

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОПОСТАЧАННЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології)*



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2024

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Очисні споруди водопостачання» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : В. М. Беляєва, К. Б. Сорокіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. – 58 с.

Укладачі: В. М. Беляєва,
канд. техн. наук К. Б. Сорокіна

Рецензент

М. В. Дегтяр, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2023

ЗМІСТ

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ.....	4
Змістовий модуль 1 Характеристика схем підготовки води для питного водопостачання.....	4
Тема 1 Оцінка якості природних вод.....	4
Тема 2 Вибір схеми водопідготовки.....	6
Змістовий модуль 2 Споруди та обладнання для реагентного очищення води.....	10
Тема 3 Визначення розрахункових доз реагентів.....	10
Тема 4 Розрахунок технологічних схем приготування реагентів.....	14
Тема 5 Розрахунок гідравлічного змішувача реагентів із водою.....	21
Тема 6 Розрахунок камери утворення пластівців та горизонтального відстійника.....	24
Змістовий модуль 3 Фільтрування та знезараження води.....	30
Тема 7 Розрахунок швидких фільтрів. Розрахунок контактних прояснювачів	30
Тема 8 Вибір методу знезараження води. Розрахунок обладнання.....	46
2 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ.....	49
Змістовий модуль 1 Характеристика схем підготовки води для питного водопостачання.....	49
Змістовий модуль 2 Споруди та обладнання для реагентного очищення води.....	51
Змістовий модуль 3 Фільтрування та знезараження води.....	54
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	56
ДОДАТОК А.....	57

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Загальні положення про практичні заняття

Практичні заняття з навчальної дисципліни мають органічно поєднуватися з лекційними, лабораторними заняттями та самостійною роботою здобувачів.

Основні цілі проведення практичних занять:

- забезпечити умови для поглиблення і закріплення знань здобувачів з основ дисципліни, які набуті під час проведення лекцій та у процесі вивчення навчальної інформації, що виносить на самостійне опрацювання;
- спонукати здобувачів до обговорення найбільш складних питань навчальної дисципліни, активізації їх до самостійного вивчення нормативної та методичної літератури, формування у них навичок самоосвіти.

Відмінною особливістю проведення практичного заняття як форми навчальних занять є:

- активна участь самих здобувачів у з'ясуванні проблем, питань, які були винесені на розгляд;
- викладач надає здобувачам можливість вільно висловлюватися під час розрахунку задач та допомагає їм вірно будувати свої міркування;
- навчальна мета практичного заняття вимагає, щоб здобувачі були добре підготовлені до заняття;
- якщо здобувачі не підготовлені до заняття, то практичне заняття перетворюється у фронтальну бесіду (викладач задає питання, здобувачі відповідають на них).

У цих методичних рекомендаціях наведені завдання і вказівки щодо їх виконання. На початку проведення заняття викладач ознайомлює здобувачів із темою заняття та змістом задач, які необхідно вирішити. Після цього здобувачі з **Додатку А** беруть дані для проведення розрахунків (за вказівкою викладача). Наприкінці заняття викладач перевіряє правильність виконання розрахунків.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 Характеристика схем підготовки води для питного водопостачання.

Тема 1 Оцінка якості природних вод

Завдання 1.1. На очисні споруди надходить вода з такими показниками аналізу води:

- вміст катіонів і аніонів у воді, мг/дм³: Ca²⁺ – 56; Mg²⁺ – 22,8; Na⁺ – 39,6; HCO₃⁻ – 85,5; SO₄²⁻ – 176,3; Cl⁻ – 47;
- рН – 7,5;
- температура води, °С – 13,1;
- каламутність, мг/дм³ – 94;
- забарвленість, град. пкш – 54;
- запах, присмак, бал – 2.

Виконати перевірку достовірності аналізу води, результати аналізу іонного складу води зобразити графічно у вигляді діаграми передбачуваного складу солей.

Розв'язання. Вода електронейтральна, тому суми концентрації катіонів і аніонів, виражені в мг-екв/дм³, мають дорівнювати одна одній:

$$[\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+] = [\text{HCO}_3^-] + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] \quad (1.1)$$

Для перерахунку концентрацій іонів, виражених в мг-екв/дм³, їх необхідно розділити на еквівалентну масу даної речовини:

$$\frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16} + \frac{\text{Na}^+}{23} = \frac{\text{HCO}_3^-}{61,02} + \frac{\text{SO}_4^{2-}}{48,03} + \frac{\text{Cl}^-}{35,48}; \quad (1.2)$$

$$\frac{56}{20,04} + \frac{22,8}{12,16} + \frac{39,6}{23} = \frac{85,5}{61,02} + \frac{176,3}{48,03} + \frac{47}{35,48};$$

$$\Sigma K = \Sigma A;$$

$$6,39 = 6,39.$$

Перевірити правильність аналізу можна зіставленням сум у мг-екв/дм³ катіонів і аніонів, при цьому:

$$\frac{\Sigma K - \Sigma A}{\Sigma K + \Sigma A} \cdot 100\% \leq 5\%; \quad (1.3)$$

$$\frac{6,39 - 6,39}{6,39 + 6,39} \cdot 100\% = 0 \leq 5\%.$$

Будуємо діаграму передбачуваного складу солей (рис. 1.1).

2,8		1,9		1,7	
Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺	
Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	NaCl	
HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻			Cl ⁻	
1,4	3,7			1,3	

Рисунок 1.1 – Діаграма передбачуваного складу солей у вихідній воді за даними аналізу ($\Sigma K = \Sigma A$)

У воді, яка надходить на очисні споруди, містяться такі солі: Ca(HCO₃)₂, CaSO₄, MgSO₄, Na₂SO₄, NaCl.

Завдання 1.2. Для даних, які наведені в завданні 1.1, визначити твердість, лужність та сухий залишок води.

Розв'язання. Сумарна концентрація катіонів Ca²⁺ і Mg²⁺ визначає загальну твердість води:

$$T_{\text{заг}} = \frac{\text{Ca}^{2+}}{20,04} + \frac{\text{Mg}^{2+}}{12,16}, \text{ мг-екв/дм}^3, \quad (1.4)$$

$$T_{\text{заг}} = \frac{56}{20,04} + \frac{22,8}{12,16} = 4,67 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Загальна лужність залежно від іонного складу води може включати бікарбонатну, карбонатну й гідратну складові. Оскільки з перерахованих аніонів у більшості природних вод переважає аніон HCO_3^- , їхня лужність визначається концентрацією бікарбонатів. Але це справедливо за умови, що величина рН не перевищує 8,3.

У нашому прикладі рН = 7,5, отже при $T_{\text{заг}} > L_{\text{заг}}$:

$$[\text{HCO}_3^-] = T_{\text{к}} = L_{\text{заг}}, \text{ мг-екв/дм}^3 \quad (1.5)$$

$$[\text{HCO}_3^-] = 1,4 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

$$T_{\text{нк}} = T_{\text{заг}} - T_{\text{к}}, \text{ мг-екв/дм}^3 \quad (1.6)$$

$$T_{\text{нк}} = 4,67 - 1,4 = 3,27 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Під час визначення сухого залишку треба враховувати термічний розпад бікарбонатів навпіл. Сухий залишок визначають за рівнянням:

$$P = [\text{HCO}_3^-]/2 + [\text{SO}_4^{2-}] + [\text{Cl}^-] + [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}] + [\text{Na}^+], \text{ мг/дм}^3, \quad (1.7)$$

$$P = 56 + 22,8 + 39,6 + \frac{85,5}{2} + 176,3 + 47 = 384,45 \text{ мг/дм}^3.$$

Тема 2 Вибір схеми водопідготовки

Завдання 2.1. Вибрати схему і склад водоочисних споруд за таких вихідних даних: корисна продуктивність водоочисних споруд 72 000 м³/добу, забарвленість 54 град. пкш, вміст завислих речовин 75 мг/дм³. Доза коагулянту 66 мг/дм³. Вапно під час коагуляції не додають. На станції передбачається повторне використання промивних вод.

Розв'язання. Концентрацію завислих речовин у воді під час введення до неї коагулянту визначають за [1, формула (10)]:

$$C_{\text{в}} = M + K_{\text{к}} \cdot D_{\text{к}} + 0,25 \cdot Z + V_{\text{в}}, \text{ мг/дм}^3, \quad (2.1)$$

де M – каламутність вихідної води, мг/дм³;

$D_{\text{к}}$ – доза коагулянту за безводним продуктом, мг/дм³;

$K_{\text{к}}$ – коефіцієнт, який приймають для $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ – 0,5, для FeCl_3 – 0,7;

Z – забарвленість оброблювальної води, град. пкш;

$V_{\text{в}}$ – кількість нерозчинених речовин, що вводять з вапном при підлужуванні води, мг/дм³; визначають за [1, формула (11)]:

$$V_{\text{в}} = (1 - K_{\text{в}}) \cdot D_{\text{в}}, \text{ мг/дм}^3, \quad (2.2)$$

де $D_{\text{в}}$ – доза вапна за CaO , мг/дм³;

$K_{\text{в}}$ – вміст CaO у вапні, приймають не менше 0,7.

$$C_{\text{в}} = 54 + 0,5 \cdot 66 + 0,25 \cdot 54 + 0 = 100,5 \text{ г/м}^3.$$

До проектування прийнята одноступенева схема очищення, за якою природну воду після проціджування на мікрофільтрах обробляють реагентами і направляють на контактні прояснювачі. Для інтенсифікації процесу очищення у вхідну воду вводять мінеральний коагулянт – сульфат алюмінію і

високополімерний флокулянт – поліакриламід. У період нестачі лужності річкової води (якщо є потреба) для процесу коагуляції і для стабілізації очищеної води передбачається її підлуження.

Завдання 2.2. Вибрати схему і склад водоочисних споруд за таких вихідних даних: корисна продуктивність водоочисних споруд 72 000 м³/добу, забарвленість 54 град. пкш, вміст завислих речовин 94 мг/дм³. Доза коагулянту 76,16 мг/дм³. Вапно під час коагуляції не додають.

Розв'язання. Концентрацію завислих речовин у воді під час введення до неї коагулянту визначають за формулою (2.1):

$$C_B = 94 + 0,5 \cdot 76,16 + 0,25 \cdot 54 + 0 = 145,58 \text{ г/м}^3.$$

Відповідно до основних показників якості вихідної води, рекомендацій [4] і таблиці 16 [1] до проектування прийнята двоступенева схема.

Широке застосування на станціях водопідготовки знайшли схеми з вбудованими камерами утворення пластівців в горизонтальні відстійники. Ці споруди можна проектувати одноповерховими або двоповерховими з торцевим або розосередженим за площею збором проясненої води та без повороту води в горизонтальній або вертикальній площині.

Оброблювану воду після мікрофільтрів, які затримують крупну суспензію, піддають обробці реагентами, що вводять перед вертикальним змішувачем. Потім вода проходить горизонтальні відстійники з вбудованими камерами утворення пластівців, а також через швидкі фільтри, внаслідок чого прояснюється і знебарвлюється.

Знезараження води здійснюють за допомогою спеціальних установок. Потім воду спрямовують в резервуар чистої води для контакту її з знезаражувальним реагентом і на насоси II-го підйому для подачі споживачам.

Для інтенсифікації процесу вихідну воду піддають коагуляції та обробці флокулянтами.

Як коагулянт прийнятий очищений сульфат алюмінію, який містить не менше 45,3 % Al₂(SO₄)₃. Як флокулянт прийнятий поліакриламід (ПАА) у вигляді гелю, який містить 8 % активної частини. Як луг використовують негашене вапно, яке містить не менше 70 % Са у товарному продукті. З урахуванням можливості наявності нерозчинних зерен процентний вміст активного продукту приймаємо K_B=60 %.

Вода після промивання фільтрів надходить у споруди повторного використання промивних вод; далі її рівномірно протягом доби перекачують в трубопровід перед змішувачем. Для вилучення піску з промивної води передбачають горизонтальний піскоуловлювач і резервуар-усереднювач. Пісок з осадової частини піскоуловлювача періодично в міру його нагромадження видаляють гідроелеватором на піскові майданчики.

Завдання 2.3. Скласти висотну схему основних споруд станції очищення води на підставі даних завдання 2.1.

Розв'язання. Для орієнтовних розрахунків величини перепадів рівнів води приймають втрати напору у відповідності до [1, п. 10.28.2]. Складання висотної схеми починають з найбільш низько розташованої споруди – резервуара чистої води. Позначку найвищого рівня води приймають на 0,3 м вище відмітки поверхні землі. Потім, задаючись втратами напору в спорудах і сполучних комунікаціях, знаходять позначки рівня води в окремих спорудах. На рисунку 2.1 наведено висотну схему основних споруд одноступеневого очищення поверхневих вод.

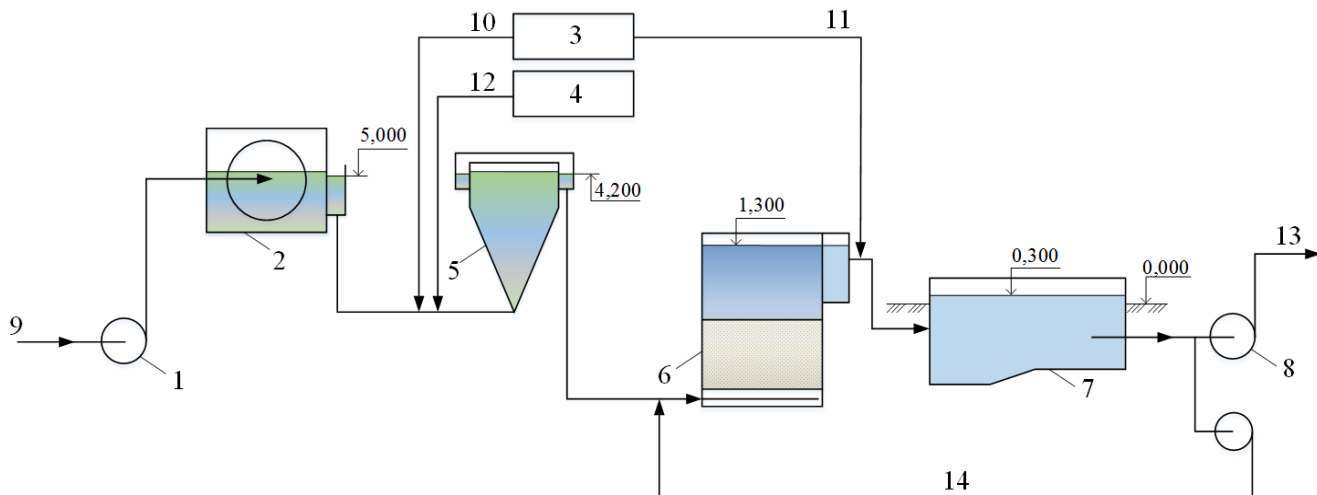


Рисунок 2.1 – Висотна схема основних споруд одноступеневого очищення поверхневих вод:
 1 – насосна станція першого підйому; 2 – мікрофільтри; 3 – хлораторна; 4 – реагентне господарство; 5 – змішувач; 6 – контактний прояснювач; 7 – резервуар чистої води;
 8 – насосна станція другого підйому; 9 – подача вихідної води;
 10 – первинне хлорування; 11 – вторинне хлорування; 12 – подача розчинів реагентів (коагулянт, флокулянт); 13 – подача води споживачам; 14 – промивна вода

Завдання 2.4. Скласти висотну схему основних споруд станції очищення води на підставі даних завдання 2.2.

Розв'язання. Висотну схему основних споруд двоступеневого очищення поверхневих вод будують аналогічно одноступеневій схемі. На рисунку 2.2 представлено висотну схему основних споруд станції очищення води.

Завдання 2.5. Визначити повну продуктивність водоочисних споруд, якщо корисна продуктивність станції 72 000 м³/добу.

Розв'язання. Повну продуктивність станції обробки господарсько-питної води визначають з урахуванням витрати води на власні потреби станції (промивання фільтрів, очищення відстійників, камер утворення пластівців, змішувачів, резервуарів чистої води та ін.), додаткової витрати води на поповнення протипожежного запасу й приготування розчинів реагентів.

Витрату води на власні потреби очисної станції за умови повторного використання води після промивання фільтрувальних споруд приймають 3 % від кількості води, яку подають споживачам [1, п. 10.1.6].

$$q_{\text{ос}} = \frac{\alpha \cdot Q_{\text{кор}}}{24} + Q_{\text{дод}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (2.3)$$

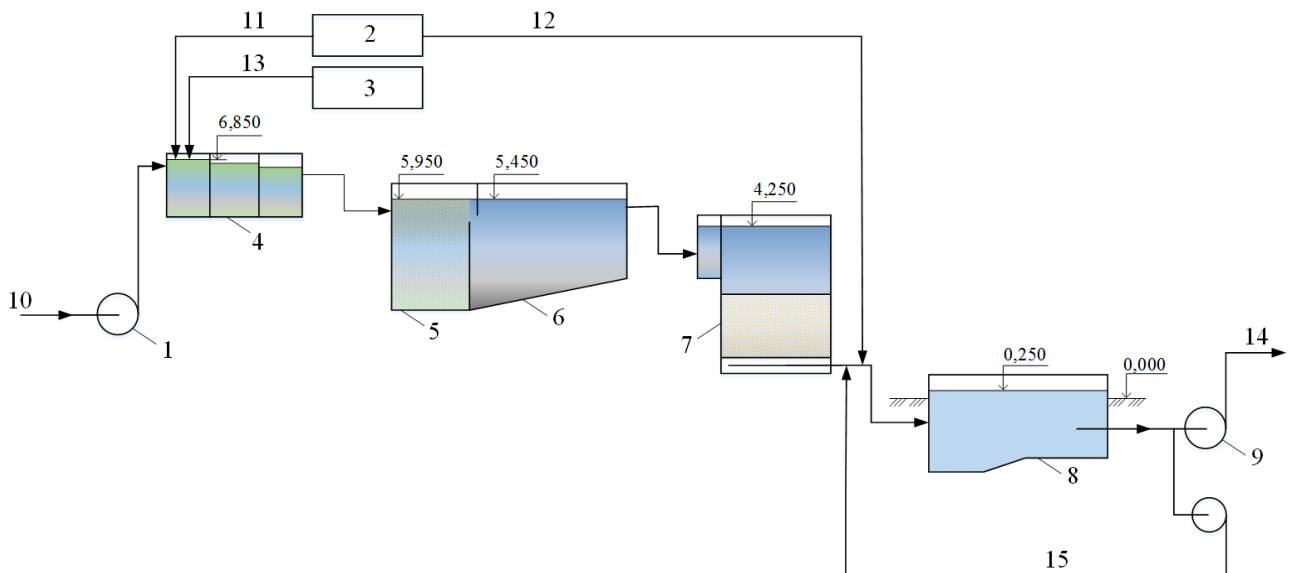


Рисунок 2.2 – Висотна схема основних споруд двоступеневого очищення поверхневих вод із застосуванням горизонтальних відстійників і швидких фільтрів:

1 – насосна станція першого підйому; 2 – хлораторна; 3 – реагентне господарство;
 4 – змішувач; 5 – камера утворення пластівців; 6 – горизонтальний відстійник; 7 – швидкий фільтр; 8 – резервуар чистої води; 9 – насосна станція другого підйому; 10 – подача вихідної води; 11 – первинне хлорування; 12 – вторинне хлорування; 13 – подача розчинів реагентів (коагулянт, флокулянт); 14 – подача води споживачам; 15 – промивна вода

де α – коефіцієнт, який враховує витрату води на власні потреби; для орієнтовних розрахунків приймають: 1,03–1,04 – за умови повторного використання води від промивки фільтрів (контактних прояснювачів); 1,06–1,08 – за умови скидання вод від промивки фільтрів (контактних прояснювачів) в каналізацію [1, п. 10.1.6].

Додаткову витрату води для поповнення протипожежного запасу визначають за формулою:

$$Q_{\text{дод}} = \frac{V_{\text{пож}}}{T_{\text{пож}}} = \frac{3,6 \cdot t \cdot [n \cdot (q_{\text{пож}} + q'_{\text{пож}}) + n' \cdot (q_{1 \text{ пож}} + q'_{1 \text{ пож}}) \cdot 0,5]}{t_{\text{пож}}}, \text{ м}^3/\text{год}, (2.4)$$

де $V_{\text{пож}}$ – об'єм води для гасіння пожежі, м³;

n, n' – кількість одночасних пожеж відповідно в населеному пункті та на підприємстві [1, п. 6.2.2];

$q_{1 \text{ пож}}, q'_{1 \text{ пож}}$ – норма витрати води на зовнішнє пожежогасіння відповідно в населеному пункті та на підприємстві, л/с, [1, таблиці 3, 5];

$q_{\text{пож}}, q'_{\text{пож}}$ – норма витрати води на внутрішнє пожежогасіння відповідно в населеному пункті та на підприємстві, л/с [3, п. 8.2];

$t_{\text{пож}}$ – розрахункова тривалість пожежі, год. [1, п. 6.2.13];

$T_{\text{пож}}$ – час відновлення протипожежного запасу води, год. [1, п. 6.2.14].

$$Q_{\text{дод}} = \frac{3,6 \cdot 3 \cdot [3 \cdot (80 + 5) + 1 \cdot (30 + 5) \cdot 0,5]}{24} = 1226 \text{ м}^3/\text{год}.$$

$$Q_{o.c.} = \frac{1,03 \cdot 72000}{24} + 122,6 = 3212,6 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахункова добова та секундна продуктивності відповідно дорівнюють:

$$Q_{o.c.} = 77102,4 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$q_{o.c.} = 892,4 \text{ л/с.}$$

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 Споруди та обладнання для реагентного очищення вод

Тема 3 Визначення розрахункових доз реагентів

Завдання 3.1. Визначити розрахункову дозу коагулянту для води, яка надходить на очисні споруди з показниками, наведеними в завданні 1.1. Продуктивність водоочисних споруд розрахована в завданні 2.5.

Розв'язання. В якості коагулянту приймаємо очищений $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$. Якщо немає даних технологічних досліджень, дозу коагулянту визначаємо згідно [1, п. 10.4.2]:

– за забарвленістю води [1, формула (5), п.10.4.2].

$$D_k = 4\sqrt{3} = 4\sqrt{54} = 29,4 \text{ мг/дм}^3; \quad (3.1)$$

– для каламутних вод за кількістю завислих речовин згідно таблиці 17 [1, п. 10.4.2] дозу коагулянту приймаємо $34,5 \text{ мг/дм}^3$.

При одночасному вмісті в воді завислих речовин і забарвленості приймають більшу з найдених доз коагулянту – $34,5 \text{ мг/дм}^3$.

За товарним продуктом з вмістом безводної солі $Al_2(SO_4)_3$ – 45,3 % доза коагулянту складатиме $D_k = 76,16 \text{ мг/дм}^3$.

Загальна добова витрата коагулянту:

$$G_k = \frac{D_k \cdot Q_{oc}}{10^6}, \text{ т/добу}; \quad (3.2)$$

$$G_k = \frac{76,16 \cdot 77102,4}{10^6} = 5,84 \text{ т/добу.}$$

Добова витрата води на приготування 5%-го розчину коагулянту:

$$Q_{вк} = \frac{G_{вк} \cdot 95}{5}, \text{ м}^3/\text{добу}; \quad (3.3)$$

$$Q_{вк} = \frac{5,87 \cdot 95}{5} = 111,57 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Завдання 3.2. Визначити дозу флокулянта для води, яка надходить на очисні споруди з показниками, наведеними в завданні 1.1. Продуктивність водоочисних споруд розрахована в завданні 2.5.

Розрахувати площу складу для зберігання флокулянту.

Розв'язання. Найбільшого поширення отримав флокулянт поліакриламід (ПАА). Приймаємо ПАА технічної марки «А». Доза ПАА – 0,5 мг/дм³. Кількість товарного продукту ПАА з вмістом корисної частини 8 % складе 6,25 мг/дм³.

Добова потреба ПАА:

$$G_{\text{ПАА}} = \frac{D_{\text{ПАА}}^{\text{ТОВ}} \cdot Q_{\text{Ос}}}{10^6} \text{ т/добу}; \quad (3.4)$$

$$G_{\text{ПАА}} = \frac{6,25 \cdot 77102,4}{10^6} = 0,48 \text{ т/добу}.$$

Робочий об'єм 1 %-го розчину ПАА:

$$\text{ПАА} = \frac{G_{\text{ПАА}} \cdot 100}{1}, \text{ м}^3; \quad (3.5)$$

$$\text{ПАА} = \frac{0,48 \cdot 100}{1} = 48 \text{ м}^3.$$

Кількість води для приготування 0,4 %-го розчину ПАА:

$$Q_{\text{Вода}}^{\text{ПАА}} = \frac{G_{\text{ПАА}}^{\text{ТОВ}} \cdot 99,6}{0,4}, \text{ м}^3/\text{добу}; \quad (3.6)$$

$$Q_{\text{Вода}}^{\text{ПАА}} = \frac{0,48 \cdot 99,6}{0,4} = 119,52 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Робочий об'єм 0,4 %-го розчину ПАА, потрібного на добу, складає:

$$Q_{\text{ПАА}} = \frac{G_{\text{Вода}}^{\text{ПАА}} \cdot 100}{99,6}, \text{ м}^3; \quad (3.7)$$

$$Q_{\text{ПАА}} = \frac{119,52 \cdot 100}{99,6} = 120 \text{ м}^3.$$

ПАА зберігають у критих приміщеннях при температурі не вище за 25–30 °С. Термін зберігання не більше 6 місяців. Площу складу для ПАА, м², визначаємо за формулою:

$$F = \frac{n \cdot f \cdot \alpha}{n_{\text{ярус}}}, \text{ м}^2, \quad (3.8)$$

де n – кількість ящиків ПАА, розрахована на 15-добове зберігання, шт.;
 f – площа ящика з ПАА, м² (в даному випадку 0,3 м²);
 α – коефіцієнт, який враховує площу проходів, $\alpha = 1,15$;
 $n_{\text{ярус}}$ – кількість установлених в ярус ящиків ПАА. Прийнято 4 яруси.

Оскільки добова потреба ПАА становить 0,48 т/добу, то при 15-добовому запасі кількість ящиків при вазі 50 кг становить:

$$n = \frac{G_{\text{ПАА}} \cdot 15}{50}, \text{ шт.}; \quad (3.9)$$

$$n = \frac{480 \cdot 15}{50} = 144 \text{ шт.},$$

тоді

$$F = \frac{144 \cdot 0,3 \cdot 1,15}{4} = 12,42 \text{ м}^2.$$

Приймаємо склад для зберігання ПАА з розмірами 3 м × 4,5 м = 13,5 м².

Завдання 3.3. Визначити витрату вапна для води, яка надходить на очисні споруди з показниками, наведеними в завданні 1.1. Продуктивність водоочисних споруд розрахована в завданні 2.5.

Розв'язання. Вапно на станціях обробки води для господарсько-питних цілей може застосовуватися як для поліпшення умов утворення пластівців, так і для стабілізаційної обробки води.

Спочатку визначаємо дозу луку для поліпшення умов утворення пластівців [1, формула (6), п. 10.4.6)]:

$$D_V^1 = K_L \cdot \left(\frac{D_K}{E_K} - L_{\text{заг}} \right) + 1, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.10)$$

де K_L – коефіцієнт, який приймають для вапна (за CaO) – 28, для соди (за Na₂CO₃) – 53;

D_K – доза коагулянту за безводним продуктом, мг/дм³;

E_K – еквівалентна маса коагулянту (безводного), мг/мг-екв; приймають для Al₂(SO₄)₃ – 57, FeCl₃ – 54, Fe₂(SO₄)₃ – 67;

$L_{\text{заг}}$ – лужність вихідної води (до коагуляції), мг-екв/дм³.

$$D_V^1 = 28 \cdot \left(\frac{34,5}{57} - 1,4 \right) + 1 = -21,25 \text{ мг/дм}^3.$$

Негативна доза луку вказує на те, що підлужування не потрібно.

За відсутності даних технологічних аналізів стабільність води допускається визначити за індексом насичення [1, додаток Г, формула (Г.1)]:

$$J = \text{pH}_0 - \text{pH}_S, \quad (3.11)$$

де pH_0 – показник концентрації водневих іонів у воді до стабілізаційної обробки;

pH_S – pH рівноважного насичення води карбонатом кальцію, визначають за номограмою, наведеною на рисунку Г.1 [1, додаток Г], виходячи зі значень вмісту кальцію C_{Ca} , загального солемісту P , лужності $L_{\text{заг}}$ і температури води t , °С.

Показник концентрації водневих іонів за рівноважного насичення води карбонатом кальцію pH_S визначають на підставі вихідних даних:

$C_{\text{Ca}} = 56 \text{ мг/дм}^3$; $L_{\text{заг}} = 1,4 \text{ мг-екв/дм}^3$; $P = 0,4 \text{ г/дм}^3$; $t = 13,1 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$l_1 = 6,1 \text{ см}, l_2 = 5,9 \text{ см},$$

$$l = 6,1 + 5,9 = 12,0 \text{ см},$$

$$\text{pH}_S = 8,5.$$

Оскільки вода піддається обробці сульфатом алюмінію, то під час підрахунку індексу насичення слід враховувати зниження рН і лужності води внаслідок додавання до неї коагулянту [1, дод. Г.3].

Лужність води після коагулювання визначають за [1, дод. Г]:

$$L_K = L_{\text{заг}} - \frac{D_K}{e_K}, \text{ мг-екв/дм}^3, \quad (3.12)$$

$$L_K = 1,4 - \frac{34,5}{57} = 0,84 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Кількість вільного двоокису вуглецю у воді після коагулювання $(\text{CO}_2)_{\text{вільн}}$ визначають за формулою:

$$(\text{CO}_2)_{\text{вільн}} = (\text{CO}_2)_0 + 44 \cdot \frac{D_K}{e_K}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.13)$$

де $(\text{CO}_2)_0$ – концентрація вуглекислоти у вихідній воді до коагулювання, мг/дм³; визначається залежно від рН, солевмісту, температури, лужності вихідної води за номограмою [1, додаток Г.3].

$$l_1 = 4,8 \text{ см}, l_2 = 3,0 \text{ см},$$

$$\Sigma l = 7,8 \text{ см}.$$

$$(\text{CO}_2)_0 = \Sigma l = 7,8 = 6 \text{ мг/дм}^3,$$

$$(\text{CO}_2)_{\text{вільн}} = 6 + 44 \cdot \frac{34,5}{57} = 2,63 \text{ мг/дм}^3.$$

Величину рН води після обробки коагулянтном визначаємо за номограмою [1, додаток Г.3], виходячи зі значень лужності води й вмісту в ній двоокису вуглецю після коагулювання:

$$\text{pH}_0 = l_2 = \Sigma l - l_1, \text{ см}, \quad (3.14)$$

$$\Sigma l = 6,8 \text{ см} \quad l_2 = 2,2 \text{ см}$$

$$\text{pH}_0 = l_1 = 6,8 - 2,2 = 4,4 \text{ см} = 7,5$$

тоді

$$J = 7,5 - 8,5 = -1,0.$$

Індекс насичення має негативне значення, отже для захисту труб від корозії і утворення горбистих корозійних відкладень треба передбачати стабілізаційну обробку води лужним реагентом (вапном, содою або цими реагентами разом) більше трьох місяців у році згідно з [1].

Дозу вапна слід визначати за [1, додаток Г.5]:

$$D_B^2 = 28 \cdot \beta_B \cdot K_t \cdot L_K, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.15)$$

де D_B^2 – доза вапна, мг/дм³, розраховуючи на СаО;

β_B – коефіцієнт, який визначають за номограмою – рисунок Г.4 [1, дод. Г] залежно від рН води до стабілізаційної обробки (після коагулювання) та індексу насичення J, $\beta_B = 0,8$;

K_t – коефіцієнт, який залежить від температури води: при $t=20^\circ\text{C}$ – $K_t=1$;
при $t = 50^\circ\text{C}$ – $K_t=1,3$;

L_K – лужність води до стабілізаційної обробки, мг-екв/дм³.

$$D_B^2 = 28 \cdot 0,27 \cdot 1 \cdot 0,84 = 6,45 \text{ мг/дм}^3.$$

При виборі реагенту слід керуватися результатом обчислення дози лугу за формулою Г.6 [1, додаток Г]:

$$d_L = 0,7 \cdot \left[\frac{(\text{CO}_2)_{\text{вільн}}}{22} + L_K \right], \text{ мг-екв/дм}^3, \quad (3.16)$$

$$d_L = 0,7 \cdot \left[\frac{32,63}{22} + 0,8 \right] = 1,6 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Оскільки доза вапна $D_B/28$, ммоль/дм³, виходить менше величини d_L , то як реагент для стабілізаційної обробки води приймаємо вапно.

Для перерахування D_B в масові одиниці технічного продукту (D_B^T , мг/дм³) слід користуватися формулою:

$$D_B^T = D_B \cdot \frac{100}{c_L}, \text{ мг/дм}^3, \quad (3.17)$$

$$D_B^T = 6,45 \cdot \frac{100}{60} = 10,75 \text{ мг/дм}^3.$$

Добова витрата товарного вапна:

$$Q_B = D_B^T \cdot Q_{OC}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (3.18)$$
$$Q_B = 10,75 \cdot 77\,102,4 = 839\,005,005 \text{ мг} = 0,83 \text{ т}.$$

Тема 4 Розрахунок технологічних схем приготування реагентів

Завдання 4.1. Підібрати обладнання та розрахувати розміри баків для схеми, яка наведена на рисунку 4.1. Продуктивність водоочисних споруд розрахована в завданні 2.5. Добова витрата товарного коагулянту розрахована в завданні 3.1.

Розв'язання. На водопровідні очисні споруди коагулянт доставляють автосамоскидами й завантажують у розчинні баки **1**, де готують 17 %-вий розчин. Прийнято мокре зберігання коагулянту у баках-сховищах **2**. Із цих баків кислотостійким насосом **3** коагулянт перекачують у витратні баки **4**. Відбирають розчин з верхнього шару через шланг, прикріплений до поплавця.

У витратні баки подають воду для розведення розчину коагулянту до 5 %-ої концентрації. Потім цей розчин насосами-дозаторами **5** перекачують у трубопровід перед змішувачем. Для поліпшення процесу перемішування подають повітря повітродувкою **6**.

Об'єм розчинних баків, який розраховують на прийом коагулянту від одного самоскида вантажопідйомністю 5 т з розрахунку 1,5 м³ на 1 т коагулянту.

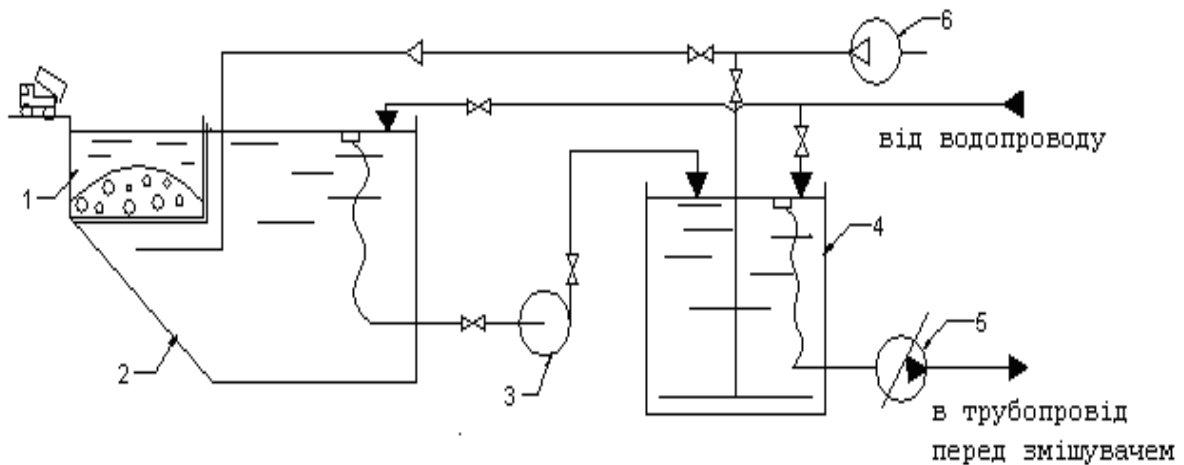


Рисунок 4.1 – Схема реagentного господарства з мокрим зберіганням коагулянту

Ємкість бака $1,5 \text{ м} \times 5 \text{ м} = 7,5 \text{ м}^3$. Розміри бака приймаємо $2 \text{ м} \times 2 \text{ м} \times 2 \text{ м}$. Проектуємо встановлення 3 таких баків. Тривалість розчинення за температури води $3 \text{ }^\circ\text{C}$ (для зимових умов) приймаємо 4 год. Для інтенсифікації процесу розчинення в баки подають стиснене повітря. Ємкість баків-сховищ визначають з розрахунку 15–30 добового зберігання 17 %-го розчину коагулянту за формулою:

$$W_{\text{б.сх}} = \frac{D_{\text{к}} \cdot Q_{\text{ос}} \cdot T_{\text{сх}}}{10 \cdot v_{\text{б.сх}} \cdot \rho_{\text{б.сх}}}, \text{ м}^3 \quad (4.1)$$

де $D_{\text{к}}$ – доза коагулянту за безводним продуктом, мг/л;
 $Q_{\text{ос}}$ – повна продуктивність очисних споруд, $\text{м}^3/\text{добу}$;
 $T_{\text{сх}}$ – розрахункова тривалість зберігання розчину коагулянту (15 діб);
 $v_{\text{б.сх}}$ – концентрація розчину в баках-сховищах (17 %);
 $\rho_{\text{б.сх}}$ – щільність розчину коагулянту (1190 кг/м^3).

$$W_{\text{б.сх}} = \frac{76,16 \cdot 77102,4 \cdot 15}{10 \cdot 17 \cdot 1190} = 435,4 \text{ м}^3.$$

Отриманий об'єм баків-сховищ може бути зменшений на сумарну ємкість розчинних баків.

Приймаємо до проектування три баки. Робочий об'єм одного бака:

$$6 \cdot 9 \cdot 2,7 = 145,8 \text{ м}^3.$$

Ємкість видаткових баків визначаємо за формулою:

$$W_{\text{вид}} = \frac{D_{\text{к}} \cdot Q_{\text{ос.год}} \cdot T_{\text{сх}}}{10 \cdot v_{\text{б.вид}} \cdot \rho_{\text{б.вид}}}, \text{ м}^3, \quad (4.2)$$

де $Q_{\text{ос.год}}$ – повна продуктивність очисних споруд, $\text{м}^3/\text{год}$;

$T_{\text{сх}}$ – кількість годин роботи станції, на яку розраховується об'єм розчину коагулянту у видаткових баках, приймаємо 10 год;

$v_{\text{б.вид}}$ – концентрація розчину у видаткових баках, рахуючи по безводному продукту – 5 %;

$\rho_{\text{б.вид}}$ – щільність 5 % розчину коагулянту, 1 050 кг/м³.

$$W_{\text{вид}} = \frac{76,16 \cdot 3212,2 \cdot 10}{10 \cdot 5 \cdot 1050} = 46,6 \text{ м}^3.$$

Приймаємо до проектування два баки розмірами 5 м × 4 м × 1,2 м і об'ємом 24 м³.

Для дозування розчину розраховуємо продуктивність дозатора:

$$Q_{\text{нд}} = \frac{W_{\text{вид}} \cdot 1000}{t_{\text{пр}}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{нд}} = \frac{24 \cdot 1000}{10} = 2,4 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Приймаємо три дозатора марки НД 2500/10 продуктивністю 2,5 м³/год, напором 100 м (2 робочих, 1 резервний) [7].

Для перекачування розчину з баків-сховищ у видаткові приймаємо два хімічно-стійких насоса марки МВ 80 продуктивністю 6 м³/год, напором 6 м (1 робочий, 1 резервний) [6].

Трубопроводи реагентного господарства прокладають із поліетиленових труб. Швидкість руху розчину має бути не менше 0,8 м/с.

Відповідно до витрати $Q_{\text{к}} = 2,4 \text{ м}^3/\text{год} = 0,15 \text{ л/с}$, до монтажу приймаємо поліетиленові труби діаметром $d = 16 \text{ мм}$, швидкість руху $v = 1,33 \text{ м/с}$.

Розраховку витрату стисненого повітря, яке подають в розчинні баки, визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{пк}}^1 = 0,06 \cdot i_{1\text{п}} \cdot F_{\text{р}} \cdot n, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (4.4)$$

де $i_{1\text{п}}$ – інтенсивність подачі повітря для розчинення, згідно [1, п. 10.4.10] приймаємо 10 л/с·м²;

$F_{\text{р}}$ – площа розчинного бака, дорівнює 7,5 м²;

n – кількість розчинних баків.

$$Q_{\text{пк}}^1 = 0,06 \cdot 10 \cdot 7,5 \cdot 3 = 13,5 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Кількість стисненого повітря, який подають у витратний бак для перемішування розчину, визначаємо за формулою:

$$Q_{\text{пк}}^2 = 0,06 \cdot i_{2\text{п}} \cdot F_{\text{вид}} \cdot n, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (4.5)$$

де $i_{2\text{п}}$ – інтенсивність подачі повітря для змішування, згідно [1, п. 10.4.10] приймаємо 5 л/с·м²;

$F_{\text{вид}}$ – площа одного витратного бака, 20 м².

$$Q_{\text{пк}}^2 = 0,06 \cdot 5 \cdot 20 \cdot 2 = 12 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Загальна витрата стисненого повітря для приготування розчину коагулянту:

$$Q_{\text{заг}}^{\text{ПК}} = Q_{\text{ПК}}^1 + Q_{\text{ПК}}^2, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{заг}}^{\text{ПК}} = 13,5 + 12,0 = 25,5 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Приймаємо дві повітродувки (1 робоча, 1 резервна) марки CONTINENTAL 08.01-08.10 продуктивністю 10–27 м³/хв [10].

Передбачаємо прокладку трубопроводів з поліетиленових труб згідно з витратою стисненого повітря $Q_{\text{ПК}} = 0,175 \text{ м}^3/\text{с}$. Швидкість руху повітря дорівнює $v = 12 \text{ м/с}$, діаметр трубопроводу визначаємо за формулою:

$$\omega = \frac{Q}{V}, \text{ м}^2, \quad (4.7)$$

$$\omega = \frac{0,175}{12} = 0,014 \text{ м}^2;$$

тоді діаметр труб:

$$d = \sqrt{\frac{4\omega}{\pi}}, \text{ м}, \quad (4.8)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,014}{3,14}} = 0,13 \text{ м}.$$

Діаметр труб приймаємо відповідно до сортаменту – 140 мм.

Завдання 4.2. Підібрати обладнання та розрахувати розміри баку для схеми, яка наведена на рисунку 4.2. Продуктивність водоочисних споруд розрахована в завданні 2.5. Добова витрата товарного флокулянту розрахована в завданні 3.2.

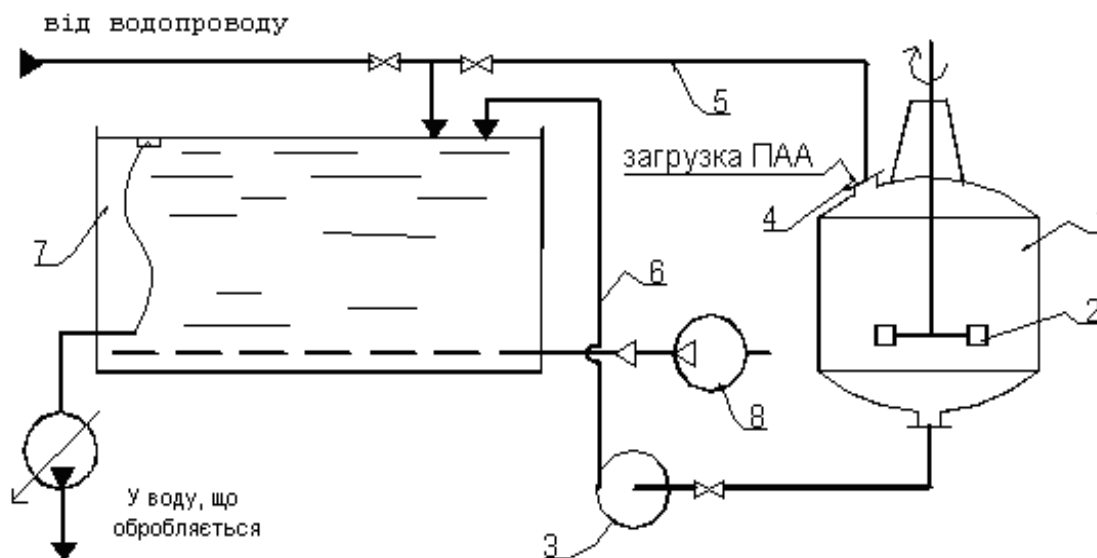


Рисунок 4.2 – Схема приготування розчину ПАА

Розв'язання. ПАА завантажують в апарат 1 з турбінною швидкохідною мішалкою 2. При прийнятій робочій ємкості апарата 6 м³ розчин необхідно готувати 8 разів на добу. Для перекачування 1 %-го розчину ПАА з мішалки у витратний бак 7 встановлено насос 3 марки МВ 80, продуктивністю 6 м³/год,

напором 6 м [6]. Насос працюватиме 8 раз на добу по 60 хв. Час приготування робочого розчину ПАА (включаючи зважування, завантаження, перемішування і перекачування) становить близько 2 год. Кількість ПАА який необхідно завантажити за один раз в апарат:

$$m = \frac{G_{\text{ПАА}}^{\text{ТОВ}}}{n_{\text{зав}}}, \text{ кг}, \quad (4.9)$$

$$m = \frac{0,48}{8} = 0,06 \text{ т} = 60 \text{ кг}.$$

ПАА масою 60 кг завантажують через люк 4, в апарат по трубопроводу 5 подають воду в кількості, яка необхідна для приготування 1 %-го розчину. Після закінчення циклу перемішування насосом 3 розчин по трубопроводу 6 перекачують у бак 7 для розведення до робочої концентрації (0,4 %), зберігання і дозування.

Приймаємо для установки два витратних баки по $(120 / (8 \times 2) = 7,5 \text{ м}^3)$ з розмірами 2 м × 2 м × 2 м кожний.

У баки для перемішування розчину від повітродувки 8 подають стиснене повітря. Витрата повітря для двох баків:

$$Q_{\text{паа}} = 0,06 \cdot i_{\text{в}} \cdot F_{\text{витр}} \cdot n, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (4.10)$$

де n – кількість баків, шт.;

i – інтенсивність подачі повітря, л/с·м².

$$Q_{\text{паа}} = 0,06 \cdot 5 \cdot 4 \cdot 2 = 2,4 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Приймаємо дві повітродувки (1 робочу, 1 резервну) марки CONTINENTAL 08.01-08.10 [10] продуктивністю 1–17 м³/хв.

Подачу розчину ПАА виконують насосами-дозаторами типу НД 2500/10 [7] продуктивністю 2,5 м³/год та напором 100 м (1 робочий, 1 резервний).

Завдання 4.3. Підібрати обладнання та розрахувати розміри баку для схеми, яка наведена на рисунку 4.3. Продуктивність водоочисних споруд розрахована в завданні 2.5. Добова витрата товарного вапна розрахована в завданні 3.3.

Розв'язання. Вапно з контейнера 1 надходить у бункер 2 і далі в вапногасник 4, де відбувається його гасіння. Приймаємо два термомеханічних вапногасника СМ–1247 А продуктивністю 2 т/год [9].

Добова масова витрата 30 %-го вапняного молока:

$$Q_{\text{вап}}^{30\%} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot 100\%}{30\%}, \text{ т/добу}, \quad (4.11)$$

$$Q_{\text{вап}}^{30\%} = \frac{0,83 \cdot 100}{30\%} = 2,76 \text{ т/добу}.$$

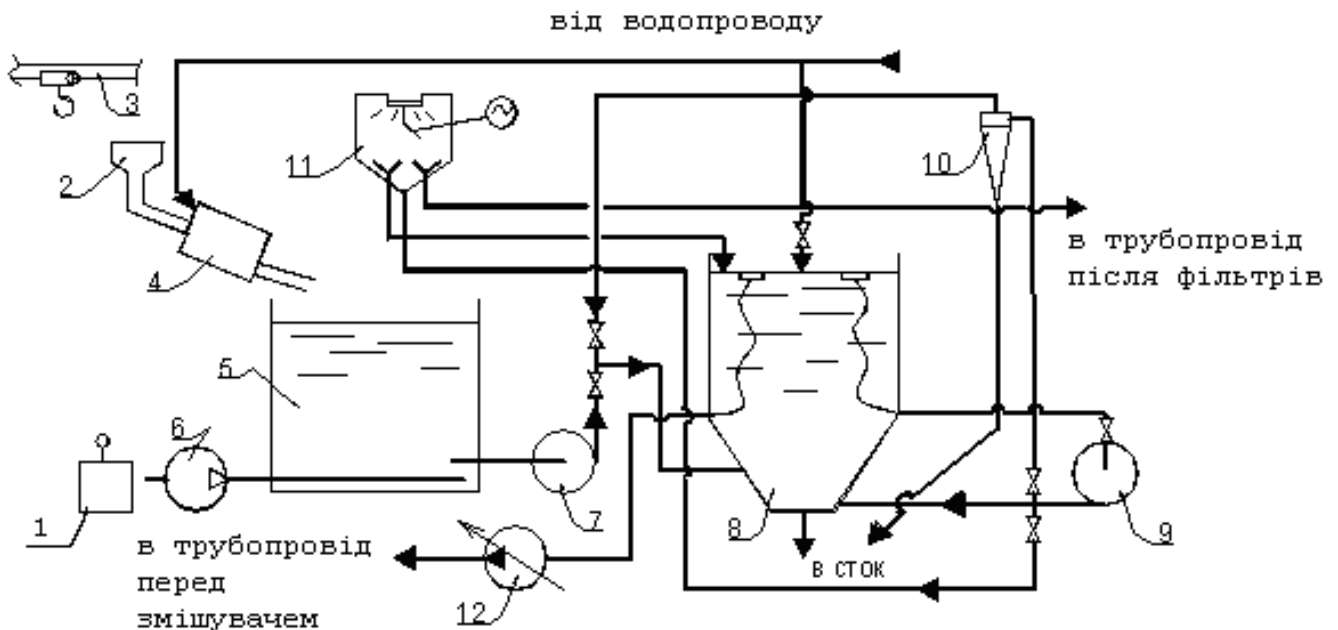


Рисунок 4.3 – Схема приготування вапняного молока

Добова масова витрата 3 %-го вапняного молока:

$$Q_{\text{вап}}^{3\%} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot 100\%}{3\%}, \text{ т/добу}, \quad (4.12)$$

$$Q_{\text{вап}}^{3\%} = \frac{0,83 \cdot 100}{3\%} = 27,66 \text{ т/добу}.$$

При щільності 30 %-го вапняного молока $\rho = 1,2 \text{ т/м}^3$ його добова об'ємна витрата дорівнює:

$$V^{30\%} = \frac{m^{30\%}}{\rho}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.13)$$

$$V^{30\%} = \frac{2,76}{1,2} = 2,3 \text{ м}^3/\text{добу};$$

а 3 %-го

$$V^{3\%} = \frac{m^{3\%}}{\rho}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.14)$$

$$V^{3\%} = \frac{27,66}{1,02} = 27,12 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Приймаємо три баки для приготування 30 %-го розчину вапняного молока з розмірами – $1,0 \text{ м} \times 1,5 \text{ м} \times 1,6 \text{ м}$.

Розрахункова витрата повітря, яке подають в бак для покращення перемішування:

$$Q_{\text{пов}} = 0,06 \cdot i_{\text{пов}} \cdot F_{\text{б}}, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (4.15)$$

де $i_{\text{пов}}$ – інтенсивність подачі повітря в розчинні баки, $\text{л/с} \cdot \text{м}^2$; приймають згідно [1, п. 10.4.23] $i_{\text{пов}} = 8-10 \text{ л/с} \cdot \text{м}^2$.

$$Q_{\text{пов}} = 0,06 \cdot 10 \cdot 2,4 = 1,44 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Перемішування вапняного молока проводять стисненим повітрям, яке надходить від повітродувки CONTINENTAL 08.01-08.10 (1 робоча, 1 резервна) **6** з інтенсивністю 1–17 м³/хв [10].

Для подачі 30 %-ого вапняного молока в гідромішалки **8** до установки приймаємо два насоса марки МВ 80 **7** продуктивністю 6 м³/год, напором 6 м (1 робочий, 1 резервний) [6]. Цей насос перекачує вапняне молоко протягом 23 хв.

У витратних баках вапняного молока варто застосовувати гідравлічне перемішування (за допомогою насосів) або механічне (за допомогою мішалок) [1, п. 10.4.23]. Для установки прийняті дві гідравлічні циркуляційні мішалки вапняного молока марки МГІ–4 з параметрами: D = 1 610 мм, H = 3 800 мм, V = 4 м³, які працюють по черзі [12].

Оскільки вапняне молоко застосовують для стабілізаційної обробки, воно не має містити забруднень і шкідливих домішок. Для очищення вапняного молока слід застосовувати вертикальні відстійники або гідроциклони [1, п. 10.4.22].

Для відомої витрати 3 %-го вапняного молока $2,3/24 = 0,096$ м³/год приймаємо два гідроциклони ГЦП–75 з діаметром D = 75 мм (відповідно до кількості гідромішалок) [15]. Продуктивність гідроциклону при тиску на вході від 0,6 до 2,5 кгс/см² становить 3–10 м³/год. Приготовлене в гідромішалці 3 %-ве вапняне молоко забирають циркуляційним насосом СД 50/56 **9** [11] і подають для очищення у гідроциклон **10**, укріплений над мішалкою. З гідроциклону вапняне молоко надходить у конічну частину гідромішалки в кількості 94% від об'єму гідромішалки, тобто 3,76 м³; залишкова частина 0,24 м³ йде на злив.

Знаючи об'єм вапна, яке надходить з гідромішалки в оброблювану воду 2,3 м³, визначаємо, що в гідромішалках треба заготовлювати вапно приблизно 6 раз на добу. Насос, який перекачує 30 %-ве вапняне молоко в гідромішалки, працює по 5 хв 6 разів на добу.

Після очищення в гідроциклоні при безперервній циркуляції в гідромішалці починається подача вапняного молока в дозатор, з якого воно надходить в оброблювану воду. Прийнято два робочих дозатора марки НД 100/10 продуктивністю 100 л/год, напором 10 м (відповідно до кількості гідромішалок) [13].

Швидкість висхідного потоку в гідромішалці повинна бути не менше 5 мм/с [1, п. 10.4.23] або 18 м/год, Для прийнятого насоса швидкість висхідного потоку:

$$W_{\text{вап}} = \frac{Q_{\text{вап}}}{F_{\text{гідр}}}, \text{ м/год}, \quad (4.16)$$

$$W_{\text{вап}} = \frac{50 - 1,13}{2,04} = 23,95 \text{ м/год.}$$

Кількість води, яка необхідна для приготування 3 %-го вапняного молока:

$$Q_{\text{вл}} = \frac{Q_{\text{в}} \cdot 97}{3}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (4.17)$$

$$Q_{\text{вл}} = \frac{0,83 \cdot 97}{3} = 26,84 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Визначаємо площу складу з урахуванням 15-добового запасу вапна (постачальник перебуває поблизу станції).

При добовій витраті товарного вапна 0,83 т запас її має становити 12,45 т при насипній масі 1 т/м³ вона займе об'єм приблизно 13 м³.

Контейнери марки КГС-5 мають об'єм 5,1 м³ (довжина 2100 мм, ширина 1 325 мм і висота 2 440 мм). На станції має бути запас із 3-х контейнерів.

При установці контейнерів у два ряди по вертикалі з урахуванням коефіцієнту запасу площа складу складе:

$$F_{\text{ск}} = \frac{N \cdot f \cdot \alpha}{n_{\text{ярус}}}, \text{ м}^2, \quad (4.18)$$

де N – кількість контейнерів;

f – площа контейнеру (0,6 м²);

α – коефіцієнт, який вводять для збільшення площі на проходи (1,5);

n_{ярус} – кількість встановлених ярусів контейнерів.

$$F_{\text{ск}} = \frac{3 \cdot 0,6 \cdot 1,5}{2} = 6,26 \text{ м}^2.$$

Приймаємо площу складу 2,5 м × 3 м = 7,5 м².

Тема 5 Розрахунок гідравлічного змішувача реагентів із водою

Завдання 5.1. Розрахувати розміри вертикального змішувача. Розрахункова витрата води 78 071,17 м³/добу.

Розв'язання. Приймаємо чотири вертикальних змішувача. Змішувач складається із прямокутної верхньої і пірамідальної нижньої частини.

Площа горизонтального перетину у верхній частині змішувача:

$$f_{\text{в}} = \frac{Q_{\text{ГОД}}}{v_{\text{в}} \cdot n} \text{ м}^2, \quad (5.1)$$

де v_в – швидкість руху води на рівні водозбірного лотка, 30 мм/с [1, п. 10.5.6];

n – кількість змішувачів.

$$f_{\text{в}} = \frac{3252,97}{3,6 \cdot 30 \cdot 4} = 7,53 \text{ м}^2.$$

Верхня частина змішувача є квадратною в плані, тоді ширина

$$B = \sqrt{f_{\text{в}}}, \text{ м}, \quad (5.2)$$

$$B = \sqrt{7,53} = 2,7 \approx 3 \text{ м}.$$

Трубопровід, який подає воду в нижню частину змішувача при витраті води (одного змішувача) q_з = 225,9 л/с і швидкості 1,33 м/с (згідно з

[1, п.10.5.6]), має діаметр умовного проходу $d = 450$ мм [5]. Зовнішній діаметр трубопроводу, згідно з ДСТУ, дорівнює 478 мм. Тоді розмір у плані нижньої частини змішувача в місці примикання цього трубопроводу буде $0,478 \text{ м} \times 0,478 \text{ м}$, а площа нижньої частини усіченої піраміди складе $0,23 \text{ м}^2$.

Приймаємо величину центрального кута 45° . Тоді висота нижньої (пірамідальної) частини змішувача:

$$h_{\text{Н}} = \sqrt{f_{\text{В}}} = \frac{0,5 \cdot (B - b)}{\text{tg}15^\circ}, \text{ м}, \quad (5.3)$$

$$h_{\text{Н}} = 0,5 \cdot \frac{(3 - 0,478)}{\text{tg}15^\circ} = 4,7 \text{ м}.$$

Об'єм пірамідальної частини змішувача

$$W_{\text{Н}} = \frac{1}{3} \cdot h_{\text{Н}} \cdot (f_{\text{В}} + f_{\text{Н}} + \sqrt{f_{\text{В}} \cdot f_{\text{Н}}}), \text{ м}^3, \quad (5.4)$$

$$W_{\text{Н}} = \frac{1}{3} \cdot 4,7 \cdot (7,53 + 0,23 + \sqrt{7,53 \cdot 0,23}) = 14,2 \text{ м}^3.$$

Повний об'єм змішувача

$$W = \frac{Q_{\text{год}} \cdot t}{60 \cdot n}, \text{ м}^3, \quad (5.5)$$

де t – тривалість змішування реагенту з масою води, згідно [1, п. 10.5.9] $t = 2$ хв;

$$W = \frac{3252,97 \cdot 2}{60 \cdot 4} = 27,11 \text{ м}^3.$$

Об'єм верхньої частини змішувача

$$W_{\text{В}} = W - W_{\text{Н}}, \text{ м}^3, \quad (5.6)$$

$$W_{\text{В}} = 27,11 - 14,2 = 13 \text{ м}^3.$$

Висота верхньої частини змішувача

$$h_{\text{В}} = \frac{W_{\text{В}}}{f_{\text{В}}}, \text{ м}, \quad (5.7)$$

$$h_{\text{В}} = \frac{13,7}{7,53} = 1,73 \text{ м}.$$

Повна висота змішувача

$$h = h_{\text{В}} + h_{\text{Н}}, \text{ м}, \quad (5.8)$$

$$h = 4,7 + 1,73 = 6,43 \text{ м}.$$

Завдання 5.2. Визначити діаметр труб для збору води після змішування та розрахувати кількість отворів на них. Для виконання завдання використовувати розрахунки з завдання 5.1.

Розв'язання. Збір води виконують у верхній частині змішувача двома затопленими дірчастими трубами, які відводять воду до збірної бічної

кармана. Відстань між трубами по осях – 0,97 м, до стін – 0,485 м. Швидкість руху води в трубі $V_{\text{тр}} = 0,6$ м/с.

Вода, яка протікає по трубах у напрямку бічного карману, розділяється на два паралельних потоки, тому розрахункова витрата кожного потоку

$$q_{\text{тр}} = \frac{Q_{\text{год}}}{2}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (5.9)$$

$$q_{\text{тр}} = \frac{3252,97}{2 \cdot 4} = 406,62 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Площа живого перерізу збірної труби

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{q}{V \cdot 3600}, \text{ м}^2, \quad (5.10)$$

$$\omega_{\text{тр}} = \frac{406,62}{3600 \cdot 0,6} = 0,19 \text{ м}^2.$$

Розраховуємо діаметр труби для одного потоку:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \omega_{\text{тр}}}{\pi}}, \text{ м}, \quad (5.11)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,19}{3,14}} = 0,28 \text{ м}.$$

Вибираємо найближчий сортамент труби $d = 300$ мм. Приймаємо діаметр отворів на збірних трубах 25 мм ($f_o = 0,00049 \text{ м}^2$).

Сумарну площу отворів визначаємо за формулою:

$$\Sigma f_o = K_{\text{п}} \cdot f_{\text{тр}}, \text{ м}^2, \quad (5.12)$$

$$\Sigma f_o = 0,6 \cdot 0,071 = 0,042 \text{ м}^2.$$

Кількість отворів

$$n = \frac{\Sigma f_o}{f_o}, \text{ шт.}, \quad (5.13)$$

$$n = \frac{0,042}{0,00049} = 86 \text{ шт}.$$

Приймаємо 86 отворів. Отвори розташовують у два ряди по бічних поверхнях, тобто по 43 отвори з кожної сторони труби.

Перевищення рівня води в змішувачі над віссю збірної труби при її роботі повним перерізом

$$H_{\text{т}} = (\varepsilon_{\text{т}} + \varepsilon_{\text{тр}}) \cdot \frac{v_{\text{тр}}^2}{2g}, \text{ м}, \quad (5.14)$$

де $\varepsilon_{\text{т}}$ – коефіцієнт опору перфорованої ділянки труби, дорівнює 6,5.

$\varepsilon_{\text{тр}}$ – сумарний коефіцієнт місцевих опорів (вхід у трубу дорівнює 1, втрати на виході з труби в бічний карман дорівнюють 1).

$$H_T = (6,5 + 2) \cdot \frac{0,6^2}{2 \cdot 9,81} = 0,156 \text{ м.}$$

Відстань від дна труби до дна збірного карману

$$H_{\text{кар}} = 1,73 \cdot 3 \sqrt{\frac{q_{\text{кар}}^2}{g \cdot B^2}} + 0,2, \text{ м,} \quad (5.15)$$

де $q_{\text{кар}}$ – витрата води по кишені, м³/с (розрахункова витрата одного змішувача):

$$q_{\text{кар}} = 3\,252,97 : (4 \cdot 3600) = 0,23 \text{ м}^3/\text{с};$$

B – ширина карману, м, приймаємо $B = 0,7$ м.

$$H_{\text{кар}} = 1,73 \cdot 3 \sqrt{\frac{0,23^2}{9,81 \cdot 0,7^2}} + 0,2 = 0,6 \text{ м.}$$

Витрата води, яка протікає по відвідній трубі – 903,6 л/с. Швидкість у цьому трубопроводі повинна бути 0,8–1 м/с, час перебування менше 2 хв. Прийнято сталевий трубопровід діаметром 1 200 мм при швидкості руху $V = 0,8$ м/с.

Тема 6 Розрахунок камери утворення пластівців та горизонтального відстійника

Завдання 6.1. Розрахувати розміри камери утворення пластівців із шаром завислого осаду. Витрата води яка надходить в камери утворення пластівців – 78 191,17 м³/добу. Кількість камер – 6 штук. Ширина однієї камери – 6 м.

Розв'язання. Розподіл води по площі камери виконують за допомогою перфорованих труб через отвори, які спрямовані горизонтально. У кожній камері розміщують перфоровані труби. Відстань між ними слід приймати 2 м, від стінки камери – 1 м [1, п. 10.7.6].

Витрата води, яка припадає на одну камеру, складе 543 м³/год.

Виходячи з якості води (середньої каламутності), швидкість висхідного потоку згідно [1, п. 10.7.6] приймаємо 0,65–1,6 мм/с.

Площа камери утворення пластівців

$$F_{\text{кп}} = \frac{Q_1}{3,6 \cdot V}, \text{ м}^2, \quad (6.1)$$

де V – швидкість висхідного потоку води у верхньому перетині, мм/с.

$$F_{\text{кп}} = \frac{543}{3,6 \cdot 1,6} = 94,27 \text{ м}^2.$$

Конструктивно розмір однієї камери приймаємо рівним ширині відстійника – 6 м, довжина 16 м, висота камери дорівнює висоті відстійника біля віджимного щита – 4,13 м. Перепад на водозлив вимірюють десятими долями міліметра (його не враховують).

Час перебування води в камерах утворення пластівців

$$t = \frac{W}{q}, \text{ хв,} \quad (6.2)$$

$$t = \frac{6 \cdot 16 \cdot 3,5}{543} = 0,62 \text{ год} = 37 \text{ хв.}$$

Шар завислого осаду приймаємо 3 м.

Завдання 6.2. Визначити діаметр труб розподільчої системи камери утворення пластівців та розрахувати кількість отворів на них. Для виконання завдання використовувати розрахунки з завдання 6.1.

Розв'язання. Оброблювана вода по площі камери розподіляється перфорованими трубами через отвори, які спрямовані горизонтально. У кожній камері розміщують перфоровані труби. Відстань між ними слід приймати 2 м, від стінки камери – 1 м [1, п. 10.7.6]. Приймаємо три труби розподільчої системи. Витрата води для кожної перфорованої труби складе $q_{\text{тр}} = 543/3 = 181 \text{ м}^3/\text{год}$ або $q_{\text{тр}} = 50,28 \text{ л/с}$.

Приймаємо сталеві труби з умовним проходом $d = 350 \text{ мм}$, швидкість руху води $V = 0,5 \text{ м/с}$ (нормативна швидкість руху води $V = 0,5\text{--}0,6 \text{ м/с}$).

Загальна площа отворів становить 30–40 % площі її поперечного перерізу [1, п. 10.7.6].

$$\Sigma f_{\text{отв}} = 0,4 \cdot \omega_{\text{тр}}, \text{ м}^2, \quad (6.3)$$

$$\Sigma f_{\text{отв}} = 0,4 \cdot 0,096 = 0,0384 \text{ м}^2.$$

Кількість отворів на одній трубі

$$n = \frac{\Sigma f_{\text{отв}}}{f_{\text{отв}}}, \text{ шт.}, \quad (6.4)$$

де $f_{\text{отв}}$ – площа отвору, м^2 ; знаходять, знаючи $d_{\text{отв}}$ – діаметр отворів, який приймаємо 25 мм [1, п. 10.7.6].

$$n = \frac{\Sigma f_{\text{отв}}}{f_{\text{отв}}} = \frac{0,038}{0,00049} = 78 \text{ шт.}$$

З камери в горизонтальний відстійник воду відводять над затопленим водозливом. Верх стінки водозливу розташовують нижче рівня води у відстійнику на величину

$$h_{\text{в}} = \frac{q_{\text{к}}}{3600 \cdot V_{\text{в}} \cdot b_{\text{к}}}, \text{ м,} \quad (6.5)$$

де $V_{\text{в}}$ – швидкість руху води через водозлив, 0,1 м/с.

$$h_{\text{в}} = \frac{543}{3600 \cdot 0,1 \cdot 6} = 0,25 \text{ м.}$$

За стінкою водозливу встановлюють підвісну перегородку, занурену на 1/4 висоти відстійника, щоб відхилити потік води до низу.

Швидкість між стінкою водозливу і перегородкою має бути не більше ніж 0,03 м/с.

Відстань від стінки водозливу до перегородки:

$$l^I = \frac{Q}{3600 \cdot V \cdot b_K}, \text{ м}, \quad (6.6)$$

$$l^I = \frac{543}{3600 \cdot 0,03 \cdot 6} = 0,84 \text{ м}.$$

Завдання 6.3. Розрахувати кількість води, яка скидається разом з осадом, під час гідравлічного його видалення з горизонтальних відстійників. Кількість води, яка надходить після відстійників на фільтри, складає 77 415,57 м³/добу. Концентрація завислих речовин у воді, яка надходить у відстійник, дорівнює 145,58 г/м³.

Розв'язання. Об'єм зони накопичення та ущільнення осаду:

$$W_{\text{ос}} = \frac{Q_{\text{ф}} \cdot T_{\text{р}} \cdot (C_{\text{в}} - M_{\text{осв}})}{N_{\text{р}} \cdot \delta}, \text{ м}^3, \quad (6.7)$$

де $C_{\text{в}}$ – концентрація завислих речовин у воді, г/м³;

$M_{\text{осв}}$ – каламутність води, яка виходить із відстійника (8–15 г/м³);

δ – середня за висотою осадової частини концентрація твердої фази в осаді, мг/дм³, приймають за таблицею 19 [1];

$T_{\text{р}}$ – період роботи між скидами осаду, $T_{\text{р}} = 1$ доба;

$N_{\text{р}}$ – кількість відстійників.

$$W_{\text{ос}} = \frac{77415,57 \cdot 1 \cdot (145,58 - 12)}{10 \cdot 20000} = 51,71 \text{ м}^3.$$

Об'єм осаду, який накопичується впродовж доби в усіх відстійниках:

$$W = N_{\text{р}} \cdot W_{\text{ос}}, \text{ м}^3, \quad (6.8)$$

$$W = 10 \cdot 51,71 \text{ м}^3.$$

Витрата води, яку скидають разом з осадом:

$$Q_{\text{о.в.}} = W \cdot K_{\text{р}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (6.9)$$

$$Q_{\text{о.в.}} = 517,1 \cdot 1,5 = 775,6 \text{ м}^3/\text{добу},$$

де $K_{\text{р}}$ – коефіцієнт розбавлення осаду водою [1, п. 10.9.9].

Завдання 6.4. Розрахувати кількість та розміри горизонтальних відстійників з гідравлічним видаленням осаду. Кількість води яка надходить після відстійників на фільтри 77 415,57 м³/добу. Кількість води, яку скидають разом з осадом 775,7 м³/добу.

Розв'язання. Витрата води, яка надходить у відстійники і камери утворення пластівців:

$$Q_{\text{ГВ}} = Q_{\text{ф}} + Q_{\text{в.о.}}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (6.10)$$

$$Q_{\text{ГВ}} = 77415,57 + 775,6 = 78191,17 \text{ м}^3/\text{добу},$$

$$Q_{\text{ГВ}} = 3257,96 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Сумарну площу горизонтальних відстійників в плані визначаємо за формулою (12) [1]:

$$F_{Г.В.} = \frac{\alpha_{об} \cdot Q_{ГВ}}{3,6 \cdot U_0}, \text{ м}^2, \quad (6.11)$$

де $\alpha_{об}$ – коефіцієнт об'ємного використання відстійників $\alpha_{об}=1,3$;
 U_0 – швидкість випадання суспензії [1, табл. 18, п. 10.7.6];
 $U_0 = 0,45$ мм/с; за умови застосування флокулянту U_0 слід збільшити на 15 %, тобто $U_0 = 0,517$ мм/с.

$$F_{Г.В.} = \frac{1,3 \cdot 3257,96}{3,6 \cdot 0,517} = 2275,6 \text{ м}^2.$$

Довжину відстійників визначаємо за формулою (13) [1, п. 10.9.2]:

$$L = \frac{H_{сер} \cdot V_{сер}}{U_0}, \text{ м}, \quad (6.12)$$

де $V_{сер}$ – розрахункова швидкість горизонтального руху води на початку відстійника [1, п. 10.9.2]; $V_{сер} = 12$ мм/с;

$H_{сер}$ – середня висота зони осадження ($H_{сер} = 3,0$ м).

$$L = \frac{3 \cdot 12}{0,517} = 69,63 \text{ м}.$$

Приймаємо довжину відстійника $L = 70$ м.

Ширина відстійників

$$B = F_{ГВ} : L, \text{ м}, \quad (6.13)$$

$$B = 2275,6 : 70 = 32,51 \text{ м}.$$

Ширина одного відстійника – 6 м.

Кількість відстійників – 6 шт.

Висота зони накопичення осаду

$$H_{з.н} = \frac{Q_{ос}}{L \cdot B}, \text{ м}, \quad (6.14)$$

$$H_{з.н} = \frac{51,71}{70 \cdot 6} = 0,12 \text{ м}.$$

Приймаємо $H_{з.н} = 0,5$ м.

Загальна висота відстійника складе: $3 + 0,5 = 3,5$ м.

Видалення осаду з відстійника передбачається гідравлічним способом за допомогою дірчатих труб. У кожному відділенні по дну розташовуються дві труби на відстані 3 м одна від одної.

Завдання 6.5. Розрахувати систему видалення осаду для горизонтального відстійника. При виконанні завдання використовувати розрахунки завдань 6.3 і 6.4.

Розв'язання. Видалення осаду приймаємо без припинення дії відстійника.
Кількість осаду:

$$P_{oc} = \frac{Q_{oc} \cdot T_p \cdot (C_B - M_{ocB})}{N_p \cdot 10^6}, \text{ т}, \quad (6.15)$$

$$P_{oc} = \frac{78191,17 \cdot 1 \cdot (145,58 - 12)}{6 \cdot 10^6} = 1,72 \text{ т.}$$

Витрата осаду, який скидають дірчастою трубою, розташованою в кожному коридорі відстійника:

$$q_{oc} = K_p \cdot \frac{P_{oc}}{n} \cdot \frac{100}{\rho_T} \cdot \frac{1}{t}, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (6.16)$$

де K_p – коефіцієнт розбавлення осаду [1, п. 10.9.9]; $K_p = 1,5$;

n – кількість труб, розташованих в одному відстійнику;

ρ_T – середній вміст твердої речовини в осаді, %, приймають 5 %;

t – тривалість скидання осаду, приймають 20–30 хв [1, п. 10.9.6].

$$q_{oc} = 1,5 \cdot \frac{1,72}{1} \cdot \frac{100}{6} \cdot \frac{1}{20} = 2,15 \text{ м}^3/\text{хв},$$

$$q_{oc} = 35,83 \text{ л/с.}$$

Приймаємо 2 труби.

$$q_{oc} = 35,83 \cdot 2 = 71,66 \text{ л/с.}$$

Розрахунок труби виконуємо за таблицями [5] з умови, що швидкість руху осаду в кінці труби має бути не менше 1 м/с. Цим умовам відповідає діаметр труби $d = 300$ мм, $i = 0,001$ 12, $V = 1,04$ м/с.

Діаметр отворів приймаємо $d_{отв} = 25$ мм ($f_{отв} = 0,000$ 49 м²).

Загальна площа отворів

$$\Sigma f_0 = k_{\Pi} \cdot f_{тр}, \text{ м}^2, \quad (6.17)$$

де k_{Π} – коефіцієнт перфорації; $k_{\Pi} = 0,7$;

$f_{тр}$ – площа поперечного перетину труби $d=0,13$ м².

$$\Sigma f_0 = 0,7 \cdot 0,13 = 0,091 \text{ м}^2.$$

Кількість отворів

$$n_p = \frac{\Sigma f_0}{f_0}, \text{ шт.}, \quad (6.18)$$

$$n_p = \frac{0,091}{0,00049} = 186 \text{ шт.}$$

Крок осі отворів, які розміщують в два ряди в шаховому порядку (нормативний крок 300–500 мм):

$$L_0 = \frac{L_{відст}}{n_0}, \text{ м}, \quad (6.19)$$

$$L_0 = \frac{70}{186} = 0,38 \text{ м.}$$

Втрати напору визначають за формулою:

$$h = \zeta \cdot \frac{V^2}{2g}, \text{ м}, \quad (6.20)$$

де V – швидкість в трубі, м/с, визначають при виборі діаметру трубопроводу;

ζ – коефіцієнт опору, приймають за формулою [1, п. 10.10.10]:

$$\zeta = \frac{2,2}{K_{\Pi}^2 + 1}, \quad (6.21)$$

$$h = 6,27 \cdot \frac{0,54^2}{2 \cdot 9,81} = 0,093 \text{ м}.$$

Завдання 6.6. Розрахувати пристрій для збору проясненої води з горизонтального відстійника. При виконанні завдання використовувати розрахунки завдань 6.3 і 6.4.

Розв'язання. Збір проясненої води здійснюють горизонтальними підвісними жолобами із затопленими отворами діаметром $d_{\text{отв}} = 25$ мм. Жолоби встановлюють на ділянці $2/3$ довжини відстійника, рахуючи від задньої торцевої стінки [1, п. 10.9.10].

Приймаємо до проєктування три жолоби завдовжки

$$l_{\text{ж1}} = \frac{2}{3} l_{\text{відст}}, \text{ м}, \quad (6.22)$$

$$l_{\text{ж1}} = \frac{2}{3} 70 = 46,67 \text{ м}.$$

Витрата води, що збирається жолобами,

$$q_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{відст}}}{n_{\text{відст}}}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (6.23)$$

$$q_{\text{ж}} = \frac{3257,96}{6} = 542,99 \text{ м}^3/\text{год} = 0,151 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Одним жолобом:

$$q_{\text{ж}} = \frac{3257,96}{6 \cdot 3} = 181 \text{ м}^3/\text{год} = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Швидкість руху води в кінці жолоба приймається від 0,6 до 0,8 м/с [1, п. 10.9.10]. Приймаємо 0,7 м/с.

Приймаємо жолоб прямокутного перетину. Перевищення рівня води у відстійнику над горизонтальним дном жолоба визначаємо за формулою:

$$H_{\text{ж}} = 0,23 \cdot \xi_{\text{ж}} \cdot \sqrt[3]{q_{\text{ж}}^2}, \text{ м}, \quad (6.24)$$

де $\xi_{\text{ж}}$ – коефіцієнт гідравлічного опору жолоба при коефіцієнті перфорації жолоба $K_{\text{ж}} = 1,03$ дорівнює 6,0.

$$H_{\text{ж}} = 0,23 \cdot 6 \cdot \sqrt[3]{0,05^2} = 0,187 \text{ м}.$$

Різницю відміток води у відстійнику і жолобі (Н) визначають з умови швидкості руху води через отвір 1 м/с. Для відстійників такого типу різниця складатиме 0,054 м.

Глибина води в жолобі

$$H'_{\text{ж}} = H_{\text{ж}} - H, \text{ м}, \quad (6.25)$$

$$H'_{\text{ж}} = 0,187 - 0,054 = 0,133 \text{ м}.$$

Ширина жолоба при швидкості руху води 0,8 м/с

$$B_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{ж}}}{H_{\text{ж}} \cdot v}, \text{ м}, \quad (6.26)$$

$$B_{\text{ж}} = \frac{0,05}{0,187 \cdot 0,8} = 0,33 \text{ м}.$$

Швидкість руху води в жолобі

$$v_{\text{ж}} = \frac{Q_{\text{ж}}}{H_{\text{ж}} \cdot B_{\text{ж}}}, \text{ м/с}, \quad (6.27)$$

$$v_{\text{ж}} = \frac{0,05}{0,187 \cdot 0,33} = 0,81 \text{ м/с}.$$

Швидкість відповідає нормативній швидкості.

Визначаємо загальну площу отворів:

$$f_{\text{ж}} = K_{\text{ж}} \cdot w_{\text{кр}} = 0,46 \cdot K_{\text{ж}} \cdot \sqrt[3]{Q_{\text{ж}}^2 \cdot B_{\text{ж}}}, \text{ м}^2, \quad (6.28)$$

де $K_{\text{ж}}$ – коефіцієнт перфорації: 1,03;

$Q_{\text{ж}}$ – витрата води, що збирається жолобом, $Q_{\text{ж}} = 0,05 \text{ м}^3/\text{с}$.

$$f_{\text{ж}} = 0,46 \cdot 1,03 \cdot \sqrt[3]{0,05^2 \cdot 0,33} = 0,044 \text{ м}^2.$$

Кількість отворів

$$n = \frac{f_{\text{ж}}}{f_{\text{отв}}}, \text{ шт.}, \quad (6.29)$$

$$n = \frac{0,05}{0,00049} = 102 \text{ шт}.$$

Отвори розташовують в шаховому порядку. Визначаємо відстань між отворами:

$$l_0 = l_{\text{ж1}} : n, \text{ м}, \quad (6.30)$$

$$l_0 = 46,67 : 102 = 0,46 \text{ м}.$$

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 Фільтрування та знезараження води.

Тема 7 Розрахунок швидких фільтрів. Розрахунок контактних прояснювачів

Завдання 7.1. Розрахувати кількість швидких фільтрів та їх розміри. Продуктивність очисних споруд 72 000 м³/добу. Кількість води, яка необхідна для приготування розчинів реагентів, розрахована в завданнях 3.1, 3.2, 3.3.

Розв'язання. Приймаємо одношарові швидкі фільтри із завантаженням різної крупності за даними [1, п. 10.12.2]. Висота фільтруючого шару з кварцового піску $H_{\phi}=1\ 500$ мм, з діаметром зерен: мінімальний $d_{\min}=0,7$ мм і максимальний $d_{\max}=1,6$ мм. Еквівалентний діаметр зерен $d_e=1,0$ мм, а коефіцієнт неоднорідності 1,8. Підтримуючий шар має висоту (загальну) 500 мм, крупність зерен від 5 до 40 мм.

Площу фільтра визначаємо за формулою (22) [1, п. 10.12.4]:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T_{\text{СТ}} \cdot v_{\text{Н}} - n_{\text{пр}} \cdot q_{\text{пр}} - n_{\text{пр}} \cdot \tau_{\text{пр}} \cdot v_{\text{Н}}}, \text{ м}^2, \quad (7.1)$$

де Q – кількість води, що надходить на швидкі фільтри, м³/добу:

$$Q = Q_{\text{ПОЛ}} + Q_{\text{ВК}} + Q_{\text{ВПАА}} + Q_{1\text{Л}} + Q_{1\text{Х}}, \text{ м}^3/\text{добу}; \quad (7.2)$$

$T_{\text{СТ}}$ – тривалість роботи станції протягом доби, год;

$v_{\text{Н}}$ – розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/год, згідно з рекомендаціями і таблицею 21 [1] з урахуванням розрахунків за формулою (23) [1];

$n_{\text{пр}}$ – кількість промивань одного фільтра на добу при нормальному режимі експлуатації, таблиця 21 [1];

$\tau_{\text{пр}}$ – час простою фільтра у зв'язку з промиванням (0,33 год за умови водяного і 0,5 год за умови водоповітряного промивання);

$q_{\text{пр}}$ – питома витрата води на одне промивання одного фільтра, м³/м², яку слід розраховувати з урахуванням [1, п. 10.12.15]:

$$q_{\text{пр}} = \frac{\omega \cdot t_{\text{пр}} \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3/\text{м}^2, \quad (7.3)$$

$$q_{\text{пр}} = \frac{16 \cdot 5 \cdot 60}{1000} = 4,8 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

$$\Sigma F_{\phi} = \frac{72231,57}{24 \cdot 8 - 2 \cdot 4,8 - 2 \cdot 0,33 \cdot 8} = 407,81 \text{ м}^2.$$

Орієнтовно кількість фільтрів визначають за формулою:

$$N = \frac{\sqrt{\Sigma F_{\phi}}}{2}, \text{ шт.}, \quad (7.4)$$

$$N = \frac{\sqrt{407,81}}{2} = 10 \text{ шт.}$$

Приймаємо 10 фільтрів з розмірами 6 м × 9 м.

З урахуванням прийнятих розмірів площа одного фільтру складе:

$$F_{\phi} = 54 \text{ м}^2.$$

При цьому необхідно забезпечити швидкість фільтрування води під час роботи у форсованому режимі, прийнявши кількість фільтрів, які перебувають у ремонті $N_1=1$, за формулою (23) [1]:

$$V_{\text{рф}} = V_{\text{н}} \cdot \left(\frac{N_{\text{ф}}}{N - N_1} \right), \text{ м/год} < 10,0 \text{ м/год}, \quad (7.5)$$

$$V_{\text{рф}} = 8 \cdot \left(\frac{10}{10-1} \right) = 8,9 \text{ м/год} < 10,0 \text{ м/год}.$$

Завдання 7.2. Розрахувати трубчасту розподільчу систему для фільтра з розмірами в плані 6 м × 9 м.

Розв'язання. Кількість промивної води, яка необхідна для одного фільтра, на одну промивку складе:

$$V_{\text{пр}} = F_{\text{ф}} \cdot q_{\text{пр}}, \text{ м}^3, \quad (7.6)$$

$$V_{\text{пр}} = 54 \cdot 4,8 = 259,2 \text{ м}^3.$$

Витрата промивної води

$$Q_{\text{пр}} = F \cdot W, \text{ л/с}, \quad (7.7)$$

$$Q_{\text{пр}} = 54 \cdot 16 = 864 \text{ л/с}.$$

Діаметр трубопроводу, який подає промивну воду до кожного фільтра, визначають за рекомендованою швидкістю, яку належить приймати не більше 1,2 м/с [1, п. 10.12.12]. При заданій витраті 864 л/с приймаємо діаметр 800 мм, швидкість – 1,2 м/с. Для рівномірного розподілу промивної води в нижній частині збірного каналу фільтра влаштовують глухий розподільний канал прямокутного перетину з розмірами 0,9 м × 0,9 м, до якого підводять трубопровід промивної води діаметром 800 мм.

Швидкість в розподільчому каналі складе:

$$V_{\text{кан}} = \frac{Q_{\text{пром}}}{F_{\text{кан}}}, \text{ м/с}, \quad (7.8)$$

$$V_{\text{кан}} = \frac{0,864}{0,81} = 1,07 \text{ м/с}.$$

Отримана в результаті розрахунків швидкість відповідає рекомендованій швидкості 0,8–1,2 м/с.

Площа дна фільтра, яка припадає на кожне відгалуження розподільчої системи при відстанях між ними $m = 0,3$ м і ширині розподільчого каналу 0,9 м, складе:

$$f_{\text{від}} = (B - b) \cdot m, \text{ м}^2, \quad (7.9)$$

де B – ширина фільтра, 6 м;

b – ширина фільтра;

m – відстань між відгалуженнями розподільчої системи.

$$f_{\text{від}} = (6 - 0,9) \cdot 0,3 = 1,53 \text{ м}^2.$$

Витрата промивної води, яка надходить через одне відгалуження:

$$q_{\text{від}} = f_{\text{від}} \cdot W, \text{ л/с}, \quad (7.10)$$

$$q_{\text{від}} = 1,53 \cdot 16 = 24,5 \text{ л/с.}$$

Діаметр відгалужень приймаємо за таблицями гідравлічного розрахунку водопровідних труб [5].

$$d_{\text{від}} = 125 \text{ мм} = 0,125 \text{ м.}$$

Тоді швидкість входу води в відгалуження $v_{\text{від}} = 1,85 \text{ м/с}$ (що не перевищує рекомендованої швидкості 1,6–2 м/с).

У нижній частині відгалужень під кутом 45° передбачають отвори діаметром $d_{\text{отв}} = 12 \text{ мм}$ [1, п. 10.12.12].

Відношення площі всіх отворів у відгалуженнях розподільної системи $\Sigma f_{\text{о}}$ до площі фільтра $F_{\text{ф}}$ приймаємо рівним 0,25 %.

$$\Sigma f_{\text{о}} = 0,25 \cdot F_{\text{ф}} / 100, \text{ м}^2, \quad (7.11)$$

$$\Sigma f_{\text{о}} = 0,25 \cdot 54 / 100 = 0,135 \text{ м}^2.$$

При діаметрі отворів $d_{\text{о}} = 12 \text{ мм}$ площа отвору $f_{\text{о}} = 113 \text{ мм}^2$.

Загальна кількість отворів у розподільчій системі фільтра:

$$n_{\text{о}} = \frac{\Sigma f_{\text{о}}}{f_{\text{о}}}, \text{ шт.}, \quad (7.12)$$

$$n_{\text{о}} = \frac{1350}{1,13} = 1195 \text{ шт.}$$

Кількість відгалужень у кожному фільтрі за відстані між осями 0,3 м складе:

$$9 : 0,3 = 30 \text{ шт.}$$

Кількість отворів на кожне відгалуження:

$$n = 1195 : 30 = 40 \text{ шт.}$$

Так як отвори розташовують в два ряди в шаховому порядку під кутом 45° до низу від вертикалі, то при довжині кожного відгалуження:

$$l_{\text{від}} = b_{\text{ф}} - b_{\text{к}}, \text{ м}, \quad (7.13)$$

$$l_{\text{від}} = 6 - 0,9 = 5,1 \text{ м.}$$

Відстань між осями отворів по одній лінії

$$l_{\text{о}} = \frac{2 \cdot l_{\text{від}}}{n}, \text{ мм}, \quad (7.14)$$

$$l_{\text{о}} = \frac{2 \cdot 5,1}{40} = 255 \text{ мм,}$$

що не перевищує рекомендовані розміри $l_{\text{о}} = 200\text{--}300 \text{ мм}$.

Для видалення повітря з трубопроводу, який подає воду на промивання фільтра, у підвищених місцях розподільчої системи передбачають установлення повітровідвідних стояків, рекомендований діаметр яких $d = 75\text{--}150 \text{ мм}$ з автоматичним випуском повітря [1, п. 10.12.14].

Приймаємо два повітровідвідних стояка діаметром $d = 90 \text{ мм}$.

Завдання 7.3. Розрахувати пристрій для збору і відведення води під час промивання фільтру. Вихідні данні розраховані в завданні 7.1.

Розв'язання. Збір і відведення забрудненої води під час промивання швидких фільтрів здійснюють за допомогою жолобів, які розміщують над поверхнею фільтруючого завантаження.

Відстань між осями жолобів не має перевищувати 2,2 м [1, п. 10.12.16]. Враховуючи розміри фільтру приймаємо до проектування 4 жолоби з напівкруглою основою.

При витраті промивної води на один фільтр $q_{\text{пр}} = 864$ л/с, витрата промивної води на один жолоб:

$$q_{\text{ж}} = \frac{q_{\text{пр}}}{n}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (7.15)$$

$$q_{\text{ж}} = \frac{864}{4} = 216 \text{ л/с} = 0,216 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ширину жолоба визначаємо за формулою (26) [1]:

$$B_{\text{ж}} = K_{\text{ж}} \cdot 5 \sqrt{\frac{q_{\text{ж}}^2}{(1,57 + \alpha_{\text{ж}})^3}}, \text{ м}, \quad (7.16)$$

де $q_{\text{ж}}$ – витрата води по жолобу, $\text{м}^3/\text{с}$;

$\alpha_{\text{ж}}$ – відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини, приймаємо 1,5;

$K_{\text{ж}}$ – коефіцієнт, приймають для жолобів з напівкруглим лотком $K_{\text{ж}} = 2$.

$$B_{\text{ж}} = 2 \cdot 5 \sqrt{\frac{0,216^2}{(1,57 + 1,5)^3}} = 0,55 \text{ м}.$$

Висота прямокутної частини жолоба:

$$h_{\text{пр}} = 0,75 \cdot B_{\text{ж}}, \text{ м}, \quad (7.17)$$

$$h_{\text{пр}} = 0,75 \cdot 0,55 = 0,41 \text{ м}.$$

Корисна висота жолоба:

$$h_{\text{кор}} = 0,75 \cdot B_{\text{ж}}, \text{ м}, \quad (7.18)$$

$$h_{\text{кор}} = 0,75 \cdot 0,55 = 0,69 \text{ м}.$$

Конструктивна висота жолоба (з урахуванням товщини стінки)

$$h_{\text{к}} = h_{\text{кор}} + 0,08, \text{ м}, \quad (7.19)$$

$$h_{\text{к}} = 0,69 + 0,08 = 0,77 \text{ м}.$$

Кромки всіх жолобів розташовують на одному рівні і строго горизонтально. Лотки жолобів мають ухил $i = 0,01$ до збірного каналу.

Відстань від поверхні фільтруючого завантаження до кромки жолобів визначаємо за формулою (28) [1]:

$$h_{\text{ж}} = \frac{H_3 \cdot d_3}{100} + 0,3, \text{ м}, \quad (7.20)$$

де H_3 – висота фільтруючого шару, м;
 d_3 – відносне розширення фільтруючого завантаження.

$$h_{ж} = \frac{1,5 \cdot 20}{100} + 0,3 = 0,6 \text{ м.}$$

Оскільки конструктивна висота жолоба $h_K = 0,77$ м більше $h_{ж} = 0,6$ м, потрібно прийняти відстань від низу жолоба до верху завантаження більше на 0,06 м:

$$\begin{aligned} h'_{ж} &= h_K + 0,06, \text{ м,} \\ h'_{ж} &= 0,77 + 0,06 = 0,83 \text{ м.} \end{aligned} \quad (7.21)$$

Витрата води на промивання всіх фільтрів:

$$Q_{п.сут} = V_{пр} \cdot N \cdot n, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (7.22)$$

де N – кількість фільтрів;
 n – кількість промивань.

$$Q_{п.сут} = 259,2 \cdot 10 \cdot 2 = 5184 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

Уточнена продуктивність фільтрів з урахуванням витрати води на їх промивання

$$\begin{aligned} Q_{ф} &= Q_{пол} + Q_{вк} + Q_{впаа} + Q_{вщ} + Q_{1х} + Q_{пф}, \text{ м}^3/\text{добу}, \\ Q_{ф} &= 72000 + 111,57 + 120 + 0 + 0 + 5184 = 77415,57 \text{ м}^3/\text{добу}, \end{aligned} \quad (7.23)$$

$$Q_{ф} = 0,836 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Відстань від дна жолоба до дна збірного каналу визначаємо за формулою:

$$H_{кан} = 1,73 \cdot 3 \sqrt{\frac{q_{кан}^2}{g \cdot b_{кан}^2}} + 0,2, \text{ м}, \quad (7.24)$$

де $q_{кан}$ – витрата води по каналу, $\text{м}^3/\text{с}$, яка дорівнює витраті промивної води від однієї промивки;
 b – ширина каналу, м;
 g – $9,81 \text{ м}/\text{с}^2$.

$$H_{кан} = 1,73 \cdot 3 \sqrt{\frac{0,864^2}{9,81 \cdot 0,9^2}} + 0,2 = 0,79 \text{ м}.$$

Швидкість руху промивної води в кінці збірного каналу шириною 0,9 м визначають за формулою:

$$\begin{aligned} U_{кан} &= \frac{q_{кан}}{(H_{кан} - 0,2) \cdot b_{кан}}, \text{ м}/\text{с}, \\ U_{кан} &= \frac{0,864}{(0,79 - 0,2) \cdot 0,9} = 1,63 \text{ м}/\text{с}. \end{aligned} \quad (7.25)$$

Завдання 7.4. Визначити діаметри трубопроводів для подачі та відведення води з фільтрів. Як вихідні дані взяти розрахунки з завдань 7.2 і 7.3.

Розв'язання. Діаметри трубопроводів визначаємо за таблицями для гідравлічного розрахунку сталевих труб [5] за секундною витратою води, що надходить на фільтри, і рекомендованою швидкістю руху води. Результати розрахунку зводимо в таблицю 7.1.

Розміри трубопроводів або каналів фільтрів слід приймати за умови форсованого режиму роботи (тобто при виключенні одного фільтра на промивання). Таким чином, розрахункова витрата води, яка припадає на один фільтр, складе:

$$q_{\phi}^c = \frac{Q_{\phi}^c}{N_{\phi} - N_1}, \text{ л/с,} \quad (7.26)$$

$$q_{\phi}^c = \frac{836}{10-1} = 92,89 \text{ л/с.}$$

Таблиця 7.1 – Результати гідравлічного розрахунку трубопроводів подачі або відведення води на фільтри та з них

Назва трубопроводу	Витрата води, л/с	Швидкість м/с	Діаметр труб, мм	Рекомендована швидкість, м/с
Для подачі проясненої води на всі фільтри	836,01	1,55	1 000	0,8–1,2
Те саме, на один фільтр	92,89	1,22	300	0,8–1,2
Для відводу фільтрату з одного фільтру	92,89	1,22	300	1,0–1,5
Для відводу фільтрату з всіх фільтрах	836,01	1,55	1 000	0,8–1,2
Для подачі промивної води	864	1,7	800	1,5–2,0
Для відводу промивної води	864	1,7	800	1,5–2,0

Завдання 7.5. Визначити втрати напору при промивці фільтру. Підібрати насоси для промивання фільтрів. Як вихідні дані взяти розрахунки з завдань 7.2 і 7.3.

Розв'язання. Втрати напору під час промивання фільтру складаються з наступних величин:

а) втрати напору в отворах труб розподільчої системи фільтра:

$$h_{pc} = \left(\frac{2,2}{K_n^2} + 1 \right) \cdot \frac{v_k^2}{2g} + \frac{v_{so}^2}{2g}, \text{ м,} \quad (7.27)$$

де v_k – швидкість на початку розподільного каналу ($v_k = 1,07$ м/с), м/с;

v_{so} – швидкість на початку бічного відгалуження ($v_{so} = 1,85$ м/с), м/с;

K_n – відношення суми площ всіх отворів розподільчої системи до площі поперечного перетину каналу:

$$K_n = (0,15 \leq K_n \leq 2), \quad (7.28)$$

$$K_n = \frac{0,135}{0,81} = 0,167,$$

$$h_{pc} = \left(\frac{2,2}{0,167^2} + 1 \right) \cdot \frac{1,07^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{1,85^2}{2 \cdot 9,81} = 4,84 \text{ м};$$

б) втрати напору в фільтруючому шарі висотою H_3 :

$$h_{фш} = (a + b \cdot \omega) \cdot H_3, \text{ м}, \quad (7.29)$$

де ω – інтенсивність подачі промивної води;

a і b – емпіричні коефіцієнти, які приймають залежно від типу завантаження; приймають для кварцового піску 0,75–0,85 і 0,017–0,004 відповідно.

$$h_{фш} = (0,85 + 0,004 \cdot 16) \cdot 1,5 = 1,37 \text{ м};$$

в) втрати напору в гравійних підтримуючих шарах висотою $H_{пш}$:

$$h_{пш} = i \cdot \omega \cdot H_{пш}, \text{ м}, \quad (7.30)$$

$$h_{пш} = 0,022 \cdot 16 \cdot 0,5 = 0,18 \text{ м};$$

г) втрати напору в трубопроводі, який подає промивну воду, визначаємо за формулою:

$$h_{тр} = h_1 + h_M, \text{ м}, \quad (7.31)$$

де h_1 – втрати напору по довжині (h_1 визначають враховуючи витрату $q_{пр} = 864$ л/с, $d = 800$ мм, $v = 1,2$ м/с, гідравлічний ухил $i = 0,00412$, при $l = 100$ м).

$$h_1 = l \cdot i, \text{ м}, \quad (7.32)$$

$$h_1 = 100 \cdot 0,00412 = 0,41 \text{ м};$$

h_M – втрати напору на місцеві опори: $\xi_{кол} = 0,185$ (3 коліна); $\xi_{мп} = 0,22$ (2 трійника); $\xi_{засв} = 0,3$ (4 засувки); $\xi_{см} = 0,0135$ (12 зварювальних стиків). Місцеві опори розраховують за формулою:

$$h_M = \sum \xi \cdot \left(\frac{v_1^2}{2g} \right), \text{ м}, \quad (7.33)$$

$$h_M = 2,357 \cdot \left(\frac{1,63^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,32 \text{ м}.$$

$$h_{тр} = 0,41 + 0,32 = 0,73 \text{ м}.$$

Повна величина втрат напору під час промивання швидкого фільтра становить:

$$\sum h = h_{pc} + h_{фш} + h_{пш} + h_{тр}, \text{ м}, \quad (7.34)$$

$$\sum h = 4,85 + 1,37 + 0,18 + 0,73 = 7,13 \text{ м}.$$

Напір, який має розвивати насос під час промивання фільтра,

$$H = H_{\Gamma} + \sum h, \text{ м}, \quad (7.35)$$

де H_{Γ} – геометрична висота підйому води (різниця відміток нижнього рівня води в РЧВ і верхньої кромки жолобів фільтра), м; $H_{\Gamma} = 6,5$ м.

$$H = 6,5 + 7,13 = 13,63 \text{ м} \approx 14 \text{ м}.$$

Для подачі промивної води в кількості 864 л/с або 3 110 м³/год приймаємо насос марки Д 3200-33 [11] з продуктивністю 3 240 м³/год і напором 32 м з потужністю електродвигуна 315 кВт і частотою обертів 985 об/хв. Для проектування беремо два насоси: один робочий і один резервний.

Завдання 7.6. Розрахувати об'єм і розміри вхідної камери перед контактними прояснювачем. Витрата води, яка подається на контактні прояснювачі, – 114 021 м³/добу.

Розв'язання. За розрахунковою витратою води, яку подають на контактні прояснювачі, визначають об'єм вхідної камери за формулою:

$$W_{\text{вх.к}} = \frac{Q \cdot t}{24 \cdot 60}, \text{ м}^3, \quad (7.36)$$

де t – час перебування води в камері, прийнято 5 хв згідно з [1, п. 10.15.2].

$$W_{\text{вх.к}} = \frac{114021 \cdot 5}{24 \cdot 60} = 396 \text{ м}^3.$$

Приймаємо чотири вхідні камери глибиною $h=3$ м. Площу кожної камери визначають за формулою:

$$F_{\text{вх.к}} = \frac{W_{\text{вх.к}}}{h}, \text{ м}^2, \quad (7.37)$$

$$F_{\text{вх.к}} = \frac{99}{3} = 33 \text{ м}^2.$$

Приймаємо вхідну камеру з розмірами в плані 6 м × 6 м.

У кожній камері встановлюють мікрофільтр. Вхідні камери обладнують пристроями для промивання мікрофільтрів, переливною та спускною трубою [1, п. 10.15.2]. Стінки нижньої частини камери нахилені під кутом 50° до горизонту. Висоту нижньої частини камери визначаємо за формулою:

$$h_{\text{кам}} = \frac{B}{2} \cdot \text{ctg}(90^\circ - 50^\circ), \text{ м}, \quad (7.38)$$

$$h_{\text{кам}} = \frac{6}{2} \cdot \text{ctg}(90^\circ - 50^\circ) = 1,6 \text{ м}.$$

Повну висоту камери розраховуємо за формулою:

$$H = h + h_{\text{кам}}, \text{ м}, \quad (7.39)$$

$$H = 3 + 1,6 = 4,6 \text{ м}.$$

Завдання 7.7. Розрахувати площу та кількість контактних прояснювачів для одноступеневої схеми обробки води очисних споруд продуктивністю 11 4021 м³/добу.

Розв'язання. Контактний прояснювач має вигляд залізобетонного резервуара, який заповнюють зверху шаром піску з крупністю зерен 0,7–2 мм товщиною шару 2 м, а знизу гравієм: з крупністю зерен 2–4 мм товщиною шару 50 мм, крупністю зерен 4–8 мм товщиною шару 100 мм, крупністю зерен 8–16 мм товщиною шару 100 мм. Верхня границя нижнього шару гравію крупністю 16–32 мм має бути на 100 мм вище отворів розподільчої системи.

Розрахункова швидкість фільтрування в умовах нормального режиму 5,0 м/год, форсованого – 5,5 м/год.

Промивають контактні прояснювачі комбінованим методом:

– перший етап – розпушення завантаження повітрям з інтенсивністю 18 л/(с·м²) протягом двох хвилин;

– другий етап – відмивання завантаження спільно водою інтенсивністю 3 л/(с·м²) та повітрям з інтенсивністю 18 л/(с·м²) протягом шести хвилин;

– третій етап – відмивання завантаження водою інтенсивністю 6 л/(с·м²) протягом п'яти хвилин.

Площу контактного прояснювача визначають згідно з [1, п. 10.12.4]:

$$\Sigma F_{\text{ко}} = \frac{Q}{T_{\text{СТ}} \cdot v_{\text{Н}} - n_{\text{пр}} \cdot (q_{\text{пр}} + \tau_{\text{пр}} \cdot v_{\text{Н}} + \tau_{\text{СТ}} \cdot v_{\text{Н}})}, \text{ м}^2. \quad (7.40)$$

де $T_{\text{СТ}}$ – тривалість роботи станції за 1 добу; $T_{\text{СТ}} = 24$ год;

$v_{\text{Н}}$ – розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі, $v_{\text{Н}} = 5$ м/год;

$n_{\text{пр}}$ – кількість промивань кожного контактного прояснювача (КО) за 1 добу в умовах нормального режиму експлуатації; $n_{\text{пр}} = 2$;

$q_{\text{пр}}$ – питома витрата води на одне промивання одного КО, визначаємо за формулою (7.3):

$$q_{\text{пр}} = \frac{(3 \cdot 6 \cdot 60 + 5 \cdot 6 \cdot 60)}{1000} = 9 \text{ м}^3/\text{м}^2;$$

$\tau_{\text{пр}}$ – тривалість простою КО у зв'язку з промиванням; $\tau_{\text{пр}} = 0,5$ год;

$\tau_{\text{СТ}}$ – тривалість скидання першого фільтрату; $\tau_{\text{СТ}} = 0,17$ год;

$$\Sigma F_{\text{ко}} = \frac{114021}{24 \cdot 5 - 2 \cdot (9 + 0,5 \cdot 5 + 0,17 \cdot 5)} = 1155,58 \text{ м}^2.$$

Орієнтовно кількість КО визначаємо за формулою (7.4):

$$N = \frac{\sqrt{1155,58}}{2} = 15,997 \approx 16 \text{ шт.}$$

Приймаємо 16 контактних прояснювачів розмірами в плані 6 м × 12 м.

Таким чином площа одного контактного прояснювача складе 72 м².

$$\Sigma F_{\text{ко}} = N \cdot F_{\text{ко}}, \text{ м}^2, \quad (7.41)$$

$$\Sigma F_{\text{ко}} = 16 \cdot 72 = 1152 \text{ м}^2.$$

Швидкість в умовах форсованого режиму визначаємо за формулою (7.5):

$$v_{\phi} = v_{\text{н}} \cdot \frac{16}{16-1} = 5,34 \text{ м/год} < 5,5 \text{ м/год.}$$

Завдання 7.8. Розрахувати трубчасту розподільну систему (TRC) для контактних прояснювачів, які були розраховані в завданні 7.7.

Розв'язання. Розрахунок трубчастої розподільчої системи виконують за рекомендаціями [1, п. 10.15.8].

Максимальну секундну витрату промивної води для промивання одного контактного прояснювача визначаємо за формулою (7.6):

$$Q_{\text{пр}} = 9 \cdot 72 = 648 \text{ л/с,}$$

$$Q_{\text{пр}} = 0,648 \text{ м}^3/\text{с} = 38,8 \text{ м}^3/\text{хв.}$$

За наявності двох відділень на кожний колектор розподільчої системи контактного прояснювача витрата промивної води складає 324 л/с.

Швидкість руху води центральним промивним трубопроводом має бути в межах від 0,8 м/с до 1,2 м/с [1].

За витрати промивної води $q_{\text{пр}} = 324 \text{ л/с}$ згідно з [5] діаметр труби $d_{\text{пр}} = 600 \text{ мм}$ швидкість $V_{\text{пр}} = 1,09 \text{ м/с}$. Зовнішній діаметр сталеві труби буде 630 мм.

Крок осі розподільних труб має бути від 0,25 до 0,35 м.

Кількість розподільних труб в одному відділенні контактного прояснювача складе:

$$n_{\text{тр}} = 2 \cdot (B : m), \text{ шт.}, \quad (7.42)$$

де m – крок осі розподільних труб, приймаємо 0,35.

$$n_{\text{тр}} = 2 \cdot (6 : 0,35) = 34 \text{ шт.}$$

Витрата промивної води на одну трубу:

$$q_{\text{тр}} = \frac{q_{\text{пр}}}{n_{\text{тр}}}, \text{ л/с,} \quad (7.43)$$

$$q_{\text{тр}} = \frac{324}{34} = 9,5 \text{ л/с.}$$

Швидкість руху води на вході в розподільчу трубу згідно з [1] має бути не більше $v_{\text{вх тр}} = 2,0 \text{ м/с}$. Відповідно діаметр розподільчої труби буде 75 мм, швидкість руху 1,76 м/с.

Відношення площі всіх отворів у відгалуженнях розподільчої системи до площі контактного прояснювача приймають за таблицею 27 [1, п. 10.15.8] і розраховують за формулою:

$$\sum f_{\text{от}} = \frac{K_{\text{п}} \cdot F_{\text{ко}}}{100}, \text{ м}^2, \quad (7.44)$$

$$\sum f_{\text{от}} = \frac{0,28 \cdot 72}{100} = 0,2 \text{ м}^2.$$

Діаметр отвору приймаємо $d_0 = 12 \text{ мм}$ (рекомендується $d_0 = 10\text{--}12 \text{ мм}$).

Тоді кількість отворів для всієї розподільчої системи:

$$n_0 = \frac{\sum f_0}{f_0}, \text{ од.}, \quad (7.45)$$

$$n_0 = \frac{0,2}{0,00011} = 1818 \text{ од.}$$

Кількість отворів на одній розподільчій трубі:

$$n_1 = \frac{n_0}{n_{\text{тр}}}, \text{ од.}, \quad (7.46)$$

$$n_1 = \frac{1818}{68} = 27 \text{ од.}$$

Отвори розташовуємо в нижній частині труби по два в кожній комірці.

Довжину розподільчої труби приймаємо такою, що дорівнює довжині відділення контактного прояснювача мінус 920 мм (зовнішній діаметр центральної розподільчої труби), мінус 1 200 мм (зазор між стінкою контактного прояснювача і кінцями труб). Тоді відстані між осями отворів:

$$l_0 = \frac{6000 - 630 - 1200}{24} = 161 \text{ мм (приймаємо 160 мм)}, \quad (7.47)$$

що відповідає рекомендаціям [1] (відстань між осями отворів 150–200 мм).

Завдання 7.9. Визначити відсоток промивної води, яку витрачають на станції на промивання всіх контактних прояснювачів, від повної продуктивності очисних споруд. Для виконання завдання використовувати розрахунки завдань 7.7 і 7.8.

Розв'язання. Відсоток промивної води, яку витрачають на станції, визначається за формулою:

$$q_{\text{пр}}^{\%} = \frac{W_{\text{пром}} \cdot N \cdot n}{Q_{\text{ос}} \cdot T_{\text{р}}} \cdot 100, \%, \quad (7.48)$$

де $W_{\text{пром}}$ – кількість води, яка витрачається на промивання одного контактного прояснювача:

$$W_{\text{пром}} = \frac{(i_1 \cdot t_1 + i_2 \cdot t_2) \cdot F'_{\text{ко}} \cdot 60}{1000}, \text{ м}^3, \quad (7.49)$$

$$W_{\text{пром}} = \frac{(3 \cdot 6 + 6 \cdot 5) \cdot 72 \cdot 60}{1000} = 207,36 \text{ м}^3.$$

Кількість води, що витрачається на промивання усіх КО з урахуванням двох промивок на добу,

$$W_{\text{доб}} = W_{\text{пром}} \cdot N \cdot n, \text{ м}^3, \quad (7.50)$$

де N – кількість контактних прояснювачів, $N = 16$;

n – кількість промивань контактного прояснювача на добу $n=2$;

$$W_{\text{доб}} = 207,36 \cdot 16 \cdot 2 = 6635 \text{ м}^3.$$

Q_{oc} – розрахункова витрата води, м³/год;

T – тривалість роботи станції протягом доби; T=24 год.

$$q_{пр}^{\%} = \frac{207,36 \cdot 16 \cdot 2}{4750875 \cdot 24} \cdot 100 = 5,8 \%$$

Завдання 7.10. Розрахувати жолоби для збору та відведення фільтрованої та промивної води. Для виконання завдання використовувати розрахунки завдань 7.7 і 7.8.

Розв'язання. У контактних прояснювачах збір фільтрованої та промивної води слід здійснювати у жолоби згідно з [1, пп. 10.12.15, 10.12.16]. Над кромками жолобів потрібно передбачати пластини з трикутними вирізами від 50 мм до 60 мм (по висоті та ширині), з відстанями між осями вирізів від 100 мм до 150 мм включно. Приймають три жолоби. Відстань між осями жолобів $6 : 3 = 2$ м.

Ширина жолобів з трикутною основою визначаємо з формули [1]:

$$B_{ж} = K_{жол} \cdot \sqrt[5]{\frac{q_{жол}^2}{(1,57 + a_{жол})^3}}, \text{ м}, \quad (7.51)$$

де $q_{жол}$ – витрата води по жолобу, м³/с;

$a_{жол}$ – відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини, приймаємо 1,5;

$K_{жол}$ – коефіцієнт, приймається для п'ятикутних жолобів рівним 2,1.

$$B_{ж} = 2,1 \cdot \sqrt[5]{\frac{0,216^2}{(1,57 + 1,5)^3}} = 0,46 \text{ м.}$$

Висоту прямокутної частини жолоба визначаємо за формулою:

$$h_{пр} = 0,75 \cdot B_{ж}, \text{ м}, \quad (7.52)$$

$$h_{пр} = 0,75 \cdot 0,46 = 0,345 \text{ м.}$$

Корисна висота жолоба:

$$h = 1,25 \cdot B_{ж}, \text{ м}, \quad (7.53)$$

$$h = 1,25 \cdot 0,46 = 0,58 \text{ м.}$$

Висота кромки жолоба над поверхнею завантаження контактного прояснювача визначаємо за формулою:

$$h_{ж} = \frac{H_3 \cdot d_3}{100} + 0,3, \text{ м} \geq 0,63 \text{ м}, \quad (7.54)$$

де H_3 – висота фільтрувального шару, м;

d_3 – відносне розширення фільтрувального завантаження.

$$h_{ж} = \frac{2 \cdot 25}{100} + 0,3 = 0,8 \text{ м} \geq 0,63 \text{ м.}$$

Завдання 7.11. Промивна вода з жолобів контактного прояснювача вільно зливається в центральний збірний канал, звідки відводиться на споруди

повторного використання промивної води. Необхідно розрахувати збірний канал. Для виконання завдання використовувати розрахунки завдань 7.7 і 7.8.

Розв'язання. Периметр збірного каналу прямокутний, а ширина каналу за умовами експлуатації приймається не менше 0,7 м. Під час відведення промивної води з контактного прояснювача збірний канал має запобігати виникненню підпору на виході води з жолобів.

Відстань від дна жолобу до дна збірного каналу визначаємо за формулою:

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot 3 \sqrt{\frac{q_{\text{кан}}^2}{g \cdot b_{\text{кан}}^2}} + 0,2, \text{ м}, \quad (7.55)$$

де $b_{\text{кан}}$ – найменша допустима ширина каналу, м; $b_{\text{кан}} = 0,7$ м.

$$H_{\text{кан}} = 1,73 \cdot 3 \sqrt{\frac{0,648^2}{9,81 \cdot 0,7}} + 0,2 = 0,9 \text{ м}.$$

Швидкість води в кінці збірного каналу за умови розмірів його перерізу $f_{\text{кан}} = 0,9 \cdot 0,7 = 0,63 \text{ м}^2$ и при $q_{\text{пр}} = q_{\text{кан}}$ визначаємо за формулою:

$$V_{\text{к}} = \frac{q_{\text{пр}}}{f_{\text{кан}}}, \text{ м/с}, \quad (7.56)$$

$$V_{\text{к}} = \frac{0,648}{0,63} = 1,03 \text{ м/с}.$$

Швидкість в кінці збірного каналу більше мінімально допустимої швидкості в умовах форсованого режиму $V_{\text{кан}} = 0,8 \text{ м/с}$.

Завдання 7.12. Визначити втрати напору під час промивки контактеного прояснювача. Підібрати насоси для промивки контактеного прояснювача. Як вихідні данні взяти розрахунки з завдань 7.8 та 7.10.

Втрати напору в отворах труб розподільчої системи фільтра:

$$h_{\text{рс}} = \left(\frac{2,2}{K_{\text{н}}^2} + 1 \right) \cdot \frac{v_{\text{к}}^2}{2g} + \frac{v_{\text{SO}}^2}{2g}, \text{ м}, \quad (7.57)$$

де $v_{\text{к}}$ – швидкість на початку розподільного каналу, м/с; $v_{\text{к}} = 1,09 \text{ м/с}$;

v_{SO} – швидкість на початку бічного відгалуження, м/с; $v_{\text{SO}} = 1,76 \text{ м/с}$;

$K_{\text{н}}$ – відношення суми площ всіх отворів розподільної системи до площі поперечного перетину каналу: $K_{\text{н}} = 0,2 : 0,49 = 0,4$; ($0,15 \leq K_{\text{н}} \leq 2$).

$$h_{\text{рс}} = \left(\frac{2,2}{0,4^2} + 1 \right) \cdot \frac{1,09^2}{2 \cdot 9,81} + \frac{1,76^2}{2 \cdot 9,81} = 1,05 \text{ м}.$$

Втрати напору в фільтруючому шарі заввишки $H_{\text{ф}} = 2,5$ м визначають за формулою:

$$h_{\text{фш}} = (a + b \cdot \omega) \cdot H_{\text{ф}}, \text{ м}, \quad (7.58)$$

де a і b – параметри для піску з розміром зерен 1–2 мм $a = 0,85$ і $b = 0,004$.

$$h_{\text{фш}} = (0,85 + 0,004 \cdot 9) \cdot 2,5 = 2,2 \text{ м.}$$

Втрати напору в трубопроводі, який підводить промивну воду до колектору розподільчої системи за довжини трубопроводу $l=100$ м, визначаємо за формулою:

$$h_{\text{тр}} = l \cdot i, \text{ м,} \quad (7.59)$$

$$h_{\text{тр}} = 100 \cdot 0,00464 = 0,46 \text{ м.}$$

Втрати на місцеві опори в фасонних частинах і арматурі розраховують за формулою:

$$h_{\text{м}} = \sum \zeta \cdot \left(\frac{v_1^2}{2g} \right), \text{ м,} \quad (7.60)$$

де $\sum \zeta$ – втрати напору на місцеві опори: $\zeta_{\text{кол}} = 0,185$ (3 коліна); $\zeta_{\text{тр}} = 0,22$ (2 трійники); $\zeta_{\text{засв}} = 0,3$ (4 засувки); $\zeta_{\text{см}} = 0,0135$ (12 зварювальних стиків).

$$h_{\text{м}} = 3,815 \cdot \left(\frac{1,66^2}{2 \cdot 9,81} \right) = 0,53 \text{ м.}$$

Повна величина втрат напору під час промивання контактного прояснювача становить:

$$\sum h = h_{\text{р}} + h_{\text{фш}} + h_{\text{тр}}, \text{ м,} \quad (7.61)$$

$$\sum h = 1,05 + 2,2 + 0,99 = 4,24 \text{ м.}$$

Напір, який повинен розвивати насос під час промивки контактного прояснювача,

$$H = H_{\Gamma} + \sum h, \text{ м,} \quad (7.62)$$

де H_{Γ} – геометрична висота підйому води (різниця відміток нижчого рівня води в РЧВ і верхній кромці жолобів фільтру): $H_{\Gamma} = 6,5$ м.

$$H = 6,5 + 4,24 = 10,74 \text{ м} \approx 10,8 \text{ м.}$$

Для подачі промивної води в кількості 648 л/с або 2 333 м³/год приймаємо насос марки Д 2500-28 [11] з продуктивністю 2 500 м³/год і напором 28 м з потужністю електродвигуна 315 кВт і частотою обертів 985 об/хв. Для проєктування приймаємо два насоси: один робочий і один резервний.

Завдання 7.13. Розрахувати повітряну розподільчу систему, яку використовують для промивання контактних прояснювачів. Площа контактного прояснювача 72 м².

Розв'язання. Подачу повітря в завантаження контактного прояснювача здійснюють за допомогою спеціальної розподільчої системи з поліетиленових перфорованих щілинних труб, які розташовані на дні контактного прояснювача між розподільчими трубами для води, й колектору подачі повітря, який

установлений вище розподільчої системи. Витрата повітря для продувки одного контактного прояснювача складе:

$$Q_{\text{ПОВ}} = i_{\text{ПОВ}} \cdot F_{\text{КО}}, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (7.63)$$

де $i_{\text{ПОВ}}$ – інтенсивність подачі повітря, 36 л/(с·м²).

$$Q_{\text{ПОВ}} = (36 \cdot 72 \cdot 60) / 1000 = 155 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Відстань між осями труб приймаємо 300 мм, між стінками контактного прояснювача й осями крайніх труб – 450 мм, тоді кількість труб в одному відділенні контактного прояснювача:

$$n = \frac{(12000 - 600)}{300} = 38 \text{ од.}$$

Загальна кількість розподільчих труб повітряної системи – 76 од.

Витрата повітря на одну повітряну трубу:

$$q_{\text{ПОВ}} = \frac{Q_{\text{ПОВ}}}{76}, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (7.64)$$

$$q_{\text{ПОВ}} = \frac{155}{76} = 2,04 \text{ м}^3/\text{хв}.$$

Швидкість руху повітря в трубках $V_{\text{ПОВ}} = 20$ м/с (рекомендована швидкість 15–20 м/с).

Діаметр повітряної труби

$$d_{\text{ПОВ}} = \sqrt{\frac{4 \cdot q_{\text{ПОВ}}}{\pi \cdot V_{\text{ПОВ}}}}, \text{ мм}, \quad (7.65)$$

$$d_{\text{ПОВ}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,034}{3,14 \cdot 20}} = 0,05 \text{ м} = 50 \text{ мм}.$$

Сумарна площа щілин у відгалуженні становить 0,35 площі поперечного перерізу труби:

$$\Sigma f_{\text{Щ}} = 0,35 \cdot F_{\text{тр}}, \text{ мм}^2, \quad (7.66)$$

$$\Sigma f_{\text{Щ}} = \frac{0,35 \cdot 3,14 \cdot (0,05)^2}{4} = 0,00068 \text{ м}^2 = 680 \text{ мм}^2.$$

Площу однієї щілини визначаємо, виходячи з рекомендованої [1] довжини щілини 15–20 мм і ширини на 0,1 мм менше розміру мінімальної фракції:

$$f_{\text{Щ}} = 15 \cdot (0,7 - 0,1) = 9 \text{ мм}^2. \quad (7.67)$$

Кількість щілин на одному відгалуженні

$$n_{\text{Щ}} = \frac{\Sigma f_{\text{Щ}}}{f_{\text{Щ}}}, \text{ од.}, \quad (7.68)$$

$$n_{\text{Щ}} = \frac{680}{9} = 75 \text{ од.}$$

Швидкість виходу повітря з отворів:

$$v_{\text{ПОВ}}^{\text{Щ}} = \frac{q_{\text{ПОВ}}^{\text{Щ}}}{f_{\text{Щ}}} = \frac{q_{\text{ПОВ}}^{\text{Щ}}}{f_{\text{Щ}} \cdot n_{\text{Щ}}}, \text{ м/с}, \quad (7.69)$$

$$v_{\text{ПОВ}}^{\text{Щ}} = \frac{0,034}{0,00000975} = 50,06 \text{ м/с}.$$

Для зменшення швидкості виходу повітря із щілин (рекомендована швидкість від 40 до 50 м/с) приймаємо $n_{\text{Щ}} = 76$ од., тоді

$$v_{\text{ПОВ}}^{\text{Щ}} = \frac{0,034}{0,00000975} = 49,7 \text{ м/с}.$$

Приймаємо колектор $d_{\text{К}} = 300$ мм; $F_{\text{К}} = 0,0706$ м². Сумарна площа поперечного перерізу відгалужень має становити 0,4–0,6 поперечного перерізу колектору:

$$\Sigma F_{\text{тр}} = F_{\text{тр}} \cdot 0,5, \text{ м}^2, \quad (7.70)$$

$$\Sigma F_{\text{тр}} = 0,0706 \cdot 0,5 = 0,0353 \text{ м}^2.$$

$$F_{\text{Від}} = \Sigma F_{\text{тр}} / n, \text{ м}^2, \quad (7.71)$$

$$F_{\text{Від}} = 0,0353 / 76 = 0,0046 \text{ м}^2.$$

Таким чином діаметр відгалуження складатиме:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{\text{Від}}}{\pi}}, \text{ мм}, \quad (7.71)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0046}{3,14}} = 0,0765 \text{ м} = 76,5 \text{ мм}.$$

Приймаємо найближчий за сортаментом діаметр відгалуження – 80 мм.

Тема 8 Вибір методу знезараження води. Розрахунок обладнання

Завдання 8.1. Підібрати установки для приготування реагента-окисника для води, яка надходить на очисні споруди з показниками, приведеними в завданні 1.1. Продуктивність водоочисних споруд розрахована в завданні 2.5. Добові витрати води на приготування реагентів розраховані завданнях 3.1, 3.2, 3.3.

Розв'язання. Згідно з [1, п. 10.4.5] дози реагентів-окисників і послідовність введення їх у воду рекомендується встановлювати на основі технологічних досліджень, для орієнтовних розрахунків варто приймати за [1, п. 10.19.2, 10.19.3].

Хлораторна установка розрахована на попереднє хлорування дозою $D_{1\text{Х}} = 5$ мг/дм³ [1, п. 6.18] і вторинне хлорування дозою $D_{2\text{Х}} = 3$ мг/дм³ [1, п. 6.146].

Розрахункову годинну витрату хлору визначаємо за формулою:

$$M_{\text{Х}} = M_{1\text{Х}} + M_{2\text{Х}} = \frac{D_{1\text{Х}} \cdot Q_{\text{Ос}}}{1000} + \frac{D_{2\text{Х}} \cdot Q_{\text{Ос}}}{1000}, \text{ кг/добу}, \quad (8.1)$$

$$M_x = 5 \cdot \frac{3212,6}{1000} + 3 \cdot \frac{3212,6}{1000} = 25,7 \text{ кг/год} = 617,7 \text{ кг/добу.}$$

Відповідно, місячна потреба в рідкому хлорі:

$$M_x^M = 617,7 \cdot 30 = 18531,22 \text{ кг.} \quad (8.2)$$

Хлор на станцію доставляють у контейнерах (бочках) ємкістю 1 000 л і зберігають на складі. Оскільки маса рідкого хлору в бочці становить 1 250 кг, то на складі має зберігатися:

$$18531,22 / 1250 = 14,8 \approx 15 \text{ бочок.}$$

Для дозування в воду хлору необхідні спеціальні апарати – хлоратори [14]. Перетворюють рідкий хлор у газоподібний у випарниках змієвикового типу. Хлор-газ, що утворився, проходить через балон-грязьовик до хлораторів, якими дозують хлор. Із хлораторів виходить хлорна вода й подається в оброблювану воду.

Витрату води, необхідну для роботи хлораторів первинного хлорування, можна визначити за формулою:

$$Q_{1x} = \frac{D_{1к} \cdot Q_{ос} \cdot K_x}{1000} = \frac{5 \cdot 77102,4 \cdot 0,7}{1000} = 269,85, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (8.3)$$

де K_x – розрахункова витрата води для роботи хлораторів, прийнята рівною $0,7 \text{ м}^3$ на 1 кг хлору.

Витрату води, необхідної для роботи хлораторів вторинного хлорування, визначають за формулою:

$$Q_{2x} = \frac{D_{2x} \cdot (Q + Q_{вк} + Q_{вщ} + Q_{впаа} + Q_{1x}) \cdot K_x}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (8.4)$$

$$Q_{2x} = \frac{3 \cdot (72000 + 111,57 + 26,84 + 120 + 269,85) \cdot 0,6}{1000} = 130,55 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Для первинного хлорування прийняті 3 хлоратори марки АХВ-1000/Р12-СМ [14] продуктивністю 8 кг/год (2 робочих, 1 резервний). Для вторинного хлорування прийняті 2 хлоратори марки АХВ-1000/Р12-СМ [14] продуктивністю 8 кг/год (1 робочий, 1 резервний).

Подають хлорну воду в оброблювану воду напірними гумовими рукавами внутрішнього діаметра $d_{вн} = 25 \text{ мм}$, які прокладають під землею у футлярах з азбестоцементних труб.

Завдання 8.2 Для очисних споруд продуктивністю $77\,102,4 \text{ м}^3/\text{добу}$ було прийнято попереднє знезараження води озоном. Підібрати озонаторну установку та розрахувати контактну камеру для змішування озono-повітряної суміші з водою.

Розв'язання. Розрахункову дозу озону для видалення органічних речовин із води слід приймати згідно з таблицею 29 [1, п. 10.19.2] – 5 мг/дм^3 .

Розрахункову витрату озону визначаємо за формулою:

$$Q_{оз} = \frac{Q_{ос} \cdot D_{оз}}{1000}, \text{ м}^3/\text{добу}, \quad (8.5)$$

де $Q_{ос}$ – розрахункова витрата води, $\text{м}^3/\text{добу}$;

D_{O_3} – доза озону, мг/дм³.

$$Q_{O_3} = \frac{5 \cdot 77102,4}{1000} = 385,512 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

За розрахованою витратою підбираємо два генератори озона марки ZF18 продуктивністю 21 кг/год (один робочий, один резервний) [14].

Кількість сухого повітря, необхідного для електросинтезу:

$$Q_B = \frac{G_{O_3} \cdot 1000}{K_{O_3}}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (8.6)$$

де G_{O_3} – продуктивність одного озонатора, кг/год;

K_{O_3} – коефіцієнт вагової концентрації озону, $K_{O_3} = 20 \text{ г/м}^3$.

$$Q_B = \frac{21 \cdot 1000}{20} = 1050 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Загальна витрата охолоджуваного повітря:

$$V_B^{\text{заг}} = N \cdot Q + 360, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (8.7)$$

де 360 – витрата повітря на регенерацію адсорберів АГ–50;

N – кількість робочих озонаторів.

$$V_B^{\text{заг}} = 1 \cdot 1050 + 360 = 1410 \text{ м}^3/\text{год}.$$

За даним витрати повітря підбираємо ремінну повітродувку модифікації 2AF-53, продуктивністю 15,8 м³/хв (дві робочі та одна резервна) потужність двигуна 30,0 кВт [10].

Першу ступінь осушення повітря здійснюють за допомогою холодильного агрегату марки АК–ФВ–30/15, продуктивність за холодом 7000 ккал/год. Друга ступінь осушення повітря – адсорбуюча установка. Після охолодження і осушення у холодильнику повітря надходить на остаточну доосушку до адсорбера автоматичної дії марки АГ–50.

Розраховуємо необхідну площу поперечного перерізу контактної камери в плані:

$$F_K = \frac{Q_{Oc} \cdot T}{N \cdot n}, \text{ м}^2, \quad (8.8)$$

де Q_{Oc} – розрахункова витрата води, м³/год;

T – тривалість контакту озону з водою, приймають в межах 5–10 хв;

n – кількість контактних камер, мінімальна кількість – 2;

N – глибина шару води в контактній камері, приймають зазвичай 4–5 м.

$$F_K = \frac{3212,6 \cdot 0,1}{5 \cdot 2} = 32,126 \text{ м}^2.$$

Приймаємо 2 контактні камери з розмірами 6 м × 6 м × 5 м.

Для рівномірного розпилювання озono-повітряної суміші біля дна контактної камери розміщують перфоровані труби. Каркасом служить труба з нержавіючої сталі (зовнішній діаметр $d_n = 57 \text{ мм}$, внутрішній – $d_b = 49 \text{ мм}$) з отворами діаметрів 4–6 мм. На неї надівають фільтросні труби – блок довжиною $l = 500 \text{ мм}$, внутрішнім діаметром 64 мм, зовнішнім – 92 мм.

Кількість озонованого повітря, що подається розподільними трубами:

$$q_{\text{оз.п}} = \frac{Q_{\text{ос}} \cdot \alpha}{3600}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (8.9)$$

де α – відношення об'єму газової суміші до об'єму оброблюваної води, зазвичай приймають 0,27; 0,5; 1;

$Q_{\text{ос}}$ – годинна витрата очисних споруд, м³/год.

$$q_{\text{оз.п}} = \frac{3212,6 \cdot 0,5}{3600} = 0,45 \text{ м}^3/\text{с}.$$

За прийнятих розмірів камери в плані приймають кількість магістральних розподільних труб ($N_{\text{тр}}$) і кількість блоків на кожній розподільній трубі.

Перевіряємо швидкість руху повітря у трубопроводі ($v = 10\text{--}15$ м/с):

$$v = \frac{q_{\text{тр}}}{f_{\text{тр}}}, \text{ м/с}, \quad (8.10)$$

де $q_{\text{тр}}$ – витрата озонованого повітря, що припадає на живий перетин кожної труби:

$$q_{\text{тр}} = \frac{q_{\text{оз.п}}}{N \cdot n}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (8.11)$$

$$q_{\text{тр}} = \frac{0,45}{2 \cdot 10} = 0,0225 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$f_{\text{тр}}$ – площа поперечного перерізу магістральної розподільчої труби, м², при $d_{\text{вн}} = 49$ мм $f_{\text{тр}} = 0,00188$ м².

$$v = \frac{0,0225}{0,00188} = 11,96 \text{ м/с}.$$

Швидкість руху повітря у трубопроводі знаходиться в рекомендованих межах.

2 КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 Характеристика схем підготовки води для питного водопостачання

Тема 1 Загальна характеристика методів і схем підготовки води для питного водопостачання

1. Методи, технологічні процеси та споруди для очищення природних вод.
2. Класифікації основних технологічних схем.
3. Основні критерії для вибору технологічної схеми та складу споруд для очищення вод, принципи їх компонування.

Контрольні запитання

1. Які основні методи застосовують для очищення природних вод?

2. Охарактеризуйте природні джерела, використовувані для цілей господарсько-питного водопостачання.
3. Як здійснюють вибір джерела води для обробки і подальшого розподілу через мережу питного водопостачання?
4. Які фактори визначають вибір технології підготовки води?
5. Як домішки води впливають на її якість?
6. На які основні групи поділяють процеси підготовки?
7. Як здійснюють прояснення води?
8. Як здійснюють знебарвлення води?
9. Для чого і як здійснюють знезараження води?
10. Основні умови розміщення технологічних процесів і споруд у певній послідовності.
11. Охарактеризуйте основні технологічні схеми підготовки питної води з поверхневих джерел.
12. Класифікації основних технологічних схем підготовки питної води.
13. Які документи встановлюють вимоги до безпечності та якості питної води?
14. Порівняйте реагентні й безреагентні технологічні схеми підготовки питної води.
15. Як розділяють схеми підготовки води за кількістю технологічних процесів і числом ступенів кожного з них?
16. Які технологічні схеми розрізняють за ефектом прояснення?
17. Які технологічні схеми розрізняють за характером руху оброблюваної води?
18. Принципи компонування технологічної схеми для очищення вод.
19. Охарактеризуйте рекомендації для попереднього вибору споруд для прояснення та знебарвлення води.

Тема 2 Попереднє очищення води

1. Водозабірно-очисні споруди та пристрої.
2. Споруди для безреагентного відстоювання води.
3. Гідроциклонні прилади.
4. Фільтрування води крізь сітки та тканини.
5. Мікрофільтрування.

Контрольні запитання

1. Для чого застосовують водозабірно-очисні споруди та пристрої?
2. Назвіть приклади водозабірно-очисних споруди та пристроїв.
3. Принцип дії фільтруючих водоприймачів.
4. Застосування водоприймальних ковшів та підвідних каналів від головного джерела водопостачання до очисної станції.
5. Назвіть види ковшевих водоприймачів.
6. Влаштування прибережних (наливних) водосховищ.

7. Використання гідроциклонних установок для попереднього очищення води.
8. Гідроциклони низького та високого тиску.
9. Фільтрування води крізь сітки та тканини.
10. Конструктивне оформлення поверхневого фільтрування.
11. Проціджування води через сітки з різних матеріалів.
12. За якими параметрами характеризують сітчасті фільтри?
13. Які вимоги ставлять до сіток, застосовуваних в системах водопостачання?
14. Назвіть види фільтрування через сітчасті перегородки.
15. Яка основна мета мікрофільтрування?
16. Які фактори забезпечують ефективність мікрофільтрування?
17. Якої досягають ефективності зниження вмісту завислих речовин в результаті мікрофільтрування?
18. Опишіть конструкцію мікрофільтру.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 Споруди та обладнання для реагентного очищення води

Тема 3 Реагентне господарство

1. Реагенти, що застосовують для підготовки питної води. Послідовність введення реагентів.
2. Технологічні схеми реагентного господарства.
3. Дозування реагентів.

Контрольні запитання

1. Які використовують основні реагенти та матеріали у практиці водопідготовки?
2. Які основні закономірності введення реагентів в очищувану воду?
3. Опишіть послідовність введення реагентів в очищувану воду залежно від її якості.
4. Опишіть механізм очищення води коагулянтами.
5. Як вводять в воду коагулянти?
6. Від чого залежить доза коагулянту?
7. Як вводять в воду флокулянти?
8. Від чого залежить доза флокулянту?
9. Як здійснюють знезараження води?
10. Як проводять амонізацію води?
11. Як вводять фторовмісні реагенти?
12. Здійснення яких процесів передбачають технологічні схеми реагентного господарства?
13. Охарактеризуйте схеми організації реагентного господарства.
14. Як здійснюють складування і зберігання реагентів?

15. Основні принципи приготування розчинів коагулянтів.
16. Основні принципи приготування вапняного молока.
17. Основні принципи приготування розчинів флокулянтів.
18. Як визначають оптимальну дозу коагулянту?
19. Які типи дозаторів застосовують у водопідготовці?
20. Принцип роботи дозаторів постійної дози.
21. Принцип роботи пропорційних дозаторів.
22. Дозування твердих порошкоподібних та гранульованих реагентів.

Тема 4 Змішування реагентів з водою

1. Технологія змішування реагентів з водою. Класифікація змішувальних пристроїв.
2. Гідравлічні змішувачі.
3. Механічні змішувачі.

Контрольні запитання

1. Опишіть загальні принципи технології змішування реагентів з водою.
2. Як впливає неефективне змішування на процес очистки води?
3. Як забезпечити рівномірне і швидке змішування реагентів з водою?
4. Загальний принцип дії гідравлічних змішувачів.
5. Опишіть гідравлічний змішувач з перегородками.
6. Опишіть дірчастий гідравлічний змішувач.
7. Конструкція та принцип дії вертикальних (вихрових) змішувачів.
8. Опишіть принцип дії перегородкових змішувачів коридорного типу.
9. Конструкція та принцип дії трубчастих змішувачів.
10. Назвіть переваги механічних змішувачів.

Тема 5 Процеси, застосовувані на першому ступені прояснення води

5.1 Камери утворення пластівців

1. Сутність процесу утворення пластівців.
2. Камери утворення пластівців гідравлічного типу.
3. Флокулятори та аерофлокулятори.

Контрольні запитання

1. Поясніть сутність процесу утворення пластівців.
2. Які фактори впливають на властивості пластівців та процес їх утворення?
3. Яка тривалість формування пластівців?
4. Яка повинна бути інтенсивність перемішування води в камерах утворення пластівців?
5. Як впливає температура води на інтенсивність її перемішування в камерах утворення пластівців?
6. Назвіть типи камер утворення пластівців.
7. Охарактеризуйте камери утворення пластівців гідравлічного типу.

8. Конструкція та принцип роботи вихрової камери утворення пластівців.

9. Конструкція та принцип роботи камери утворення пластівців зашламленого типу.

10. Конструкція та принцип роботи водоворотної камери утворення пластівців.

11. Конструкція та принцип роботи камер утворення пластівців з рециркуляторами.

12. Переваги флокуляторів та аерофлокуляторів.

5.2 Осадження домішок води

1. Основи процесу осадження.

2. Типи відстійників.

3. Тонкошарове відстоювання.

Контрольні запитання

1. Основи процесу осадження домішок.

2. Охарактеризуйте схему процесу відстоювання.

3. Охарактеризуйте стиснуте осадження.

4. Які фактори враховують при розрахунку кількості відстійників.

5. Конструкція та принцип дії горизонтальних відстійників.

6. Конструкція та принцип дії вертикальних відстійників.

7. Конструкція та принцип дії радіальних відстійників.

8. Для чого використовують тонкошарове відстоювання.

9. Охарактеризуйте використувані тонкошарові елементи та блоки.

5.3 Прояснення води в шарі завислого осаду

1. Основи процесу прояснення води в шарі завислого осаду.

2. Властивості завислого контактного середовища.

3. Типи прояснювачів із завислим осадом.

Контрольні запитання:

1. Основи процесу прояснення води в шарі завислого осаду.

2. Переваги та недоліки прояснювачів із завислим осадом.

3. Опишіть принцип роботи прояснювачів із завислим осадом.

4. Охарактеризуйте вплив контактного середовища на процес водообробки.

5. За умови дотримання яких параметрів досягається стабільна робота прояснювачів?

6. Особливості стиснутого осадження.

7. Охарактеризуйте властивості завислого контактного середовища.

8. Які фактори впливають на властивості завислого контактного середовища?

9. Назвіть основні типи прояснювачів із завислим осадом.

10. Назвіть умови надійної роботи прояснювачів із завислим осадом.

11. Принцип роботи прояснювачів з вертикальними осадощільнювачами.

12. Розташування в зоні прояснення, відокремлення та ущільнення осаду прояснювачів із завислим осадом тонкошарових модулів.

13. Опишіть конструкцію та принцип дії акселератору.

14. Опишіть конструкцію та принцип дії пресіпітатору.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 Фільтрування та знезараження води

Тема 6 Фільтрування води

1. Фільтрування через зернисті матеріали.

2. Типи фільтрів.

3. Контактні прояснювачі та контактні фільтри.

4. Покращення роботи фільтрів.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте процес фільтрування води.

2. Охарактеризуйте осади, які утворюються на фільтрувальній перегородці.

3. Які типи фільтрів виділяють залежно від фільтрувального шару?

4. Які типи фільтрів виділяють залежно від швидкості фільтрування?

5. Які типи фільтрів виділяють залежно від величини зерен фільтрувального завантаження?

6. Як характеризують зерна фільтрувального завантаження?

7. Що таке «фільтроцикл»? Від чого залежить його тривалість?

8. Що таке «грязеємність» фільтру?

9. Назвіть типи фільтрів та область їх застосування.

10. Конструкція та принцип дії повільних фільтрів.

11. Конструкція та принцип фільтрування крізь наливний шар спеціального фільтрувального порошку.

12. Застосування попередніх фільтрів.

13. Застосування великозернистих фільтрів.

14. Конструкція та принцип дії швидких фільтрів.

15. Конструкція та принцип дії фільтру із завантаженням зі спіненого полістиролу.

16. Контактне коагулювання домішок води.

17. Принцип роботи контактних прояснювачів.

18. Промивання контактних прояснювачів.

19. Принцип роботи контактних фільтрів.

20. Назвіть принципи і способи підвищення грязеємності зернистого завантаження.

21. Основні напрями реконструкції швидких фільтрів.

Тема 7 Знезараження води

1. Методи знезараження води.
2. Роль окисників в процесах водопідготовки.
3. Електролізні установки для знезараження води.
4. Знезараження води бактерицидним опроміненням.
5. Інші методи знезараження води.

Контрольні запитання

1. Якими методами можна здійснювати знезараження води?
2. Як здійснюють вибір способу знезараження води?
3. Охарактеризуйте роль окиснювачів в процесах водопідготовки.
4. Які процеси відбуваються при хлоруванні води рідким хлором?
5. Що таке «вільний активний хлор»?
6. Що таке «зв'язаний хлор»?
7. Роль залишкового хлору.
8. Який повинен бути час контакту хлору з водою.
9. Які розрізняють типи хлораторів?
10. Як розміщують приміщення хлораторної?
11. Знезараження води за допомогою озону. Переваги озонування.
12. Застосування електролізних установок для знезараження води.
13. Технологічні схеми та експлуатація електролізного обладнання.
14. Знезараження води бактерицидним опроміненням.
15. Опишіть технологію знезараження води УФ опроміненням.
16. Назвіть переваги та недоліки знезараження води випромінюванням.
17. На чому базується бактерицидний ефект ультразвуку?
18. Охарактеризуйте комплексне застосування реагентних і безреагентних методів для знезараження води.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 2014-01-01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 115 с.
2. ДБН В.2.5-75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. – Чинний від 2014-01-01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 96 с.
3. ДБН В.2.5-64:2012. Внутрішній водопровід та каналізація. – Чинний від 2013-03-01. – Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. – 113 с.
4. ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною». – Чинний від 2022-04-01. – Київ : Міністерство охорони здоров'я, 2010. – 25 с.
5. Ткачук О. А. Водопровідні мережі : навч. посіб. / О. А. Ткачук, В. О. Шадура ; Нац. ун-т водн. госп-ва та природокорист-я. – Рівне : НУВГП, 2010. – 146 с.
6. Каталог хімічних насосів DEBEM [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://prom-nasos.com.ua/ua/catalog/brands/debem/>, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.
7. Каталог ТОВ «Компані «Плазма» [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://www.plasma.com.ua/ua/pump/index.html#start>, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.
8. Поверхневі насоси Optima (Оптіма) [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : https://aquatools.com.ua/ua/nasosi/centrobeznue/optima_centrobeznue/, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.
9. ТОВ «Техенергоцентр» обладнання вапнякового відділення [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://tec.co.ua/product-category/lime-department-equipment-ua/>, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.
10. Каталог ТОВ «Далгакіран компресор Україна» [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://dalgakiran.ua/uk/product-category/promislovi-nasosi/>, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.
11. Каталог ТОВ «Грундфос Україна» [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <http://ua.grundfos.com/products/find-product.html>, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.
12. Портал PROM-NASOS.com.ua. Міксери та мішалки [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://prom-nasos.com.ua/ua/mixers-and-agitators/>, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.
13. Каталог ОАО «САХАВТОМАТ» [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу: <https://31081-ua.all.biz/centrifugi-promyshlennye-g2156635>, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.
14. Труби, фасонні деталі, арматура, та обладнання систем зовнішнього водопостачання та каналізації : довідковий посібник / [М. І. Колотило, І. В. Корінько, І. Л. Копелевич та ін.] ; за заг. ред. М. І. Колотило ; Харків. держ. техн. ун-т буд-ва та арх-ри. – Харків : ХДТУБА, 2004. – 478 с.
15. ТОВ «Вавілон-777». Гідроциклони [Електрон. ресурс]. – Електрон. текст. дані. – Режим доступу : <https://vavilon-777.com.ua/ua/p489859644-gidrotsiklon-poliuretan-gtsp.html>, вільний (дата звернення 20.06.2024). – Назва з екрана.

ДОДАТОК А
Вихідні дані для розрахунків

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Продуктивність ОС, м ³ /добу	100	98	93	89	85	80	76	72	70	69
Вміст аніонів, мг/дм ³	90,2	121	41,0	101	61,0	40,0	61,0	20,0	40,0	42,7
	15,2	25,0	61,0	13,0	24,6	12,0	24,0	24,9	24,7	13,1
	118,6	46,0	69,5	23,0	23,0	24,0	47,0	23,0	23,0	4,0
Вміст катіонів, мг/дм ³	190,4	367	306	245	244	123	123	62	123	183
	202,7	49	97	97	49	48	193	97	96	12,6
	126,9	109	100	38	37	36	36	36	36	37
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Загальна твердість, ммоль/дм ³	5,76	8,1	7,07	6,04	5,04	2,99	5,03	3,05	4,03	3,2
Завислі речовини, мг/дм ³	800	200	300	400	500	160	600	250	350	20
Забарвленість, град. пкш	30	356	40	45	50	55	60	70	75	76
Запах, присмак, бал	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1
рН	7,8	7,6	7,5	7,9	7,3	7,2	7,7	7,5	7,4	7,8
Температура, °С	8,2	11,8	12,6	10,9	13,1	7,9	8,5	10,2	12,5	9,8

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
для проведення практичних занять та організації самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ОЧИСНІ СПОРУДИ ВОДОПОСТАЧАННЯ»

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти всіх форм
навчання зі спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія
та водні технології всіх форм навчання)*

Укладачі: **БСЛЯЄВА** Валентина Михайлівна,
СОРОКІНА Катерина Борисівна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *О. А. Норик*
Комп'ютерне верстання *В. М. Беляєва*

План 2023, поз. 65М

Підп. до друку 19.08.2024. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 3,4.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Черноглазівська (Маршала Бажанова), 17, Харків, 61002
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.