

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

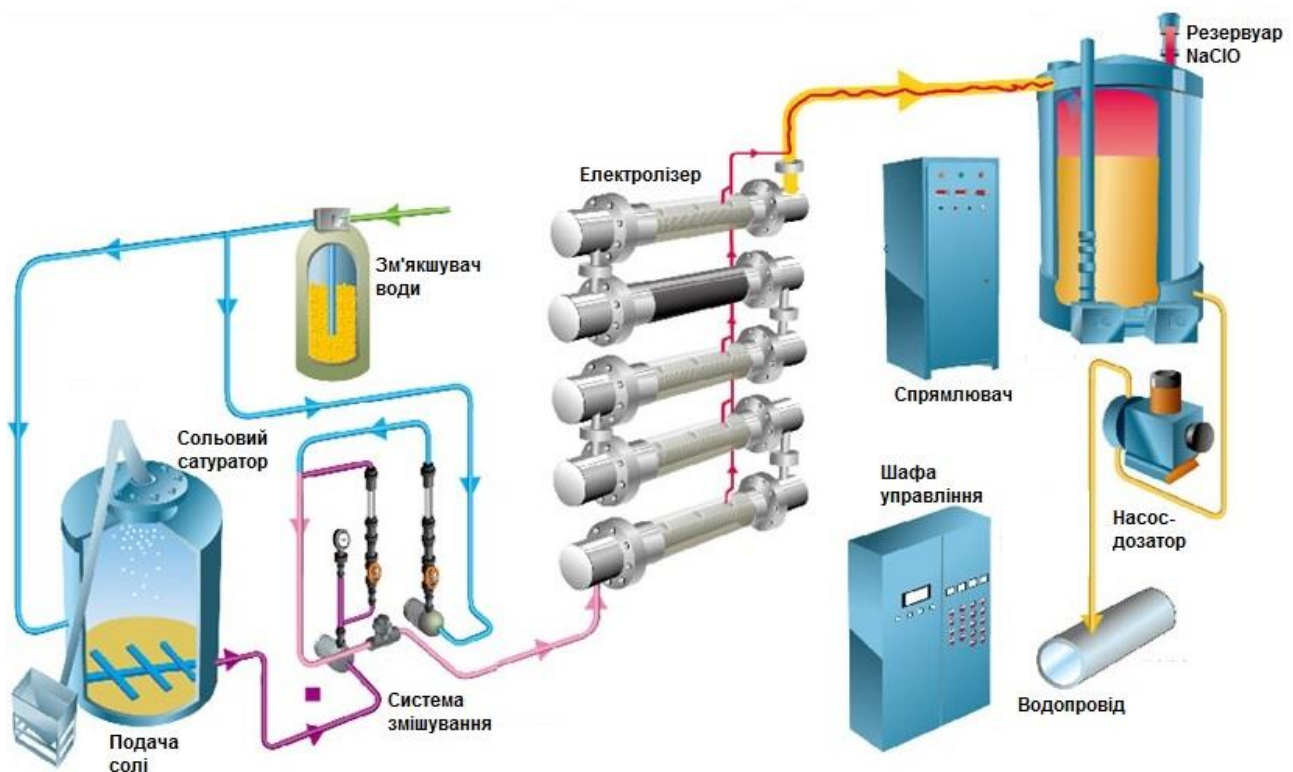
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для практичних занять, виконання курсової і самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВОДНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ»

(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання
зі спеціальності – G19 Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма
«Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»)



Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2025

Методичні рекомендації для практичних занять, виконання курсової і самостійної роботи з дисципліни «Перспективні напрямки вдосконалення водних технологій» (для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання зі спеціальності – G19 Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. А. Сироватський, А. С. Карагяур. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2025. – 80 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. О. А. Сироватський,
д-р техн. наук, проф. А. С. Карагяур

Рецензент

С. М. Епоян, доктор технічних наук, професор кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 21 від 27.06.2025.

Методичні рекомендації призначені для здобувачів спеціальності G19 – Будівництво та цивільна інженерія (освітня програма «Цивільна інженерія») другого (магістерського) рівня вищої освіти. Подано методику виконання практичних завдань, засоби та послідовність виконання. Наведено рекомендації щодо оформлення робіт, виконання курсової і самостійної роботи, а також необхідний довідковий матеріал.

ЗМІСТ

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ	4
Загальні рекомендації	4
Практичне заняття № 1 Оцінка якісного складу води. Розрахунок продуктивності пом'якшувальних установок. Визначення необхідних доз реагентів	4
Практичне заняття № 2 Визначення доз реагентів у разі вапняно-содового методу пом'якшення води	6
Практичне заняття № 3 Розрахунок вихрового реактора станції реагентного пом'якшення води	8
Практичне заняття № 4 Розрахунок Na-катіонітового фільтра у разі одноступеневого пом'якшення води	11
Практичне заняття № 5 Розрахунок системи регенерації блока Na-катіонітових фільтрів у разі одноступеневого пом'якшення води	14
Практичне заняття № 6 Технологічний розрахунок аераційного пристрою для знезалізнення води і видалення сірководню	16
Практичне заняття № 7 Розрахунок установки знезалізнення води для питного водопостачання	20
Практичне заняття № 8 Розрахунок Na-катіонітового фільтра II ступеня у разі глибокого пом'якшення води	24
Практичне заняття № 9 Розрахунок H-катіонітової установки демінералізації води	26
Практичне заняття № 10 Розрахунок Na-катіонітового фільтра, що входить до складу H-Na-катіонітової установки демінералізації води	29
Практичне заняття № 11 Розрахунок сольового і кислотного реагентного господарства установки демінералізації води	30
Практичне заняття № 12 Розрахунок установки реагентного оброблення води для питного водопостачання селища	33
Практичне заняття № 13 Технологічний розрахунок системи озонування природної води	36
Практичне заняття № 14 Розрахунок декарбонізатора в схемі H-катіонування	39
Практичне заняття № 15 Якісна оцінка іонного складу і стабільності води	42
Практичне заняття № 16 Розрахунок прояснювача станцій пом'якшення і знесолення води.....	43
КУРСОВА РОБОТА	47
ТЕМИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ	49
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ	52
ДОДАТКИ	54

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Загальні рекомендації

Курс «Перспективні напрямки вдосконалення водних технологій» передбачає проведення 16-ти практичних занять, розподілених між трьома змістовними модулями. Заняття 1–5 – змістовний модуль № 1, заняття 6–11 – змістовний модуль № 2, заняття 12–16 – змістовний модуль № 3. Мета проведення практичних занять – закріплення теоретичних знань, отриманих під час вивчення теоретичного (лекційного) курсу.

Виконані практичні завдання 1–16 здобувачі оформлюють на аркушах А4 у MS Word, зберігають у форматі PDF і завантажують до відповідних тек команди навчальної компоненти MS Teams і курсу дистанційного навчання Moodle.

Рекомендовані параметри оформлення: шрифт – Times New Roman, кегль – 14 пт, міжрядковий інтервал – 1,5. За необхідності кожна робота супроводжується розрахунками, формулами, таблицями, поясненнями, обґрунтуваннями і графічним матеріалом.

Практичні роботи подаються трьома блоками на останньому тижні кожного змістовного модулю. Титульні аркуші блоків практичних завдань мають містити таку інформацію: Міністерство освіти і науки України, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, кафедру водопостачання, водовідведення і очищення вод, назву освітнього компонента, змістовний модуль №..., практичні завдання №..., прізвище та ініціали здобувача, номер академічної групи, номер варіанту, прізвище викладача і рік виконання.

Практичне заняття № 1

Оцінка якісного складу води. Розрахунок продуктивності пом'якшувальних установок. Визначення необхідних доз реагентів

Умови завдання

Вода з підземного джерела (рН = 7,3) подається для господарських потреб. Потрібно оцінити необхідність проведення заходів з пом'якшення води. У разі необхідності запровадити реагентне пом'якшення вапняним способом. Визначити продуктивність пом'якшувальної установки, дози вапна і коагулянту. У якості коагулянту використовується сірчаноокисле залізо. Вапно використовується технічне з вмістом активного СаО 50–70 %. Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці А.1 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Розраховуємо жорсткість (твердість) вихідної води $J_{\text{вих}}$, мг-екв/л за такою формулою:

$$J_{\text{вих}} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}], \quad (1.1)$$

де $[Ca^{2+}]$, $[Mg^{2+}]$ – відповідно вміст іонів кальцію і магнію у вихідній воді, мг-екв/л.

Перерахунок іонної форми в еквівалентну здійснюється за такою схемою:

$$\text{мг} - \text{екв/л} = \frac{\text{мг/л}}{\text{еквівалента маса}},$$

$$\text{еквівалента маса} = \frac{\text{атомна (іонна) маса}}{\text{валентність}}.$$

Числові значення атомної (іонної) маси і валентність обираємо з періодичної системи хімічних елементів (таблиці Д. І. Менделєєва).

Порівнюємо розрахункову жорсткість вихідної води з допустимою для споживачів, $J_{\text{потр}}$, мг-екв/л.

Якщо $J_{\text{вих}} > J_{\text{потр}}$, необхідно передбачити заходи з пом'якшення води.

2. Проводимо балансовий розрахунок із визначення необхідної продуктивності пом'якшувальної установки $q_{\text{зм}}$, м³/год.

Балансовий розрахунок проводимо за умови, що одна частина загального потоку води (водоспоживання) проходить через установку пом'якшення і змішується з іншою частиною необробленої вихідної води, забезпечуючи необхідний показник якості води, допустимий для споживача, $J_{\text{потр}}$, мг-екв/л.

Водночас продуктивність установки пом'якшення води, м³/год, визначаємо за такою формулою:

$$q_{\text{зм}} = q \frac{(J_{\text{вих}} - J_{\text{потр}})}{(J_{\text{вих}} - J_{\text{пом}})}, \quad (1.2)$$

де $J_{\text{вих}}$ – загальна жорсткість вихідної води, мг-екв/л;

$J_{\text{потр}}$ – потрібна загальна жорсткість споживаної води, мг-екв/л;

$J_{\text{пом}}$ – загальна жорсткість після установок пом'якшення води, мг-екв/л. Необхідно зазначити, що вапняний метод пом'якшення води забезпечує загальну жорсткість води на рівні 0,7–1,0 мг-екв/л;

q – необхідна витрата води для споживача, м³/год.

3. Розраховуємо карбонатну жорсткість води $J_{\text{к}}$, мг-екв/л, за такою формулою:

$$J_{\text{к}} = [HCO_3^-], \quad (1.3)$$

де $[HCO_3^-]$ – вміст гідрокарбонат-іону у вихідній воді, мг-екв/л.

4. Визначаємо необхідну дозу вапна $D_{\text{в}}$, мг/л, для пом'якшення за таких умов:

$$\text{якщо } \frac{[Ca^{2+}]}{20} < J_{\text{к}},$$

$$D_{\text{в}} = 28 \left(\frac{[CO_2]}{22} + 2J_{\text{к}} - \frac{[Ca^{2+}]}{20} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 0,5 \right), \quad (1.3)$$

$$\text{якщо } \frac{[Ca^{2+}]}{20} > J_{\text{к}},$$

$$D_B = 28 \left(\frac{[CO_2]}{22} + Ж_K + \frac{D_K}{e_K} + 0,3 \right), \quad (1.4)$$

де $[CO_2]$ і $[Ca^{2+}]$ – концентрація у воді вільного двоокису вуглецю і іонів кальцію відповідно, мг/л;

$Ж_K$ – карбонатна жорсткість води, мг-екв/л;

D_K – доза коагулянту в перерахунку на безводний продукт, мг/л;

e_K – еквівалентна маса активної речовини коагулянту;

0,5 і 0,3 – надлишок вапна для забезпечення більш повного перебігу реакції, мг-екв/л.

Необхідну дозу коагулянту (в нашому випадку сірчаноокислого заліза) D_K , мг/л, вибираємо за таблицею 17 ДБН В.2.5–74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. Еквівалентну масу безводного коагулянту ($Fe_2(SO_4)_3$) вибираємо з п. 10.4.6 ДБН В.2.5–74:2013.

Вираз $\frac{D_K}{e_K}$ беруть зі знаком «+», якщо коагулянт додають до води після вапна або одночасно з ним, і зі знаком «–» у разі додавання коагулянту до вапна. Схему додавання коагулянту здобувач визначає на свій розсуд.

5. Розраховуємо кількість завислих речовин у воді, C , мг/л, які утворюються під час вапняного пом'якшення за такою формулою:

$$C = K_{вих} + 50 \left(\frac{[CO_2]}{22} + 2Ж_K \right) + 29 \frac{[Mg^{2+}]}{12} + D_B \left(\frac{100 - m}{100} \right), \quad (1.5)$$

де $[CO_2]$ і $[Mg^{2+}]$ – вміст вільної вуглекислоти та іонів магнію у вихідній воді, мг/л;

$K_{вих}$ – каламутність вихідної води, мг/л;

m – вміст CaO у технічному вапні, %.

6. Уточнюємо необхідну дозу коагулянту з урахуванням C , мг/л, за такою формулою:

$$D_K = 3\sqrt[3]{C}. \quad (1.6)$$

Після уточнення дози, у разі значної її розбіжності (більше ніж 10–20 %) з прийнятою у п. 4, необхідну дозу вапна D_B перераховують.

Практичне заняття № 2

Визначення доз реагентів у разі вапняно-содового методу пом'якшення води

Умови завдання

Вода з підземного джерела ($pH = 7,3$) скеровується для господарських і промислових потреб споживача. Потрібно оцінити необхідність проведення заходів із пом'якшення води. У разі необхідності вживання пом'якшувальних технологій потрібно застосовувати вапняно-содовий метод пом'якшення води. У якості коагулянту використовується хлорне залізо. Вапно застосовують технічне із вмістом активного CaO 50–70 %. Вихідні дані для розрахунку наведено у таблиці А.2 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Розраховуємо жорсткість вихідної води $J_{\text{вих}}$, мг-екв/л. Порядок розрахунку наведений у методиці розв'язання попереднього завдання. Порівнюємо величину $J_{\text{вих}}$, мг-екв/л, з допустимою для споживачів $J_{\text{спож}}$, мг-екв/л. Якщо $J_{\text{вих}} > J_{\text{спож}}$, необхідно вжити заходів із пом'якшення води. Згідно з умовами завдання у цьому випадку застосовується вапняно-содовий метод пом'якшення.

2. Розраховуємо карбонатну і некарбонатну жорсткість вихідної води $J_{\text{к}}$, мг-екв/л і $J_{\text{нк}}$, мг-екв/л, за такою формулою:

$$J_{\text{к}} = [\text{HCO}_3^-], \quad (2.1)$$

$$J_{\text{нк}} = J_{\text{вих}} - J_{\text{к}}, \quad (2.2)$$

де $[\text{HCO}_3^-]$ – вміст гідрокарбонат-іону у вихідній воді, мг-екв/л.

3. Визначаємо необхідну дозу вапна $D_{\text{в}}$, мг/л, для пом'якшення води у разі вапняно-содового методу за такою формулою:

$$D_{\text{в}} = 28 \left(\frac{[\text{CO}_2]}{22} + J_{\text{к}} + \frac{[\text{Mg}^{2+}]}{12} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 0,5 \right), \quad (2.3)$$

де $[\text{CO}_2]$ і $[\text{Mg}^{2+}]$ – концентрація у воді вільного двоокису вуглецю і іонів магнію відповідно, мг/л;

$J_{\text{к}}$ – карбонатна жорсткість води, мг-екв/л;

$D_{\text{к}}$ – доза коагулянту в перерахунку на безводний продукт, мг/л;

$e_{\text{к}}$ – еквівалентна маса активної речовини коагулянту;

0,5 – надлишок вапна для забезпечення більш повного перебігу реакції, мг-екв/л.

Необхідна доза коагулянту (для цього випадку – хлорного заліза), $D_{\text{к}}$, мг/л, вибираємо за таблицею 17 ДБН В.2.5–74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Еквівалентну масу безводного коагулянту $e_{\text{к}}$ (для FeCl_3) аналогічно попередньому завданню вибираємо з п. 10.4.6 ДБН В.2.5–74:2013.

Вираз $\frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}}$ беруть зі знаком «+», якщо коагулянт додають до води після вапна або одночасно з ним, і зі знаком «-» у разі додавання коагулянту до вапна. Схему додавання коагулянту кожен здобувач визначає на свій розсуд.

4. Визначаємо необхідну дозу соди $D_{\text{с}}$, мг/л, для зменшення некарбонатної жорсткості вихідної води за такою формулою:

$$D_{\text{с}} = 53 \left(J_{\text{нк}} + \frac{D_{\text{к}}}{e_{\text{к}}} + 1 \right), \quad (2.4)$$

де $J_{\text{нк}}$ – некарбонатна жорсткість води, мг-екв/л;

1 – надлишок соди для забезпечення більш повного перебігу реакції, мг-екв/л.

Доза коагулянту $D_{\text{к}}$, мг/л, і його еквівалентна маса обирається така ж, як і в попередньому пункті цього завдання (п. 3).

5. Розраховуємо кількість завислих речовин у воді, C , мг/л, які утворюються під час вапняно-содового пом'якшення води за такою формулою:

$$C = K_{\text{вих}} + 50 \left(\frac{[CO_2]}{22} + Ж_{\text{к}} + Ж_0 \right) + 29 \frac{Mg^{2+}}{12} + D_{\text{в}} \left(\frac{100 - m}{100} \right), \quad (2.5)$$

де $[CO_2]$ і $[Mg^{2+}]$ – вміст вільної вуглекислоти та іонів магнію у вихідній воді, мг/л;

$K_{\text{вих}}$ – каламутність вихідної води, мг/л;

m – вміст СаО у технічному вапні, %.

6. Уточнюємо необхідну дозу коагулянту $D_{\text{к}}$, мг/л, за такою формулою:

$$D_{\text{к}} = 3\sqrt{C}. \quad (2.6)$$

Якщо уточнена доза має суттєву розбіжність (більше ніж 10–20 %) із прийнятою у п. 3 і п. 4, проводиться перерахунок необхідних доз вапна і соди.

Практичне заняття № 3

Розрахунок вихрового реактора станції реагентного пом'якшення води

Умови завдання

Розрахувати блок вихрових реакторів установки реагентного пом'якшення води (визначити діаметр верхньої і нижньої частини, висоту і об'єм апарата, вагу, висоту завантаження контактної маси і втрати напору). Вихідні дані для розрахунку подані у таблиці А.3 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Розрахункова схема вихрового реактора для умов цієї задачі подана на рисунку 3.1.

2. Визначимо продуктивність одного апарата, q_1 , м³/год, за такою формулою:

$$q_1 = \frac{q}{N}, \quad (3.1)$$

де N – обрана кількість апаратів, шт;

q – загальна продуктивність блока реакторів, м³/год.

Кількість робочих апаратів на станції здобувач обирає на власний розсуд за умови, що вона має бути не менше ніж 2. Резервні реактори не передбачаються.

3. Розраховуємо площу верхньої і нижньої частини реактора, м², за такою формулою:

$$f_{\text{в}} = \frac{q_1}{V_{\text{в}}}; \quad f_{\text{н}} = \frac{q_1}{V_{\text{н}}}, \quad (3.2)$$

де $V_{\text{в}}$ і $V_{\text{н}}$ – швидкість руху води у верхньому і нижньому перетинах реактора відповідно, м/с.

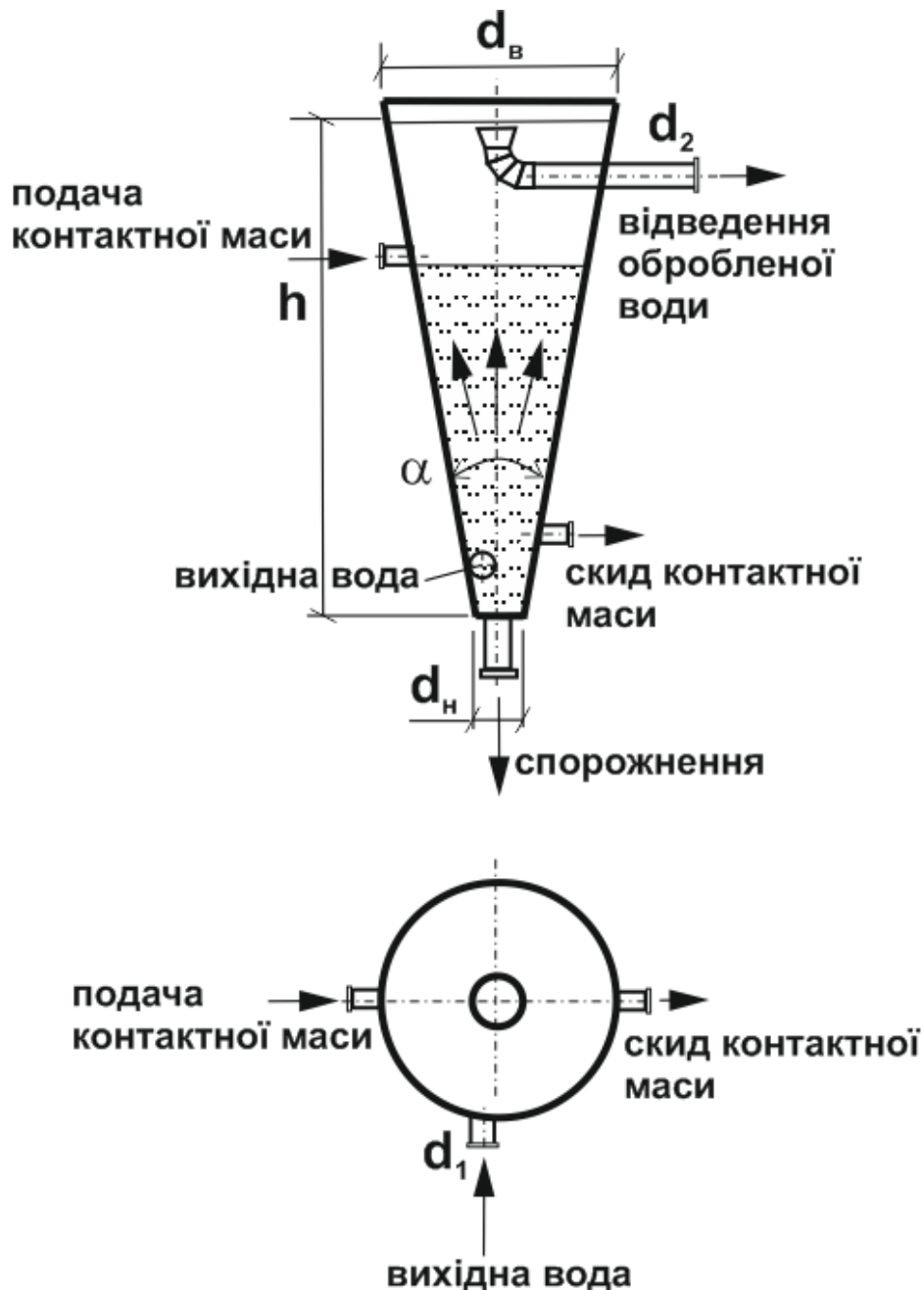


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема вихрового реактора:

h – висота апарата, м; d_1 – діаметр підвідного трубопроводу, мм; d_2 – діаметр відвідного трубопроводу, мм; d_H – діаметр нижньої частини апарата, м; d_B – діаметр верхньої частини апарата, м; α – кут конусності

Рекомендовані допустимі швидкості у верхньому і нижньому перетинах апарата зазначені у матеріалі відповідної лекції курсу і становлять на вході у реактор $V_B = 0,8-1,0$ м/с, на рівні водовідвідних отворів – $V_H = 4-6$ мм/с.

4. За отриманими значеннями площ визначаємо діаметри апарата у верхньому і нижньому перетині, м, за такою формулою:

$$d_B = \sqrt{\frac{4f_B}{\pi}} ; d_H = \sqrt{\frac{4f_H}{\pi}} . \quad (3.3)$$

5. Розраховуємо висоту реактора, м, за такою формулою:

$$h = \frac{1}{2}(d_B - d_H) \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3.4)$$

де α – кут конусності.

Кут конусності можна обирати в межах, зазначених у матеріалі відповідної лекції, тобто $\alpha = 15\text{--}20^\circ$.

6. Визначимо загальний об'єм апарата (вихрового реактора), м³, за такою формулою:

$$W = \frac{1}{3}h(f_B + \sqrt{f_B f_H} + f_H). \quad (3.5)$$

7. Розрахуємо вагу свіжої контактної маси для завантаження одного реактора (піску або мармурової крихти), кг, за такою формулою:

$$G = W \times \rho, \quad (3.6)$$

де ρ – густина заповнення реактора контактною масою, кг/м³.

Густину заповнення реактора можна обрати відповідно до матеріалу лекції ($\rho = 10$ кг/м³).

8. Розрахуємо необхідну добову витрату свіжої контактної маси (піску або мармурової крихти), що додається в процесі обробки, кг/добу, за такою формулою:

$$G_D = 0,045qJ_0, \quad (3.7)$$

де J_0 – жорсткість води, що видаляється в реакторах, мг-екв/л.

$$J_0 = J_{\text{вх}} - J_{\text{вих}}, \quad (3.8)$$

де $J_{\text{вх}}$ і $J_{\text{вих}}$ – жорсткість води на вході і виході з реакторів відповідно, мг-екв/л.

9. Визначимо висоту завантаження $h_{\text{км}}$ і втрати напору $h_{\text{пкм}}$ у вихровому реакторі, м, за такою формулою:

$$h_{\text{км}} = 0,5 h, \quad (3.9)$$

$$h_{\text{пкм}} = 0,35 h_{\text{км}}. \quad (3.10)$$

10. Діаметри підвідного d_1 , мм, і відвідного d_2 , мм, трубопроводів необхідно вибрати за умови, що труби є стальними, а допустима швидкість руху води в них складає 0,8–1,2 м/с. Вибір діаметрів труб проводиться за таблицями для гідравлічного розрахунку напірних труб або за методикою, зазначеною в додатку К ДБН В.2.5–74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування.

Практичне заняття № 4

Розрахунок Na-катионітового фільтра у разі одноступеневого пом'якшення води

Умови завдання

Виконати технологічний розрахунок блока Na-катионітових фільтрів у разі одноступеневого пом'якшення води. Установка працює в цілодобовому рівномірному режимі протягом доби. Вихідні дані для розрахунку подані в таблиці А.4 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Конструкція катионітового фільтра з основними розрахунковими параметрами показана на рисунку 4.1.

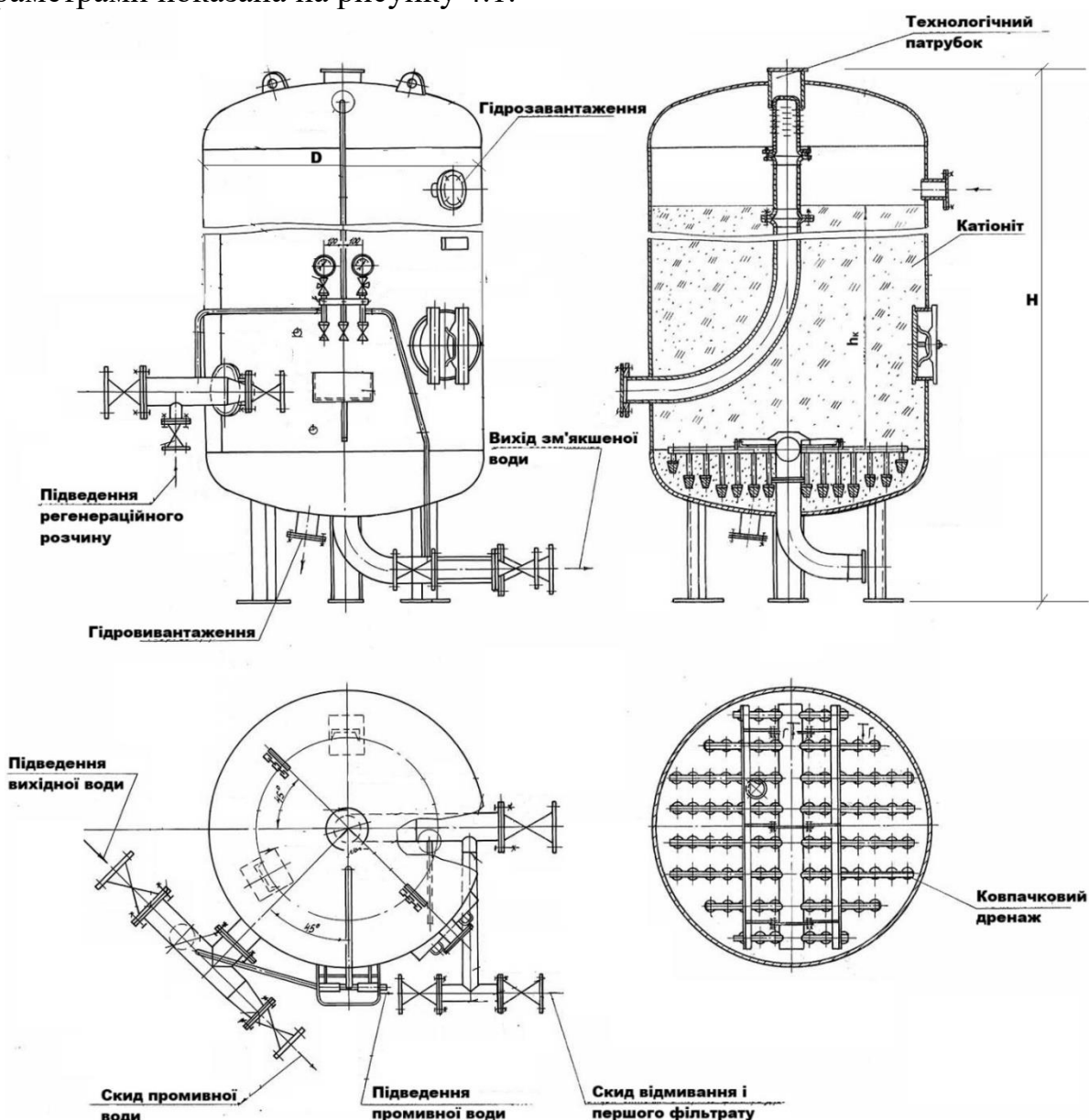


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема і конструкція катионітового фільтра

2. Вибираємо тип завантаження Na-катіонітових фільтрів. Вибір можна здійснювати за відкритими джерелами або вибрати один із запропонованих у завданні (КУ-2 або сульфовугілля).

3. Визначаємо робочу обмінну ємність катіонітового завантаження, мг-екв/л (г-екв/м³), за такою формулою:

$$E_{\text{роб}}^{Na} = \alpha_{Na} \beta_{Na} E_{\text{повн}} - 0,5 q_{\text{пит}} Ж_{0 \text{ вих}}, \quad (4.1)$$

де α_{Na} – коефіцієнт ефективності регенерації Na-катіоніту, який враховує неповноту регенерації (визначається за таблицями Б.1 і Б.2 додатку Б);

β_{Na} – коефіцієнт, що враховує зменшення обмінної ємності катіоніту у разі Ca^{2+} і Mg^{2+} внаслідок часткового затримання іонів Na^+ (визначається за таблицею Б.3 додатку Б);

$E_{\text{повн}}$ – повна обмінна ємність катіоніту, мг-екв/л (для катіоніту КУ-2 можна обрати $E_{\text{повн}} = 1\,500\text{--}1\,700$ мг-екв/л, для сульфовугілля – 500 мг-екв/л);

$q_{\text{пит}}$ – питома витрата води на відмивання катіоніту, м³/м³ (для катіоніту КУ-2 – 6 м³/м³ катіоніту, для сульфовугілля – 4–5 м³/м³);

$Ж_{0 \text{ вих}}$ – загальна жорсткість вихідної води, мг-екв/л.

Під час визначення числових значень коефіцієнтів α_{Na} і β_{Na} за таблицями Б.1, Б.2 і Б.3 у разі необхідності потрібно провести інтерполяцію.

4. Розраховуємо необхідний об'єм катіонітового завантаження, м³, за такою формулою:

$$W_k = \frac{24 q_y Ж_{0 \text{ вих}}}{n_p E_{\text{роб}}^{Na}}, \quad (4.2)$$

де q_y – годинна продуктивність пом'якшувальної установки, м³/год;

n_p – кількість регенерацій кожного фільтра протягом доби (можна обирати в межах 1–3).

5. Проводимо розрахунок швидкості фільтрування пом'якшувальної води, м/год, за такою формулою:

$$V_{\text{розр}} = \frac{E_{\text{роб}}^{Na} \times h_k}{T_m Ж_{0 \text{ вих}} + 0,02 E_{\text{роб}}^{Na} d_{80}^2 (\ln Ж_{0 \text{ вих}} - \ln Ж_{\text{зм}})} \leq V_{\text{доп}}, \quad (4.3)$$

де h_k – висота катіонітового завантаження, м ($h_k = 2,0\text{--}2,5$ м для одноступінчастого катіонування);

$Ж_{\text{зм}}$ – необхідна жорсткість пом'якшеної води, мг-екв/л;

d_{80} – 80 % калібр зерен катіонітового завантаження, мм (можна обирати для КУ-2 0,8–1,2 мм, для сульфовугілля – 0,5–1,1 мм);

T_m – тривалість міжрегенераційного періоду, год.

$$T_m = \frac{T}{n_p} (t_{\text{розп}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{відм}}), \quad (4.4)$$

де T – тривалість роботи установки на добу, год;

$t_{\text{розп}}$ – тривалість розпушення катіоніту, год ($t_{\text{розп}} = 20\text{--}30$ хвилин)

$t_{\text{рег}}$ – тривалість регенерації катіоніту, год ($t_{\text{рег}} = 25\text{--}40$ хвилин)

$t_{\text{відм}}$ – тривалість відмивання катіоніту, год ($t_{\text{рег}} = 30\text{--}60$ хвилин)

$V_{\text{доп}}$ – допустима швидкість фільтрування, м/год.

Допустиму швидкість фільтрування $V_{\text{доп}}$ можна орієнтовно обрати за даними таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Допустимі швидкості фільтрування

$Ж_{0 \text{ вих}}$, мг-екв/л	$V_{\text{доп}}$, м/год
до 5	20–25
5–10	15–20
10–15	10–15

Розрахункова швидкість $V_{\text{розр}}$ має бути не більшою, ніж допустима $V_{\text{доп}}$.

6. Визначаємо необхідну сумарну розрахункову робочу площу Na-катіонітових фільтрів пом'якшувальної установки, м^2 , за такою формулою:

$$F = \frac{24q_y}{V_{\text{розр}} [T - n_p (t_{\text{розп}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{відм}})]}. \quad (4.5)$$

7. Вибираємо діаметр і розміри катіонітових фільтрів з переліку стандартних, що виготовлюються промисловістю за даними додатка В. Розраховуємо дійсну загальну площу катіонітових фільтрів на станції, м^2 , за такою формулою:

$$F_d = NF_1 = N \frac{\pi D^2}{4} \geq F, \quad (4.6)$$

де N – кількість робочих фільтрів (обирають не менше ніж два, резервний один);

F_1 – площа фільтрування типового фільтра, м^2 ;

D – діаметр типового фільтра, м.

Дійсна загальна площа F_d повинна бути не менше ніж розрахункова площа фільтрів F .

8. Визначимо дійсний повний об'єм катіонітового завантаження, м^3 , за такою формулою:

$$W_{\text{кат}} = F_d h_k \geq W_k. \quad (4.7)$$

Повний дійсний об'єм завантаження $W_{\text{кат}}$ має бути не менше ніж розрахунковий, W_k .

Фактична швидкість фільтрування V_ϕ має бути не більше допустимої, м/год, і визначатися за такою формулою:

$$V_\phi = \frac{q_y}{F_d} \leq V_{\text{доп}}. \quad (4.8)$$

9. Встановлюємо швидкість фільтрування у разі форсованого режиму роботи фільтрів (коли один із фільтрів зупиняється на ремонт або регенерацію), м/год, за такою формулою:

$$V_{\text{форс}} = \frac{q_y}{F_1(N-1)} \quad (4.9)$$

10. Орієнтовно визначимо втрати напору в катіонітовому фільтрі, м, за даними таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Втрати напору в катіонітовому завантаженні

$V_{\text{ф}}$, м/год	Втрати напору, м	
	$h_k = 2,0$	$h_k = 2,5$
5	4,0	4,5
10	5,0	5,5
15	5,5	6,0
20	6,0	6,5
25	7,0	7,5

Практичне заняття № 5

Розрахунок системи регенерації блока Na-катіонітових фільтрів у разі одноступеневого пом'якшення води

Умови завдання

Для умов попередньої задачі виконати розрахунок системи регенерації блока Na-катіонітових фільтрів у разі одноступеневого пом'якшення води.

Порядок розв'язання задачі

1. Розраховуємо витрату технічної кухонної солі на одну регенерацію Na-катіонітового фільтра, кг, за такою формулою:

$$G_c = \frac{E^{Na} h_k D_c F_1}{1000}, \quad (5.1)$$

де D_c – питома витрата солі для регенерації Na-катіонітового завантаження, г/г-екв.

Характеристики і параметри роботи катіонітового фільтра обираємо згідно з результатами розрахунків, виконаних у межах попередньої задачі.

2. Визначаємо об'єми води на розпушення, $q_{\text{розп}}$, і відмивання, $q_{\text{відм}}$, катіонітового завантаження від продуктів регенерації, м³, за такою формулою:

$$q_{\text{розп}} = \frac{F_1 w_{\text{розп}} t_{\text{розп}} 60}{1000}, \quad (5.2)$$

де $w_{\text{розп}}$ – інтенсивність розпушення, л/с·м² (у разі крупності зерен катіоніту 0,3–0,8 $w_{\text{розп}} = 3$ л/с·м²; 0,5–1,1 – 4 л/с·м²; 0,8–1,2 – 5 л/с·м²).

$$q_{\text{відм}} = F_1 q_{\text{пит}} h_k. \quad (5.3)$$

3. Приготування регенераційного розчину здійснюється у солерозчинювачах типової конструкції, куди завантажуються потрібна кількість кухонної солі і підводиться вода для розчинення. Конструкція типового солерозчинювача подана на рисунку 5.1.

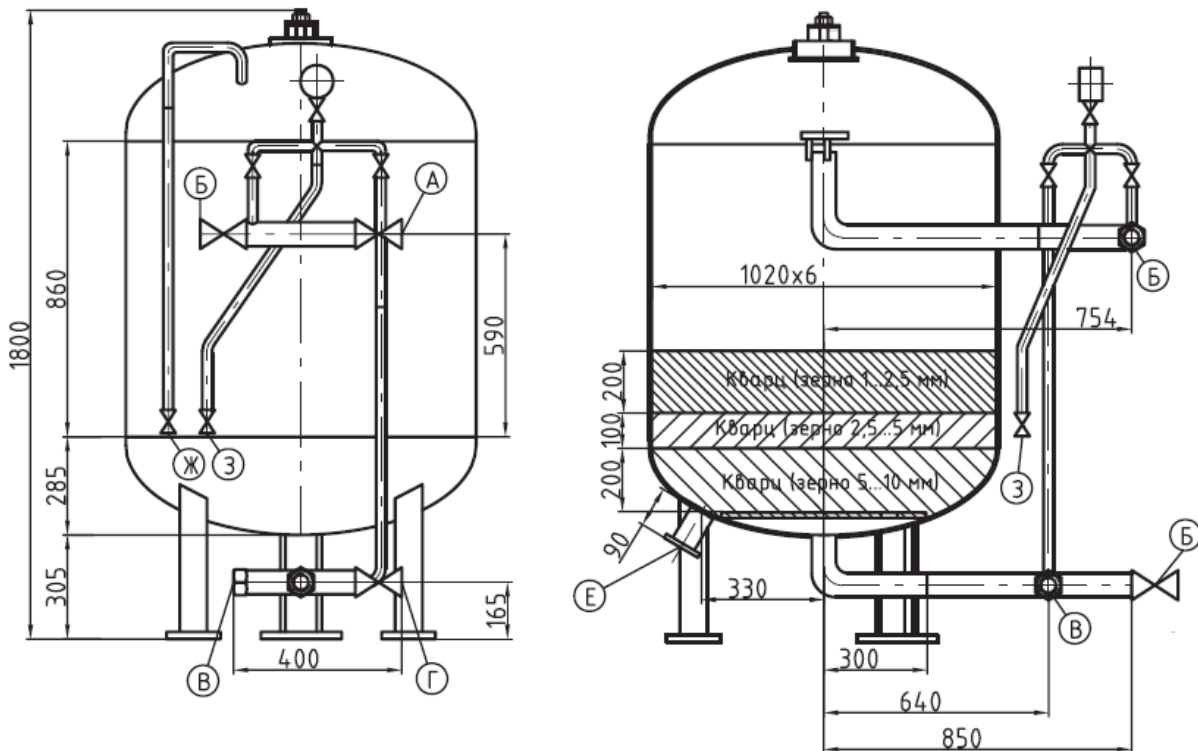


Рисунок 5.1 – Типовий солерозчинювач С1,0-1,0

4. За величиною G_c вибираємо кількість робочих солерозчинювачів для приготування розчину кухонної солі і типову конструкцію за даними відкритих джерел або за даними таблиці, поданій у додатку Г. Необхідна кількість солерозчинювачів, шт, визначається за такою формулою:

$$n_{c.p.} = \frac{G_c}{m_c} \geq 2 \text{ шт}, \quad (5.4)$$

де m_c – корисна ємкість за сіллю типового солерозчинювача, кг.

5. Розраховуємо потрібні обсяги води на розчинення солі, q_{pc} і на промивання солерозчинювача, $q_{пр.с.}$, m^3 , за такою формулою:

$$q_{pc} = \frac{G_c q_{пит.р.с.}}{1000}, \quad (5.5)$$

де $q_{пит.р.с.}$ – питома витрата води на розчинення солі (можна обирати $q_{пит.р.с.} = 1,0 - 3,5$ л/кг).

$$q_{пр.с.} = \frac{60 F_c w_c t_c}{1000}, \quad (5.6)$$

де F_c – площа типового солерозчинювача, m^2 ;

w_c – інтенсивність промивання солерозчинювача, л/с· m^2 (можна обирати $w_c = 1,5 - 5$ л/с· m^2);

t_c – тривалість промивання солерозчинювача, хв ($t_c = 5 - 15$ хвилин).

6. Визначаємо об'єм соляового розчину, що пропускається через солерозчинювач, $W_{p.c.}$, м³, і швидкість фільтрування розчину через шар завантаження у солерозчинювачі, V_c , м/год, за такою формулою:

$$W_{p.c.} = \frac{q_{\text{пит.р.с.}} G_c}{\rho_{c.p.} n_{c.p.}}, \quad (5.7)$$

де $\rho_{c.p.}$ – об'ємна вага соляного розчину, $\rho_{c.p.} = 1\,035\text{--}1\,070$ кг/м³.

$$V_c = \frac{W_{p.c.}}{F_c} \leq 6 \text{ м/год.}$$

Швидкість фільтрування V_c має бути не більше ніж 6 м/год.

7. Визначаємо сумарний об'єм, $\sum q$, м³, води на регенерацію одного фільтра і загальну добову витрату води на власні потреби пом'якшувальної станції, $q_{\text{доб}}$, м³/добу, за такою формулою:

$$\sum q = q_{\text{розп}} + q_{\text{відм}} + q_{\text{рс}} + q_{\text{пр.с}}, \quad (5.8)$$

$$q_{\text{доб}} = N \cdot n_p \sum q. \quad (5.9)$$

8. Розраховуємо необхідну частку води на власні потреби станції без урахування і з урахуванням повторного використання промивних і регенераційних вод.

Частка води на власні потреби пом'якшувальної станції, %, визначається за такою формулою:

$$P_{\text{доб}} = \frac{100q_{\text{доб}}}{24q_y}. \quad (5.10)$$

Частка води на власні потреби пом'якшувальної станції у разі повторного використання відмивочних вод і води регенераційного розчину солі, %, визначається за такою формулою:

$$P'_{\text{доб}} = \frac{100q_{\text{відм}} N \cdot n_p}{24q_y}. \quad (5.11)$$

Практичне заняття № 6

Технологічний розрахунок аераційного пристрою для знезалізнення води і видалення сірководню

Умови завдання

Виконати технологічний розрахунок аераційного пристрою для установки знезалізнення з одночасним видаленням сірководню під час підготовки питної води селища з підземного джерела. Установка працює в рівномірному режимі протягом доби. Вихідні дані за варіантами для розв'язання задачі наведено в таблиці А.5 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Для окиснення розчиненого у вихідній воді заліза і переведення його в нерозчинений стан для подальшого затримання на фільтрах у системах очистки підземних вод використовують вентиляторні або контактні градирні. У них забезпечується необхідний контакт іонів заліза з киснем повітря. Насадкою,

тобто заповненням для створення максимальної площі поверхні контакту, цих типів градирень можуть бути металеві або пластмасові кільця Рашига, кокс, щебінь, дерев'яні рейки тощо. Крім того, ці апарати також сприяють видаленню з вихідної води певної кількості розчиненого сірководню. Принципова схема градирні наведена на рисунку 6.1.

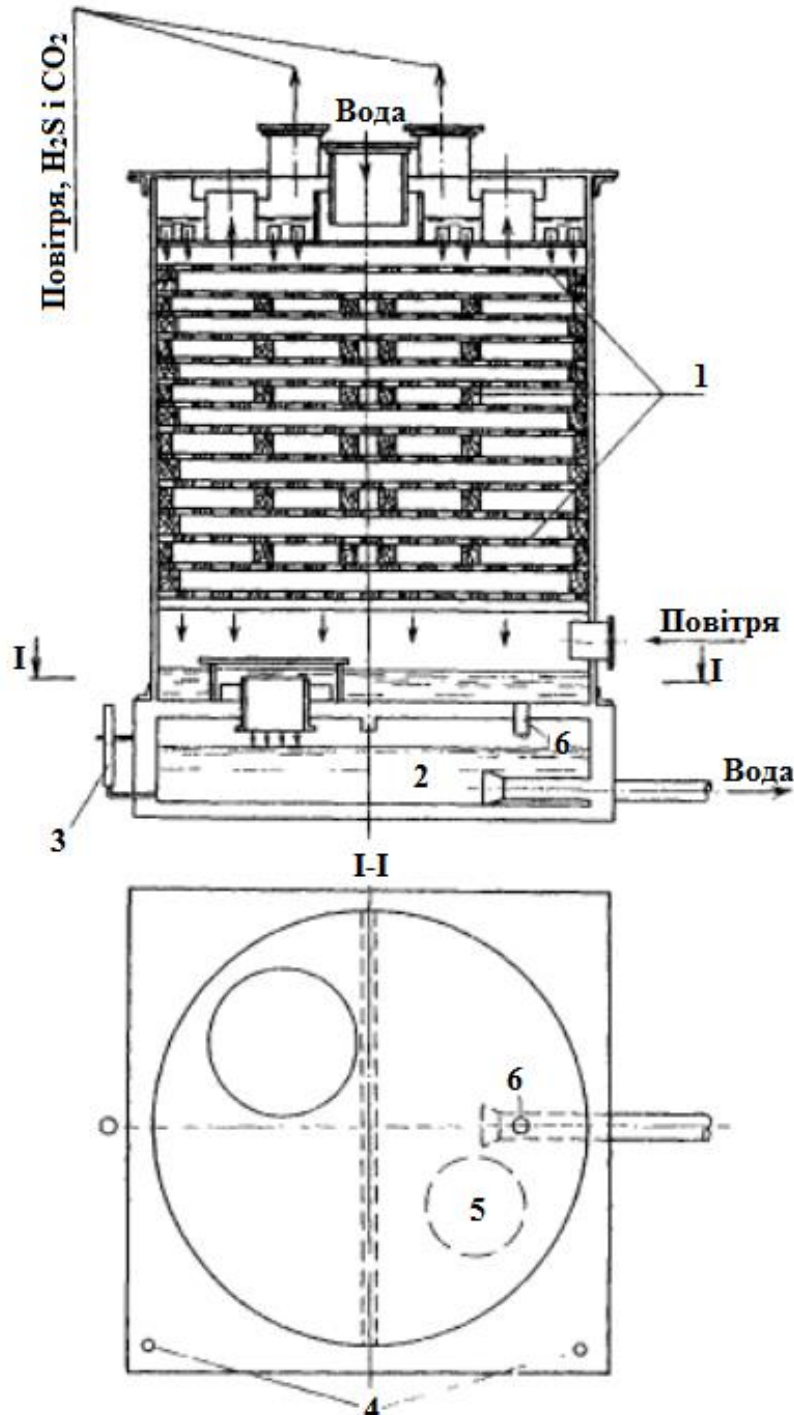


Рисунок 6.1 – Градирня установки знезалізнення води:

1 – насадка; 2 – контактний резервуар; 3 – мірник рівня води; 4 – відведення повітря; 5 – люк обслуговування; 6 – вентиляційний патрубок

2. Розраховуємо площу F_{Γ} , м², і діаметр, D , м, градирні за гідравлічним навантаженням $q_{\text{пит}}$, м³/год×м², за такою формулою:

$$F_{\Gamma} = \frac{q}{q_{\text{пит}}}, \quad (6.1)$$

де q – продуктивність установки, м³/год;

$q_{\text{пит}}$ – гідравлічне навантаження, м³/год на 1 м² (у разі використання насадки з кільця Рашига 25 мм × 25 мм × 3 мм можна обирати $q_{\text{пит}} = 60\text{--}70$ м³/год×м²).

$$D = \sqrt{\frac{4F_{\Gamma}}{3,14}}. \quad (6.2)$$

3. За номограмою (дод. Д, рис. Д.1) за якісними показниками вихідної води (температура, солеміст, лужність і рН) визначаємо вміст вуглекислоти у вихідній воді, $C_{\text{вих}}$, мг/л. Для адекватності розрахунків визначення варто робити з максимально можливою точністю.

4. За номограмою (дод. Д, рис. Д.2) визначаємо оптимальний вміст вуглекислоти, $C_{\text{опт}}$, мг/л, у разі рН = 7,5 і уточнюємо його ($C_{\text{опт}}^*$) з урахуванням температури (дод. Д, табл. Д.1) і солемісту (дод. Д, табл. Д.2), мг/л, за такою формулою:

$$C_{\text{опт}}^* = \alpha\beta C_{\text{опт}}, \quad (6.3)$$

де α і β – поправочні коефіцієнти відповідно для температури і солемісту.

5. Розраховуємо загальну концентрацію, C_{max} , мг/л, і обсяг, G , кг/год, вуглецевого газу, які потрібно видалити, за такою формулою:

$$C_{\text{max}} = 1,57[Fe^{2+}] + (C_{\text{вих}} - C_{\text{опт}}^*), \quad (6.4)$$

де $[Fe^{2+}]$ – вміст заліза у вихідній воді, мг/л.

$$G = \frac{qC_{\text{max}}}{1000}, \quad (6.5)$$

де q – годинна продуктивність станції очистки, м³/год.

6. За номограмою (дод. Д, рис. Д.3) визначаємо коефіцієнт десорбції $K_{\text{ж}}$, м/год, для вуглекислоти і розраховуємо рушійну силу десорбції, $\Delta C_{\text{сер}}$, кг/м³, за такою формулою:

$$\Delta C_{\text{сер}} = \frac{(C_{\text{вих}} - C_{\text{опт}}^*)}{2,31 \cdot \lg \frac{C_{\text{вих}}}{C_{\text{опт}}^*}}. \quad (6.6)$$

Під час розрахунку рушійної сили зверніть увагу, що розмірності концентрацій відрізняються від попередніх (кг/м³).

7. Розраховуємо необхідну площу поверхні насадкового завантаження, його об'єм і висоту шару під час незалізнення води за такою формулою:

$$F = \frac{G}{K_{\text{ж}}\Delta C_{\text{сер}}}, \text{ м}^2, \quad (6.7)$$

де $K_{\text{ж}}$ – коефіцієнт десорбції, м/год;

$\Delta C_{\text{сер}}$ – рушійна сила процесу, кг/м^3 .

$$W = \frac{F}{S}, \text{ м}^3, \quad (6.8)$$

де S – питома поверхня насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$ (для кілець Рашига $25 \text{ мм} \times 25 \text{ мм} \times 3 \text{ мм}$, $S = 204 \text{ м}^2/\text{м}^3$).

$$h = \frac{W}{F_{\Gamma}}, \text{ м}. \quad (6.9)$$

8. За номограмами визначаємо величини розчинності сірководню H , кг/м^3 , (дод. Е, рис. Е.1) і середню рушійну силу процесу, $\Delta C_{\text{сер}}$, кг/м^3 , (дод. Е, рис. Е.2) у заданих умовах.

9. Розраховуємо числове значення коефіцієнта десорбції $K_{\text{д}}$, м/год , і обсяг сірководню, що видаляється, G , кг/год , за такою формулою:

$$K_{\text{д}} = \frac{760 \left(\frac{1}{50,7 + \frac{109,9}{F_{\Gamma}^{0,324}}} \right)}{H}, \quad (6.10)$$

де H – розчинність сірководню в заданих умовах, кг/м^3 .

$$G = \frac{q(C_{\text{вих}} - C_{\text{спож}})}{1000}, \quad (6.11)$$

де $C_{\text{вих}}$ і $C_{\text{спож}}$ – відповідно концентрація сірководню у вихідній і очищеній воді, мг/л ($C_{\text{потр}} = 0,1 \text{ мг/л}$).

10. На основі отриманих даних визначаємо необхідну площу насадки під час видалення сірководню, м^2 , за такою формулою:

$$F = \frac{G}{K_{\text{д}} \Delta C_{\text{сер}}}, \quad (6.12)$$

11. Визначаємо об'єм і висоту шару насадки для градирні під час видалення сірководню за формулами, зазначеними в п. 7.

12. Обираємо висоту шару насадки за найбільшим з отриманих значень (для видалення заліза і сірководню).

13. Розраховуємо необхідну продуктивність вентилятора для подачі повітря в градирню, $\text{м}^3/\text{год}$, за такою формулою:

$$Q_{\text{пов}} = 12q. \quad (6.13)$$

14. Розраховуємо об'єм, $W_{\text{рез}}$ і розміри контактного резервуара, м^3 , за такою формулою:

$$W_{\text{рез}} = qT, \quad (6.14)$$

де T – тривалість контакту для завершення процесу окислення, год .

Сторона прямокутного резервуара, м , визначається за такою формулою:

$$B_{\text{рез}} = \sqrt{\frac{W_{\text{рез}}}{H_{\text{рез}}}}, \quad (6.15)$$

де $H_{\text{рез}}$ – глибина резервуара, м .

Необхідна тривалість контакту складає 30–60 хвилин. Глибину резервуара можна обрати конструктивно в межах 2,0–2,5 м.

Практичне заняття № 7

Розрахунок установки знезалізнєння води для питного водопостачання

Умови завдання

Виконати технологічний розрахунок установки знезалізнєння води напірною фільтрацією для селища із 3-поверховою забудовою. Установка працює в цілодобовому рівномірному режимі протягом доби, знезараження здійснюється хлорвмісними реагентами. Вихідні дані за варіантами для розв'язання задачі наведено в таблиці А.6 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Вилучення окиснених часток заліза із води найчастіше здійснюють фільтрувальними способами (в напірному або безнапірному варіантах). У цьому завданні пропонується реалізувати очищення води від заліза в режимі напірної фільтрації. Для цього використовують стандартні конструкції фільтрів, що серійно виготовлюються промисловістю. Схеми напірних фільтрів з трубчастим і ковпачковим дренажем показані на рисунку 7.1. Конструкція трубчастого дренажу наведена на рисунку 7.2, ковпачкового – на рисунку 7.3.

2. Вибираємо на власний розсуд тип фільтрувального завантаження з відкритих джерел або скориставшись даними, наведеними в додатку Ж.

3. Розраховуємо необхідну площу фільтрування для станції, що розглядається, м², за такою формулою:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T \times V_{\text{н}} - n_{\text{пр}} \times q_{\text{пр}} - n_{\text{пр}} \times \tau_{\text{пр}} \times V_{\text{н}}}, \quad (7.1)$$

де Q – добова продуктивність очисної станції, м³/добу.

T – тривалість роботи станції протягом доби, год.

$V_{\text{н}}$ – швидкість фільтрування води за нормального режиму роботи фільтра, м/год;

$n_{\text{пр}}$ – кількість промивань фільтра протягом доби за нормального режиму експлуатації;

$\tau_{\text{пр}}$ – час простою фільтра через промивання, год;

$q_{\text{пр}}$ – питома витрата води на одне промивання фільтра, м³/м².

Кількість промивань фільтра протягом доби і час простою фільтра через промивання обирається за ДБН В.2.5–74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування (п. п. 10.12.3 і 10.12.4). Тривалість промивання – 6 хвилин.

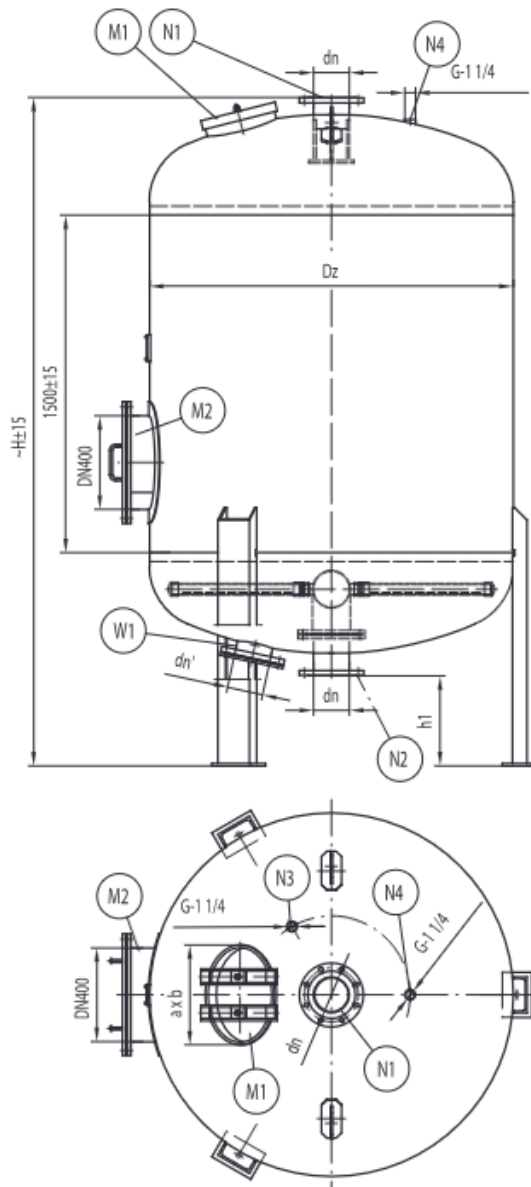
Питома витрата промивної води визначається за такою формулою:

$$q_{\text{пр}} = 3,6 \times W \times t_1, \quad (7.2)$$

де W – інтенсивність промивання фільтра, л/с×м²;

t_1 – тривалість промивки фільтра, год.

a)



б)

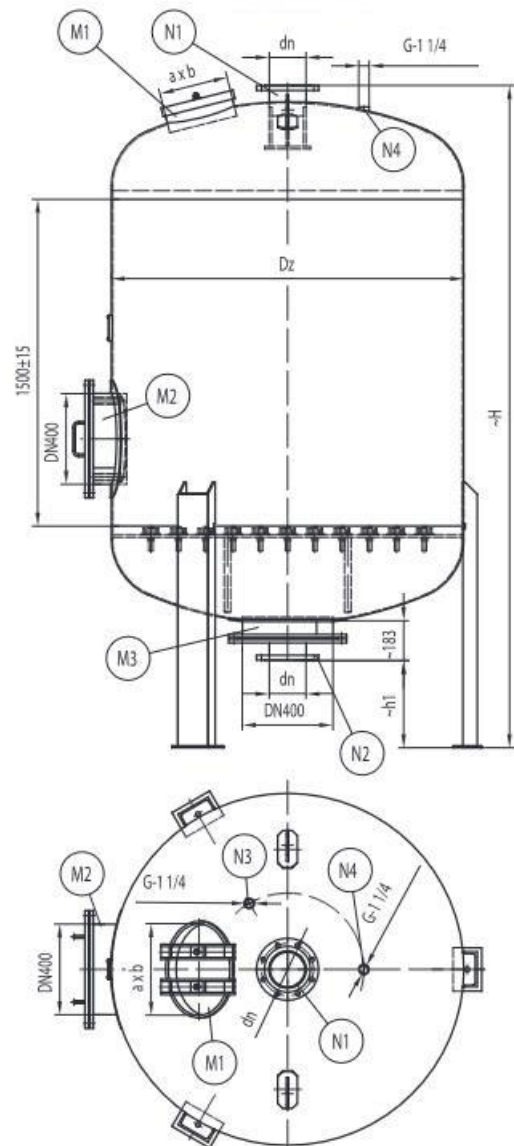


Рисунок 7.1 – Конструкції напірних фільтрів під час знезалізнення:

- N1 – вхідний отвір неочищеної води і відвід промивної води;
- N2 – відвід очищеної води і підведення промивної води, а також повітря для промивання;
- N3 – патрубок для автоматичного клапана відведення повітря;
- N4 – резервний патрубок;
- M1 – засипний отвір;
- M2 – оглядовий люк;
- W1 – люк для чистки

- N1 – вхідний отвір неочищеної води і відвід промивної води;
- N2 – відвід очищеної води і підведення промивної води, а також повітря для промивання;
- N3 – патрубок для автоматичного клапана відведення повітря;
- N4 – резервний патрубок;
- M1 – засипний отвір;
- M2, M3 – оглядові люки

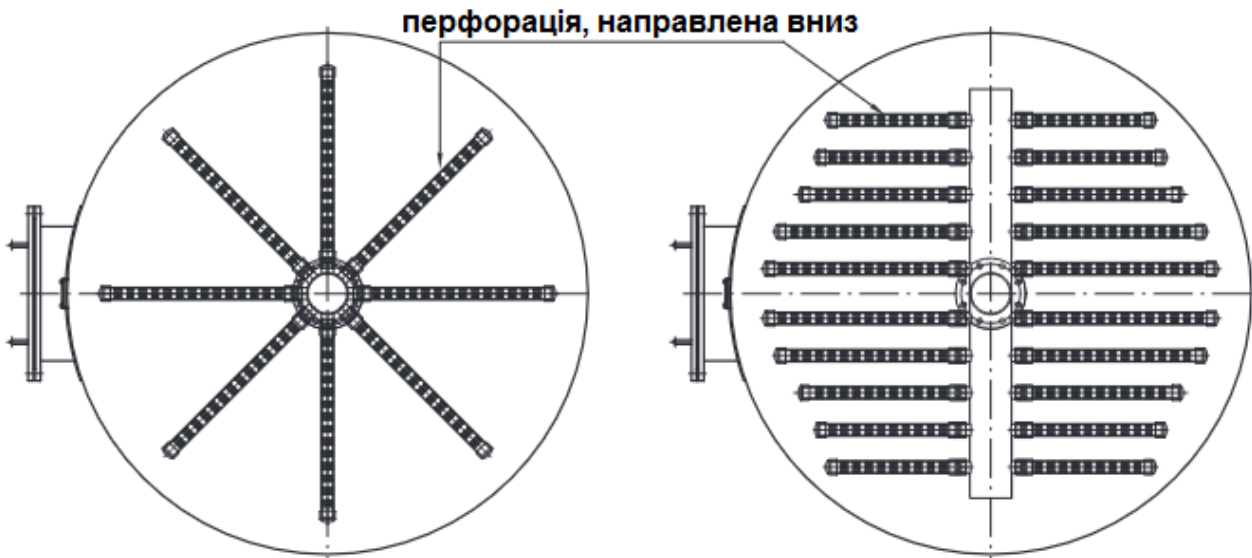


Рисунок 7.2 – Конструкція трубчастого дренажу
(для фільтра діаметром до 1,4 м зліва і більше 1,4 м справа)

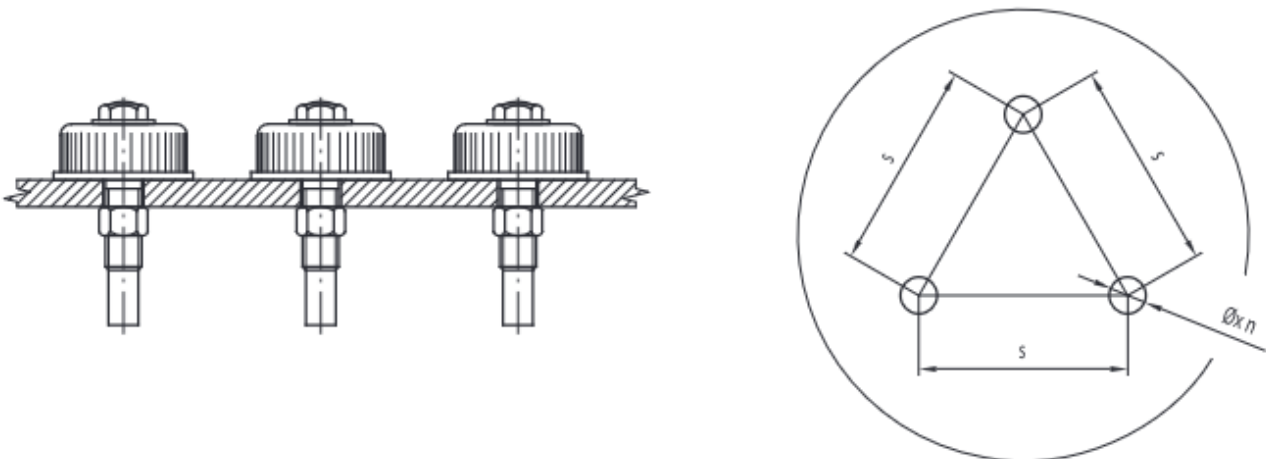


Рисунок 7.3 – Конструкція ковпачкового дренажу

4. Кількість фільтрів на стації необхідно обирати з урахуванням вимог ДБН п. п. 10.12.5 і обчислювати за такою формулою:

$$N_{\phi} = \frac{\sqrt{F_{\phi}}}{2}. \quad (7.3)$$

Визначаємо необхідну площу одного фільтра і обираємо його найбільший близький стандартний діаметр (табл. Ж.2, дод. Ж). Визначаємо дійсну площу одного фільтра, м², за такою формулою:

$$F_1 = \frac{F_{\phi}}{N_{\phi}}. \quad (7.4)$$

5. За отриманими значеннями реальної площі і кількості фільтрів розраховуємо дійсну швидкість фільтрування, також розраховуємо швидкість фільтрування у форсованому режимі і черговість (в годинах) промивання.

Дійсна швидкість фільтрування за нормального режиму, м/год, визначається за такою формулою:

$$V_H = \frac{q}{F_1 \times N_\phi}, \quad (7.5)$$

де q – годинна продуктивність очисної установки, м³/год.

Швидкість фільтрування за форсованого режиму, м/год, визначається за такою формулою:

$$V_\phi = \frac{V_H \times N_\phi}{(N_\phi - N_1)}, \quad (7.6)$$

де N_1 – кількість фільтрів, що знаходяться в ремонті.

Черговість промивання фільтрів визначається за такою формулою:

$$t = \frac{T}{n_{\text{пр}} \times N_\phi}. \quad (7.7)$$

Кількість фільтрів, що знаходяться в ремонті обираємо за ДБН В 2.5-74:2013, п. п. 10.12.1.

6. Розраховуємо регулюючий об'єм резервуарів чистої води, м³, за такою формулою:

$$W_p = Q \times \left[1 - K_H + (K_{\text{год}} - 1) \left(\frac{K_H}{K_{\text{год}}} \right)^{\frac{K_{\text{год}}}{K_{\text{год}} - 1}} \right], \quad (7.8)$$

де Q – добова продуктивність очисної установки, м³/доб;

K_H – відношення максимального годинного надходження води в регулюючі ємкості до середньогодинної витрати (можна обрати $K_H = 1$);

$K_{\text{год}}$ – коефіцієнт годинної нерівномірності відбору води з регулюючої ємності (числове значення коефіцієнта годинної нерівномірності необхідно розраховувати згідно ДБН В 2.5-74:2013, п. п. 6.1.2).

7. Визначаємо необхідний протипожежний об'єм води у РЧВ, м³. Кількість вірогідних одночасних пожеж і норма витрати води на одну пожежу обирається за ДБН В 2.5-74:2013, п. п. 6.2.2, розрахункову тривалість пожежі необхідно обирати відповідно до п. п. 6.2.13 і визначати за такою формулою:

$$W_{\text{пож}} = \frac{q_{\text{пож}} \times n \times t \times 3600}{1000}, \quad (7.9)$$

де $q_{\text{пож}}$ – норма на ліквідацію однієї пожежі, л/с;

n – кількість одночасних пожеж;

t – тривалість ліквідації зовнішньої пожежі, год.

8. Розраховуємо необхідний об'єм води у РЧВ на потреби промивки фільтрів, $W_{\text{пром}}$ і визначаємо загальний об'єм РЧВ, $W_{\text{рез}}$, м³, за такою формулою:

$$W_{\text{пром}} = \frac{W \times F_\phi \times n \times t \times 60}{1000}, \quad (7.10)$$

де W – інтенсивність промивки фільтра, л/с×м²;

F_{ϕ} – дійсна площа одного фільтра, м²;

n – кількість промивок фільтрів, що промиваються одночасно плюс одна промивка;

t – тривалість промивки фільтра, хв.

$$W_{\text{рез}} = W_p + W_{\text{пож}} + W_{\text{пром}} \cdot \quad (7.11)$$

9. Перевіряємо забезпеченість необхідного контакту води з розчином хлоровмісного реагенту за ДБН п. п. 10.18.7, хв, за такою формулою:

$$t_{\text{конт}} = \frac{W_{\text{рез}} \times 60}{q} \cdot \quad (7.12)$$

10. Визначаємо кількість РЧВ згідно з вимогами ДБН В 2.5-74:2013, п. п. 13.2.10. Вибираємо стандартні залізобетонні ємкості (дод. И, табл. И.1).

Практичне заняття № 8

Розрахунок Na-катионітового фільтра II ступеня у разі глибокого пом'якшення води

Умови завдання

Виконати технологічний розрахунок блока Na-катионітових фільтрів другого ступеня у разі двоступеневого пом'якшення води. Установка працює в цілодобовому рівномірному режимі протягом доби. Вихідні дані для розрахунку подані в таблиці А.7 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Конструкція катионітового фільтра з основними розрахунковими параметрами показана на рисунку 4.1 (практичне заняття № 4).

2. Вибираємо тип завантаження Na-катионітових фільтрів. Вибір можна здійснювати за відкритими джерелами або вибрати один із запропонованих у завданні (КУ-2 або сульфовугілля).

3. Визначаємо робочу обмінну ємкість катионітового завантаження, мг-екв/л (г-екв/м³), за такою формулою:

$$E_{\text{роб}}^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \beta_{\text{Na}} E_{\text{повн}} \cdot \quad (8.1)$$

де α_{Na} – коефіцієнт ефективності регенерації Na-катионіту, який враховує неповноту регенерації та визначається за таблицею Б.1 (питому витрату солі на регенерацію можна обрати в межах 300–400 г/г-екв поглинених катионів);

β_{Na} – коефіцієнт, що враховує зменшення обмінної ємкості катионіту у разі Ca^{2+} і Mg^{2+} внаслідок часткового затримання іонів Na^{+} (визначається за табл. Б.3, дод. Б);

$E_{\text{повн}}$ – повна обмінна ємність катионіту, мг-екв/л (для катионіту КУ-2 можна обрати $E_{\text{повн}} = 700$ – $1\,500$ мг-екв/л, для сульфовугілля – 500 мг-екв/л).

Під час визначення числових значень коефіцієнтів α_{Na} і β_{Na} за таблицями Б.1 і Б.3 у разі необхідності потрібно провести інтерполяцію.

4. Розраховуємо необхідний об'єм катіонітового завантаження, м³, за такою формулою:

$$W_K = \frac{24q_y J_{0 \text{ вих}}}{n_p E_{\text{роб}}^{Na}}, \quad (8.2)$$

де q_y – годинна продуктивність пом'якшувальної установки, м³/год;

n_p – кількість регенерацій кожного фільтра протягом доби.

$$n_p = \frac{24}{T_M}, \quad (8.3)$$

де T_M – тривалість міжрегенераційного періоду, год (для фільтрів II ступеня обирають 150–200 год);

$J_{0 \text{ вих}}$ – загальна жорсткість вихідної води, мг-екв/л (необхідно обирати згідно із вихідними даними як загальну жорсткість після фільтрів I ступеня).

5. Проводимо розрахунок швидкості фільтрування пом'якшувальної води, м/год, за такою формулою:

$$V_{\text{розр}} = \frac{E_{\text{роб}}^{Na} \times h_k}{T_M J_{0 \text{ вих}} + 0,02 E_{\text{роб}}^{Na} d_{80}^2 (\ln J_{0 \text{ вих}} - \ln J_{3M})} \leq V_{\text{доп}}, \quad (8.4)$$

де h_k – висота катіонітового завантаження, м ($h_k = 1,5$ м для фільтрів II ступеня);

J_{3M} – потрібна жорсткість пом'якшеної води, мг-екв/л;

d_{80} – 80 % калібр зерен катіонітового завантаження, мм (можна обирати для КУ-2 0,8 – 1,2 мм, для сульфовугілля – 0,5–1,1 мм;

$V_{\text{доп}}$ – допустима швидкість фільтрування, м/год ($V_{\text{доп}} < 60$ м/год).

Розрахункова швидкість $V_{\text{розр}}$ має бути не більше, ніж допустима $V_{\text{доп}}$.

6. Визначаємо необхідну сумарну розрахункову робочу площу Na-катіонітових фільтрів пом'якшувальної установки, м², за такою формулою:

$$F = \frac{24q_y}{V_{\text{розр}} [T - n_p (t_{\text{розп}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{відм}})]}. \quad (8.5)$$

7. Вибираємо діаметр і розміри катіонітових фільтрів II ступеня з переліку стандартних, що виготовляються промисловістю за даними додатка К. Розраховуємо дійсну загальну площу катіонітових фільтрів на станції, м², за такою формулою:

$$F_d = NF_1 = N \frac{\pi D^2}{4} \geq F, \quad (8.6)$$

де N – кількість робочих фільтрів (робочих фільтрів обирають не менше двох, резервний один);

F_1 – площа фільтрування типового фільтра, м²;

D – діаметр типового фільтра, м.

Дійсна загальна площа F_d повинна бути не менше розрахункової площі фільтрів F .

8. Визначимо дійсний повний об'єм катіонітового завантаження, м³, за такою формулою:

$$W_{\text{кат}} = F_d h_k \geq W_K. \quad (8.7)$$

Повний дійсний об'єм завантаження $W_{\text{кат}}$ має бути не менше розрахункового, $W_{\text{к}}$.

Фактична швидкість фільтрування $V_{\text{ф}}$ має бути не більше допустимої, м/год, за такою формулою:

$$V_{\text{ф}} = \frac{q_y}{F_{\text{д}}} \leq V_{\text{доп}} \cdot \quad (8.8)$$

9. Встановлюємо швидкість фільтрування за форсованого режиму роботи фільтрів (коли один з фільтрів зупиняється на ремонт або регенерацію), м/год, за такою формулою:

$$V_{\text{форс}} = \frac{q_y}{F_1(N-1)} \cdot \quad (8.9)$$

10. Орієнтовно визначимо втрати напору в катіонітовому фільтрі, м (обираються в межах 13,0–15,0 м).

Практичне заняття № 9 **Розрахунок Н-катіонітової установки демінералізації води**

Умови завдання

Виконати технологічний розрахунок Н-катіонітових фільтрів, що входять до складу установки Н-Na-катіонування. Установка працює в цілодобовому рівномірному протягом доби режимі. Вихідні дані для розрахунку подані в таблиці А.8 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Конструкція Н-катіонітового фільтра не відрізняється від конструкції фільтра Na-катіонування і показана на рисунку 4.1 (практичне заняття № 4).

2. Вибираємо тип завантаження Н-катіонітових фільтрів. Вибір можна здійснювати за відкритими джерелами або вибрати один із запропонованих у завданні (КУ-2 або сульфовугілля).

3. Визначаємо схему Н-Na-катіонування за даними таблиці з презентації. Зверніть увагу, розмірності вмісту основних іонів у таблиці і у вихідних даних відрізняються.

4. Розраховуємо необхідну продуктивність блоків Н-катіонітових і Na-катіонітових фільтрів.

Витрата води, що подається на Н-катіонітові фільтри, м³/год, визначається за такою формулою:

$$q_{\text{Н}} = \frac{q_y(L_{\text{вих}} - L_{\text{зм}})}{A + L_{\text{вих}}}, \quad (9.1)$$

де q_y – годинна продуктивність пом'якшувальної установки, м³/год;

$L_{\text{вих}}$ – карбонатна лужність (жорсткість) вихідної води, мг-екв/л;

$L_{\text{зм}}$ – залишкова лужність обробленої води, мг-екв/л;

A – сумарний вміст у вихідній воді іонів SO_4^{2-} і Cl^- , мг-екв/л.

Витрата води, що подається на Na-катіонітові фільтри, м³/год, визначається за такою формулою:

$$q_{Na} = q_y - q_H \cdot \quad (9.2)$$

5. Визначаємо робочу обмінну ємність катіонітового завантаження, мг-екв/л (г-екв/м³):

$$E_{роб}^H = \alpha_H E_{повн} - 0,5 q_{пит} C_K, \quad (9.3)$$

де α_H – коефіцієнт ефективності регенерації H-катіоніту;

$E_{повн}$ – повна обмінна ємність катіоніту, мг-екв/л (для катіоніту КУ-2 можна обирати $E_{повн} = 1\,500\text{--}1\,700$ мг-екв/л, для сульфовугілля – 500 мг-екв/л);

$q_{пит}$ – питома витрата води на відмивання катіоніту у разі H-катіонування, м³/м³ (для КУ-2 – 6,5 м³/м³ катіоніту, для сульфовугілля – 5 м³/м³);

C_K – сумарний вміст у вихідній воді іонів Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ і K⁺, мг-екв/л (для умов цієї задачі вмістом іонів калію можна знехтувати).

$$C_K = J_0 + [Na^+], \quad (9.4)$$

де J_0 – загальна жорсткість вихідної води, мг-екв/л;

$[Na^+]$ – вміст іонів натрію у вихідній воді, мг-екв/л.

Таблиця 9.1 – Вибір схеми H-катіонування

Вихідна вода, мг-екв/л			Оброблена вода, мг-екв/л	
J_K/J_0	SO ₄ ²⁻ + Cl ⁻	Na ⁺	J _{зм}	L _{зм}
Паралельна схема: частина води пропускається через Na-катіонітовий фільтр, друга частина – через H-катіонітовий фільтр. Потім обидва фільтрати змішуються і взаємно нейтралізуються і вода надходить до дегазатора для видалення вільної вуглекислоти				
$\geq 0,5$ (у разі $J_{н.к.} < 3,5$)	до 4	до 2	0,03 і більше	0,3–0,4
Послідовна схема: частина вихідної води проходить через H-катіонітовий фільтр, змішується з іншою для нейтралізації кислотності фільтрату і пропускається через дегазатор. Потім увесь потік проходить через Na-катіонітовий фільтр				
$\leq 0,5$ (у разі $J_{н.к.} > 3,5$)	до 4	–	0,05 і більше	0,5–0,7
Сумісна схема: вся вода пропускається через катіонітовий фільтр, відрегенований так, що верхні шари катіоніту містять обмінні іони водню, а нижні шари – катіони натрію				
> 1 (у разі $J_0 < 6,0$)	до 3	до 1,5	0,1 – 0,3	1,5–2,0

Числові значення коефіцієнта ефективності H-катіоніту, що враховує неповноту регенерації можна визначати за даними відкритих джерел або за таблицею 9.1. За необхідності потрібно провести інтерполяцію. Величину питомої витрати сірчаної кислоти можна обирати в межах 70–100 г/г-екв поглинених катіонів.

6. Розраховуємо необхідний об'єм завантаження Н-катионітових фільтрів, м³, за такою формулою:

$$W_k = \frac{24q_H(\text{Ж}_0 + [\text{Na}^+])}{n_p E_{\text{роб}}^H}, \quad (9.5)$$

де n_p – кількість регенерацій кожного Н-катионітового фільтра протягом доби (можна обрати в межах 1–3).

Таблиця 9.2 – Коефіцієнт ефективності регенерації Н-катионіту

Питома витрата сірчаної кислоти, г/г-екв поглинених катионів	40	50	60	70	80	90	100	125	150	175	200	250
Коефіцієнт α_H	0,62	0,68	0,74	0,78	0,81	0,83	0,85	0,89	0,91	0,92	0,93	0,95

7. Проводимо розрахунок швидкості фільтрування на Н-катионітових фільтрах за нормального режиму, м², за такою формулою:

$$V_{\text{розр}} = \frac{E_{\text{роб}}^H \times h_k}{T_M(\text{Ж}_0 + [\text{Na}^+]) + 0,25d_{80}^2 \ln \frac{(\text{Ж}_0 + [\text{Na}^+])}{\text{Ж}_{3M}}} \leq V_{\text{доп}}, \quad (9.6)$$

де h_k – висота Н-катионітового завантаження, м ($h_k = 2,0$ – $2,5$ м);

Ж_{3M} – потрібна жорсткість пом'якшеної води, мг-екв/л;

d_{80} – 80 % калібр зерен катионітового завантаження, мм, (можна обирати для КУ-2 0,8 – 1,2 мм, для сульфовугілля – 0,5–1,1 мм);

T_M – тривалість міжрегенераційного періоду, год.

$$T_M = \frac{T}{n_p} (t_{\text{розп}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{відм}}), \quad (9.7)$$

де T – тривалість роботи установки на добу, год;

$t_{\text{розп}}$ – тривалість розпушення катионіту, год ($t_{\text{розп}} = 20$ – 30 хвилин);

$t_{\text{рег}}$ – тривалість регенерації катионіту, год ($t_{\text{рег}} = 25$ – 40 хвилин);

$t_{\text{відм}}$ – тривалість відмивання катионіту, год ($t_{\text{відм}} = 30$ – 60 хвилин);

$V_{\text{доп}}$ – допустима швидкість фільтрування, м/год.

У разі вихідної величини загальної жорсткості вихідної води Ж_0 до 5,0 мг-екв/л, $V_{\text{доп}}$ становить 20–25 м/год; у разі $\text{Ж}_0 = 5,0$ – $10,0$ мг-екв/л, до $V_{\text{доп}} = 15$ – 20 м/год; у разі $\text{Ж}_0 = 10,0$ – $15,0$ мг-екв/л, до $V_{\text{доп}} = 10$ – 15 м/год.

8. Визначаємо необхідну сумарну розрахункову робочу площу Н-катионітових фільтрів, м², за такою формулою:

$$F = \frac{24q_H}{V_{\text{розр}} [T - n_p (t_{\text{розп}} + t_{\text{рег}} + t_{\text{відм}})]}. \quad (9.8)$$

Вибираємо діаметр і розміри фільтрів Н-катіонування за даними додатка В за аналогією з фільтрами для Na-катіонування.

Дійсна загальна площа повинна бути не менше розрахункової площі фільтрів, m^2 , і визначатися за такою формулою:

$$F_d = NF_1 = N \frac{\pi D^2}{4} \geq F, \quad (9.9)$$

де N – кількість робочих фільтрів: не менше двох, резервний один, якщо $N \leq 6$, і два, якщо $N > 6$;

F_1 – площа фільтрування типового фільтра, m^2 ;

D – діаметр типового фільтра, м.

Повний дійсний об'єм завантаження має бути не менше розрахункового, m^3 , а фактична швидкість фільтрування – не більше допустимої і визначатися за такою формулою:

$$W_{\text{кат}} = F_d h_k \geq W_k, \quad (9.10)$$

$$V_{\phi} = q_H F_d \leq V_{\text{доп}}. \quad (9.11)$$

9. Встановлюємо швидкість фільтрування у разі форсованого режиму роботи фільтрів (коли один з них вимикають на регенерацію або ремонт), м/год, за такою формулою:

$$V_{\text{форс}} = \frac{q_y}{F_1(N-1)}. \quad (9.12)$$

Практичне заняття № 10

Розрахунок Na-катіонітового фільтра, що входить до складу Н-Na-катіонітової установки демінералізації води

Умови завдання

Для умов практичного заняття № 9 розрахувати блок Na-катіонітових фільтрів, що входять до складу установки Н-Na-катіонування. Установка працює в цілодобовому рівномірному протягом доби режимі.

Порядок розв'язання задачі

1. Методика розрахунку Na-катіонітових фільтрів і необхідні довідкові дані, розглянуті в межах практичного заняття № 4. Водночас резервних фільтрів не передбачають. У разі необхідності використовують уже обраний у попередньому завданні резерв Н-катіонітових фільтрів.

Практичне заняття № 11

Розрахунок сольового і кислотного реагентного господарства установки демінералізації води

Умови завдання

Для умов практичних занять № 9–10 виконати розрахунок кислотного і сольового реагентного господарства Н-Na-катионітової установки демінералізації води.

Порядок розв'язання задачі

1. Регенерація Н-катионітових фільтрів установки демінералізації (практичне заняття № 9) і Na-катионітових фільтрів (практичне заняття № 10) здійснюється розчинами сірчаної кислоти і кухонної солі відповідно. Для приготування регенераційних розчинів на установці запроваджується реагентне господарство. Принципові схеми кислотного и сольового господарства показані на рисунку 11.1.

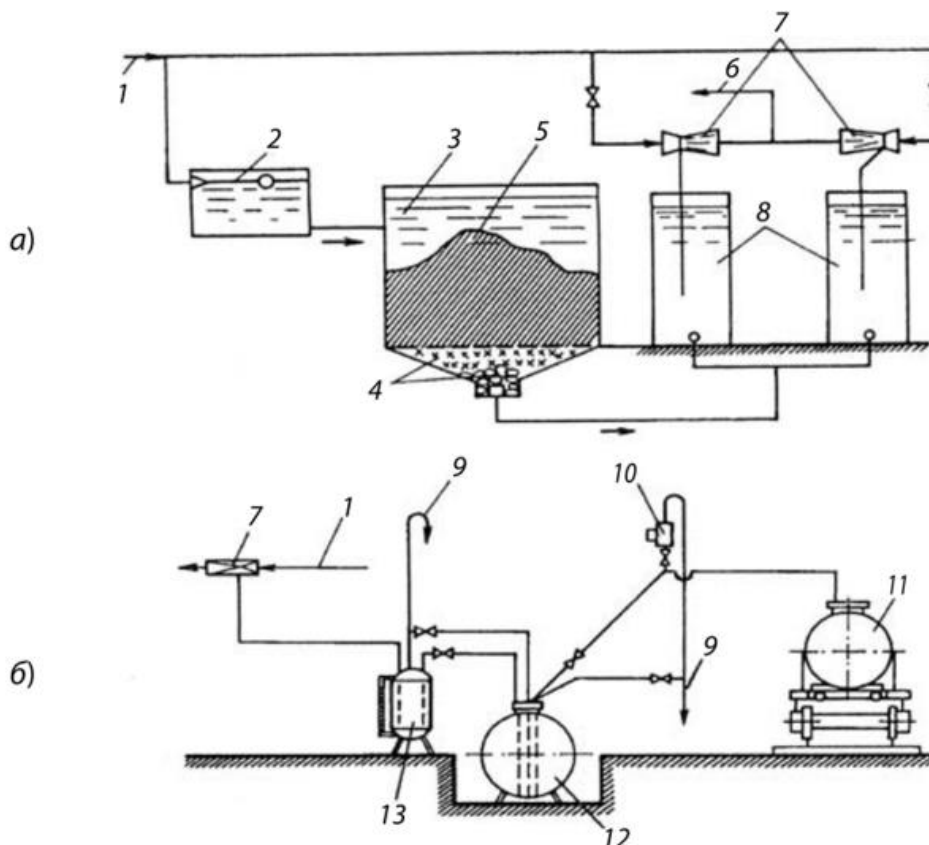


Рисунок 11.1 – Господарство установки демінералізації води: а – сольове; б – кислотне; 1 – подача води на приготування розчину; 2 – бак постійного рівня; 3 – бак вологого зберігання солі; 4 – гравійно-піщаний фільтр (солерозчинник); 5 – шар солі; 6 – відвід насиченого сольового розчину; 7 – ежектор; 8 – витратні баки насиченого розчину солі; 9 – вакуум-лінія; 10 – проміжний бак; 11 – залізнична цистерна; 12 – цистерна для стаціонарного зберігання; 13 – мірник кислоти

2. Розраховуємо потребу в реагентах (у сірчаній кислоті для регенерації Н-катионітових фільтрів і у кухонній солі для регенерації Na-катионітових фільтрів) на одну регенерацію і за добу.

Кислотне господарство

Витрата 100-відсоткової сірчаної кислоти на регенерацію одного Н-катионітового фільтра, кг, визначається за такою формулою:

$$P_{\text{рег}} = \frac{F_1 h_k D_H E_{\text{роб}}^H}{1000}, \quad (11.1)$$

де D_H – питома витрата сірчаної кислоти на регенерацію 1 м³ Н-катионітового фільтра, г/г-екв.

Загальна добова витрата 100-відсоткової сірчаної кислоти на регенерацію всіх фільтрів на станції, т, визначається за такою формулою:

$$P_{\text{доб}} = \frac{P_{\text{рег}} n_p N}{1000}. \quad (11.2)$$

Сольове господарство

Витрата технічної кухонної солі на одну регенерацію фільтра, кг, визначається за такою формулою:

$$G_c = \frac{E_{\text{роб}}^{Na} h_k D_c F_1}{1000}, \quad (11.3)$$

де D_c – питома витрата солі для регенерації Na-катионітового завантаження, г/г-екв.

Добова витрата кухонної солі на станції, кг, визначається за такою формулою:

$$S_c = G_c n_p N. \quad (11.4)$$

3. Визначаємо необхідну місткість ємностей для зберігання реагентів (кислоти і солі) на станції.

Кислотне господарство

Ємність цистерн для зберігання концентрованої сірчаної кислоти, м³, визначається за такою формулою:

$$W_{\text{ц}} = \frac{24 q_H J_0 D_H m 100}{1000 \cdot 1000 b \gamma}, \quad (11.5)$$

де m – кількість днів, на яку передбачається запас кислоти (зазвичай передбачають місячний запас);

b – концентрація кислоти в товарному продукті (можна обрати 100 %);

γ – питома вага 100-відсоткової сірчаної кислоти, кг/м³ (можна вважати, що $\gamma = 1,83$ кг/м³).

Сольове господарство

Ємність резервуарів для вологого зберігання солі, м³, визначають за такою формулою:

$$W_{\text{р.с.}} = \frac{24 q_{Na} J_0 D_c m 100}{1000 \cdot 1000 b_c}, \quad (11.6)$$

де m – запас солі на станції, діб (можна обрати $m = 20\text{--}40$ діб);

b_c – концентрація насиченого розчину кухонної солі, % (можна обирати в межах $20\text{--}25$ %).

4. Розраховуємо потрібну місткість розчинних баків кислоти і солі. Обираємо кількість баків (робочих має бути не менше ніж 2 для кожного з реагентів), визначаємо розміри розчинних баків. Форму бака в плані (круглу або квадратну) обираємо на свій розсуд.

Кислотне господарство

Об'єм одного бака для регенерації, м^3 , визначається за такою формулою:

$$W_1 = \frac{W_{\text{к.б.}}}{n_{\text{б}}}, \quad (11.7)$$

де $n_{\text{б}}$ – кількість регенераційних баків, обирається не менше ніж 2.

Діаметр бака в плані, м, визначається за такою формулою:

$$D_{\text{б.к.}} = \sqrt{\frac{4W_1}{\pi h_{\text{б}}}}. \quad (11.8)$$

Довжина сторони бака, м, визначається за такою формулою:

$$B_{\text{б.к.}} = \sqrt{\frac{W_1}{h_{\text{б}}}}, \quad (11.9)$$

де $h_{\text{б}}$ – висота бака, м, що конструктивно обирається в межах $1,0\text{--}1,5$ м.

Сольове господарство

Ємкість баків для розбавленого розчину солі, м^3 , визначається за такою формулою:

$$W_{\text{розч}} = \frac{S_c}{10C\gamma_c}, \quad (11.10)$$

де C – концентрація розбавленого розчину солі, що подається на регенерацію Na-катіонітових фільтрів (можна обирати $C = 5\text{--}8$ %);

γ_c – питома вага розбавленого розчину солі, $\text{т}/\text{м}^3$, яку можна обирати $\gamma_c = 1,059 \text{ т}/\text{м}^3$.

Об'єм одного бака солі для регенерації Na-катіонітових фільтрів, м^3 , визначається за такою формулою:

$$W_1 = \frac{W_{\text{розч}}}{n_{\text{б}}}, \quad (11.11)$$

де $n_{\text{б}}$ – кількість регенераційних баків кухонної солі, що дорівнює не менше ніж 2.

Діаметр бака в плані, м, визначається за такою формулою:

$$D_{\text{б.с.}} = \sqrt{\frac{4W_1}{\pi h_{\text{б}}}}. \quad (11.12)$$

Довжина сторони бака, м, визначається за такою формулою:

$$B_{\text{б.с.}} = \sqrt{\frac{W_1}{h_{\text{б}}}}, \quad (11.13)$$

$h_{\text{б}}$ – висота бака, м, що конструктивно обирається в межах 1,5–2,5 м.

5. Для кислотного господарства визначаємо необхідну ємкість бака-мірника з водомірним склом для контролю витрати, що підсмоктується ежектором і ємкість баку для розпушення катіонітового завантаження.

Корисна ємкість бака-мірника для концентрованої сірчаної кислоти, л, визначається за такою формулою:

$$W_{\text{м}} = \frac{0,75 D_{\text{н}} F_1 h_{\text{к}} E_{\text{повн}} 100}{1000 b_{\gamma}}. \quad (11.14)$$

Ємкість баку для розпушення катіоніту під час регенерації (з урахуванням можливості послідовного розпушення катіоніту в двох фільтрах), м³, визначається за такою формулою:

$$W_{\text{б.в.}} = \frac{2 \omega_{\text{розп}} F_1 60 t_{\text{розп}}}{1000}, \quad (11.15)$$

де $\omega_{\text{розп}}$ – інтенсивність розпушення катіоніту, л/с×м².

Для сульфовугілля можна обрати 4 л/с×м², для КУ-2–5 л/с×м².

6. Для сольового господарства розраховуємо продуктивність насосів-дозаторів робочого розчину кухонної солі для подачі на регенерацію Na-катіонітового завантаження, м³/год, за такою формулою:

$$q_{\text{нас.с.}} = \frac{F_1 C V_c}{b_c}, \quad (11.16)$$

де V_c – швидкість руху розчину солі через Na-катіонітове завантаження, м/год. Обирається в межах $V_c = 5–8$ м/год.

Практичне заняття № 12

Розрахунок установки реагентного оброблення води для питного водопостачання селища

Умови завдання

Виконати технологічний розрахунок реагентного оброблення води підземного джерела для питного водопостачання селища. Очисна станція працює в цілодобовому рівномірному протягом доби режимі. Вихідні дані за варіантами для розв'язання задачі наведено в таблиці А.9 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Для умов цього завдання пропонується застосування розчину гіпохлориту натрію, який виготовляється безпосередньо на станції очистки. Використання цього реагенту дозволить разом із забезпеченням потрібного ефекту знезараження, окислити розчинені у воді сполуки заліза і сірководень. Продукти окислення видаляються в подальшому на швидких фільтрах. Схема установки для приготування розчину гіпохлориту натрію показана на рисунку 12.1.

2. Розраховуємо добову і годинну потребу в активному хлорі на станції очистки.

Добова витрата, кг/добу, визначається за такою формулою:

$$G_{\text{доб}} = \frac{Q(D_1 + D_2 + D_3)}{1000}, \quad (12.1)$$

де Q – добова продуктивність станції очистки, м³/год;

D_1, D_2, D_3 – необхідні дози активного хлору на вилучення заліза, сірководню і забезпечення знезаражуючого ефекту відповідно, мг/л.

$$D_1 = 0,7[Fe^{2+}], \quad (12.2)$$

де $[Fe^{2+}]$ – концентрація іонів двовалентного заліза у вихідній воді, мг/л.

$$D_2 = 5[H_2S], \quad (12.3)$$

де $[H_2S]$ – концентрація сірководню у вихідній воді, мг/л.

Годинна витрата активного хлору, кг/год, визначається за такою формулою:

$$G_{\text{год}} = \frac{G_{\text{доб}}}{24}. \quad (12.4)$$

Дозу активного хлору для знезараження води необхідно обирати за ДБН В.2.5–74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування (п. п. 10.18.8).



Рисунок 12.1 – Установка приготування розчину гіпохлориту натрію:

- 1 – газовідокремлювач; 2 – насос-дозатор розсолу; 3 – ротаметр витрати води;
- 4 – вентиль; 5 – вентиль ВН-5; 6 – підключення води; 7 – електролізер;
- 8 – солерозчинник, засипка солі; 9 – вихід розчину гіпохлориту;
- 10 – пробовідбірник; 11 – спрямлювач; 12 – вольтметр, амперметр; 13 – клемми;
- 14 – заземлення

3. За отриманими величинами добової і годинної продуктивності обираємо установку приготування робочого розчину гіпохлориту натрію. Вибір установки проводимо за даними відкритих джерел або з таблиць додатка Л: Л.1 (типоряд установок EIDes) і Л.2 (типоряд установок «Полум'я»). Фіксуємо основні технологічні показники установки.

4. Проводимо розрахунок поліетиленового бака зберігання добового обсягу робочого розчину гіпохлориту натрію (об'єм, діаметр). Висоту бака можна обирати конструктивно 1,5–2,5 м.

Необхідна ємність добового зберігання робочого розчину, м³, визначається за такою формулою:

$$W = \frac{G_{\text{доб}}}{P}, \quad (12.5)$$

де P – вміст активного хлору в робочому розчині, г/л.

Розміри ємності:

$$\begin{array}{ll} \text{Площа:} & \text{Діаметр:} \\ S = \frac{W}{H}, \text{ м}^2, & D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \text{ м.} \end{array} \quad (12.6)$$

5. Розраховуємо добову і місячну витрату кухонної солі для приготування робочого розчину гіпохлориту натрію.

Добова потреба у кухонній солі, кг/доб, визначається за такою формулою:

$$G_{\text{доб}}^{\text{солі}} = G_{\text{доб}} n, \quad (12.7)$$

де n – питома витрата солі на приготування розчину гіпохлориту, кг/кг.

Місячний запас кухонної солі, т, визначається за такою формулою:

$$G_{\text{міс}}^{\text{солі}} = \frac{30 \times G_{\text{доб}}^{\text{солі}}}{1000}. \quad (12.8)$$

6. Визначаємо необхідну годинну продуктивність насосів-дозаторів робочого розчину і вибираємо насоси з відкритих джерел або за даними додатка М, таблиці М.1 за умови, що робочих насосів має бути не менше ніж 2 (плюс 1 резервний). Схема дозаторної установки наведена на рисунку 12.2.

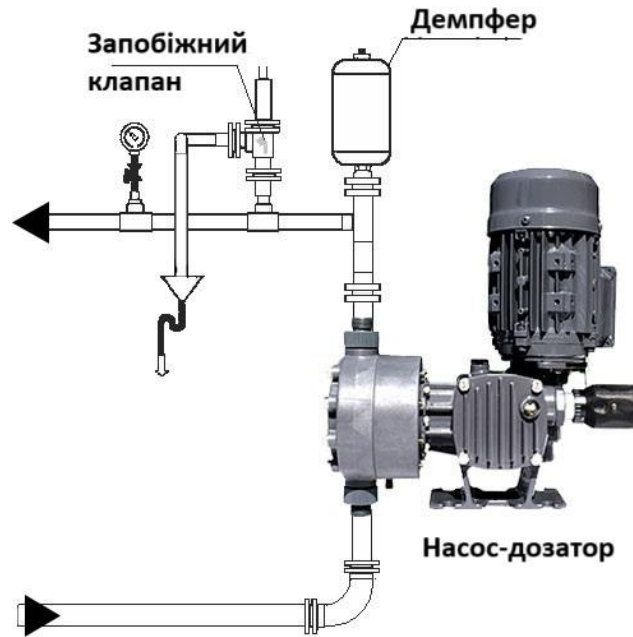


Рисунок 12.2 – Принципова схема дозаторної установки розчину гіпохлориту натрію

Годинна продуктивність насосів-дозаторів, л/год, визначається за такою формулою:

$$q_{\text{реак}} = \frac{\sum D}{P} q, \quad (12.9)$$

де $\sum D$ – сумарна доза гіпохлориту натрію, мг/л.

Практичне заняття № 13 Технологічний розрахунок системи озонування природної води

Умови завдання

Провести технологічний розрахунок системи озонування води поверхневого джерела для питного водопостачання. Очисна станція працює в цілодобовому рівномірному протягом доби режимі. Вихідні дані для розрахунку подано в таблиці А.10 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Вибираємо необхідну базову дозу озону за активною речовиною за таблицею 13.1 за вихідними значеннями окиснюваності і забарвленості води (обираємо базову дозу за найбільшим значенням). Розраховуємо потрібну дозу озону з урахуванням каламутності оброблювальної води.

Таблиця 13.1 – Базова доза озону

Окиснюваність, мгО ₂ /л	Доза озону, <i>D</i> , мг/л	Забарвленість, град	Доза озону, <i>D</i> , мг/л
2,0	1,5–2,5	10	0,8–1,5
4,0	3,0–4,5	20	1,5–2,5
6,0	5,0–7,0	30	2,5–4,0
8,0	7,0–10,0	50	4,0–6,0
10	10,0–12,0	80	6,0–10,0
15	12,0–18,0	100	10,0–12,0

Розрахункова доза озону, мг/л, визначається за такою формулою:

$$D_{O_3} = D + K \cdot K_{\text{вих}}, \quad (13.1)$$

де $K_{\text{вих}}$ – каламутність вихідної води, мг/л;

K – коефіцієнт, що враховує каламутність (табл. 13.2).

Таблиця 13.2 – Поправочний коефіцієнт на каламутність води

$K_{\text{вих}}$, мг/л	K
До 5,0	0,05
5,0–20,0	0,08–0,12
Більше 20,0	0,12–0,15

2. Визначаємо годинну і добову потребу в озоні на станції очистки.

Годинна потреба в озоні на станції очистки, кг/год, визначається за такою формулою:

$$G_{O_3} = \frac{QD_{O_3}}{24\,000M_{\text{вик}}}, \quad (13.2)$$

де Q – добова продуктивність очисної станції, м³/добу;

$M_{\text{вик}}$ – коефіцієнт використання озону, $M_{\text{вик}} = 0,9\text{--}0,95$.

Добова потреба в озоні на станції, кг/добу, визначається за такою формулою:

$$G_{O_3}^{\text{доб}} = G_{O_3} \times 24, \quad (13.3)$$

3. Вибираємо генератор озону з відкритих джерел або за даними таблиці Н.1 додатка Н. Необхідну кількість робочих генераторів визначимо за такою формулою:

$$N = G_{O_3} / G_{O_3}^1, \quad (13.4)$$

Передбачаємо один резервний генератор.

4. Контакт озono-повітряної суміші з оброблювальною водою здійснюється в контактних камерах. Для умов цього завдання застосовуємо контактну камеру барботажного типу. Схема камери показана на рисунку 13.1.

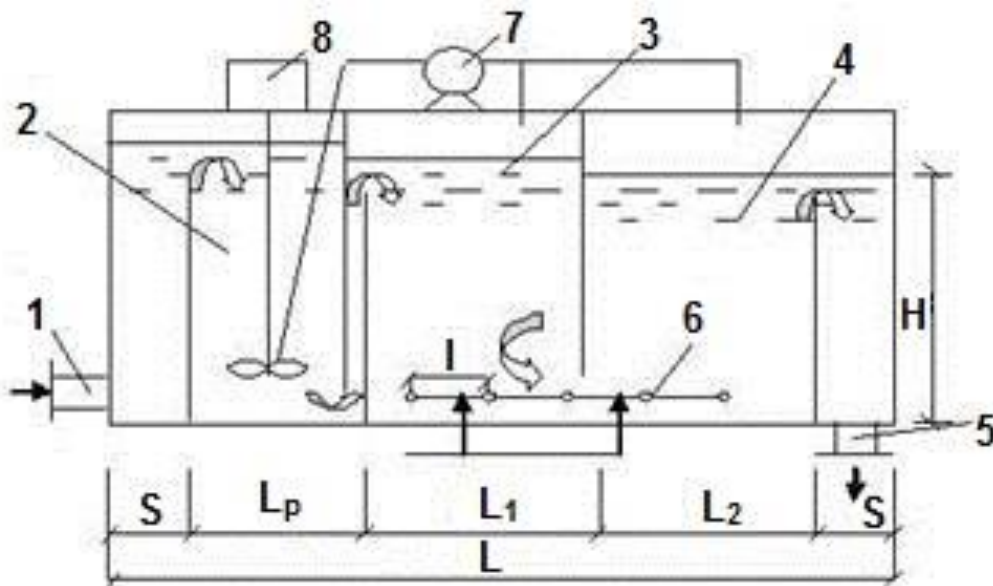


Рисунок 13.1 – Розрахункова схема камери озонування барботажного типу:
 1 – вихідна вода; 2 – рекупераційне відділення; 3, 4 – перша і друга секції камери; 5 – оброблена вода; 6 – розподільча система; 7 – повітродувка;
 8 – мішалка

5. Розраховуємо об'єм, площу, довжину і ширину рекупераційного відділення контактної камери озонування.

Об'єм рекупераційного відділення, m^3 , визначається за такою формулою:

$$W_p = \frac{Q}{24} t_p, \quad (13.5)$$

де t_p – час перебування води в рекупераційному відділенні, год ($t_p = 2-3$ хв.)

Площа рекупераційного відділення, m^2 , визначається за такою формулою:

$$F_p = \frac{W_p}{H}, \quad (13.6)$$

де H – висота шару води в камері, м (можна обирати $H = 4,5 - 5,0$ м);

Довжина відділення рекуперації, м, визначається за такою формулою:

$$L_p = \frac{F_p}{B}, \quad (13.7)$$

де B – ширина барботажною камери, м, яку обирають конструктивно до 6,0 м з кратністю 1,5 м.

6. Розраховуємо об'єм, площу і довжину 1-ої і 2-ої секцій камери. Визначаємо загальну довжину камери (розрахункове значення округлюємо до найближчого більшого числа, кратного 1,5 м).

Об'єм першої і другої секції камери, m^3 , визначається за такою формулою:

$$W_1 = \frac{Q}{24} t_1 ; \quad W_2 = \frac{Q}{24} t_2, \quad (13.8)$$

де t_1 і t_2 – час перебування води у 1-ій і 2-ій секції відповідно, год ($t_1 = 4-5$ хв, $t_2 = 8-11$ хв).

Площа секцій камери, m^2 , визначається за такою формулою:

$$F_1 = \frac{W_1}{H} ; \quad F_2 = \frac{W_2}{H} . \quad (13.9)$$

Довжина секцій камери, м, визначається за такою формулою:

$$L_1 = \frac{F_1}{B} ; \quad L_2 = \frac{F_2}{B} . \quad (13.10)$$

Загальна довжина контактної барботажної камери, м, визначається за такою формулою:

$$L = L_p + L_1 + L_2 + 2S , \quad (13.11)$$

де S можна обирати не менше ніж 0,5 м.

7. Визначимо витрату озono-повітряної суміші, кількість і діаметр труб розподільчої системи. Труби розподільчої системи можна обирати сталевими (з антикорозійним покриттям) або поліетиленовими.

Витрата озono-повітряної суміші, $m^3/год$, визначається за такою формулою:

$$Q_B = \frac{G_{O_3}}{1\,000 C_{O_3}} , \quad (13.12)$$

де C_{O_3} – концентрація озону в суміші на виході з генератора, $г/м^3$.

У разі живлення генератора стисненим повітрям $C_{O_3} = 15-30 г/м^3$, киснем – $C_{O_3} = 80-150 г/м^3$.

Кількість поруватих розподільчих труб в камері визначається за такою формулою:

$$n = \frac{L_1 + L_2}{l} , \quad (13.13)$$

де l – відстань між поруватими трубами, м, $l = 0,7-1,0$ м.

Витрата суміші через одну порувату трубу, $m^3/год$, визначається за такою формулою:

$$q_B = \frac{Q_B}{n} . \quad (13.14)$$

Діаметр поруватих розподільчих труб, м, визначається за такою формулою:

$$d_B = \sqrt{\frac{4q_B}{3\,600\pi V_B}} , \quad (13.15)$$

де V_B – швидкість руху суміші в розподільчих трубах, $м/с$, $V_B = 2-5$ $м/с$.

Практичне заняття № 14

Розрахунок декарбонізатора у схемі Н-катіонування

Умови завдання

Для умов практичних завдань № 9–10 розрахувати декарбонізатор (дегазатор плівкового типу) станції Н-На-катіонітової обробки води. Установка працює в цілодобовому рівномірному протягом доби режимі. Вихідні дані для розрахунку подані в таблиці А.11 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Під час Н-катіонування внаслідок заміни катіонів металів на іони водню за умови наявності у воді гідрокарбонатів, утворюється значна кількість вуглецевої кислоти, яка згодом розкладається на воду і вуглецевий газ. Надлишковий вуглецевий газ видаляють в спеціальних спорудах – дегазаторах (декарбонізаторах). У цьому практичному завданні пропонується виконати розрахунок дегазатора плівкового типу. Розрахункова схема апарата показана на рисунку 14.1.

2. Визначаємо початкову концентрацію вуглецевого газу у вихідній воді суміші потоків Н-катіонітових і Na-катіонітових фільтрів (практичні завдання 9–10). Методика визначення вмісту вільної вуглекислоти, $C_{\text{вх}}$, у вихідній воді подана в матеріалах до практичного заняття № 6.

3. Розраховуємо годинний обсяг вуглецевого газу, що видаляється в дегазаторі і рушійну силу процесу.

Обсяг вуглецевого газу, що видаляється в дегазаторі, кг/год, визначається за такою формулою:

$$G = \frac{q_y(C_{\text{поч}} - C_{\text{кін}})}{1\,000}, \quad (14.1)$$

де $C_{\text{поч}}$ і $C_{\text{кін}}$ – відповідно початкова і кінцева концентрація вуглецевого газу, мг/л, $C_{\text{кін}} = 1$ мг/л;

q_y – продуктивність блока обробки, м³/год.

$$C_{\text{поч}} = C_{\text{вх}} + 44L_{\text{вих}}, \quad (14.2)$$

де $C_{\text{вх}}$ – вміст вільної вуглекислоти у вихідній воді (практичне завдання № 6).

Рушійна сила процесу дегазації, г/м³, визначається за такою формулою:

$$\Delta C_{\text{сер}} = \frac{(C_{\text{поч}} - C_{\text{кін}})}{2,31 \cdot \lg \frac{C_{\text{поч}}}{C_{\text{кін}}}}. \quad (14.3)$$

4. На основі отриманих даних визначимо потрібну площу поверхні насадки декарбонізатора, м², за такою формулою:

$$F = \frac{G}{K_{\text{ж}} \Delta C_{\text{сер}}}, \quad (14.4)$$

де $K_{\text{ж}}$ – коефіцієнт десорбції, м/год (визначається за рисунком П.1 додатка П).

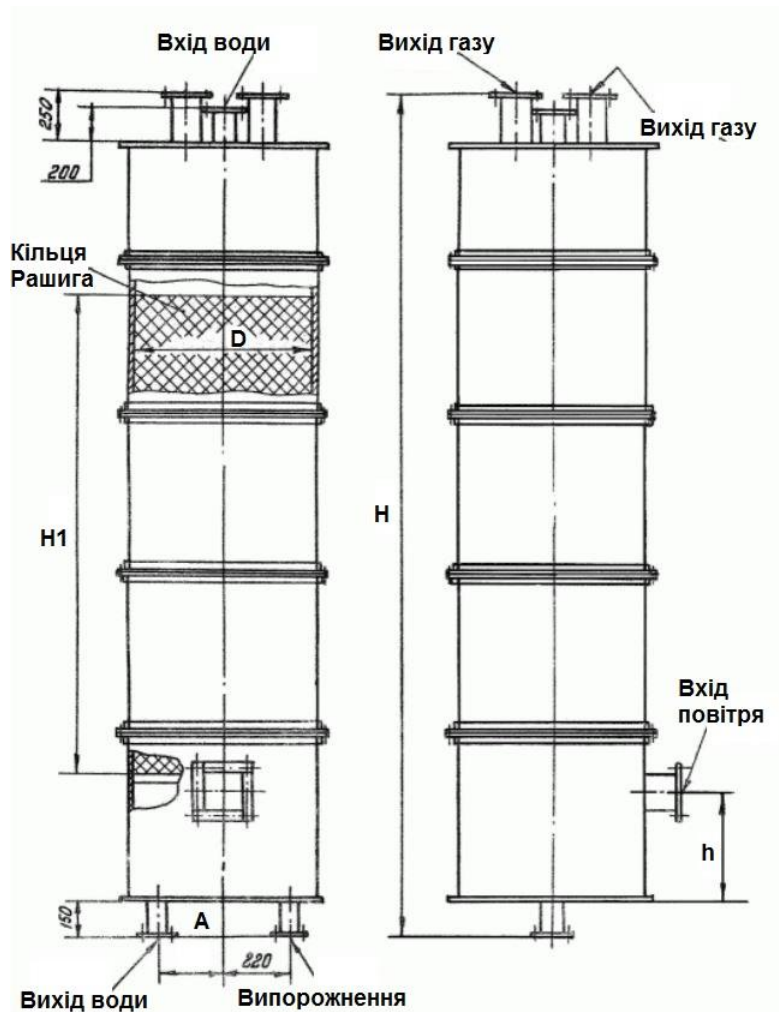


Рисунок 14.1 – Розрахункова схема плівкового дегазатора

5. Розраховуємо необхідний об'єм шару насадки під час дегазації, площу і діаметр декарбонізатора.

Об'єм шару насадки (металеві кільця Рашига), m^3 , визначається за такою формулою:

$$W = \frac{F}{S}, \quad (14.5)$$

де S – питома поверхня насадка, m^2/m^3 (для кілець Рашига $25 \text{ мм} \times 25 \text{ мм} \times 3 \text{ мм}$, $S = 204 \text{ м}^2/\text{м}^3$).

Площа декарбонізатора, m^2 , визначається за такою формулою:

$$F_k = \frac{q_y}{q_{\text{пит}}}, \quad (14.6)$$

де q_y – продуктивність установки, $m^3/\text{год}$;

$q_{\text{пит}}$ – гідравлічне навантаження, $m^3/\text{год}$ на 1 м^2 (у разі використання насадки з кілець Рашига $25 \text{ мм} \times 25 \text{ мм} \times 3 \text{ мм}$ можна обирати $q_{\text{пит}} = 60\text{--}70 \text{ м}^3/\text{год} \times \text{м}^2$).

Діаметр декарбонізатора, м, визначається за такою формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4F_k}{3,14}}. \quad (14.7)$$

6. Вибираємо конструкцію дегазатора за даними відкритих джерел або за таблицею Р.1, наведеною в додатку Р.

7. З урахуванням типових розмірів дегазатора розраховуємо висоту шару насадки, м, за такою формулою:

$$H1 = \frac{W}{F_k}. \quad (14.8)$$

Практичне заняття № 15 Якісна оцінка іонного складу і стабільності води

Умови завдання

Розрахувати вміст невизначеного іону в природній воді, загальний ступінь мінералізації і оцінити стабільність води за індексом Ланжелє. Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці А.12 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. З умови рівноваги іонного складу визначаємо вміст невизначеного сольового компонента (в таблиці А.12 вихідних даних показаний зеленим кольором) у мг/дм³ (мг/л). Атомну (іонну) масу і валентність іонів обираємо з періодичної таблиці хімічних елементів (таблиця Д. І. Менделєєва).

Умова рівноваги, мг-екв/л, визначається за такою формулою:

$$\sum K = \sum A, \quad (15.1)$$

де $\sum K$ – сумарний вміст катіонів у воді, мг-екв/л;

$\sum A$ – сумарний вміст аніонів у воді, мг-екв/л.

2. Розраховуємо загальний солевміст вихідного розчину, мг/л, за такою формулою:

$$M = \sum K + \sum A. \quad (15.2)$$

3. Розраховуємо величину pH_S за емпіричними формулами і за номограмами.

Розрахунок pH_S за такими емпіричними формулами:

$$pH_S = (9,3 + A + B) - (C + D), \quad (15.3)$$

$$A = \frac{(\lg(M) - 1)}{10}, \quad (15.4)$$

$$B = -13,2 \cdot \lg(t + 273) + 34,55, \quad (15.5)$$

$$C = \lg(J_{Ca}) - 0,4, \quad (15.6)$$

$$D = \lg(L_{HCO_3}), \quad (15.7)$$

де M – загальна мінералізація вихідної води, мг/л;

t – температура вихідної води, °С;

J_{Ca} – кальцієва жорсткість вихідної води (вміст іонів кальцію), мг/л;

L_{HCO_3} – бікарбонатна лужність (вміст іону HCO_3^-) вихідної води, мг/л.

Розрахунок pH_S за номограмами (дод. С) здійснюється за такою формулою:

$$pH_S = f_1(t^\circ) - f_2(Ca^{2+}) - f_3(L_{HCO_3}) + f_4(M), \quad (15.8)$$

де $f_1(t^\circ)$ – значення функції температури води ($^\circ C$);

$f_2(Ca^{2+})$ – значення функції вмісту іонів кальцію (мг-екв/л);

$f_3(L_{HCO_3})$ – значення функції бікарбонатної лужності (мг-екв/л);

$f_4(M)$ – значення функції загального солемісту (мг/л);

Зверніть увагу, для емпіричних формул і номограм розмірності кальцієвої жорсткості води і бікарбонатної лужності є різними.

4. Визначаємо величину індексу стабільності води (індексу Ланжельє) через емпіричні формули і за номограмами

$$LSI = pH - pH_S. \quad (15.9)$$

5. Робимо висновок щодо стабільності вихідної води відповідно до даних таблиці 15.1.

Таблиця 15.1 – Оцінка стабільності води за величиною індексу Ланжельє, LSI

Індекс Ланжельє, LSI	Характеристика розчину
3	Надзвичайно високе накипоутворення
2	Дуже високе накипоутворення
1	Значне накипоутворення
0,5	Тенденція до накипоутворення
0,2	Незначне накипоутворення
0	Стабільний розчин
-0,2	Дуже незначний ступінь корозії
-0,5	Незначний ступінь корозії
-1	Тенденція до корозії
-2	Дуже високий рівень корозії
-3	Надзвичайно високий ступінь корозії

Практичне заняття № 16

Розрахунок прояснювача станцій пом'якшення і знесолення води

Умови завдання

Виконати технологічний розрахунок освітлювачів (прояснювачів) із шаром завислого осаду станції пом'якшення води вапняно-содовим способом. Вихідні дані для розрахунку наведено в таблиці А.13 додатка А.

Порядок розв'язання задачі

1. Видалення продуктів реакції реагентного пом'якшення води на станціях знесолення відбувається в освітлювачах із шаром завислого осаду. Схема освітлювача ВТИ-100И показана на рисунку 16.1.

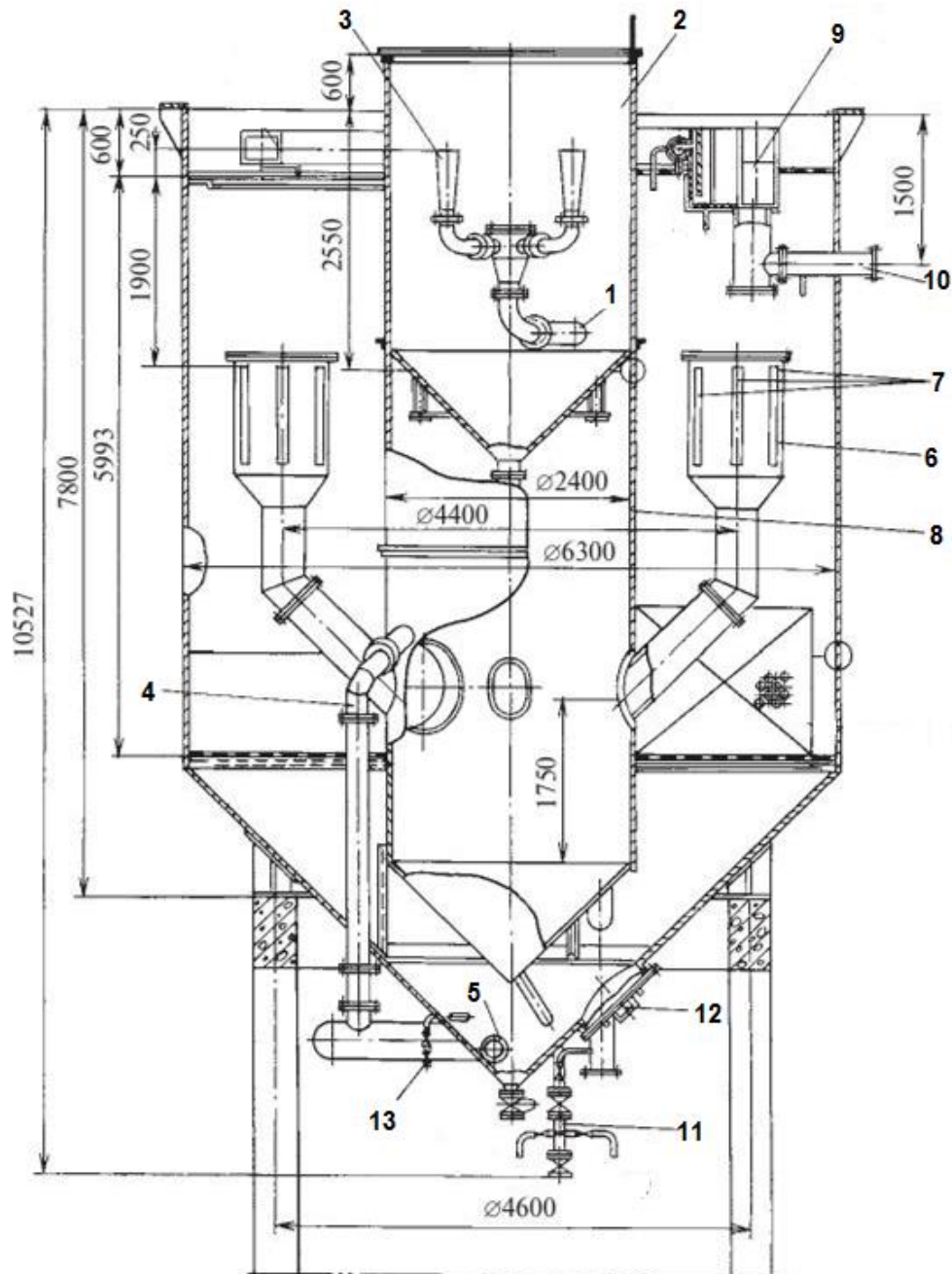


Рисунок 16.1 – Освітлювач ВТИ-100И:

- 1 – трубопровід вихідної води; 2 – повітровіддільник; 3 – розподільчі воронки;
 4 – подача води з повітровіддільника; 5 – сопло; 6 – шламоприймальні труби;
 7 – шламоприймальні вікна; 8 – шламоущільнювач; 9 – лоток збирання освітленої води;
 10 – трубопровід освітленої води; 11 – скид осаду;
 12 – оглядовий люк; 13 – додавання коагулянту

2. Розраховуємо жорсткість вихідної води $J_{\text{вих}}$, мг-екв/л, карбонатну і некарбонатну жорсткість води $J_{\text{к}}$, мг-екв/л і $J_{\text{нк}}$, мг-екв/л, кальцієву і магнієву жорсткість води J_{Ca} , мг-екв/л і J_{Mg} , мг-екв/л. Також розраховуємо необхідні дози вапна $D_{\text{в}}$, мг/л, соди $D_{\text{с}}$, мг/л і коагулянту $D_{\text{к}}$, мг/л для пом'якшення води. Методика розрахунку зазначених величин розглянута в межах практичних занять 1–2.

3. Проводимо розрахунок повітровіддільника. Визначаємо його діаметр, об'єм і висоту.

Діаметр повітровіддільника, м, визначається за такою формулою:

$$D_{\text{п.в.}} = \sqrt{\frac{4q}{N3600V_{\text{п}}}}, \quad (16.1)$$

де q – продуктивність блока прояснювачів, м³/год;

N – кількість робочих прояснювачів;

$V_{\text{п}}$ – швидкість низхідного руху води в повітровіддільнику, м/с ($V_{\text{п}} \leq 0,03$ м/с).

Об'єм повітровіддільника, м³, визначається за такою формулою

$$W_{\text{п}} = q_1 t_1, \quad (16.2)$$

де q_1 – продуктивність одного прояснювача, м³/с;

t_1 – тривалість перебування води в повітровіддільнику, с ($t_1 \geq 60$ с).

Висота повітровіддільника, м, визначається за такою формулою:

$$H_{\text{п.в.}} = \frac{4W_{\text{п}}}{\pi D_{\text{п.в.}}^2}. \quad (16.3)$$

Кількість робочих споруд N обирається не менше ніж 2. Резервні прояснювачі не передбачаються.

4. Обираємо розрахункові параметри роботи прояснювача (висхідна швидкість потоку, концентрація завислих речовин в осаді, тривалість ущільнення осаду) за даними таблиці 16.1.

Таблиця 16.1 – Технологічні параметри прояснювачів станцій пом'якшення води

Показник	Значення
Висхідна швидкість води в зоні освітлення, $V_{\text{в}}$, мм/с	
У разі $J_{\text{Мг}} \leq 0,25 J_0$	1,0
У разі $J_{\text{Мг}} > 0,25 J_0$	0,8
Середня концентрація завислих речовин в осадощільнювачі, $\delta_{\text{сер}}$, мг/л	
У разі $J_{\text{Мг}} \leq 0,25 J_0$	40 000
У разі $J_{\text{Мг}} > 0,25 J_0$	20 000
Тривалість ущільнення осаду, T , год	
У разі $J_{\text{Мг}} \leq 0,25 J_0$	3–4
У разі $J_{\text{Мг}} > 0,25 J_0$	5–6
Швидкість руху води в опускних розподільчих трубах, $V_{\text{р}}$, м/с	0,7

5. Проводимо розрахунок прояснювача. Визначаємо діаметр і висоту апаратів.

Площа осадження прояснювача, м², визначається за такою формулою:

$$S = \frac{q_1}{V_{\text{в}}}, \quad (16.4)$$

де $V_{\text{в}}$ – швидкість висхідного потоку в зоні освітлення, м/с.

Діаметр прояснювача, м, визначається за такою формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi} - D_{\text{п.в.}}^2} \quad (16.5)$$

Висота конічної частини прояснювача (зона реакції), м, визначається за такою формулою:

$$H_{\text{кон}} = \frac{D}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}, \quad (16.6)$$

де α – кут конусності корпусу прояснювача (рекомендовано обирати $\alpha = 60-70^\circ$).

Висота циліндричної частини прояснювача, м, визначається за такою формулою:

$$H_{\text{ц}} = h_{\text{з.о.}} + h_{\text{з.ш.}} + h_{\text{буд}}, \quad (16.7)$$

де $h_{\text{з.о.}}$ – висота шару завислого осаду (зони освітлення), м (можна обрати в межах 2,0–2,5 м);

$h_{\text{з.ш.}}$ – товщина захисного шару води над шаром завислого осаду, м (обирається в межах 1,5–2,0 м);

$h_{\text{буд}}$ – будівельна висота, м, $h_{\text{буд}} = 0,3-0,5$ м.

Загальна висота прояснювача, м, визначається за такою формулою:

$$H_{\text{пр}} = H_{\text{ц}} + H_{\text{кон}}. \quad (16.8)$$

6. Розраховуємо зону ущільнення осаду. Визначаємо її об'єм, розміри і витрату осаду під час скидання.

Об'єм осадощільнювача, м³, визначається за такою формулою:

$$W_{\text{о.у.}} = \frac{q_1(C - m)T}{\delta_{\text{сер}}}, \quad (16.9)$$

де C – концентрація завислих речовин на вході у прояснювач, мг/л;

m – концентрація завислих речовин в очищеній воді, мг/л ($m = 8-12$ мг/л);

T – тривалість ущільнення осаду, год;

$\delta_{\text{сер}}$ – середня концентрація завислих речовин в осадощільнювачі, мг/л.

Висота осадощільнювача, м, визначається за такою формулою:

$$H_{\text{о.у.}} = \frac{4W_{\text{о.у.}}}{\pi D_{\text{п.в.}}^2}. \quad (16.10)$$

Витрата осаду з прояснювача, л/с, визначається за такою формулою:

$$q_{\text{ос}} = \frac{K_{\text{р}}W_{\text{о.у.}}}{3,6t_{\text{ос}}}, \quad (16.11)$$

де $K_{\text{р}}$ – коефіцієнт розбавлення осаду (обирається в межах 1,2–1,5);

$t_{\text{ос}}$ – тривалість скидання накопиченого осаду, год ($t_{\text{ос}} = 15-20$ хв).

7. Визначаємо діаметри трубопроводних комунікацій установки згідно з рекомендаціями, наведеними в таблиці 16.2.

Таблиця 16.2 – Розрахунок діаметрів трубопровідних комунікацій прояснювача

Трубопровід	Рекомендована швидкість, м/с
Підведення вихідної води	0,8–1,2
Опускна розподільча труба	V_p
Відведення освітленої води	0,8–1,2
Відведення осаду	1,0 (діаметр має бути не менше ніж 150 мм)

8. Вибір діаметрів труб проводимо за таблицями для гідравлічного розрахунку напірних труб або за методикою, зазначеною в додатку К ДБН В.2.5–74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. Труби для комунікацій станції пом'якшення вибирають сталі.

КУРСОВА РОБОТА

Курсова робота «Перспективні напрямки вдосконалення водних технологій» виконується відповідно до завдання, яке пропонується здобувачу керівником на початку семестру.

Рекомендовані параметри оформлення тексту пояснювальної записки: шрифт – Times New Roman, кегль – 14 пт, міжрядковий інтервал – 1,5. Кожна робота супроводжується розрахунками, формулами, таблицями, поясненнями, обґрунтуваннями і графічним та ілюстративним матеріалом.

Орієнтовний обсяг роботи – 35–45 сторінок. Пояснювальна записка оформлюється на аркушах А4 у форматі MS Word, зберігається у форматі PDF і завантажується до відповідних тек команди навчальної компоненти MS Teams і курсу дистанційного навчання Moodle.

Титульний аркуш курсової роботи має містити таку інформацію: «Міністерство освіти і науки України», «Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова», назву кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод, назву освітнього компонента, тему курсової роботи, прізвище, ініціали здобувача, номер академічної групи, прізвище керівника і рік виконання.

Курсова робота має таку структуру: титульний аркуш, зміст, завдання, вступ, 1–3 розділи, висновки і список джерел. Робота спрямована на вдосконалення і модернізацію традиційних схем технологій очистки поверхневих вод для питного водопостачання в умовах забруднення джерела домішками антропогенного і техногенного походження.

Вихідні дані для виконання курсової роботи подані в таблиці А.14 додатка А. Спільними рисами курсових робіт здобувачів є: категорія надійності споруд технологічної схеми – II; врахована перспектива на повний строк дії генерального плану; житлова забудова міста – з централізованим водопостачанням і місцевими водонагрівачами із поверховістю забудови три поверхи; подача насосів I і II підйомів є рівномірною протягом доби; станція II

підйому подає воду у водонапірну башту, розміщену на початку водопровідної мережі міста; умовна геодезична позначка на майданчику очисних споруд – 0,00.

У вступі здобувач наводить коротку характеристику об'єкта водопостачання і актуальність запровадження очисних технологій в умовах проєкту.

У першому розділі курсової роботи – «Аналітичний огляд методів і напрямів модернізації технологічних схем водопостачання населеного пункту з поверхневого джерела», здобувач надає аналітичний огляд сучасних літературних джерел (наукові статті, підручники, посібники, монографії тощо) з питань знезараження і очистки поверхневих вод від домішок техногенного і антропогенного походження у разі питного водопостачання. Під час аналізу необхідно використовувати сучасні (не старші за 10 років) вітчизняні і зарубіжні літературні джерела (рекомендовано 8–10 джерел), що розміщені у вільному доступі. На основі проведеного огляду необхідно зробити висновок та обґрунтування щодо вибору схеми і складу споруд під час оброблення води для умов проєкту. У тексті огляду необхідно подати посилання на всі використані джерела. Перелік джерел наводиться в кінці роботи і оформлюється згідно з чинними вимогами. Орієнтовний обсяг розділу 12–15 сторінок.

У другому розділі роботи – «Водоспоживання і споруди подачі води», проводяться розрахунки водоспоживання населеного пункту. Розраховується добове і годинне водоспоживання на господарсько-питні потреби населення (включно із неврахованими витратами води). Виконується розрахунок необхідних витрат води на благоустрій території відповідно до географічного розташування району будівництва очисної станції. Складається загальний добовий і годинний баланс водоспоживання міста. Проводяться технологічні розрахунки насосів I і II підйомів (необхідний напір насоса, діаметри напірних водоводів). Здійснюється вибір необхідного насосного обладнання, арматури, вимірювальних і допоміжних пристроїв за даними відкритих джерел. Вказуються основні характеристики обраних насосів (марка, кількість робочих і резервних, напір, подача, потужність, габаритні розміри, маса тощо). Орієнтовний обсяг розділу 8–10 сторінок.

У межах третього розділу – «Проектування блока очисних споруд і установок знезараження води» визначається продуктивність блока очисних споруд з урахуванням витрат води на власні потреби станції очистки. Наводиться науково обґрунтоване рішення щодо впровадження сучасних методів обробки води (одного або декількох): озонування, обробка води гіпохлоритом натрію, вуглювання, фільтрування на ГАВ, ультрафільтрація тощо. Розраховуються всі елементи технологічної схеми очистки: контактні резервуари і камери, фільтрувальні, відстійні і ємкісні споруди, реагентне господарство, комунікації, енергетичне обладнання тощо. Вибирається тип фільтрувального завантаження і конструкція фільтрів. Обирається спосіб реагентної обробки, визначається тип і потрібні дози реагентів, проводиться розрахунок реагентного господарства. Наводиться принципова схема обробки

води і висотна схема очисних споруд. Орієнтовний обсяг розділу 12–15 сторінок.

У висновках надається коротка характеристика запроваджених у проєкті технологій, використаних споруд і пристроїв. Зазначаються переваги застосованих технологій. Орієнтовний обсяг – до 1–2 сторінок.

ТЕМИ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

Самостійна робота здобувачів в межах цієї освітньої компоненти передбачає виконання трьох творчих літературно-критичних робіт (есе) науково-технічного спрямування. Кожна робота охоплює відповідні лекційні теми змістовного модулю (змістовний модуль 1 – теми 1–4; змістовний модуль 2 – теми 5–8, змістовний модуль 3 – теми 9–11).

Орієнтовний обсяг творчої роботи становить 10–15 сторінок А4, виконаних у форматі MS Word і збережених у розширенні PDF. Виконані роботи завантажуються особисто здобувачем до відповідних тек команди MS Teams і дистанційного курсу Moodle не пізніше закінчення терміну атестації за кожним змістовним модулем.

Під час виконання завдання самостійної роботи, здобувач має використати не менше 5–7 сучасних наукових літературних джерел (статей, монографій, матеріалів конференцій, підручників тощо) вітчизняних і зарубіжних авторів, провести їх критичний аналіз і зробити відповідні висновки. У тексті роботи здобувач має наводити відповідні посилання на використані джерела відповідно до вимог дотримання академічної доброчесності. Бібліографічні відомості на використану літературу оформлюються відповідно до чинних нормативів.

Кожна робота містить титульний аркуш, основний текст і список використаних джерел. Тему творчого завдання на змістовний модуль здобувач обирає самостійно на власні вподобання з переліку, який наведено нижче.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1 ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ ВОД

Тема 1 Сучасні схеми очистки природних вод від домішок антропогенного походження

1. Антропогенні і техногенні домішки в джерелах питного водопостачання.
2. Характерні антропогенні домішки у водах підземних джерел.
3. Напрямки модернізації технологічних схем очистки природних вод.
4. Причини неефективності традиційних технологій підготовки води в сучасних умовах.

Тема 2 Корекція сольового складу природних вод

1. Сфера застосування і аналіз схем реагентних способів пом'якшення води.
2. Типи і характеристика катіонітового завантаження фільтрів, переваги, недоліки, відмінності.
3. Пом'якшення вод електродіалізом. Схеми установок і методика розрахунку.
4. Термічне пом'якшення вод. Критичний аналіз.

Тема 3 Корекція вмісту фтору в питній воді

1. Вплив вмісту фтору в природних водах на здоров'я людини.
2. Світовий досвід експлуатації фтораторних і знефторювальних установок.

Тема 4 Перспективні методи обробки вод підземних джерел

1. Вплив надмірного вмісту сполук заліза і марганцю у природних водах на здоров'я людини, побутове обладнання і промислове устаткування.
2. Порівняльний аналіз реагентних і безреагентних способів деферизації води.
3. Характеристика схем знезалізнення і деманганації природних вод біологічними методами.
4. Окиснювальні реагенти під час знезалізнення і деманганації води.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2 ВДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Тема 5 Сорбційні технології в очищенні води

1. Сучасні типи сорбентів під час очищення природних, стічних і промислових вод.
2. Порівняльний аналіз статичних і динамічних методів сорбції.
3. Конструкції очисних установок для реалізації сорбційного очищення води.
4. Методи регенерації сорбентів.

Тема 6 Вдосконалення біологічних методів очистки вод

1. Біоплато. Сфера використання і принцип дії.
2. Біореактори з закріпленими культурами під час очищення природних і стічних вод.
3. Біологічні методи очистки води в питному водопостачанні.

Тема 7 Очистка вод від іонів важких металів, токсичних сполук, радіонуклідів

1. Сучасні методи вилучення із води сполук хрому, нікелю і цинку.
2. Технології вилучення з води токсичних сполук.
3. Радіонукліди в природних і стічних водах. Принципи очистки.

Тема 8 Демінералізація вод

1. Опріснення і демінералізація морської води.
2. Енергозберігальні технології у разі демінералізації води.

Геліодистиляція.

3. Зворотній осмос під час опріснення води.
4. Опріснення і демінералізація іонним обміном.

ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 3 СУЧАСНІ НАПРЯМИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВОДОПІДГОТОВКИ

Тема 9 Окислювальні методи обробки вод

1. Обробка вод окиснювальними реагентами. Види окиснювачів, порівняльна ефективність.
2. Хлоровмісні реагенти в технологіях підготовки води.
3. Озонаторні установки в схемах очищення вод.
4. Обробка вод ультрафіолетовим випромінюванням. Конструкції установок: переваги, недоліки.
5. Олігодинамія в технологіях підготовки води.

Тема 10 Вилучення з води розчинених газів

1. Розчинені гази в природних водах. Шкідлива дія і основні напрямки вилучення газів.
2. Методи вилучення із води вуглецевого газу і сірководню.
3. Вилучення розчиненого кисню під час підготовки промислових вод.
4. Хімічна дегазація природних вод. Апаратурне оформлення процесу.

Тема 11 Кондиціонування води

1. Способи дезодорації природних вод. Основні напрямки вдосконалення методу.
2. Стабілізаційна обробка природних вод. Оцінка стабільності води.
3. Ремінералізація вод в питному водопостачанні.
4. Причини і способи коригування сольового складу води в питному водопостачанні.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водопідготовка : навч. посіб. / В. В. Дорощенко, І. Г. Коцюба, Т. О. Єльнікова, О. І. Уваєва. – Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. – 153 с.
2. ДБН В.2.5–74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. – Чинний з 08.04.2013 р. – Київ : Мінрегіон України, 2013.– 168 с.
3. ДБН В.2.5–75:2013. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. – Чинний з 08.04.2013 р. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 134 с.
4. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. – Чинний з 23.10.2014 р. – Київ : Мінекономрозвитку України, 2014. – 28 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 671 с.
6. Іванченко Л. В. Хімія і технологія води : навч. посіб. / Л. В. Іванченко, В. Я. Кожухар, В. В. Брем. – Одеса : Екологія, 2017. – 208 с.
7. Інтенсивні технології в аквакультурі / Р. В. Кононенко, П. Г. Шевченко, В. М. Кондратюк, І. С. Кононенко. – Київ : ЦНЛ, 2019. – 410 с.
8. Кононцев С. В. Екологічна біотехнологія очищення стічних вод та культивування кормових організмів : монографія / С. В. Кононцев, Л. А. Саблій, Ю. Р. Гороховська. – Рівне : НУВГП, 2011. – 156 с.
9. Нові високоефективні методи очищення води від розчинних та нерозчинних поллютантів : монографія / І. М. Трус, В. В. Галиш, М. І. Скиба [та ін.]. – Київ : Кондор, 2022. – 272 с.
10. Обробка технологічних рідин та стічних вод : навч. посіб. / С. С. Рижков, К. В. Луняка, В. С. Самохвалов, С. М. Литвак. – Київ : Гельветика, 2021. – 316 с.
11. Орлов В. О. Водоочисні фільтри з зернистою засипкою / В. О. Орлов. – Рівне : НУВГП, 2005.– 163 с.
12. Орлов В. О. Водопостачання та водовідведення : підручник / В. О. Орлов, Я. А. Тугай, А. О. Орлова. – Київ : Знання, 2011. – 360 с.
13. Орлов В. О. Технологія підготовки питної води: навч. посіб. / В. О. Орлов, А. М. Орлова, В. О. Зошук. – Рівне : НУВГП, 2010. – 176 с.
14. Петрук В. Г. Технології захисту навколишнього середовища. Частина друга. Методи очищення стічних вод / В. Г. Петрук, І. В. Васильківський, Р. В. Петрук. – Київ : Гельветика, 2019. – 298 с.
15. Реконструкція і інтенсифікація споруд водопостачання та водовідведення : навч. посіб. / О. А. Василенко, П. О. Грабовський, Г. М. Ларкіна [та ін.]. – Київ : КНУБА, 2007. – 299 с.

16. Степова О. В. Технології захисту водного середовища: навч.-метод. посіб. / О. В. Степова, Г. Г. Трохименко. – Полтава : НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2022. – 306 с.

17. Технологія та обладнання одержання питної та технічної води: фізико-хімічні основи і алгоритми розрахунків процесів водопідготовки / Н. М. Толстопалова, А. Л. Концевой, І. В. Косогіна, С. А. Концевой ; Київський політехнічний університет імені Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 130 с.

18. Шадура В. О. Водопостачання та водовідведення : навч. посіб. / В. О. Шадура, Н. В. Кравченко. – Рівне : НУВГП, 2023. – 385 с.

ДОДАТОК А

Вихідні дані для практичних занять і курсової роботи за варіантами

Таблиця А.1 – Вихідні дані для практичного заняття № 1

Варіант	Водоспоживання, м ³ /год	Якість вихідної води, мг/л					Жорсткість обробленої води, Ж _{спож} , мг-екв/л
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂	HCO ₃ ⁻	Каламутність, К	
1	200	200	10	15	200	10	5,0
2	180	230	11	18	250	9	4,0
3	180	240	12	20	300	8	3,0
4	190	210	13	22	270	11	3,5
5	220	215	14	25	290	12	4,5
6	170	225	15	28	350	10	5,0
7	210	190	9	30	320	9	3,5
8	190	250	8	35	280	8	4,5
9	150	260	7	40	220	11	3,0
10	195	245	10	45	210	10	5,0

Таблиця А.2 – Вихідні дані для практичного заняття № 2

Варіант	Якість вихідної води, мг/л					Жорсткість обробленої води, Ж _{спож} , мг-екв/л
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂	HCO ₃ ⁻	Каламутність, К	
1	200	10	15	200	10	5,0
2	230	11	18	250	9	4,0
3	240	12	20	300	8	3,0
4	210	13	22	270	11	3,5
5	215	14	25	290	12	4,5
6	225	15	28	350	10	5,0
7	190	9	30	320	9	3,5
8	250	8	35	280	8	4,5
9	260	7	40	220	11	3,0
10	245	10	45	210	10	5,0

Таблиця А.3 – Вихідні дані для практичного заняття № 3

Варіант	Продуктивність блока реакторів, q , м ³ /год	Жорсткість води, мг-екв/л	
		На вході	На виході
1	110	12,0	2,0
2	200	11,0	3,0
3	120	10,0	4,0
4	190	9,5	5,0
5	130	8,5	1,5
6	180	10,5	2,5
7	140	11,5	3,5
8	170	12,5	4,5
9	150	11,	2,0
10	160	12,0	3,0

Таблиця А.4 – Вихідні дані для практичного заняття № 4

Варіант	Продуктивність блока водопідготовки, q_y , м ³ /год	Вміст іонів Na у вихідній воді, мг/л	Жорсткість води, мг- екв/л	
			На вході	На виході
1	50	30	5,0	0,1
2	70	35	6,0	0,2
3	90	40	7,0	0,1
4	110	45	8,0	0,2
5	130	50	9,0	0,1
6	150	55	10,0	0,2
7	170	60	11,0	0,1
8	190	30	12,0	0,2
9	210	35	13,0	0,1
10	230	40	14,0	0,2

Таблиця А.5 – Вихідні дані для практичного заняття № 6

Варіант	Продуктивність установки, м ³ /доб	Якісні характеристики вихідної води					
		Fe ²⁺ , мг/л	H ₂ S, мг/л	Солевміст, мг/л	Температура, °С	Лужність, мг-екв/л	Рн
1	2 000	10,0	3,0	300	10	3,0	7,2
2	2 100	9,0	2,5	350	7	4,0	7,3
3	2 200	8,0	2,0	400	8	5,0	7,4
4	2 300	7,0	1,5	500	9	3,5	7,5
5	2 400	6,0	1,0	250	10	4,5	7,6
6	2 500	5,0	1,5	400	11	3,5	7,4
7	2 600	6,5	2,0	350	12	2,5	7,2
8	2 700	7,5	2,5	400	13	3,0	7,3
9	2 800	8,5	3,0	500	7	4,0	7,4
10	2 900	9,5	1,5	250	8	5,0	7,5

Таблиця А.6 – Вихідні дані для практичного заняття № 7

Варіант	Продуктивність установки, м ³ /добу	Населення	Якісні характеристики вихідної води					
			Fe ²⁺ , мг/л	H ₂ S, мг/л	Хлориди, мг/л	Сульфати, °С	Лужність, мг-екв/л	Рн
1	1 000	5 000	5,0	2,0	30	25	3,0	7,2
2	1 200	6 100	6,0	2,5	40	30	3,5	7,3
3	1 400	7 200	7,0	3,0	50	35	4,0	7,4
4	1 600	8 200	8,0	2,0	35	40	4,5	7,5
5	1 800	9 300	9,0	2,5	45	45	2,5	7,6
6	2 000	10 000	10,0	3,0	55	50	3,0	7,4
7	2 200	11 500	5,0	2,0	30	25	3,5	7,2
8	2 400	12 300	6,0	2,5	40	30	4,0	7,3
9	2 600	13 400	7,0	3,0	50	35	4,5	7,4
10	2 800	14 000	8,0	2,0	35	40	2,5	7,5

Таблиця А.7 – Вихідні дані для практичного заняття № 8

Варіант	Продуктивність блока водопідготовки, q_y , м ³ /год	Вміст іонів Na у вихідній воді, мг/л	Жорсткість води, мг- екв/л	
			На вході (після фільтрів I ступеня)	На виході
1	60	30	0,1	0,01
2	70	35	0,2	0,02
3	80	40	0,1	0,03
4	90	45	0,2	0,04
5	100	50	0,1	0,05
6	110	55	0,2	0,01
7	120	60	0,1	0,02
8	130	30	0,2	0,03
9	140	35	0,1	0,04
10	150	40	0,2	0,05

Таблиця А.8 – Вихідні дані для практичного заняття № 9

Варіант	Продуктивність блока водопідготовки, q_y , м ³ /год	Вихідна вода, мг/л			Лужність карбонатна, мг-екв/л		Жорсткість води, мг- екв/л	
		Na ⁺	SO ₄ ²⁺	Cl ⁻	На	На	На	На
					вході	виході	вході	виході
1	100	30	40	60	7,0	0,3	10,0	0,05
2	110	35	45	55	5,6	0,35	9,0	0,04
3	120	40	50	40	4,9	0,4	8,0	0,03
4	130	45	55	45	8,4	0,3	11,0	0,05
5	140	20	60	20	6,9	0,35	9,5	0,04
6	150	25	40	60	5,7	0,4	8,5	0,03
7	160	30	45	60	9,3	0,3	11,5	0,05
8	170	35	50	35	9,4	0,35	12,0	0,04
9	180	40	55	40	9,6	0,4	12,5	0,03
10	190	45	60	45	9,7	0,3	13,0	0,05

Таблиця А.9 – Вихідні дані для практичного заняття № 12

Варіант	Продуктивність установки, м ³ /доб	Якісні характеристики вихідної води	
		Fe ²⁺ , мг/л	H ₂ S, мг/л
1	2 400	8,0	1,0
2	2 300	7,0	1,5
3	2 200	6,0	2,0
4	2 100	5,0	2,5
5	2 000	10,0	3,0
6	1 900	9,5	1,0
7	1 800	9,0	1,5
8	1 700	8,5	2,0
9	1 600	8,0	2,5
10	1 500	7,5	3,0

Таблиця А.10 – Вихідні дані для практичного заняття № 13

Варіант	Продуктивність станції очистки, Q , м ³ /добу	Каламутність вихідної води, мг/л	Забарвленість вихідної води, град	Окиснюваність вихідної води, мгО ₂ /л
1	5 000	6,0	40	15,0
2	6 000	8,0	45	14,0
3	7 000	10,0	50	13,0
4	8 000	12,0	55	12,0
5	9 000	14,0	60	11,0
6	10 000	16,0	65	10,0
7	11 000	18,0	70	9,0
8	12 000	20,0	75	8,0
9	13 000	22,0	80	7,0
10	14 000	24,0	85	6,0

Таблиця А.11 – Вихідні дані для практичного заняття № 14

Варіант	Температура води, °С	Солевміст, мг/л	Рн
1	10	300	7,1
2	11	350	7,2
3	12	400	7,3
4	13	450	7,4
5	14	500	7,5
6	15	300	7,6
7	10	350	7,1
8	11	400	7,2
9	12	450	7,3
10	13	500	7,4

Таблиця А.12 – Вихідні дані для практичного заняття № 15

Варіант	Вміст катіонів, мг/дм ³							
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Fe ²⁺	NH ₄ ⁺	Cu ²⁺	Al ³⁺
1	88	22		19	0,3	0,2	0,002	0,05
2	362,2	84,6	117,1	13,3	1,28	0,79	0,001	0,002
3	120	48		54	1,46	0,68	0,05	0,002
4	93	19	78	8,0	0,55	0,3	0,01	0,023
5	85	44	21	11,0	0,46	0,4	0,003	0,041
6	119,4	19,8		14,0	1,7	0,01	0,001	0,003
7	76	18	32	15	0,32	0,5	0,008	0,009
8	74	31	86	15	0,2	0,6	0,04	0,005
9	43	21	126	15	0,4	0,5	0,03	0,01
10		24	31	12	0,46	0,4	0,003	0,041

Продовження таблиці А.12

Варіант	Вміст катіонів, мг/дм ³							рН	t, °С
	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻		
1	350	120	108	0,07	0,002	0,45	0,02	7,3	19
2		451,7	1074	10,1	0,002	0,01	0,163	7,5	20
3	163	410	214	8,0	0,02	124	0,01	7,8	21
4	320	520		0,3	0,005	0,62	0,02	7,1	22
5	425	350		0,4	0,004	0,54	0,03	7,4	23
6	541	0,01	7528	16	0,001	0,002	0,001	7,9	24
7		410	140	0,2	0,007	0,73	0,02	7,7	25
8		327	240	0,5	0,003	0,45	0,02	7,3	15
9	330		260	0,8	0,05	0,64	0,01	7,5	17
10	320	190	180	0,4	0,004	0,54	0,02	7,7	16

Таблиця А.13 – Вихідні дані для практичного заняття № 16

Варіант	Якість вихідної води, мг/л					Продуктивність блока освітлювачів, м ³ /год
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₂	HCO ₃ ⁻	Каламутність, К	
1	200	15	15	200	15	120
2	230	20	18	250	20	140
3	240	18	20	300	25	160
4	210	22	22	270	10	180
5	215	24	25	290	15	200
6	225	19	28	350	20	220
7	190	21	30	320	25	240
8	250	23	35	280	10	260
9	260	24	40	220	15	280
10	245	19	45	210	20	300

Таблиця А.14 – Вихідні дані для виконання курсової роботи

Вихідні дані	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Населення міста	5 000	8 000	10 000	14 000	16 000	18 000	20 000	24 000	26 000	30 000
Область будівництва	Волинська	Запорізька	Харківська	Дніпропетровська	Київська	Черкаська	Херсонська	Чернігівська	Житомирська	Одеська
Умовні геодезичні позначки, м										
Рівень води у всмоктувальній камері водозабору	-20	-15	-25	-30	-35	-40	-20	-15	-25	-30
Рівень землі навколо водонапірної башти	10	15	5	5	10	15	20	5	10	15
Довжина водоводів, м										
Напірних I підйому	500	700	900	1 000	1 200	1 500	1 800	2 000	2 500	3 000
Напірних II підйому	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500
Необхідні вільні напори, м										
На вході в блок очистки	15	20	10	10	15	20	10	15	20	10
Перед водонапірною баштою	10	15	20	10	15	20	10	15	20	10
Якісний склад вихідної води										
Каламутність, мг/л	50	80	100	120	150	180	200	250	50	100
Забарвленість, град	60	80	90	100	55	65	75	85	95	70
Окислюваність, мгО ₂ /л	10	15	20	25	12	18	22	24	16	23
Солевміст, мг/л	200	250	300	350	200	250	300	350	200	250
Лужність, мг-екв/дм ³	3,0	3,5	4,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,5	3,0	3,5
Хлориди, мг/л	35	40	45	50	60	70	65	55	80	75
Сульфати, мг/л	20	30	40	50	60	80	90	25	45	65

ДОДАТОК Б

Визначення коефіцієнтів α_{Na} і β_{Na}

Таблиця Б.1 – Визначення коефіцієнта ефективності регенерації Na-катіоніту, що враховує неповноту регенерації α_{Na}

Питома витрата солі на регенерацію D_c , г/г-екв/л	100	150	200	250	300	400
Коефіцієнт α_{Na}	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9	0,91

Таблиця Б.2 – Питома витрата солі на регенерацію катіоніту

Жорсткість вихідної води, мг-екв/л	1	2,5	5	7,5	10	15
Питома витрата солі на регенерацію катіоніту, D_c , г/г-екв/л	120	120	120	150	187,5	225

Таблиця Б.3 – Визначення коефіцієнта, що враховує зменшення обмінної ємкості катіоніту β_{Na}

$C_{Na}^2 / J_{0\text{вих}}$	0,01	0,03	0,05	0,1	0,5	1,0	3,0	5,0	10
Коефіцієнт β_{Na}	0,93	0,9	0,88	0,83	0,7	0,65	0,57	0,54	0,5

ДОДАТОК В

Розміри типових Na-катионітових фільтрів (для фільтрів I ступеня)

Діаметр фільтра, D , мм	Висота шару завантаження, h_к , м	Будівельна висота фільтра, H , мм	Маса фільтра, кг
1 000	2,0	3 375	990
1 500	2,0	3 660	1 570
2 000	2,5	4 535	2 660
2 600	2,5	4 815	4 485
3 000	2,5	5 645	5 450
3 400	2,5	5 170	6 710

ДОДАТОК Г

Типові солерозчинювачі

Марка	Ємкість, м ³	Корисна ємкість щодо солі, m_c , кг	Діаметр, мм	Висота, мм	Маса, кг
С 0,125– 0,4	0,125	15	426	1 230	160
С 0,2–0,5	0,2	40	480	1 350	245
С 0,4–0,7	0,4	60	720	1 450	295
С 0,5–0,7	0,5	80	720	1 650	320
С 1,0–1,0	1,0	120	1 020	1 800	550

ДОДАТОК Д

Довідкові дані для вилучення вуглекислоти з води

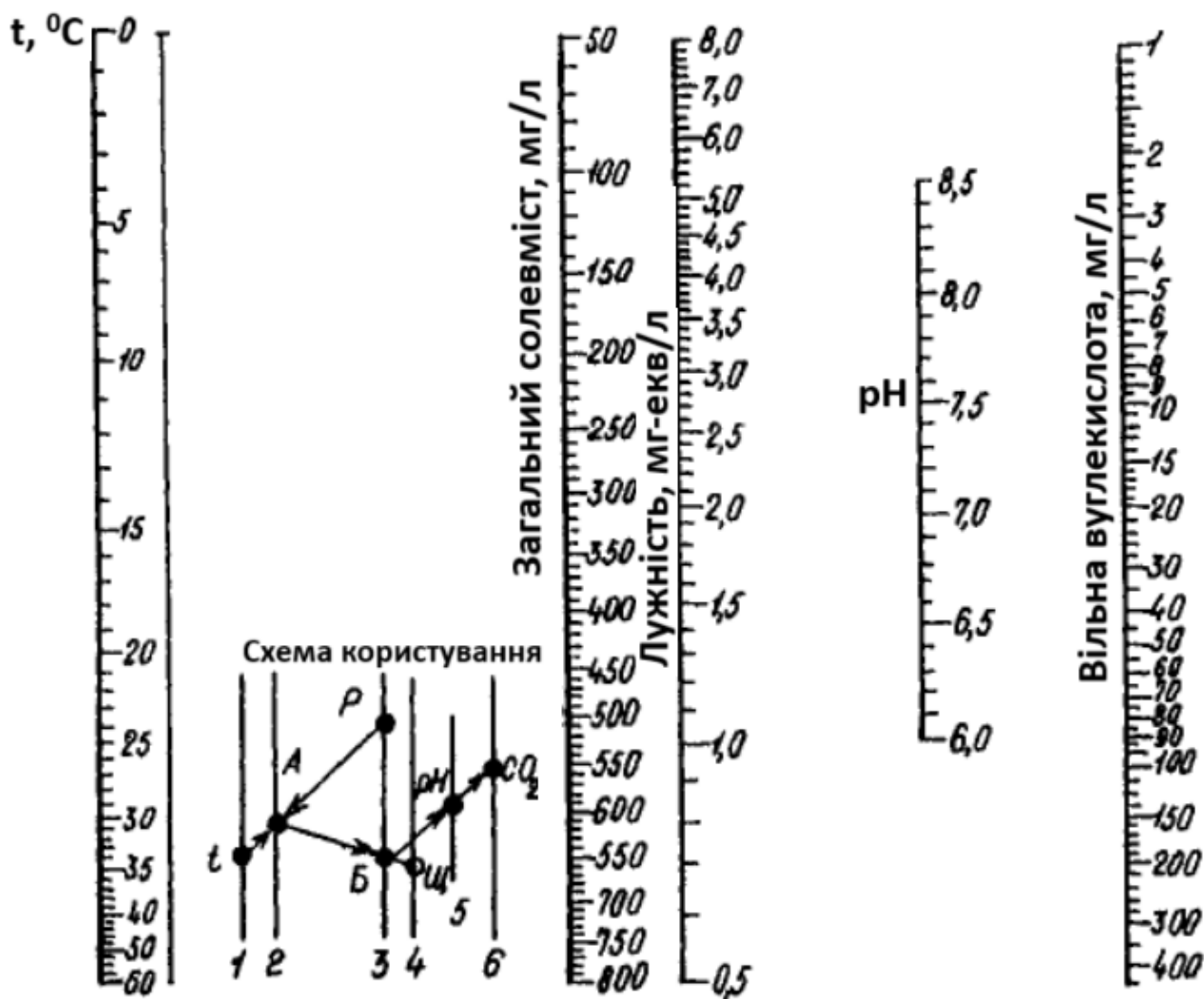


Рисунок Д.1 – Номограма визначення вмісту вільної вуглекислоти у вихідній воді

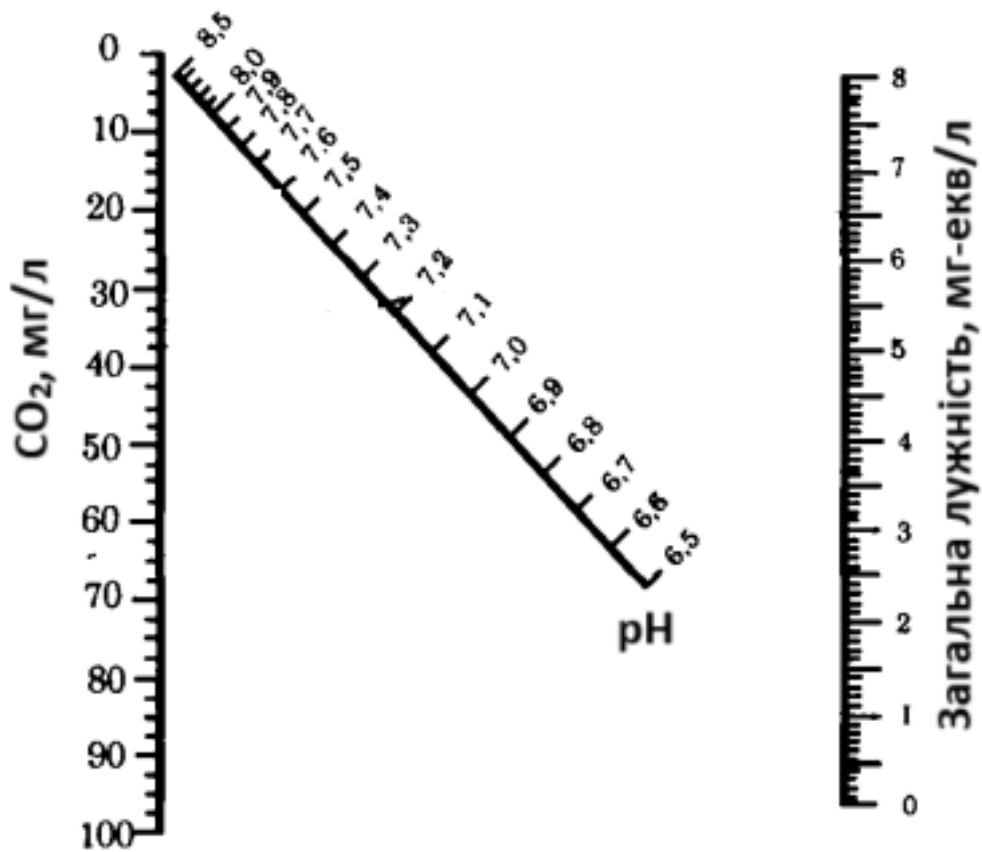


Рисунок Д.2 – Номограма визначення оптимального вмісту вуглекислоти

Таблиця Д.1 – Поправка оптимального вмісту вуглекислоти на температуру

Температура, 0 °С	0	5	10	15	20	25	30
α	1,65	1,44	1,29	1,16	1,06	1,00	0,95

Таблиця Д.2 – Поправка оптимального вмісту вуглекислоти на солевміст

Солевміст, мг/л	20	50	100	200	300	400	500
β	1,00	0,97	0,94	0,9	0,88	0,86	0,84

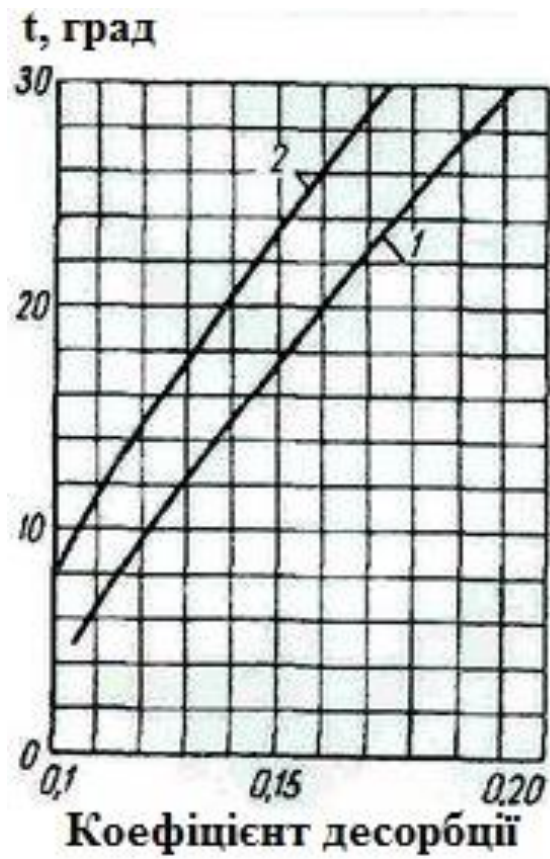


Рисунок Д.3 – Коефіцієнт десорбції для вуглекислоти:

1 – насадка з кілець Рашига 25 мм × 25 мм × 3 мм;

2 – насадка з коксу розміром гранул 30 мм

ДОДАТОК Е

Довідкові дані для розрахунку вилучення сірководню з води

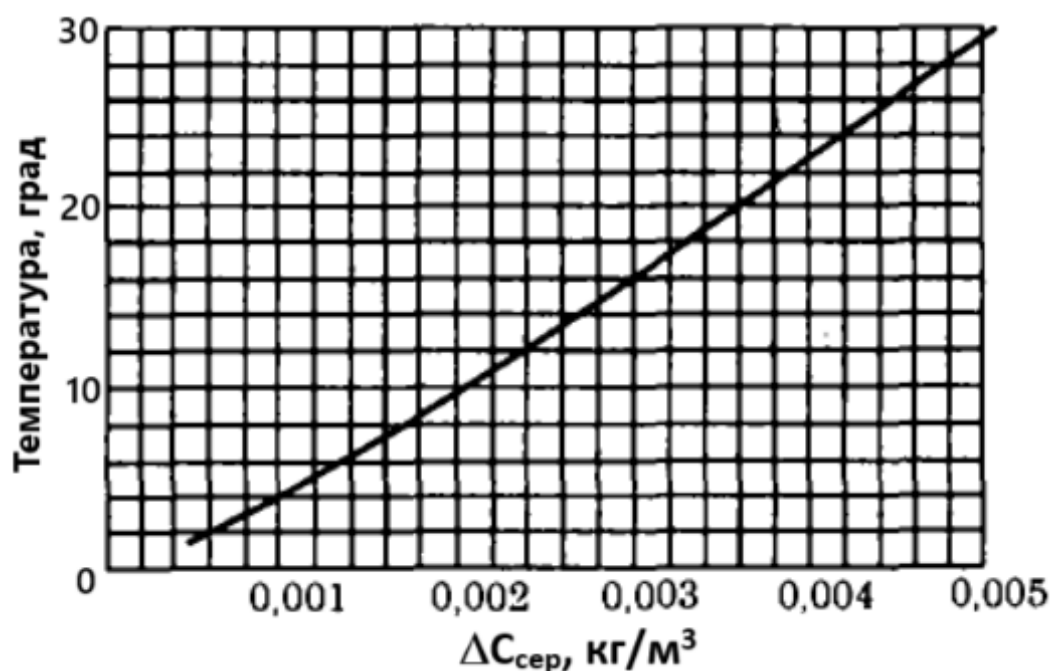


Рисунок Е.1 – Середня рушійна сила десорбції сірководню за його кінцевого вмісту 0,1 мг/л

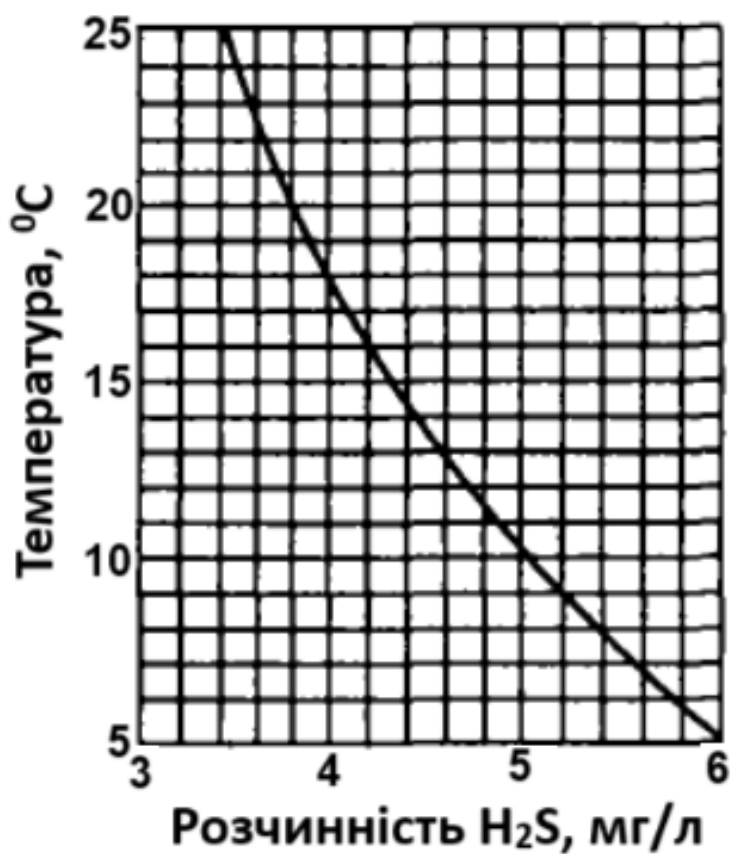


Рисунок Е.2 – Розчинність сірководню у воді

ДОДАТОК Ж

Характеристики фільтрувального завантаження фільтрів, які використовуються під час знезалізнення

Таблиця Ж.1 – Варіанти фільтрувального завантаження

Показник	Завантаження						
	Кварц. пісок	PIROLOX	BIRM	GREENSAND	MTM	FILTER AG	Сорбент АС
Насипна щільність, г/см ³	1,6	2,0	1,44–1,63	1,36	0,72–0,8	0,4	0,67–0,72
Щільність, г/см ³	2,65–2,75	3,8	2,0	2,4–2,9	2,0	2,25	1,35–1,45
Розмір гранул, мм	0,8–1,8	0,5	0,45–0,5	0,3–0,35	0,43	0,6–0,7	0,7–1,5
Висота шару, мм	800–1 000	1 000	760–920	760–800	610–920	610–920	800–1 200
Вільний надфільтровий простір (мінімальний), % від товщини шару	30	40	50	50	50	50	50
Інтенсивність промивання водою, л/с·м ²	16–18	17–20,5	6,8–8,2	6,8–8,2	6,8–8,2	5,4–6,8	8,0–10
Інтенсивність промивання повітрям, л/с·м ²	20	20	20	20	–	20	20
Швидкість фільтрування, м/год	4–7	10–12	8,6–12,2	9,0–11,0	5–12	12	10

ПІСОК КВАРЦЕВИЙ – природний матеріал, який характеризується високим вмістом оксиду кремнію та незначною кількістю розчинних сполук кальцію, заліза та марганцю. Висока якість цих матеріалів, їхні хімічні властивості, а також певний гранулометричний склад задовольняють суворим вимогам для систем водопідготовки. Кварцовий пісок – найбільш доступний та універсальний матеріал для вирішення проблем з очищення води від механічних домішок та сполук заліза. Порівняно з іншими фільтрувальними матеріалами він безсумнівно виграє у співвідношенні «ціна – якість». Висока інтенсивність відмивання сприяє ефективному відновленню фільтрувальних властивостей піску.

PIROLOX (AQUAMANDIX, CATALOX, ПРОЛЮЗИТ, ДІОКСИД МАРГАНЦЮ) – каталітичний матеріал для видалення заліза та марганцю. Purolox – 80-відсоткова руда марганцю, найсильніший окислювач, здатний видаляти значну кількість заліза. Каталітичні матеріали на основі діоксиду марганцю (Aquamandix, Pirolox тощо) зазвичай застосовуються в поєднанні з кварцовим піском (до 25 %). Їх застосування скорочує терміни

налагоджувальних робіт (не потрібен час для створення каталітичної плівки на зернах завантаження), а також сприяє окисленню солей марганцю.

BIRM – каталітичне завантаження для окислення сполук заліза розчиненим у воді киснем. Нерозчинні сполуки заліза, що є результатом окиснення, осаджуються в шарі завантаження і можуть бути легко відфільтровані. Birm не витрачається в процесі видалення заліза і є більш економічним, ніж інші завантаження. Фізичні властивості Birm забезпечують якісну фільтрацію, і фільтр легко очищається від осаджених частинок шляхом зворотного промивання. Birm може використовуватися як у напірних, так і безнапірних системах очищення води. Лужність вихідної води має бути більшою, ніж дворазова сумарна концентрація хлоридів та сульфатів. Максимальна температура води 38 °С. Вміст розчиненого кисню не менше 15 % від сумарного вмісту заліза та марганцю. Концентрація вільного хлору менше ніж 0,5 мг/л. Вміст сірководню, нафтопродуктів та поліфосфатів не допускається.

MANGANESE GREENSAND – глауконітовий пісок, збагачений оксидами марганцю, який здатний видаляти із води залізо, марганець та сірководень. Він окислює і осаджує розчинене залізо і марганець за рахунок контакту з вищими оксидами марганцю на гранулах Manganese Greensand. Сірководень окислюється до сірки. Осад затримується шаром фільтрувального завантаження і видаляється за допомогою зворотного промивання. Для відновлення окислювальної здатності Manganese Greensand необхідно провести його регенерацію слабким розчином калію перманганату. Регенерація – на 1 л фільтрувального завантаження 1,5–2,0 г $KmnO_4$. Концентрація заліза у вихідній воді до 15 мг/л. Концентрація сірководню у вихідній воді до 5 мг/л.

MTM – гранульоване фільтрувальне завантаження, збагачене оксидом марганцю. Використовується для видалення заліза, марганцю та сірководню з води. Активна поверхня гранул MTM окислює та осаджує розчинене залізо та марганець. Сірководень окислюється до сірки. Осад затримується шаром фільтрувального завантаження і видаляється під час зворотного промивання. MTM складається з легких гранул із нанесеним на їх поверхню оксидом марганцю. Це покриття забезпечує контактну фільтрацію, де саме середовище має окисний потенціал. Це дозволяє розширити межі застосування фільтрувального завантаження порівняно з іншими наповнювачами для видалення заліза. Регенерація – на 1 л фільтрувального завантаження 1,5–2,0 г $KmnO_4$. Максимальна температура води 38 °С. Концентрація заліза у вихідній воді до 15 мг/л. Концентрація сірководню у вихідній воді до 2 мг/л. Концентрація марганцю у вихідній воді до 5 мг/л. Вміст нафтопродуктів та поліфосфатів не допускається.

FILTER AG – безводний оксид кремнію, що використовується як високоефективне фільтрувальне завантаження для видалення завислих частинок. Гранули Filter-Ag зі значною поверхнею фільтрації дозволяють досягти максимальної ефективності під час видалення завислих частинок.

Максимальна температура води 60 °С. У разі запуску перед зворотним промиванням фільтр необхідно витримати під водою протягом 12 год.

СОРБЕНТ АС – фільтрувальне завантаження на основі алюмосилікату, виробляється з 1998 року. Є оптимальним, економічно ефективним рішенням для видалення широкого спектру забруднень, включно із залізом, стронцієм, алюмінієм, нафтопродуктами, фенолом, фтором тощо. У разі запуску перед зворотним промиванням фільтр необхідно витримати під водою протягом 12–24 год.

Таблиця Ж.2 – Технологічні параметри напірних фільтрів

Діаметр, м	Висота, м	Діаметр патрубків, мм	h ₁ , мм	a/b, мм
0,8	2,42	50	300	176/256
1,0	2,52	80	300	176/256
1,2	2,67	100	350	176/256
1,4	2,78	100	350	320/420
1,6	2,92	150	400	320/420
1,8	3,02	150	400	320/420
2,0	3,13	150	400	320/420
2,1	3,18	150	400	320/420
2,2	3,23	150	400	320/420
2,4	3,33	150	400	320/420
2,5	3,46	150	500	320/420
2,6	3,60	150	500	320/420
2,7	3,74	200	500	320/420
2,8	3,88	200	500	320/420
2,9	4,02	200	500	320/420
3,0	4,16	200	500	320/420
3,2	4,43	200	500	320/420
3,4	4,71	200	500	320/420

ДОДАТОК И

Таблиця И.1 – Основні параметри і техніко-економічні показники резервуарів чистої води

Номер типового проекту	Місткість, м ³	Розміри, м		
		Ширина	Довжина	Висота
901-4-57.83	50	3,0	6,0	3,8
901-4-58.83	100	6,0	6,0	3,8
901-4-58.83	150	6,0	9,0	3,8
901-4-58.83	200	6,0	12,0	3,8
901-4-58.83	250	6,0	15,0	3,8
901-4-58.83	500	12,0	12,0	3,8
901-4-59.83	700	12,0	18,0	3,8
901-4-59.83	1 000	12,0	24,0	3,8
901-4-59.83	1 200	12,0	30,0	3,8
901-4-60.83	1 400	18,0	18,0	4,8
901-4-60.83	1 900	18,0	24,0	4,8
4-18-851	2 000	24,0	18,0	4,8
901-4-60.83	2 400	18,0	30,0	4,8
901-4-61.83	2 500	24,0	24,0	4,8
4-18-852	3 000	30,0	24,0	4,8
901-4-61.83	3 200	24,0	30,0	4,8
901-4-61.83	3 900	24,0	36,0	4,8
4-18-853	6 000	60,0	36,0	4,8
4-18-854	10 000	48,0	48,0	4,8
901-4-76.83	12 000	54,0	48,0	4,8
901-4-76.83	14 000	54,0	54,0	4,8
901-4-76.83	15 000	54,0	60,0	4,8
901-4-76.83	17 000	54,0	66,0	4,8
901-4-76.83	18 000	54,0	72,0	4,8
901-4-76.83	20 000	54,0	78,0	4,8

ДОДАТОК К

Таблиця К.1 – Розміри типових Na-катионітових фільтрів
(для фільтрів II ступеня)

Діаметр фільтра, D , мм	Висота шару завантаження, h_к , м	Будівельна висота фільтра, H , мм	Маса фільтра, кг
1 000	1,5	2 675	920
1 500	1,5	2 965	1 485
2 000	1,5	3 235	2 280
2 600	1,5	3 515	4 010
3 000	1,5	3 745	5 170

ДОДАТОК Л
Технологічні параметри установок NaClO

Таблиця Л.1 – Установки типоряду EIDes

Параметри	Установки EIDes				
	EIDes-0050	EIDes-0100	EIDes-0400	EIDes-0600	EIDes-1200
Продуктивність, кг/доб	1,2	2,4	8,6	14,4	28,8
Продуктивність, кг/год	0,05	0,1	0,36	0,6	1,2
Концентрація активного хлору в розчині NaClO, г/л	5,0				
Питома витрата солі, кг/кг	5,0				
Питома витрата електроенергії, кВт/кг	5,0–6,5				
Габарити, м	1,1 × 0,8 × 0,3	1,1 × 0,8 × 0,3	1,6 × 0,8 × 0,8	1,6 × 1,1 × 0,8	1,6 × 1,1 × 0,8
Маса, кг	19	21	125	153	230

Таблиця Л.2 – Установки типоряду «Полум'я»

Параметри	Полум'я 2-1	Полум'я 2-1,5	Полум'я 2-2,5	Полум'я 2-5	Полум'я 2-10	Полум'я 2-15	Полум'я 2-25	Полум'я 2-30	Полум'я 2-50	Полум'я 2-80	Полум'я 2-100
Продуктивність, кг/доб	1,0	1,5	2,5	5,0	10	15	25	30	50	80	100
Вміст активного хлору в розчині NaClO, г/л	0,7										
Питома витрата солі, кг/кг	4,0										
Потужність, кВт	0,2	0,4	0,6	1,1	2,0	2,7	4,5	5,2	9,0	14	18
Габарити, м	0,8 × 0,5 × 1,2	0,8 × 0,5 × 1,2	0,8 × 0,5 × 1,2	1,0 × 0,7 × 1,4	1,0 × 0,7 × 1,4	1,0 × 0,7 × 1,4	1,5 × 0,7 × 1,7	2,0 × 0,8 × 2,0	2,0 × 0,8 × 2,0	2,0 × 0,8 × 2,0	2,0 × 0,8 × 2,0
Маса, кг	20	25	45	85	110	145	170	210	260	290	330

ДОДАТОК М

Плунжерні насоси-дозатори

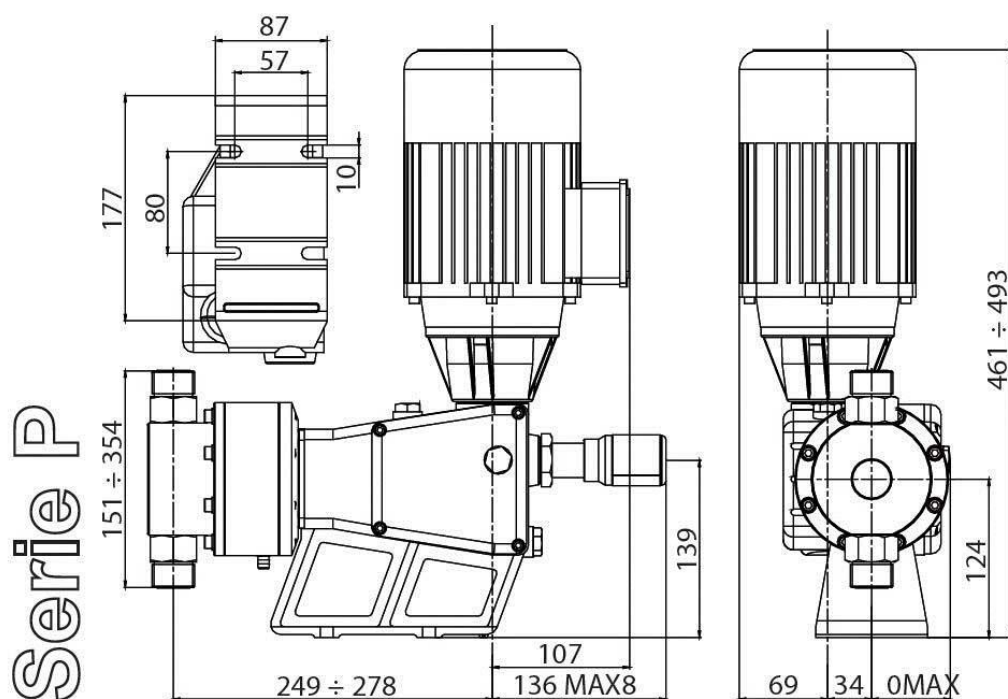


Рисунок М.1 – Конструкція плунжерного насоса-дозатора

Таблиця М.1 – Характеристики насосів-дозаторів

Насос	Подача, л/хв	Тиск, бар	Діаметр патрубків, мм
BP0014	14	25	15
BP0024	24	25	15
BP0029	29	25	15
BP0052	52	20	15
BP0088	88	20	15
BP0103	103	18	15
BP0128	128	16	20
BP0220	220	16	20
BP0251	251	11	20
BP0431	431	16,5	25
BP0503	503	14,5	25

ДОДАТОК Н

Типові озонатори

Таблиця Н.1 – Типові генератори озону для очисних станцій

Модель	Вихід озону, $G_{O_3}^1$ кг/год	Потужність, кВт	Розмір, м	
			Озонатора	Блока живлення
СК-CFG-200E	0,2	1,2–1,6	1,3 × 0,8 × 2,0	1,4 × 1,0 × 2,0
СК-CFG-300E	0,3	1,8–2,4	1,3 × 0,8 × 2,0	1,4 × 1,0 × 2,0
СК-CFG-500E	0,5	3,0–4,0	1,3 × 0,8 × 2,0	1,4 × 1,0 × 2,0
СК-CFG-1KE	1,0	6,0–8,0	1,3 × 0,8 × 2,0	1,4 × 1,0 × 2,0
СК-CFG-2KE	2,0	12–16	1,4 × 1,0 × 2,0	1,4 × 1,0 × 2,0
СК-CFG-3KE	3,0	18–24	1,4 × 1,0 × 2,0	2,8 × 1,0 × 2,0
СК-CFG-4KE	4,0	24–32	1,5 × 1,1 × 2,0	2,8 × 1,0 × 2,0
СК-CFG-5KE	5,0	30–40	1,6 × 1,1 × 2,0	2,8 × 1,0 × 2,0
СК-CFG-10KE	10,0	60–80	1,9 × 1,6 × 2,0	3,5 × 1,0 × 2,0

ДОДАТОК П

Коефіцієнт десорбції для вуглекислоти

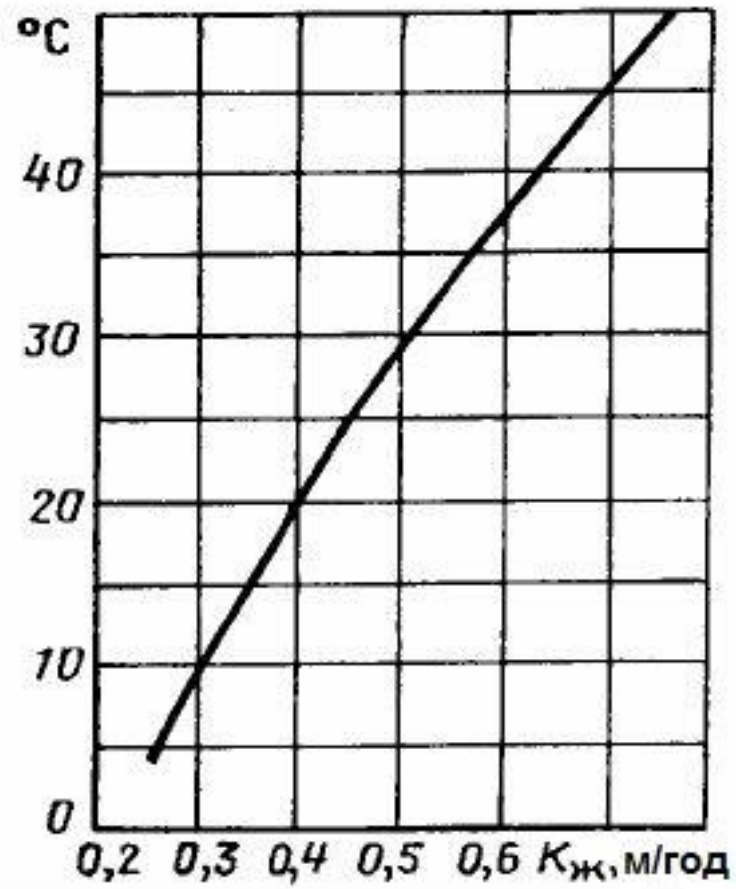


Рисунок П.1 – Коефіцієнт десорбції K_d для вуглекислоти

ДОДАТОК Р

Типові декарбонізатори

Таблиця Р.1 – Характеристики типових конструкцій плівкових дегазаторів

Діаметр, D, мм	Висота, H, мм	A, мм	h, мм
565	5 520	200	543
730		260	528
1 030		380	498
1 260		470	478
1 460		550	463
1 630		610	442
1 790		640	432
2 060		750	407
2 315		875	387
2 520		950	362

ДОДАТОК С

Номограма для розрахунку величини рН_s

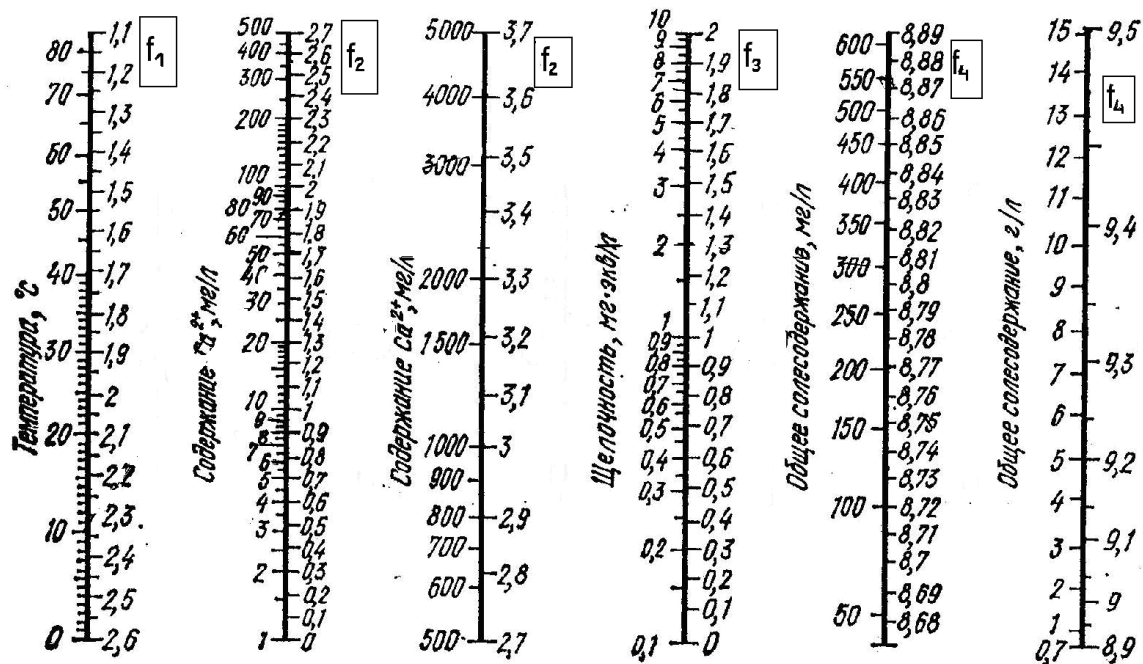


Рисунок С.1 – Номограма для розрахунку величини рН_s

Електронне навчальне видання

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для практичних занять, виконання курсової і самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВОДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ»

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання
зі спеціальності – G19 Будівництво та цивільна інженерія, освітня програма
«Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»)*

Укладачі: **СИРОВАТСЬКИЙ** Олександр Анатолійович,
КАРАГЯУР Андрій Степанович

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*
Редактор *Б. О. Хільська*
Комп'ютерне верстання *О. А. Сироватський*

План 2025, поз. 555М

Підп. до друку 12.09.2025. Формат 60 × 84/16.
Ум. друк. арк. 4,7.

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Черноглазівська, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 8386 від 14.07.2025.