); \quad (17)$$

$$C_{заг В} \cdot Q_0 = C_{3B} \cdot Q_{P3} + C_{2B} \cdot Q_{P2}. \quad (18)$$

Задача 2

Визначити $C_{\text{заг}}$ (г/м³) для кожної із двох заданих схем розташування трьох реакторів відповідних типів (табл.2) за призначеним варіантом вихідних даних (табл.3).

Таблиця 3

Варіант	Схеми	Витрати, м ³ /год			C ₀ , г/м ³	Тип реактора		
		Q ₀	Q _{P2}	Q _{P3}		P1	P2	P3
1	A	765	230	285	190	T7	T12	T5
	B	795	405			T5	T11	T4
2	Б	755			170	T10	T5	T11
	B	780		370		T1	T3	T6
3	A	760	225	280	160	T6	T3	T10
	B	740	385			T13	T12	T4
4	Б	775			220	T15	T2	T6
	B	790		415		T9	T2	T14
5	A	745	260	275	180	T13	T8	T1
	B	785	400			T4	T7	T3
6	Б	765			245	T13	T7	T6
	B	725		340		T3	T1	T15
7	A	780	305	255	230	T2	T10	T5
	B	735	355			T7	T14	T12
8	Б	760			220	T1	T9	T11
	B	750		370		T5	T12	T4
9	A	720	220	240	225	T4	T8	T10
	B	775	375			T8	T11	T3
10	Б	745			170	T13	T8	T1
	B	785		385		T2	T7	T3
11	A	740	235	290	215	T11	T7	T12
	B	785	395			T1	T2	T13
12	Б	765			220	T1	T3	T6
	B	795		370		T6	T13	T10
13	A	755	225	280	180	T13	T12	T4
	B	780	385			T15	T2	T6
14	Б	760			200	T5	T11	T4
	B	740		415		T10	T5	T11
15	A	775	260	275	190	T11	T5	T1
	B	790	400			T9	T2	T14
16	Б	740			230	T8	T11	T3
	B	785		290		T5	T14	T2
17	A	765	235	340	220	T9	T6	T10
	B	725	395			T11	T7	T12
18	Б	780			225	T1	T2	T13
	B	735		255		T3	T9	T11
19	A	760	305	370	210	T2	T10	T5
	B	750	355			T13	T7	T6
20	Б	720			215	T4	T8	T10
	B	775		380		T7	T14	T12

Варіант	Схеми	Витрати, м ³ /год			C ₀ , г/м ³	Тип реактора		
		Q ₀	Q _{P2}	Q _{P3}		P1	P2	P3
21	A	770	230	285	160	T9	T1	T8
	B	745	405			T4	T13	T14
22	Б	780			210	T15	T14	T2
	B	770		240		T9	T12	T10
23	A	770	220	240	245	T1	T9	T11
	B	745	375			T5	T12	T4
24	Б	770			200	T9	T1	T8
	B	750		385		T4	T13	T14
25	A	755	210	325	165	T1	T4	T2
	B	710	250			T5	T6	T10
26	Б	725			180	T9	T10	T11
	B	750		400		T14	T1	T2
27	A	770	320	280	210	T12	T3	T4
	B	745	250			T2	T5	T6
28	Б	780			215	T7	T4	T1
	B	715		350		T9	T8	T10
29	A	725	285	240	175	T11	T12	T7
	B	730	240			T6	T5	T8
30	Б	735			185	T3	T1	T2
	B	790		360		T14	T6	T11

Рекомендації до розв'язання

- C_{заг А} знаходиться за рівнянням (9) після розв'язання трьох рівнянь (8).
- C_{заг Б} знаходиться за рівнянням (13) після розв'язання рівнянь (10), (11).
- C_{заг В} знаходиться за рівнянням (18) після розв'язання рівнянь (15), (16), (17).

Розділ 3. Кінетика хімічних реакцій

3.1. Гідроліз коагулянту

При коагулюванні води залежно від її якісного складу та дози використаного коагулянту, гідроліз останнього відбувається в середньому за час від 30 до 180 секунд. Експериментально визначено, що через t с гідролізується $G\%$ загальної маси коагулянту.

Гідроліз коагулянту, як і деякі інші процеси, що пов'язані з динамікою хімічних реагентів, фізико-хімічних і біологічних забруднень природних та стічних вод, відбувається в часі (t) за кінетичними реакціями 1-го порядку. Такі реакції характеризуються швидкістю процесу v , яка дорівнює першій похідній від концентрації C за часом t :

$$v = \frac{dC}{dt}. \quad (19)$$

Згідно з законом діючих мас швидкість реакції є прямо пропорційною концентраціям діючих речовин в певний момент часу C_t . Причому, коефіцієнт

пропорційності k (константа швидкості) є сталим для такого процесу в будь-який момент часу:

$$v = -kC_t; \quad k = \text{const.} \quad (20)$$

Знак « $-$ » в цьому рівнянні означає, що швидкість є від'ємною величиною, тобто абсолютне значення C в часі знижується. Графічно ця залежність може бути представлена графіком $C = f(t)$ (рис.3), на якому при $t = 0$ $C_0 = D_k$:

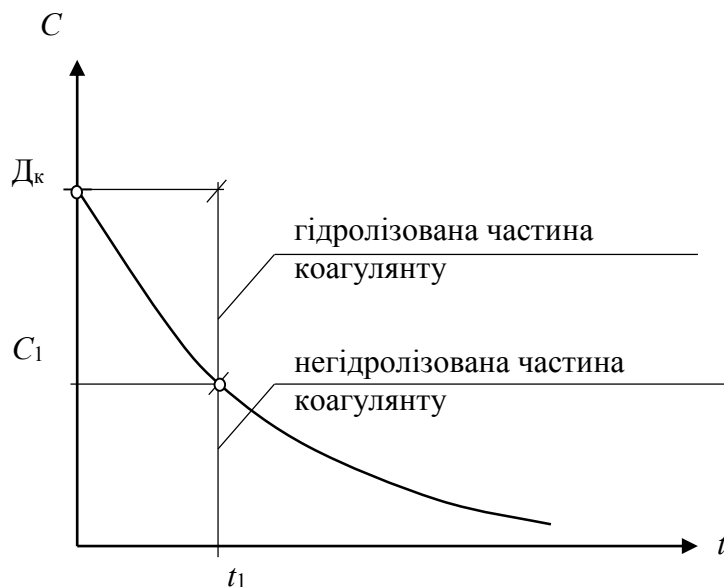


Рис.3. Графік швидкості гідролізу коагулянту

Після інтегрування кінетичного рівняння $\frac{dC}{dt} = -kC_t$, отримаємо базове рівняння кінетичної реакції 1-го порядку:

$$C_t = C_0 e^{-kt}; \quad (21)$$

$$-kt = \ln \frac{C_t}{C_0}. \quad (22)$$

Якщо $C_0 = D_k$, тоді в момент часу t_1 кількість негідролізованого коагулянту становитиме $C_{t_1} = D_k \cdot \frac{100-G}{100}$; $\frac{C_{t_1}}{C_0} = \frac{100-G}{100}$.

Звідки $-kt_1 = \ln \frac{100-G}{100}$; $k = -\frac{1}{t_1} \ln \frac{100-G}{100}$. (23)

Слід зауважити, що розмірність k є оберненою щодо розмірності t .

За виразом (23) знаходиться значення k (с^{-1}), після чого розраховується C_t (кількість негідролізованого коагулянту) в моменти часу 30, 60, 90, 120 с. За результатами розрахунків будується графік $C = f(t)$.

Задача 3

За даними табл. 4 визначити кількість негідролізованого коагулянту (мг/дм³) в моменти часу 30, 60, 90, 120 с та побудувати графік зміни концентрації коагулянту в часі, при початковій дозі D_k , мг/дм³.

Таблиця 4

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D_k , мг/дм ³	50	65	70	75	80	85	90	95	100	150
t_1 , с	30	10	20	30	10	20	30	10	20	25
G , %	15	20	25	30	20	30	15	30	25	15

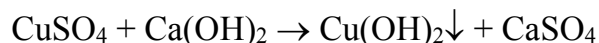
Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D_k , мг/дм ³	78	110	140	305	280	65	40	105	55	90
t_1 , с	25	35	10	15	10	20	30	15	20	30
G , %	20	20	30	35	25	10	15	25	35	10

Варіант	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
D_k , мг/дм ³	200	250	85	310	150	100	85	35	40	110
t_1 , с	30	10	10	20	30	10	20	30	10	20
G , %	20	30	20	15	25	30	30	25	20	10

3.2. Видалення міді

Процес осадження міді із стічної води промислового підприємства відбувається в реакторі ідеального витискування за допомогою «вапняного молока» $\text{Ca}(\text{OH})_2$. При початковій концентрації міді C_0 (г/дм³) через t_1 (с) її кількість у воді зменшується до величини C_1 (г/дм³). Витрата q (м³/год) вапняного молока є постійною.

Процес осадження міді за рівнянням



є реакцією 1-го порядку, для якої константа швидкості (див. інформацію до задачі 3):

$$k = -\frac{1}{t_1} \ln \frac{C_1}{C_0}. \quad (24)$$

Тоді максимальна тривалість (t_{\max}) осадження міді від C_0 до C_k визначається за виразом:

$$t_{\max} = -\frac{1}{k} \ln \frac{C_k}{C_0}. \quad (25)$$

Величина k (с⁻¹) визначається при відомих C_0 , t_1 і C_1 за виразом (24).

Необхідний об'єм зони реакції $w_{зр}$ (м³) для умов постійної швидкості подачі реагенту:

$$w_{зр} = \frac{t_{\max} \cdot q}{3600}, \quad (26)$$

а необхідний об'єм реактора в цілому W_p (м³) з урахуванням η :

$$W_p = \frac{w_{зр}}{\eta}. \quad (27)$$

Задача 4

За даними табл. 5 визначити необхідний об'єм реактора-витискувача, в якому відбувається реакція видалення міді, з урахуванням коефіцієнта його об'ємного використання $\eta = 0,25$, якщо кінцева концентрація міді повинна дорівнювати C_k (г/дм³).

Таблиця 5

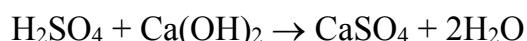
Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
q , м ³ /год	5	5	5	3	5	3	3	5	3	5
C_0 , г/дм ³	3	5	4	6	7	8	9	10	11	12
C_k , г/дм ³	0,1	0,2	0,3	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,4	0,2
t_1 , с	9	20	17	18	16	7	19	15	10	12
C_1 , г/дм ³	0,5	0,6	0,4	0,8	0,5	0,9	0,4	0,9	0,8	0,4

Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
q , м ³ /год	3	3	4	3	4	5	2	5	6	3
C_0 , г/дм ³	13	8	5	7	10	10	8	4	9	7
C_k , г/дм ³	0,5	0,6	0,3	0,2	0,5	0,4	0,1	0,5	0,4	0,2
t_1 , с	8	15	6	13	11	14	15	7	10	4
C_1 , г/дм ³	0,7	1	1	1,1	2	2	1,3	2	3	0,6

3.3. Нейтралізація

Нейтралізація сірчаної кислоти H_2SO_4 «вапняним молоком» $Ca(OH)_2$ відбувається в реакторі ідеального витискування. При початковій концентрації кислоти C_0 (г/дм³) через t_1 (с) її кількість у воді зменшується до величини C_1 (г/дм³). Витрата q (м³/год) вапняного молока є постійною.

Процес нейтралізації H_2SO_4 за рівнянням



є реакцією 1-го порядку, для якої константа швидкості (див. інформацію до задачі 3):

$$k = -\frac{1}{t_1} \ln \frac{C_1}{C_0} \quad (28)$$

Тоді максимальна тривалість (t_{\max}) нейтралізації кислоти від C_0 до C_k визначається за виразом:

$$t_{\max} = -\frac{1}{k} \ln \frac{C_k}{C_0}. \quad (29)$$

Величина k (с^{-1}) визначається при відомих C_0 , t_1 і C_1 за виразом (28).

Необхідний об'єм зони реакції $w_{зр}$ (м^3) для умов постійної швидкості подачі реагенту:

$$w_{зр} = \frac{t_{\max} \cdot q}{3600}, \quad (30)$$

а необхідний об'єм реактора в цілому W_p (м^3) з урахуванням η :

$$W_p = \frac{w_{зр}}{\eta}. \quad (31)$$

Задача 5

За даними табл. 6 визначити необхідний об'єм реактора-витискувача, в якому відбувається нейтралізація сульфатної кислоти, з урахуванням коефіцієнту його об'ємного використання $\eta = 0,3$, якщо кінцева концентрація H_2SO_4 повинна дорівнювати C_k (г/дм^3).

Таблиця 6

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$q, \text{м}^3/\text{год}$	1	1,5	2	2,5	1	2	1,5	2,5	2	1,5
$C_0, \text{г/дм}^3$	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
$C_k, \text{г/дм}^3$	0,025	0,037	0,04	0,015	0,009	0,01	0,015	0,008	0,008	0,012
$t_1, \text{с}$	5	10	8	12	11	9	4	6	12	10
$C_1, \text{г/дм}^3$	0,35	0,275	0,123	0,145	0,3	0,141	0,106	0,118	0,015	0,25

Варіант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$q, \text{м}^3/\text{год}$	2	2,5	1	1,5	2	2,5	2	5	6	3
$C_0, \text{г/дм}^3$	15	16	7	6	8	10	8	4	9	7
$C_k, \text{г/дм}^3$	0,045	0,023	0,02	0,016	0,018	0,01	0,1	0,5	0,4	0,2
$t_1, \text{с}$	5	7	9	11	14	6	15	7	10	4
$C_1, \text{г/дм}^3$	0,25	0,48	0,242	0,165	0,21	0,35	0,08	0,54	0,62	0,132

Розділ 4. Адитивність шкідливих речовин

4.1. Природні води

Річка “N” служить джерелом водопостачання для міста. Річкова вода містить 5 хімічних компонентів із таких, що нормуються для питної води (табл.7).

На очисних спорудах водопроводу можливо використання трьох технологічних схем, кожна з яких забезпечує зниження концентрації хімічних компонентів за залежністю:

$$C_{ti} = C_{0i} \cdot m_i \cdot 10^{\frac{-k_i D}{Q}} + C_{\min i}, \quad (33)$$

де C_{0i} та C_{ti} – концентрації компоненту, відповідно, в річковій воді та після очищення, мг/дм³, $C_{\min i}$ – найменший можливий рівень зниження вмісту забруднень внаслідок очищення, мг/дм³,

$$C_{\min i} = C_{0i} \cdot (1 - m_i), \quad (34)$$

m_i – експериментальний коефіцієнт, $m_i < 1$, k_i – константа швидкості процесу вилучення компоненту, м⁶/г·год; Q – пропускна спроможність очисних споруд, м³/год; D – доза реагенту, г/м³.

Концентрації забруднень у очищеній воді повинні відповідати гігієнічним нормативам. А саме: показник адитивності, тобто сума концентрацій забруднень, виражених у частках ГДК кожної з речовин, має не перевищувати одиницю:

$$P_D = \sum_{i=1}^5 \frac{C_{ti}(D)}{C_{ГДК i}} \leq 1. \quad (35)$$

Задача 6

Для запропонованого варіанту технологічної схеми водопідготовки (табл.8) визначити таку дозу реагентів, яка забезпечуватиме зниження вмісту всіх п'яти хімічних компонентів до рівня, що відповідає гігієнічним нормативам.

Інформація до розв'язання

Для запропонованої схеми водопідготовки за рівнянням (34) визначається мінімально можливий рівень зниження концентрації кожної хімічної речовини $C_{\min i}$.

За рівнянням (33) для кожної хімічної речовини визначається концентрація її в воді після очищення при різних дозах реагенту (від $D = 0$ з рекомендованим кроком ΔD , г/м³).

Для кожної дози реагенту розраховується показник адитивності (35), після чого будується графік залежності $P_D = f(D)$. За графіком визначається доза реагенту, що відповідає умові рівняння (35).

Таблиця 7

**Нормативи вмісту хімічних речовин у питній воді та коефіцієнти
“m” і “k” для хімічних речовин при різних режимах очищення води**

Речовина	С _{гдж} , г/м ³	$\frac{m}{k}$							
		А	Б	В	Г	Ж	І	Л	М
Барій	0,1	0,35 8	0,37 10	0,39 12	0,41 14	0,43 16	0,45 18	0,47 20	0,49 22
Нітрити	3,0	0,70 8	0,84 15	0,72 9	0,82 14	0,74 10	0,80 13	0,76 11	0,78 12
Нітрати	45,0	0,65 40	0,75 60	0,79 68	0,67 44	0,73 56	0,77 64	0,69 48	0,71 52
Бор	0,3	0,66 20	0,74 32	0,80 41	0,72 29	0,68 23	0,76 35	0,78 38	0,70 26
Мідь	2,0	0,40 6	0,44 10	0,48 14	0,54 20	0,52 18	0,42 8	0,46 12	0,50 16
Цинк	3,0	0,60 6	0,70 16	0,64 10	0,74 20	0,72 18	0,68 14	0,62 8	0,66 12
Молібден	0,07	0,30 14	0,42 32	0,40 29	0,32 17	0,36 23	0,38 26	0,34 20	0,44 35
Миш'як	0,01	0,94 68	0,92 64	0,90 60	0,88 56	0,86 52	0,84 48	0,82 44	0,80 40
Свинець	0,01	0,33 9	0,31 8	0,35 10	0,29 7	0,37 11	0,27 6	0,39 12	0,25 5
Фтор	1,5	0,46 14,5	0,44 13	0,52 19	0,48 16	0,42 11,5	0,54 20,5	0,50 17,5	0,40 10
Хром	0,05	0,54 13	0,62 21	0,60 19	0,52 11	0,56 15	0,64 23	0,58 17	0,50 9
Марганець	0,5	0,93 20	0,89 42	0,85 34	0,95 54	0,97 58	0,91 46	0,81 38	0,83 30
Кадмій	0,003	0,81 36	0,77 32	0,85 38	0,89 44	0,87 42	0,79 34	0,85 40	0,75 30
Нікель	0,1	0,66 32	0,58 24	0,62 28	0,60 26	0,54 18	0,56 21	0,64 30	0,52 15
Ціаніди	0,07	0,30 23	0,24 17	0,26 19	0,18 11	0,22 15	0,20 13	0,26 20	0,28 21
Берилій	0,0002	0,46 23	0,34 11	0,36 13	0,32 9	0,42 19	0,40 17	0,38 15	0,44 21
Селен	0,01	0,52 26	0,50 24	0,42 16	0,48 22	0,40 14	0,46 20	0,44 18	0,54 28
Ртуть	0,001	0,66 11	0,64 9	0,68 13	0,72 17	0,60 5	0,70 15	0,6 72	0,7 19
Сурма	0,005	0,67 17	0,61 11	0,57 7	0,69 19	0,63 13	0,55 5	0,59 9	0,65 15

Таблиця 8

варіант	Речовини X_i та їх концентрації C_{0i} , г/м ³						Схема	ΔD , г/м ³	Q, м ³ /год
	X_i								
1	X_i	Кадмій	Берилій	Барій	Нітрити	Ртуть	Б, В, М	10	1200
	C_{0i}	0,0015	0,0001	0,0125	0,39	0,00065			
2	X_i	Марганець	Берилій	Нітрати	Свинець	Мідь	В, І, М	1	200
	C_{0i}	0,25	0,00005	20	0,005	0,08			
3	X_i	Селен	Миш'як	Нітрити	Хром	Свинець	Б, Ж, М	2	2600
	C_{0i}	0,002	0,004	0,73	0,01	0,001			
4	X_i	Берилій	Кадмій	Бор	Молібден	Ціаніди	А, В, М	5	1300
	C_{0i}	0,0001	0,0012	0,13	0,007	0,0035			
5	X_i	Мідь	Молібден	Бор	Нітрити	Миш'як	Б, В, Л	5	2400
	C_{0i}	0,04	0,013	0,12	1,6	0,004			
6	X_i	Хром	Берилій	Марганець	Мідь	Селен	В, І, Л	25	1900
	C_{0i}	0,015	0,0002	0,15	0,1	0,002			
7	X_i	Кадмій	Нітрити	Селен	Мідь	Сурма	А, Г, Ж	2	900
	C_{0i}	0,0015	0,86	0,005	0,12	0,00044			
8	X_i	Барій	Нікель	Кадмій	Свинець	Ціаніди	Б, Л, М	3	620
	C_{0i}	0,04	0,05	0,0024	0,001	0,0024			
9	X_i	Ціаніди	Хром	Нітрати	Марганець	Нітрити	Г, Ж, І	3	1450
	C_{0i}	0,015	0,015	9	0,25	1,05			
10	X_i	Сурма	Барій	Миш'як	Нітрити	Мідь	А, Б, М	3	1810
	C_{0i}	0,0005	0,045	0,004	1,31	0,06			
11	X_i	Сурма	Цинк	Бор	Нікель	Марганець	Г, І, М	4	1860
	C_{0i}	0,00038	0,47	0,1	0,035	0,3			
12	X_i	Миш'як	Хром	Ртуть	Цинк	Фтор	Б, Г, І	2	980
	C_{0i}	0,003	0,015	0,00027	0,71	0,45			
13	X_i	Хром	Нікель	Ртуть	Кадмій	Мідь	А, Ж, Л	2	500
	C_{0i}	0,019	0,04	0,00016	0,0024	0,18			
14	X_i	Сурма	Нікель	Марганець	Селен	Молібден	А, Б, Л	10	1410
	C_{0i}	0,00031	0,06	0,4	0,003	0,021			
15	X_i	Марганець	Нітрити	Ціаніди	Свинець	Бор	А, Б, В	10	1700
	C_{0i}	0,2	1,6	0,0005	0,003	0,11			

4.2. Стічні води

В стічній воді промислового підприємства, яка скидається у природну водойму після локальної очистки, присутні 10 токсичних речовин, що відносяться до двох різних груп за обмежувальною ознакою шкідливості (ООШ). Для 7 речовин відомими є і фактичні концентрації в очищених СВ C_{ϕ} (г/м³) і гранично дозвалені концентрації при скиданні в природні водойми $C_{ГДК}$ (г/м³). Для решти 3-х речовин відомі тільки величини $C_{ГДК}$.

Для речовин, що належать до однієї групи ООШ, має спостерігатись адитивність токсичних речовин при скиданні у водойму, яка аналітично має вигляд балансового рівняння:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_{\phi i}}{C_{ГДК i}} \leq 1, \quad (32)$$

де n – кількість токсичних речовин даної групи ООШ.

Невідомі величини концентрацій речовин кожної з груп ООШ знаходяться із рівняння адитивності, що складається для цієї групи.

У випадку, коли невідомими є концентрації двох речовин однієї групи, знаходиться співвідношення цих величин, що графічно має вигляд відрізка прямої.

Наприклад,
$$\frac{0,3}{1,5} + \frac{X_2}{20} + \frac{X_3}{15} + \frac{0,84}{6,0} + \frac{3,6}{18} + \frac{6,3}{35} \leq 1,$$

звідки:
$$\frac{X_2}{20} + \frac{X_3}{15} \leq 0,28;$$

$$X_2 \leq \left(0,28 - \frac{X_3}{15}\right) \cdot 20. \text{ При } X_3 = 0 \quad X_2 \leq 5,6 \text{ г/м}^3.$$

$$X_3 \leq \left(0,28 - \frac{X_2}{20}\right) \cdot 15. \text{ При } X_2 = 0 \quad X_3 \leq 4,2 \text{ г/м}^3.$$

Графічно співвідношення між X_2 та X_3 виглядає так:

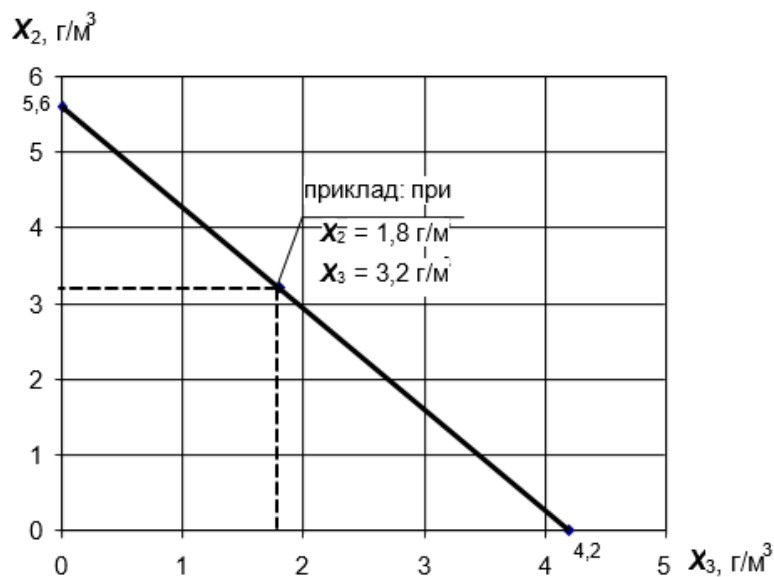


Рис. 4. Приклад представлення результатів визначення граничного вмісту шкідливих речовин (задача 7)

Задача 7

Для вказаних 3-х речовин, що містяться в стічній воді (табл. 9), визначити або їх максимально можливий вміст в очищених СВ $C_{ф\max}$ (г/м³), або співвідношення $C_{ф\max}$, для 2-х речовин, які віднесено до однієї групи за ООШ.

Таблиця 9

Варіант			1		2		3		4		5	
концентрації			$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³	$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³	$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³	$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³	$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³
1 група	компоненти	1	1,5	6	1	2,5	6,5	12	X_1	3,5	1,1	14,2
		2	0,8	4	X_2	3	3,2	11	X_2	6,2	7,1	25
		3	2,2	5,5	0,6	1,4	X_3	4,5	1,1	21	0,5	2,4
		4	X_4	3,8	X_4	1,1	0,02	0,8	4	22	0,02	0,5
		5			1,1	10	0,08	1,6			X_5	1,4
		6			1,5	28					X_6	2,3
2 група	компоненти	7	0,2	1,4	2,5	10,4	X_7	9,5	0,2	2,2	X_7	22
		8	0,82	6,1	X_8	11	X_8	21	0,35	2,6	0,55	11
		9	3,7	19	1,8	3,9	2,4	16,8	2,11	34	3,3	17,1
		10	6,4	34	3	14,1	0,6	6,5	X_{10}	22	5,4	15
		11	X_{11}	20			3	15	2	15		
		12	X_{12}	15								
Варіант			6		7		8		9		10	
концентрації			$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³	$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³	$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³	$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³	$C_{ф}$, г/м ³	$C_{ГДК}$, г/м ³
1 група	компоненти	1	4	18	X_1	0,95	0,1	5	0,04	0,1	0,2	1,1
		2	X_2	35	0,2	4,1	3,5	6,8	X_2	0,6	0,3	12
		3	0,2	20	1,1	7,1	X_3	4,2	0,02	5	1	4
		4	0,35	15	2	36	0,35	4	0,1	2	X_4	5
		5			0,15	4,6	X_5	8,7			0,4	5
		6					1,4	6,6			X_6	11,2
2 група	компоненти	7	2,11	35	11	60	X_7	14	2	45	5	12
		8	0,6	22	X_8	20	10	35	6,2	20	2	10,2
		9	X_9	34	X_9	11	3,2	14,7	X_9	3,5	3,3	18,2
		10	1,1	22	1,6	22	0,5	12	0,2	25	X_{10}	45
		11	15	45	4	10,1			0,8	16		
		12	X_{12}	5					X_{12}	1,3		

Закінчення табл. 9 на ст.19

Варіант		11		12		13		14		15		
концентрації		С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	
1 група	КОМПОНЕНТИ	1	1,4	5,8	0,3	6,3	0,5	15,2	1,5	7,8	6	16
		2	0,5	5,5	0,4	9,1	X ₂	0,9	0,8	4,8	0,6	4,8
		3	0,02	3	X ₃	8,2	X ₃	0,5	0,5	6,4	X ₃	0,8
		4	0,01	0,8	X ₄	0,7	0,6	14,1	0,06	1,3	0,1	1
		5	X ₅	11					X ₅	13		
		6										
2 група	КОМПОНЕНТИ	7	X ₇	14,3	0,14	12	0,01	7	0,07	1	0,05	2
		8	X ₈	2	2	6,5	0,35	6	1,2	15	X ₈	17
		9	1,8	25	X ₉	22	6,5	16,9	7	23	2,5	45
		10	4,1	36	0,6	16,2	0,3	3,1	X ₁₀	11,1	X ₁₀	0,9
		11	0,11	14	1,3	13	X ₁₁	5,2	X ₁₁	5	0,4	4,1
		12			0,02	5	12	44			4,2	63
Варіант		16		17		18		19		20		
концентрації		С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	
1 група	КОМПОНЕНТИ	1	X ₁	25	25	50	3,4	12	1	2,5	X ₁	1,5
		2	0,01	0,5	1,2	10	1,6	11	X ₂	3	X ₂	5,2
		3	0,02	0,8	2,2	8	X ₃	4,5	0,6	1,4	1,1	17
		4	0,2	1,2	X ₄	1,3	0,06	0,8	X ₄	1,1	4	24
		5	1,2	14			0,01	1,6	1,1	10		
		6	X ₆	0,05					1,5	28		
2 група	КОМПОНЕНТИ	7	0,001	0,1	X ₇	3,4	2,11	12	2,5	14	X ₇	15
		8	0,03	2	X ₈	11	0,6	7	X ₈	10	0,55	13
		9	1,1	5	2,4	16	X ₉	25	1,8	3,8	3,3	16
		10	X ₁₀	2,1	0,6	7,5	1,1	5	3	11,7	5,4	12
		11			3	10	1,5	4				
		12					X ₁₂	21				
Варіант		21		22		23		24		25		
концентрації		С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	С _ф , г/м ³	СГДК, г/м ³	
1 група	КОМПОНЕНТИ	1	0,3	5	4	10	X ₁	0,01	1,1	14,2	0,04	0,1
		2	3,5	7	X ₂	24	0,01	0,2	0,7	2,5	X ₂	0,6
		3	X ₃	4,2	0,2	0,7	0,004	0,5	0,5	2,4	0,02	5
		4	0,1	4	0,35	6,2	0,1	1	0,02	0,5	0,1	2
		5	X ₅	5			0,15	1	X ₅	1,4		
		6	1,4	8					X ₆	2,3		
2 група	КОМПОНЕНТИ	7	0,2	2,2	2	20	0,2	5	X ₇	14	0,2	1,4
		8	0,35	2,6	6,2	13	X ₈	10	10	35	0,82	6,1
		9	2,11	34	X ₉	1,5	X ₉	7	3,2	14,7	3,7	19
		10	X ₁₀	22	0,2	17	1,6	3,5	0,5	12	6,4	34
		11	2	15	0,8	16	4	15			X ₁₁	20
		12			X ₁₂	1,3					X ₁₂	15

Розділ 5. Гравітаційне освітлення стічних вод

Для вивчення процесу гравітаційного освітлення певної категорії виробничих стічних вод підготовлено модельну суспензію шляхом розведення відповідної маси нерозчинних речовин у V (дм³) чистої води.

Тверда фаза даної суспензії складається із 6 відсіяних фракцій, до кожної з яких входять частки з певною гідравлічною крупністю u_0 (мм/с), причому, одна із фракцій практично не осідає, для неї $u_0 = 0$.

Процес відстоювання суспензії відбувається в лабораторному циліндрі діаметром $D_{ц}$ (см).

Для модельної суспензії приймають такі умови:

- однорідність розподілу твердої фази в усьому об'ємі резервуара (циліндра);
- рівномірність представлення кожної із 6 наявних фракцій в будь-якому елементі загального об'єму суспензії.

Із даних умов випливають такі кількісні характеристики процесу гравітаційного видалення будь-якої із фракцій твердої фази суспензії:

- всі часточки кожної окремої фракції повністю осідають на дно резервуара (циліндра) за час t (с), прямо пропорційний висоті шару суспензії h (мм) і обернено пропорційний гідравлічній крупності частинок даної фракції u_0 (мм/с):

$$t_{i \max} = h/u_0; \quad (36)$$

- графічно зв'язок між t і m_i (масовою долею i -ої фракції в загальній масі всієї твердої фази, %) має вигляд лінійної залежності (рис.5).

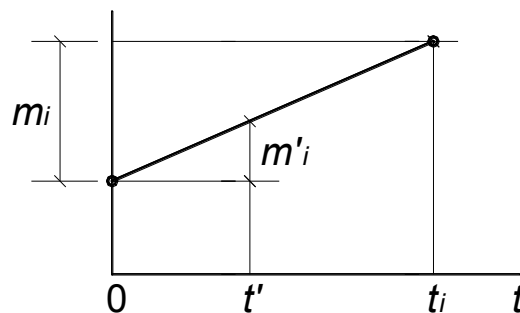


Рис.5. Гравітаційне видалення частинок окремої фракції суспензії

Тоді за певний час t' із усієї величини m_i випадає в осад лише частина даної фракції масою m'_i :

$$m'_i = m_i \cdot t'/t_i. \quad (37)$$

Оскільки суспензія складається із 5 фракцій, тоді сумарна відносна маса всіх частинок, що сіли за час t' , M_t дорівнюватиме:

$$M_t = \sum_{i=1}^5 m'_i. \quad (39)$$

Графічно процес видалення (осідання) частинок твердої фази всіх 5 фракцій (з $u_0 > 0$) за будь-який час t' має вигляд, представлений на рис. 6.

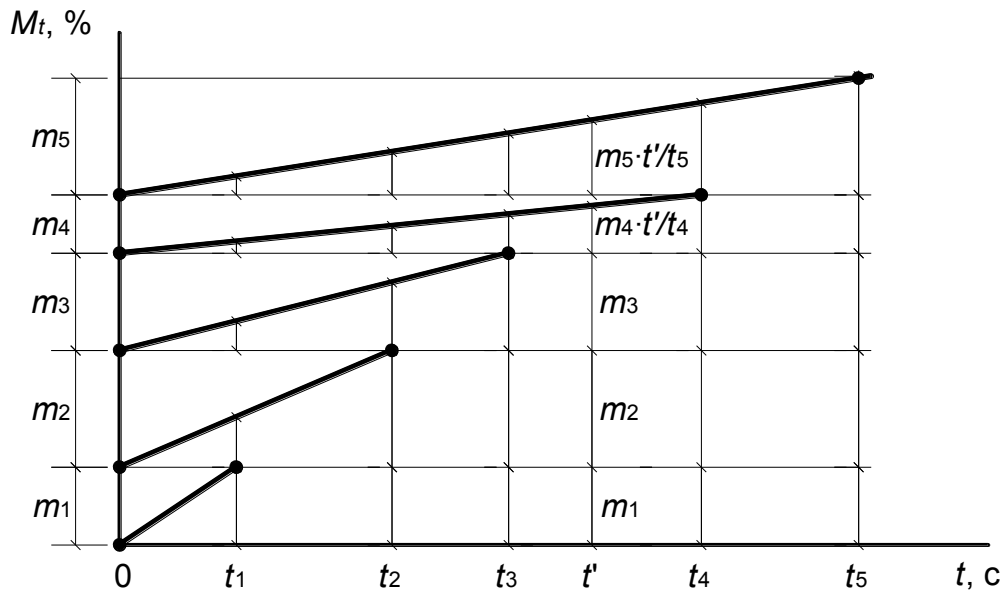


Рис.6. Графічне зображення процесу видалення частинок твердої фази суспензії

$$M_{t'} = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \cdot \frac{t'}{t_4} + m_5 \cdot \frac{t'}{t_5}. \quad (40)$$

Можна побудувати графік $M_{t'} = f(t)$, в якому фіксується значення $M_{t'}$ для моментів часу t_1, t_2, t_3, t_4 і t_5 , де величини $M_{t'}$ для кожного із цих моментів визначаються за залежностями (38), (39).

На рис. 7 наведено можливий вигляд остаточного графіка $M_t = f(t)$:

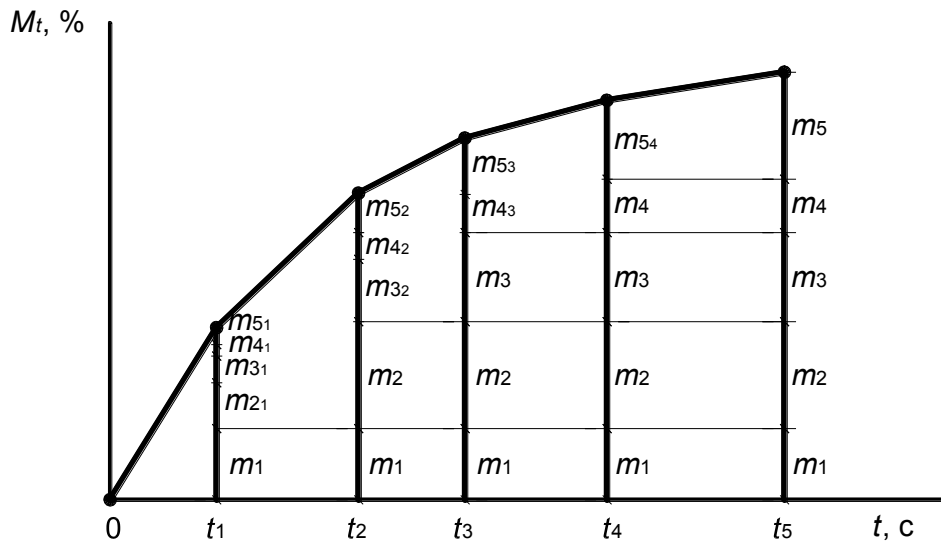


Рис. 7. Графік осадження полідисперсної суміші

Тут, наприклад, $m_{2_1} = m_2 \cdot \frac{t_1}{t_2}$; $m_{3_2} = m_3 \cdot \frac{t_2}{t_3}$;
 $m_{4_3} = m_4 \cdot \frac{t_3}{t_4}$; $m_{5_4} = m_5 \cdot \frac{t_4}{t_5}$.

Висота h (см) і t (с) у виразі (36) розраховуються за рівняннями:

$$F_{ц}[\text{см}^2] = \pi \cdot D_{ц}^2[\text{см}^2]/4;$$

$$h[\text{см}] = V[\text{дм}^3] \cdot 1000[\text{см}^3/\text{дм}^3]/F_{ц}[\text{см}^2];$$

$$t[\text{с}] = h[\text{см}] \cdot 10[\text{мм}/\text{см}]/u_0[\text{мм}/\text{с}].$$

Задача 8

За даними масового розподілу m (%) та гідравлічної крупності u_0 (мм/с) для кожної із фракцій осаджуваних речовин (табл. 10) побудувати графік залежності сумарної відносної маси видалених фракцій суспензії M (%) від тривалості відстоювання t (с) до отримання $M_{max} = \sum_{i=1}^5 m_i$.

Таблиця 10

Варіант	$D_{ц}$, см	V , дм ³	m_i , % та u_{0i} , мм/с	Розподіл по фракціях					
				1	2	3	4	5	6
1	3,7	0,17	m_i	14	24	31	15	8	8
			u_{0i}	0,95	0,73	0,36	0,24	0,06	0
2	3,2	0,16	m_i	14	25	30	15	7	9
			u_{0i}	1	0,68	0,39	0,26	0,08	0
3	3,8	0,19	m_i	14	25	30	15	7	9
			u_{0i}	0,95	0,7	0,42	0,22	0,1	0
4	4,5	0,20	m_i	16	24	32	14	6	8
			u_{0i}	0,95	0,73	0,36	0,24	0,06	0
5	4,2	0,22	m_i	17	23	31	16	7	6
			u_{0i}	1,1	0,65	0,36	0,19	0,07	0
6	2,5	0,18	m_i	16	24	32	14	6	8
			u_{0i}	0,95	0,7	0,42	0,22	0,1	0
7	2,8	0,25	m_i	17	23	31	16	7	6
			u_{0i}	1,2	0,85	0,44	0,28	0,09	0
8	3,5	0,18	m_i	14	24	31	15	8	8
			u_{0i}	1	0,68	0,39	0,26	0,08	0
9	3,4	0,17	m_i	16	30	26	13	8	7
			u_{0i}	1,1	0,65	0,36	0,19	0,07	0
10	3,6	0,19	m_i	16	30	26	13	8	7
			u_{0i}	1,2	0,85	0,44	0,28	0,09	0
11	4,0	0,21	m_i	16	24	32	14	6	8
			u_{0i}	1	0,68	0,39	0,26	0,08	0
12	2,9	0,2	m_i	14	24	31	15	8	8
			u_{0i}	1,1	0,65	0,36	0,19	0,07	0
13	4,4	0,25	m_i	16	30	26	13	8	7
			u_{0i}	0,95	0,73	0,36	0,24	0,06	0

Варіант	$D_{ц}$, см	V , дм ³	m_i , % та u_{0i} , мм/с	Розподіл по фракціях					
				1	2	3	4	5	6
14	3,4	0,20	m_i	14	25	30	15	7	9
			u_{0i}	1,2	0,85	0,44	0,28	0,09	0
15	3,3	0,17	m_i	17	23	31	16	7	6
			u_{0i}	0,95	0,7	0,42	0,22	0,1	0
16	3,5	0,17	m_i	14	23	30	18	8	8
			u_{0i}	0,95	0,73	0,36	0,24	0,06	0
17	3,3	0,16	m_i	15	24	31	15	6	9
			u_{0i}	1	0,68	0,39	0,26	0,08	0
18	3,9	0,19	m_i	14	27	30	13	8	8
			u_{0i}	0,95	0,7	0,42	0,22	0,1	0
19	4,2	0,20	m_i	16	22	34	12	6	10
			u_{0i}	0,95	0,73	0,36	0,24	0,06	0
20	4,4	0,22	m_i	16	23	32	15	8	6
			u_{0i}	1,1	0,65	0,36	0,19	0,07	0
21	2,7	0,18	m_i	17	24	31	14	7	7
			u_{0i}	0,95	0,7	0,42	0,22	0,1	0
22	2,5	0,25	m_i	15	25	29	17	8	6
			u_{0i}	1,2	0,85	0,44	0,28	0,09	0
23	3,3	0,18	m_i	13	25	33	15	6	8
			u_{0i}	1	0,68	0,39	0,26	0,08	0
24	3,8	0,17	m_i	18	28	24	15	8	7
			u_{0i}	1,1	0,65	0,36	0,19	0,07	0
25	4,6	0,19	m_i	17	30	26	15	6	6
			u_{0i}	1,2	0,85	0,44	0,28	0,09	0
26	4,1	0,21	m_i	15	23	34	14	6	8
			u_{0i}	1	0,68	0,39	0,26	0,08	0
27	2,8	0,2	m_i	14	23	32	13	10	8
			u_{0i}	1,1	0,65	0,36	0,19	0,07	0
28	4,0	0,25	m_i	16	30	25	14	8	7
			u_{0i}	0,95	0,73	0,36	0,24	0,06	0
29	4,4	0,20	m_i	15	24	30	15	8	8
			u_{0i}	1,2	0,85	0,44	0,28	0,09	0
30	3,8	0,17	m_i	19	24	32	16	7	2
			u_{0i}	0,95	0,7	0,42	0,22	0,1	0

Розділ 6. Очистка стічних вод на біофільтрах

Якщо на краплинний неаерований біофільтр надходить стічна вода (СВ) з БСК₂₀ L_{en} (г/м³), БСК₂₀ очищеної СВ після біофільтра L_{ex} (г/м³) визначається через коефіцієнт $k_{bf} = L_{en}/L_{ex}$.

Цей коефіцієнт за нормативними даними залежить від наступних характеристик:

- висота завантаження біофільтра H , м;
- температура СВ T , °С;
- гідравлічне навантаження на поверхню біофільтра

$$q_{bf} = Q/F, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{доб}), \quad (41)$$

де Q – витрата очищуваної СВ, м³/доб; F – площа поверхні біофільтра, м².

Залежність k_{bf} від H , T , q_{bf} подана в табл. 11.

Таблиця 11

$\frac{q_{bf}, \text{ м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{доб}}$	k_{bf} при $T, ^\circ\text{C}$ і H , м							
	$T = 8^\circ\text{C}$		$T = 10^\circ\text{C}$		$T = 12^\circ\text{C}$		$T = 14^\circ\text{C}$	
	$H = 1,5 \text{ м}$	$H = 2 \text{ м}$	$H = 1,5 \text{ м}$	$H = 2 \text{ м}$	$H = 1,5 \text{ м}$	$H = 2 \text{ м}$	$H = 1,5 \text{ м}$	$H = 2 \text{ м}$
1,0	8,0	11,6	9,8	12,3	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7,0	10,9	8,2	11,7	10,0	12,8
2,0	4,9	8,2	5,7	10,0	6,6	10,7	8,0	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3,0	3,8	6,0	4,4	7,1	5,0	8,6	5,9	10,2

Біофільтр з рециркуляцією СВ (рис.8)

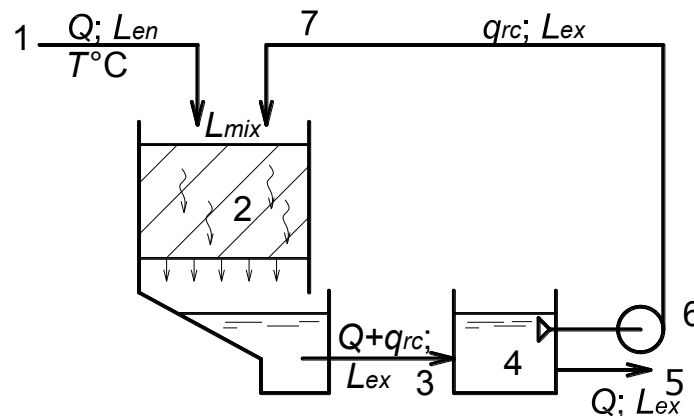


Рис. 8. Схема роботи біофільтра з рециркуляцією: 1 – подача неочищених стічних вод (Q ; L_{en}); 2 – завантаження біофільтра; 3 – випуск очищеної СВ із біофільтра ($Q+q_{rc}$; L_{ex}) в рециркуляційний резервуар; 4 – резервуар рециркуляційного потоку; 5 – випуск очищеної СВ із резервуара; 6 – рециркуляційний насос (q_{rc} ; L_{ex})

Подача рециркуляційного потоку на біофільтр, де БСК₂₀ суміші двох потоків:

$$L_{mix} = \frac{Q \cdot L_{en} + q_{rc} \cdot L_{ex}}{Q + q_{rc}} \quad (41)$$

Якщо на біофільтр надходить суміш СВ з БСК₂₀ L_{mix} (за рівнянням 41), тоді БСК₂₀ очищеної СВ L_{ex} дорівнюватиме:

$$L_{ex} = \frac{L_{mix}}{k_{bf}} = \frac{Q \cdot L_{en} + q_{rc} \cdot L_{ex}}{(Q + q_{rc}) \cdot k_{bf}} \quad (42)$$

Звідки:

$$L_{ex} = \frac{Q \cdot L_{en}}{(Q + q_{rc}) \cdot k_{bf} - q_{rc}} \quad (43)$$

Задача 9

На краплинний біофільтр площею F (м²) і висотою шару завантаження H (м), який працює за схемою з рециркуляцією СВ, подається для очистки Q (м³/доб) СВ з БСК₂₀ L_{en} (г/м³) і температурою T (°С). За даними табл. 12 побудувати графік залежності L_{ex} (г/м³) від витрати q_{rc} (м³/доб) в діапазоні витрат від 0 до $q_{rc \max}$ з кроком Δq_{rc} .

Таблиця 12

варіант	F , м ²	H , м	Витрати, м ³ /доб			T , °С	L_{en} , г/м ³
			Q	$q_{rc \max}$	Δq_{rc}		
1	90	1,5	110	160	40	8	180
2	120	2	130	220	55	10	270
3	80	1,5	100	120	30	12	260
4	140	2	150	260	65	14	290
5	160	1,5	180	280	70	8	220
6	200	2	220	380	95	10	240
7	180	1,5	190	340	85	12	280
8	220	2	240	400	100	14	250
9	100	1,5	120	180	45	8	190
10	210	2	230	300	75	10	250
11	190	1,5	210	320	80	12	230
12	110	2	130	240	60	14	200
13	130	1,5	150	200	50	8	210
14	150	2	170	280	70	10	270
15	170	1,5	190	300	75	12	190

Для побудови графіка залежності L_{ex} від q_{rc} рекомендується така послідовність операцій.

1. Призначаються величини q_{rc} (м³/доб) за пунктами зміни від 0 до $q_{rc \max}$ з кроком Δq_{rc} .

- Для кожного із цих пунктів розраховуються $q_{bf} = \frac{Q+q_{rc}}{F}$, $\text{м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{доб})$.
- Для кожного отриманого q_{bf} визначаються k_{bf} .
- Для кожної величини k_{bf} розраховуються L_{ex} ($\text{г}/\text{м}^3$) (рівняння 36).
- По кожному пункту із значеннями q_{rc} від 0 до $q_{rc \text{ max}}$ будується графік залежності $L_{ex} = f(q_{rc})$.

Біофільтр з паралельним розподілом СВ (рис.9)

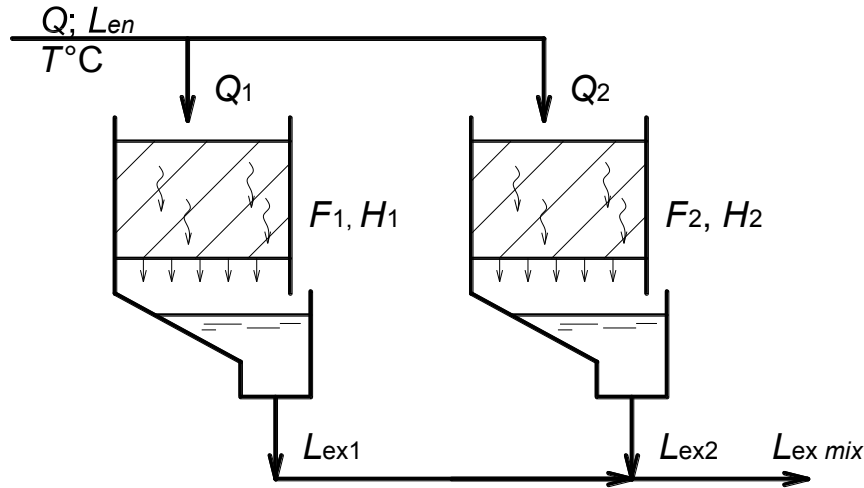


Рис. 9. Схема розподілу води між паралельно під'єднаними біофільтрами

Задача 10

Стічна вода з витратою Q ($\text{м}^3/\text{доб}$), БПК₂₀ L_{en} ($\text{г}/\text{м}^3$) і температурою T ($^{\circ}\text{C}$) надходить для очистки на блок із 2-х краплинних біофільтрів з характеристиками:

- площа поверхні, відповідно, F_1 і F_2 (м^2);
- висота шару завантаження, відповідно, H_1 і H_2 (м).

За даними табл. 13 побудувати графік залежності $L_{ex \text{ mix}}$ ($\text{г}/\text{м}^3$) від витрати Q_1 ($\text{м}^3/\text{доб}$) в діапазоні співвідношення Q_1/Q від 0,3 до 0,7 з кроком 0,1.

Всі подані у вихідних даних інформаційні характеристики дозволяють визначити для кожного із двох біофільтрів значення $L_{ex 1}$ та $L_{ex 2}$.

Оскільки Q_1 змінюється від $0,3Q$ до $0,7Q$, відповідно, Q_2 буде змінюватись від $0,7Q$ до $0,3Q$.

Таким чином, розглядаються 5 випадків з 5 різними витратами СВ, які подаються на 1 та 2 біофільтри:

1 випадок	$Q_1 = 0,3Q;$	$Q_2 = 0,7Q;$...
2 випадок	$Q_1 = 0,4Q;$	$Q_2 = 0,6Q;$	5 випадок $Q_1 = 0,7Q;$ $Q_2 = 0,3Q.$

Таблиця 13

Варіант	Q , м ³ /доб	L_{ex} , г/м ³	F_1 , м ²	F_2 , м ²	H_1 , м	H_2 , м	T , °С
1	800	180	240	210	1,5	1,5	14
2	720	240	215	190	2	2	12
3	540	190	155	140	2	1,5	12
4	630	230	180	160	1,5	1,5	10
5	590	200	165	150	2	2	8
6	680	220	185	175	1,5	2	10
7	760	210	205	210	2	1,5	8
8	840	250	220	245	2	1,5	14
9	820	200	180	140	2	2	10
10	750	190	200	150	1,5	2	12
11	780	205	175	200	1,5	1,5	8
12	830	220	230	230	2	2	10
13	810	210	180	155	1,5	1,5	12
14	790	185	200	190	2	1,5	14
15	710	195	160	180	1,5	1,5	8

Для кожного із 5 випадків розраховуються L_{ex1} та L_{ex2} згідно з методикою, викладеною у вступній інформації до задачі 2.

За отриманими величинами L_{ex1} та L_{ex2} і відповідними значеннями Q_1 та Q_2 для кожного із п'яти випадків розраховується $L_{ex\,mix}$:

$$L_{ex\,mix} = \frac{Q_1 \cdot L_{ex1} + Q_2 \cdot L_{ex2}}{Q}. \quad (44)$$

За значеннями Q_1 та $L_{ex\,mix}$ будується графік їх взаємозв'язку.

Розділ 7. Зневоднення та ущільнення

7.1. Активний мул

Серед характеристик якісного стану активного мулу як полідисперсної системи використовують поняття вологість і густина.

Загальна маса активного мулу M_M (кг) складається із маси твердої фази M_{TB} (кг) і маси рідкої фази (чистої води) M_B (кг). Отже, вологість мулу визначається за виразом:

$$P_M = [M_B / (M_{TB} + M_B)] \cdot 100\%. \quad (45)$$

Якщо ця маса M_M (кг) займає об'єм W_M (м³), тоді густина мулу γ_M (кг/м³) розраховується за виразом:

$$\gamma_M = M_M / W_M. \quad (46)$$

Для інженерних розрахунків процесу ущільнення (згущення) активного мулу (осаду) можна використовувати умовну схему (рис.10).

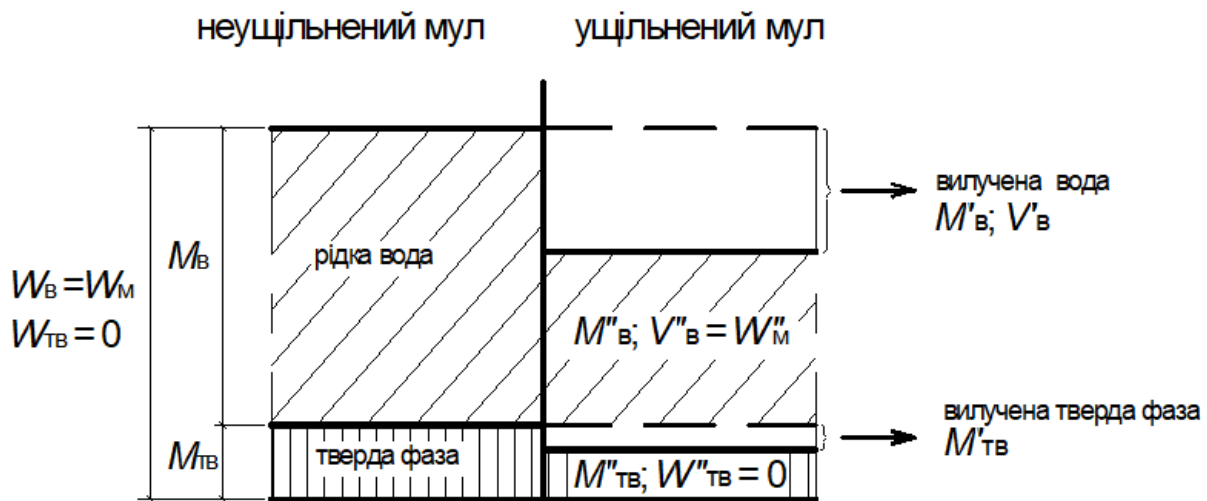


Рис.10. Розрахункова схема згущення активного мулу

За наведеною схемою маса вилученої надмулової води позначена M'_B , а її об'єм V'_B . Маса вилученої твердої фази мулу позначена M'_{TB} . Об'ємом, яку займає тверда фаза мулу можна знехтувати. Густина рідкої фази системи (води) приймається 1000 кг/м^3 .

Задача 11

На мулозгущувач надходить активний мул об'ємом $W_M \text{ (м}^3\text{)}$ вологістю $P_M \text{ (}\% \text{)}$ і густиною $\gamma_M \text{ (кг/м}^3\text{)}$.

У процесі гравітаційного ущільнення із мулозгущувача видалено $V'_B \text{ (м}^3\text{)}$ надмулової води з концентрацією твердої фази (частинок мулу) $C \text{ (г/м}^3\text{)}$.

За даними табл. 14 визначити густину $\gamma''_M \text{ (кг/м}^3\text{)}$ і вологість $P'' \text{ (}\% \text{)}$ ущільненого активного мулу.

Рекомендації до розв'язання

1. Початкова маса не ущільненого мулу: $M_M = W_M [\text{м}^3] \cdot \gamma_M [\text{кг/м}^3]$, [кг].
2. Початкова маса рідкої фази: $M_B = M_M [\text{м}^3] \cdot P_M [\%] / 100 [\%]$, [кг].
3. Маса видаленої рідкої фази: $M'_B = V'_B [\text{м}^3] \cdot 1000 [\text{кг/м}^3]$, [кг].
4. Маса видаленої з надмуловою водою твердої фази:

$$M'_{TB} = V'_B [\text{м}^3] \cdot C [\text{г/м}^3] / 1000 [\text{г/кг}], [\text{кг}].$$

5. Загальна втрата маси мулу при згущуванні: $\Delta M_M = M'_B + M'_{TB}$, [кг].
6. Маса мулу після ущільнення: $M''_M = M_M - \Delta M_M$, [кг].
7. Об'єм мулу після ущільнення: $W''_M = W_M - V'_B$, [м³].
8. Густина ущільненого мулу: $\gamma''_M = M''_M [\text{кг}] / W''_M [\text{м}^3]$, [кг/м³].
9. Вологість ущільненого мулу: $P'' = [(M_B - M'_B) / M''_M] \cdot 100$, [%].

Таблиця 14

Варіант	$W_m, \text{м}^3$	$P_m, \%$	$\gamma_m, \text{кг/м}^3$	$V'_B, \text{м}^3$	$C, \text{г/м}^3$
1	180	99	1013	70	850
2	170	99,3	1010	80	780
3	150	98,8	1015	65	900
4	190	99,2	1012	45	830
5	160	98,9	1015	100	775
6	100	98,7	1018	75	790
7	200	99,1	1014	110	910
8	120	99	1012	85	810
9	250	99,3	1011	95	710
10	110	98,8	1016	80	850
11	240	99,2	1012	65	780
12	130	98,9	1014	65	900
13	140	98,7	1017	100	830
14	220	99,1	1013	80	650
15	230	98,6	1015	45	790
16	150	99,1	1014	85	900
17	110	98,8	1012	75	775
18	180	99,2	1018	65	850
19	240	99,2	1015	45	790
20	150	99,1	1014	85	900
21	140	98,7	1012	75	775
22	180	99,2	1013	80	650
23	150	98,9	1015	70	850
24	200	99,1	1012	65	700
25	190	98,7	1014	80	825

7.2. Суміш сирого осаду й активного мулу

Задача 12

На метантенк для зброджування подається суміш, яка складається із осаду первинних відстійників об'ємом W_{oc} (м^3), вологістю P_{oc} (%) і густиною γ_{oc} (кг/м^3) й активного мулу із вторинних відстійників об'ємом $W_{ам}$ (м^3), вологістю $P_{ам}$ (%) і густиною $\gamma_{ам}$ (кг/м^3).

За даними табл. 15 визначити густину $\gamma_{сум}$ (кг/м^3) та вологість $P_{сум}$ (%) суміші, яка надходить на метантенк.

Рекомендації до розв'язання

1. Маса осаду (активного мулу) $M_{oc(ам)}$ (кг) залежить від об'єму $W_{oc(ам)}$ (m^3) і густини $\gamma_{oc(ам)}$ ($кг/м^3$):

$$M_{oc(ам)} = W_{oc(ам)} [m^3] \cdot \gamma_{oc(ам)} [кг/м^3], [кг].$$

2. Маса води в осаді (активному мулу):

$$M_{B_{oc(ам)}} = M_{oc(ам)} [кг] \cdot P_{oc(ам)} [\%] / 100 [\%], [кг].$$

3. Маса суміші осаду ту активного мулу: $M_{сум} = M_{oc} + M_{ам}$, [кг].

4. Маса рідини суміші: $M_{B_{сум}} = M_{B_{oc}} + M_{B_{ам}}$, [кг].

5. Об'єм суміші: $W_{сум} = W_{oc} + W_{ам}$, [m^3].

6. Вологість суміші розраховується за виразом:

$$P_{сум} = M_{B_{сум}} / M_{сум} \cdot 100, [\%].$$

7. Густина суміші: $\gamma_{сум} = M_{сум} [кг] / W_{сум} [m^3]$, [$кг/м^3$].

Таблиця 15

Варіант	W_{oc}, m^3	$W_{ам}, m^3$	$P_{oc}, \%$	$P_{ам}, \%$	$\gamma_{oc}, кг/м^3$	$\gamma_{ам}, кг/м^3$
1	150	410	94	98,2	1024	1010
2	100	300	93	99,0	1020	1012
3	160	450	95	97,6	1030	1015
4	180	500	92	98,4	1020	1014
5	210	470	97	99,0	1024	1012
6	170	350	94	97,8	1030	1010
7	250	700	93	98,4	1025	1015
8	50	170	95	99,1	1035	1010
9	75	200	92	97,5	1020	1013
10	110	370	97	98,3	1030	1015
11	125	280	94	99,0	1020	1014
12	140	400	93	97,6	1024	1012
13	190	560	95	98,0	1030	1010
14	80	220	92	99,1	1025	1015
15	95	290	97	97,6	1024	1013
16	100	420	94	98,4	1025	1010
17	180	500	92	99,0	1030	1015
18	210	315	95	98,2	1020	1014
19	250	700	93	99,0	1020	1014
20	100	420	94	97,5	1020	1013
21	75	200	92	97,8	1030	1010
22	210	200	92	97,5	1020	1014
23	80	300	93	98,9	1020	1013
24	110	400	92	97,7	1027	1010
25	150	550	94	98,0	1030	1014

Список літератури

1. *Державні* санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) [чинний від 12.05.2010] // Офіційний вісник України, 2010 р., №51. – С. 99.
2. *ДБН В.2.5-74:2013*. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [чинний від 01.01.2014]. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 286 с.
3. *ДБН В.2.5-75:2013*. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування [чинний від 01.01.2014]. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 214 с.
4. *Вода* питна. Вимоги та методи контролювання якості води. ДСТУ 7525:2014 [чинний від 23.10.2014]. – Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. – 28 с.
5. *Водний* кодекс України. Постанова Верховної Ради України від 06.06.95 №214/95-ВР // Відомості Верховної Ради України, 1995, №24. – С. 189.
6. *Правила* охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами. Постанова Кабінету Міністрів України від 25.03.99, №465.
7. *Запольський А.К.* Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А.К. Запольський. – К.: Лібра, 2000. – 551 с.
8. *Ковальчук В. А.* Очистка стічних вод : навч. посіб. / В. А. Ковальчук. – Рівне : ВАТ «Рівненська друкарня», 2003. – 622 с.

Навчально-методичне видання

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ТА СТІЧНИХ ВОД

Методичні вказівки
до виконання розрахункової роботи
для здобувачів першого (бакалаврського) освітнього рівня вищої освіти
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
освітня програма «Водопостачання та водовідведення»

Укладач **АРГАТЕНКО** Тетяна Вікторівна

Комп'ютерне верстання *Л. М. Морозюк*

Ум. друк. арк. 1,86. Обл.-вид. арк 2,0.

Електронний документ. Вид № 7/V-24.

Виконавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03680

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р