

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ
«СПЕЦКУРС З ОЧИСТКИ ПРИРОДНИХ ВОД»

(для магістрів спеціальностей 8.092601 (8.06010108)
«Водопостачання та водовідведення»
та 8.06010302 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів»)

Харків – ХНАМГ – 2012

Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни «Спецкурс з очистки природних вод» (для магістрів спеціальностей 8.092601 (8.06010108) «Водопостачання та водовідведення» та 8.06010302 «Раціональне використання і охорона водних ресурсів») / Харк. нац. акад. міск. госп–ва; уклад.: Л. В. Крамаренко. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 27 с.

Укладач к. т. н., доц. Л. В. Крамаренко

Рецензент: д. т. н., проф. С. С. Душкін

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод, протокол № 1 від 30.08.2010 р.

З М І С Т

	Стор.
<i>Вступ</i>	4
1. Стабілізаційна обробка води	5
1.1 Визначення показника індексу насичення	5
1.2 Схема приготування вапняного молока	8
2. Фторування води	11
2.1 Основні положення фторування води	11
2.2 Фтораторна установка з баками для розчинення та з механічною загрузкою реагенту	12
2.3 Фтораторна установка з сатуратором	14
3. Очищення води від фтору	17
3.1 Технологічна схема знефторювання води фільтруванням через сорбент	18
3.2 Визначення кількості води, що підлягає знефторюванню	20
3.3 Розрахунок фільтрів	20
3.4 Регенерація фільтрів	22
3.5 Розпушування	22
3.6 Приготування регенераційного 1,5%-го розчину $Al_2(SO_4)_3$	23
3.7 Відмивання сорбенту	25
3.8 Резервуари чистої води	25
<i>Список джерел</i>	25
<i>Додатки</i>	26

ВСТУП

Водопровідні очисні станції господарсько-питного призначення використовуються для забезпечення населення та промисловості водою, що відповідає вимогам ДержСанПіНу.

Місце розташування водоочисних споруд має бути зручним для вирішення всіх питань водопостачання об'єктів. У більшості випадків їх розміщують поблизу джерел водопостачання. Необхідно стежити за найбільш раціональним розташуванням всіх елементів станції на генеральному плані будівельного майданчика.

Склад комплексу основних споруд водопровідної очисної станції залежить від прийнятих методів корегування гетерофазних домішок природних вод, які, в свою чергу, залежать від якості води в джерелі водопостачання та вимог до неї, що висувають споживачі.

Для доведення якості води до вимог стандарту на питну воду її оброблюють, включаючи за необхідності наступні процеси: попереднє прояснення, фільтрування, реагентну обробку, знезараження, дезодорацію, фторування, знезалізнення і т. п.

1. СТАБІЛІЗАЦІЙНА ОБРОБКА ВОДИ

1.1 Визначення показника індексу насичення

Вапно на станціях обробки води для господарсько-питних цілей може застосовуватися як для поліпшення умов пластівцеутворення, так і для стабілізаційної обробки води.

Приклад 1: Визначити кількість реагенту $Q_{\text{доб}}$ для стабілізаційної обробки питної води на період весняного паводка та підібрати схему його приготування для $C_{Ca^{2+}} = 86,3 \text{ мг/дм}^3$; $Щ_0 = 4,98 \text{ мг-екв/дм}^3$; $D_k = 41 \text{ мг/дм}^3$; $P = 0,5053 \text{ г/дм}^3$; $t = 8^\circ\text{C}$ та pH до обробки коагулянтном 7,7.

Спочатку визначаємо дозу луку для поліпшення умов пластівцеутворення за формулою:

$$D_{\text{щ}} = K_{\text{щ}} \left(\frac{D_k}{e_k} - Щ_0 \right) + 1 = 28 \left(\frac{41}{57} - 4,98 \right) + 1 = -118,28 \text{ мг/дм}^3, \quad (1.1)$$

де D_k – максимальна, у період підлужування, доза безводного коагулянту, мг/дм^3 ;
 e_k – еквівалентна маса коагулянту (безводного), мг-екв/дм^3 , прийнята для

$$Al_2(SO_4)_3 = 57;$$

$Щ_0$ – мінімальна лужність води, мг-екв/дм^3 (див. формулу 1.5, тобто

$$Ж_k = Щ_0 = 4,98 \text{ мг-екв/дм}^3 \text{ згідно з вихідними даними);}$$

$K_{\text{щ}}$ – коефіцієнт, рівний для вапна за CaO – 28.

Оскільки доза луку $D_{\text{щ}}$ має негативне значення, то для поліпшення умов пластівцеутворення підлужнювати воду не треба.

За відсутності даних технологічних аналізів стабільність води визначаємо за індексом насичення (СНіП додаток 5):

$$I = pH_o - pH_s, \quad (4.18)$$

де pH_o – водневий показник, що вимірюється за допомогою рН-метра (вихідні дані курсової роботи);

pH_s – водневий показник в умовах насичення води $CaCO_3$, визначається за номограмою рис. 1 (додаток 5 СНіПу), виходячи зі значень вмісту кальцію C_{Ca} , загального солевмісту P , лужності $Щ$ й температури води t .

Виходячи з того, що вода піддається обробці сульфатом алюмінію, то при підрахунку індексу насичення варто враховувати зниження pH та лужності води внаслідок додавання до неї коагулянту. Лужність води після коагулювання визначається за формулою:

$$Щ_k = Щ_o - \frac{D_k}{e_k} = 4,98 - \frac{41}{57} = 4,26 \text{ мг-екв/дм}^3, \quad (4.19)$$

де $Щ_o$ – лужність вихідної води (до коагуляції), мг-екв/дм^3 .

Кількість вільного двоокису вуглецю у воді після коагулювання визначається за номограмою рис. 2 (додаток 5 СНіПу) при відомій величині pH коагульованої води, а при невідомому pH – за формулою:

$$(CO_2)_{cv} = (CO_2)_o + 44 \frac{D_k}{e_k}, \quad (4.20)$$

де $(CO_2)_o$ – концентрація вільної вуглекислоти у вихідній воді до коагулювання, мг/дм^3 , визначається залежно від pH , солевмісту, температури й лужності вихідної води:

$$(pH = 7,7; \quad P = 0,5053 \text{ г/дм}^3; \quad t = 8 \text{ }^\circ\text{C}; \quad l_1 = 29 \text{ мм}; \quad l_2 = 36 \text{ мм};$$

$$l = l_1 + l_2 = 29 + 36 = 65 \text{ мм}, \text{ отже } (CO_2)_o = 14 \text{ мг/дм}^3).$$

$$(CO_2)_{cv} = 14 + 44 \frac{41}{57} = 45,68 \text{ мг/дм}^3.$$

Повертаючись до номограми рис. 2, ми можемо визначити значення pH води після обробки коагулянтом: тому що $l_1 + l_2$ відомо (відповідає значенню $(CO_2)_{cv} = 45,68 \text{ мг/дм}^3$) і $l_2 = \text{const}$, $P = \text{const}$, те $l_1 = l - l_2$). Величина pH після обробки води коагулянтом: $pH = 7,8$.

$$I = pH_o - pH_s = 7,7 - 7,8 = -0,1$$

$$(l_1 = 29 \text{ мм}, l_2 = 30 \text{ мм}, l = l_1 + l_2 = 59 \text{ мм}).$$

Індекс насичення має негативне значення, отже, для захисту труб від корозії й видалення горбистих корозійних відкладень необхідно передбачати стабі-

лізаційну обробку води лужними реагентами більше трьох місяців на рік згідно зі СНіП.

Доза вапна визначається за формулою:

$$D_u = 28\beta_u k_t \text{Щ}, \text{ мг/дм}^3, \quad (4.22)$$

де D_u – доза вапна, мг/дм^3 , розраховуючи на CaO ;

β_u – коефіцієнт, визначений за номограмі залежно від pH води до стабілізаційної обробки (після коагулювання) й індексу насичення: $\text{pH} = 7,8$; $I = -0,1$; $\beta_i = 0,01$;

k_t – коефіцієнт, що залежить від температури води: $k_t = 1$;

Щ – лужність води до стабілізаційної обробки, мг-екв/дм^3 : 4,98

$$D_u = 28 \cdot 0,01 \cdot 1 \cdot 4,98 = 1,39 \left(\frac{\text{мг}}{\text{дм}^3} \right).$$

При виборі реагенту варто керуватися результатом обчислень дози за формулою:

$$d_{\text{щ}} = 0,7 \left[\frac{(\text{CO}_2)_{\text{св}}}{22} + \text{Щ} \right], \text{ мг-екв/дм}^3. \quad (4.23)$$

Якщо доза вапна $\frac{D_u}{28}$ виявляється менше величини $d_{\text{щ}}$, то в якості реагенту для стабілізаційної обробки води застосовується вапно. Якби вийшло, що $\frac{D_u}{28}$ була б більше величини $d_{\text{щ}}$, то у воду, крім вапна в кількості $d_{\text{щ}}$, варто вводити також соду, дозу якої D_c слід визначати за формулою:

$$D_c = \left(\frac{D_u}{28} - d_{\text{щ}} \right) \cdot 100, \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}. \quad (4.24)$$

У цьому випадку $D_u = 1,39 + 0 = 1,39 \text{ мг/дм}^3$. Для перерахування в масові одиниці технічного продукту варто використовувати формулу:

$$D'_u = D_u \cdot \frac{100}{C_{\text{щ}}}, \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}, \quad (4.25)$$

де $C_{\text{щ}}$ – вміст активної речовини в технічному продукті, $C_{\text{щ}} = 60\%$.

$$D'_u = 1,39 \cdot \frac{100}{60} = 2,32 \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3},$$

Добова витрата товарного вапна:

$$Q_u = D_u Q_{\text{oc}} = 2,32 \cdot 120000 = 278400 \text{ г} = 278,4 \text{ кг}.$$

1.2 Схема приготування вапняного молока

Вапно надходить на склад у контейнерах. Транспортують його площею складу й піднімають на завантажувальний бункер вапногасника за допомогою електричної кран-балки. Перевезення та зберігання вапна в контейнерах виключає втрати його на території реагентного господарства, однак вимагає великої площі складу й витрати металу для контейнерів.

Вапно з контейнера надходить у бункер і далі у вапногасник, де відбувається її гасіння. Приймаємо термомеханічний вапногасник марки С-700 із продуктивністю 1 т/ч.

Добова витрата 30%-го вапняного молока:

$$0,27 \cdot \frac{100}{30} = 0,92 \text{ (т / сут)}$$

отже, 3%-го – 9,2 (т/добу).

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

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{0,92}{1,2} = 0,76 \text{ м}^3 / \text{добу},$$

3%-го (при $\rho = 1,02 \text{ т/м}^3$):

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{9,2}{1,02} = 9,02 \text{ м}^3 / \text{добу}.$$

З урахуванням добового об'єму витрати кожний бак для зберігання 30%-го вапняного молока повинен мати розміри 1,0 x 1,0 м і висоту:

$$h = \frac{0,76}{1} = 0,76 \text{ м}.$$

Перед перекачуванням вапняного молока в гідрозмішувач й під час його роботи необхідно перемішувати вапняне молоко стисненим повітрям, що надходить від повітредувки з інтенсивністю 8-10 л/с · м².

Витрата повітря, необхідного для перемішування вапняного молока в одному баку: 1,0 x 1,0 · 10 = 10 л/с = 0,6 м³/хв.

Для подачі 30%-го молока в гідро змішувач приймаємо два насоси (один з них резервний) типу ВК 1,5/ 10-6 продуктивністю $1,4 \text{ м}^3/\text{год}$ і напором $H = 6,3 - 7,7 \text{ м.вод.ст.}$ Цей насос перекачує вапняне молоко з одного бака протягом $0,5 \text{ год}$: $(0,76:1,4 = 0,5 \text{ год})$.

В проекті прийняті 2 гідравлічних циркуляційних змішувача МГК-1 з наступними параметрами: $V = 1 \text{ м}^3$, $D = 1200 \text{ мм}$, $H = 1645 \text{ мм}$, що працюють по черзі.

Оскільки вапняне молоко застосовується для стабілізаційної обробки, воно не повинне містити забруднень і шкідливих домішок. Для очищення вапняного молока варто застосовувати вертикальні відстійники або гідроциклони.

Параметри гідроциклону обираються на підставі витрати 3%-го вапняного молока: $0,76:24 = 0,03 \text{ м}^3/\text{год}$. Приймаємо два гідроциклони (еквівалентно кількості змішувачів) з діаметром $D=75 \text{ мм}$. Продуктивність гідроциклону при тиску від $0,6$ до $2,5 \text{ кг}\cdot\text{с}/\text{см}^2$ становить $3-6 \text{ м}^3/\text{год}$.

Готове 3%-е вапняне молоко забирають з гідрозмішувача циркуляційним насосом у гідроциклон, закріплений над змішувачем, для очищення від завислих речовин та інших забруднень. Після гідроциклону вапняне молоко надходить у конічну частину гідрозмішувача в кількості 94% від об'єму гідрозмішувача, тобто $3,76 \text{ м}^3$, інша частина $0,24 \text{ м}^3$ йде на злив.

Знаючи об'єм вапна, що надходить із гідрозмішувача в оброблювану воду $3,76 \text{ м}^3$, визначаємо, що в гідрозмішувачі необхідно заготовлювати вапно: $0,76:3,76 = 2 \text{ рази/добу}$.

Насос, що перекачує 3%-е вапняне молоко до гідромішалки працює протягом $30 \text{ хв} : 2 = 15 \text{ хв}$ 2 рази/добу .

Після очищення в гідроциклоні при безперервній циркуляції в гідрозмішувачі починається подача вапняного молока в дозатор, з якого воно надходить в оброблювану воду, і в якості якого прийнятий дозатор марки ДІМБА 1 (по одному на гідрозмішувач $0,76 \text{ м}^3/\text{добу}$).

В якості циркуляційного насосу прийнятий насос марки ФГ 81/ 31-а продуктивністю $40 \text{ м}^3/\text{год}$ і напором $H = 28 \text{ м}$. Цей насос створює циркуляцію вапняного молока в гідрозмішувачі, а також подає його в дозатор.

Швидкість висхідного потоку в гідрозмішувачі повинна бути не менше 5 мм/с [1, п. 6.37] або 18 м/год при прийнятому насосі швидкість висхідного потоку:

$$W_{н.м} = \frac{Q_n}{F_m} = \frac{40 - 3}{1,13} = 32,7 \text{ м/год}, \quad (4.26)$$

де Q_n – витрата вапняного молока, що подається в гідрозмішувач, рівна продуктивності циркуляційного насоса за винятком витрати вапняного молока, що подається в оброблювану воду, $\text{м}^3/\text{год}$;

F_m – площа перетину гідрозмішувача, м^2 .

Кількість води, необхідної для виготовлення 3%-го вапняного молока:

$$Q_{вц} = \frac{Q_u}{3}, \quad (4.27)$$

$$Q_{вц} = 0,27 \cdot \frac{97}{3} = 8,730 \text{ м}^3 / \text{добу},$$

$$Q_{вц} = \frac{Q_u \cdot 97}{3} = \frac{0,092 \cdot 97}{3} = 2,98 \text{ м}^3 / \text{добу}. \quad (4.27)$$

Визначимо площу складу, що потрібна для зберігання контейнерів, у яких поставляється вапно з урахуванням 30-добового запасу.

При добовій витраті вапна $0,092 \text{ т}$ його запас повинен становити $0,092 \times 30 = 2,76 \text{ т}$ при насипній масі 1 т/м^3 він займе об'єм: 3 м^3 .

Якщо контейнери марки КГ-5 мають об'єм $5,1 \text{ м}^3$ (довжина – 2100 мм , ширина – 1325 мм і висота – 2440 мм), то на станції повинен бути запас із 1 контейнера.

Площа складу з урахуванням коефіцієнта запасу, рівного $1,5$, буде дорівнювати:

$$F_u = 2,1 \cdot 1.325 \cdot 1,5 = 4,1 \text{ м}^2.$$

2. ФТОРУВАННЯ ВОДИ

2.1 Основні положення фторування води

Фторування води господарсько-питного призначення необхідно проводити для попередження карієсу зубів у населення, яке використовує воду із вмістом фтору менше $0,7 \text{ мг/дм}^3$. Однак надлишковий вміст фтору (більше $1,5 \text{ мг/дм}^3$) може викликати флюороз (гіпоплазію емалі зубів). Тому збільшувати вміст фтору у воді слід тільки до $0,8 \text{ мг/дм}^3$ влітку і до 1 мг/дм^3 взимку. Для цього використовують фторовмісні реагенти: порошкоподібний кремній, фтористий натрій Na_2SiF_6 (ГОСТ 87-66) або дещо рідше фтористий натрій NaF (ГОСТ 2871-67), що значно дорожчий за попередній реагент.

Кремнійфтористо-воднева кислота дешевша за інші реагенти, але її нецільно використовувати на установках малої продуктивності. Її треба розбавляти водою, що призводить до випадання осаду в насосах, трубах та арматурі.

Кремній фтористий амоній $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ (ГОСТ 10129-62) за ціною дешевше фтористого натрію, але навіть при недовгому зберіганні злежується з утворенням грудків, що значно погіршує його використання.

Доза фторовмісного реагенту визначається за формулою:

$$D_{\phi} = [na - (F^-)] \frac{100}{K} \cdot \frac{100}{C_{\phi}}, \quad (2.1)$$

де n – коефіцієнт, що приймається при введенні фтору після очисних споруд 1, а перед швидкими фільтрами – 1,1;

a – вміст фтору в оброблюваній воді, приймається рівним $0,8 \text{ мг/дм}^3$ влітку та 1 мг/дм^3 взимку;

K – вміст чистого фтору в речовині, рівний для Na_2SiF_6 – 60%, для $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ – 79% і для NaF – 45%;

C_{ϕ} – вміст чистої речовини в технічному продукті, рівний для Na_2SiF_6 – 93-98% залежно від сорту;

F^- – вміст фтору у вихідній воді, мг/дм^3 .

У практиці водопідготовки знайшли застосування два види фтораторних установок:

- з баками для розчинення;
- з сатураторами.

2.2 Фтораторна установка з баками для розчинення та з механічною загрузкою реагенту

Схема дії такої установки (рис. 2.1): реагент подається в розчинні баки (1) з бочок (6), які розташовані на підлозі складу (5) на спеціальних підставках. За допомогою кран-балки бочку (6) ставлять на роликову платформу (7), яку підводять по направляючим до перекидної кабіни (9) з дверцятами, які відкриваються вниз. З бочки реагент висипається в бункер (10), що обслуговує обидва баки (8). Реагент заповнює сектори двох об'ємних дозаторів барабанного типу (11) і подається по черзі то в один бак, то в другий, (реагент завантажується один раз за зміну). Для перемішування розчину в баці використовується повітродувка (13). Готовий розчин забирається насосами-дозаторами (12) марки НД і по фторопроводу (1) подається на очисні споруди до швидких фільтрів. По трубопроводу (4) в бак (8) надходить вода для того, щоб розчинити реагент, а труба (3) служить для скиду осаду в каналізацію. Для зручності обслуговування обладнання запроектований майданчик (14).

Приклад 2: виконати розрахунок фтораторної установки з баками для розчинення для очисних споруд продуктивністю $Q_{год} = 1250 \text{ м}^3 / \text{год}$, вміст фтору у вихідній воді становить $F^- = 0,4 \text{ мг} / \text{дм}^3$.

В якості реагенту вибираємо порошкоподібний кремній фтористий натрій Na_2SiF_6 , в якому чистого фтору 60%, вміст чистої речовини в технічному продукті складає 95%. Вміст фтору в оброблюваній воді приймаємо по максимуму для зимового періоду, тобто $1 \text{ мг} / \text{дм}^3$, отже, доза фторовмісного реагенту буде складати:

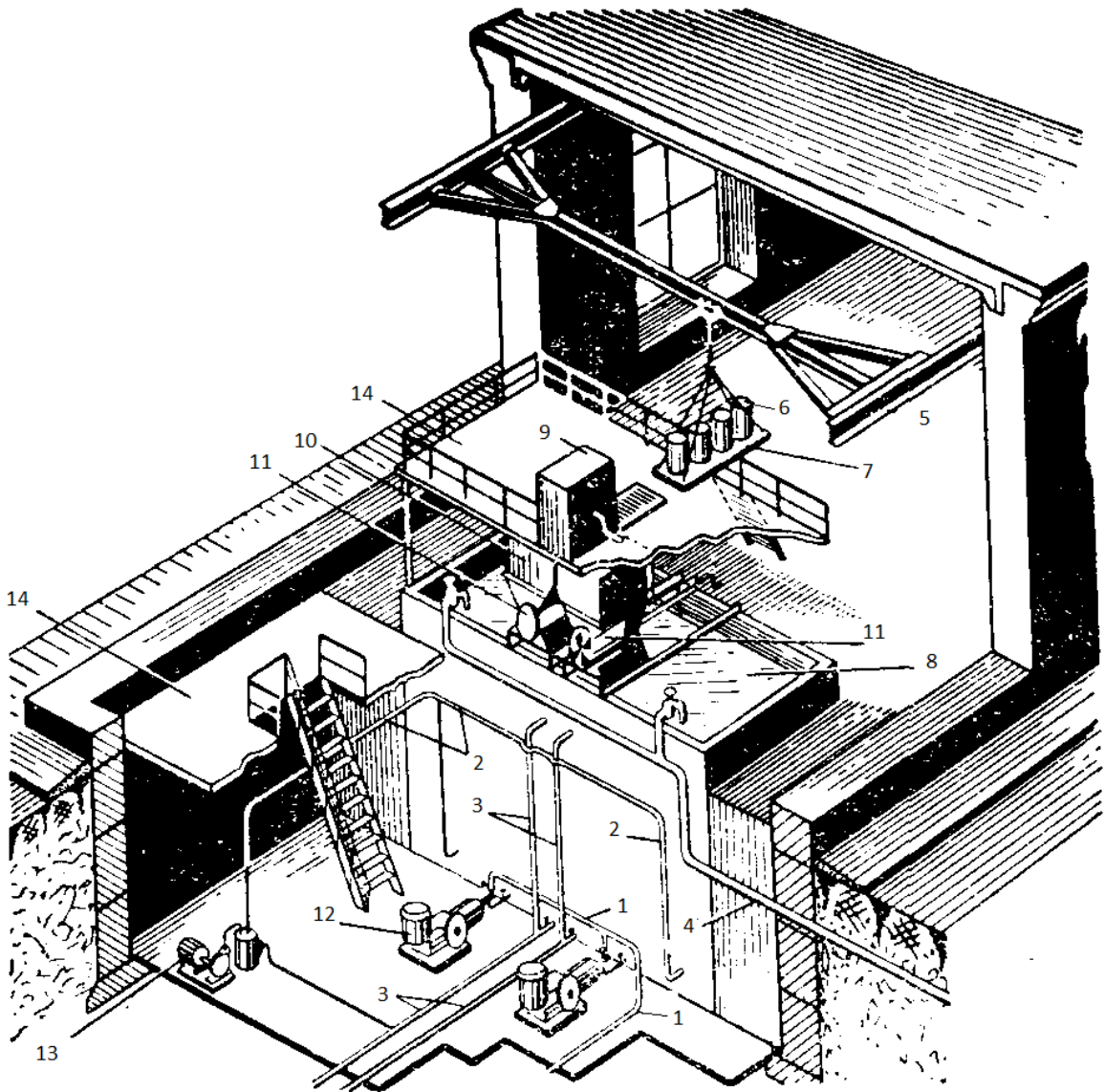


Рис. 2.1 – Фтораторна установка з розчинними баками та механічним завантаженням реагенту:

1 – фторопровід; 2 – вакуум-лінія; 3 – каналізація; 4 – водопровід; 5 – склад реагенту; 6 – бочки з реагентом; 7 – роликів платформа; 8 – розчинні баки; 9 – перекидна кабіна; 10 – бункер; 11 – об’ємний дозатор; 12 – насос-дозатор; 13 – повітрорудка; 14 – майданчик для обслуговування

$$D_{\phi} \left[na - (F^-) \right] \frac{100}{K} \cdot \frac{100}{C_{\phi}} = [1,1 \cdot 1 - 0,4] \frac{100}{60} \cdot \frac{100}{95} \approx 0,74 \text{ мг/дм}^3. \quad (2.2)$$

Корисний об’єм бака для розчинення:

$$W = \frac{Q_{\text{доб}} D_{\phi}}{n 1000 K_p}, \text{ м}^3, \quad (2.3)$$

де $Q_{\text{доб}}$ – продуктивність установки, м³/добу;

D_{ϕ} – доза реагенту (чистого), г/м³;

n – кількість разів приготування розчину на добу;

K_p – концентрація розчину в баці, рівна для Na_2SiF_6 – 2,5-3,5 г/дм³ і для $(NH_4)_2SiF_6$ – 50 г/дм³.

$$W = \frac{30000 \cdot 0,74}{6 \cdot 1000 \cdot 2,8} = 1,32 \text{ м}^3.$$

Продуктивність насоса-дозатора:

$$q_n = \frac{Q_{доб} D_{\phi}}{1000 K_p} = \frac{30000 \cdot 0,74}{1000 \cdot 2,8} = 7,93 \text{ м}^3/\text{добу або } 0,33 \text{ м}^3/\text{год}. \quad (2.4)$$

Приймаємо 2 насоси-дозатори марки НД 400/6: один – робочий, а другий – резервний; номінальна продуктивність 400 л/с, потужність електродвигуна – 1 кВт.

Площа складу:

$$S = \frac{1,2mf}{2}, \text{ м}^2, \quad (2.5)$$

де m – кількість бочок реагенту розрахованих на 1,5-місячний запас;

f – площа, яку займає одна бочка, дорівнює 0,25 м²;

1,2 – коефіцієнт, який враховує місце для проходів.

При необхідності в реагенті на 1,5 місяця (45 днів):

$$G = \frac{Q_{доб} D_{\phi} T}{1000 \cdot 1000} = \frac{30000 \cdot 0,74 \cdot 45}{1000 \cdot 1000} = 999 \text{ кг}, \quad (2.6)$$

тоді кількість бочок буде складати $m = 999 \div 50 = 20$ шт.

$$S = \frac{1,2 \cdot 20 \cdot 0,25}{2} = 3 \text{ м}^2.$$

2.3 Фтораторна установка з сатуратором

В усіх установках з сатуратором в якості реагенту застосовують кремній фтористий натрій Na_2SiF_6 . Для того, щоб отримати в сатураторі насичений розчин реагенту з постійною концентрацією, треба підтримувати постійну температуру води, що поступає на установку. Тому воду пропускають через теплообмінник з температурою 20°C.

Схема фтораторної установки з сатуратором (рис. 2.2): для зручності обслуговування такої установки проектується одне приміщення, в якому в окремих кімнатах розташовується фтораторна установка, склад реагенту (2) та кімната чергового оператора (3). Сатуратор (4) складається з конічної нижньої та верхньої циліндричних частин; над верхньою частиною встановлюється живильник (5). По вертикальній осі всередині сатуратора проходить центральна труба, яка закінчується розширеною донизу лійкою. Центральна труба служить для засипки реагенту та відділення повітря. Вода подається трубопроводом (6) в нижню частину сатуратора та до невеликої зовнішньої лійки у верхній частині сатуратора, в яку надходить розчин реагенту. Насичений розчин Na_2SiF_6 , що утворився в сатураторі, відводиться по фторопроводах (7), на яких встановлюються ротаметри (9). Для відведення шламу в каналізацію використовується трубопровід (8). Для регулювання підводу води до сатуратора встановлюється бачок постійного рівня (10) місткістю 15 л.

Приклад 3: виконати розрахунок фтораторної установки з сатуратором при наступних вихідних даних: продуктивність очисних споруд $Q_{год} = 1250 \text{ м}^3 / \text{год}$, вміст фтору у вихідній воді становить $F^- = 0,4 \text{ мг} / \text{дм}^3$. Концентрація насиченого розчину в сатураторі $K_n = 5 \text{ г} / \text{дм}^3$.

Витрати насиченого розчину реагенту Na_2SiF_6 .

$$Q_n = \frac{Q_{год}}{K_n} [na - (F^-)] \frac{100}{K} = \frac{1250}{5} [1,1 \cdot 1 - 0,4] \cdot \frac{100}{60} = 1,167 \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (2.7)$$

де $Q_{год}$ – витрати води, $\text{м}^3 / \text{год}$;

K_n – концентрація насиченого розчину в сатураторі, $\text{г} / \text{дм}^3$.

Всі інші позначення див. у прикладі 2.

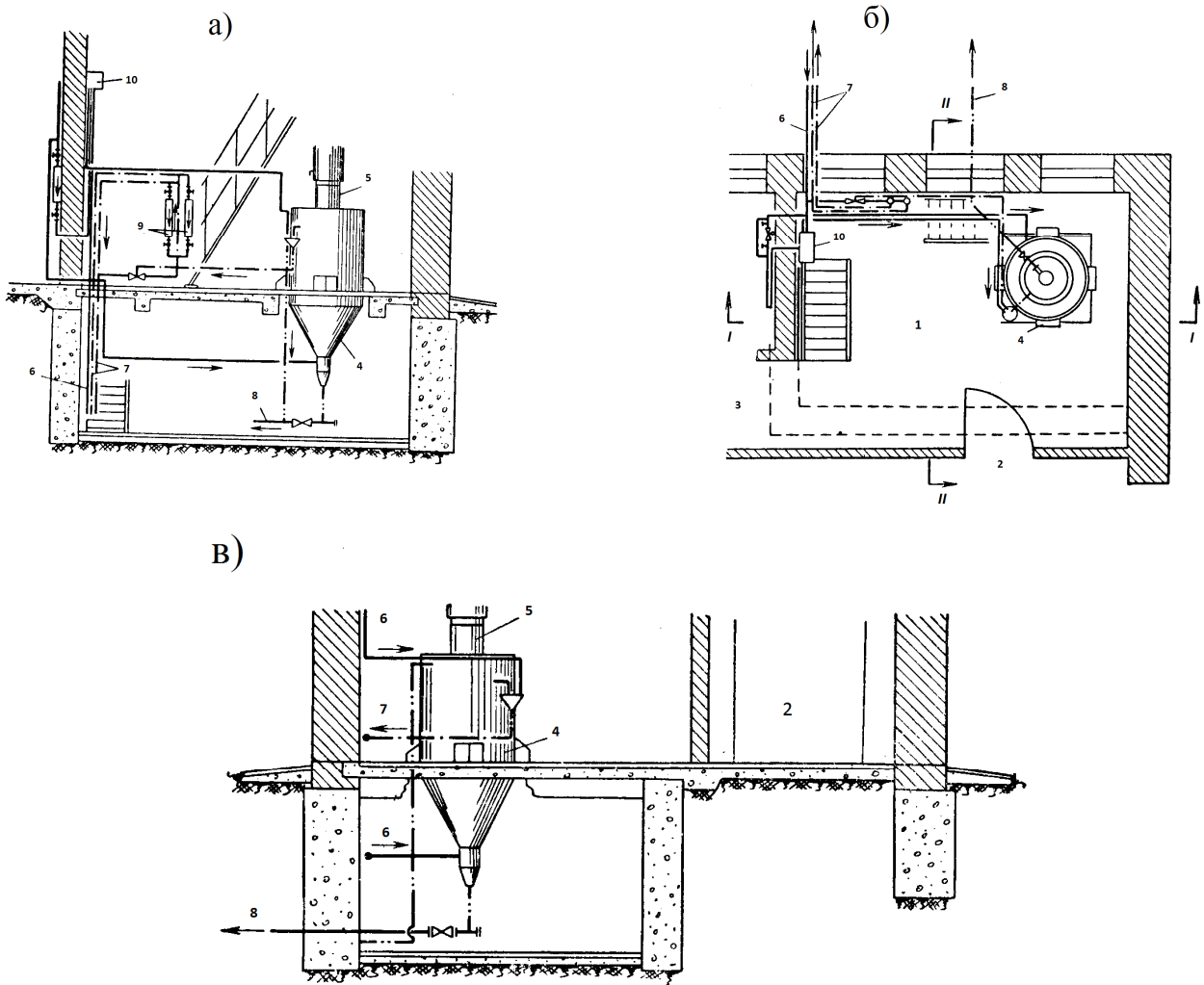


Рис. 2.2 – Фтораторна установка з сатуратором:

а) – розріз по I-I; б) – план; в) – розріз по II-II

*1 – фтораторна; 2 – склад реагенту; 3 – кімната для чергового; 4 – сатуратор;
5 – живильник; 6 – водопровід; 7 – фторопровід; 8 – каналізація; 9 – ротаметри;
10 – бачок постійного рівня*

Площа розрізу циліндричної частини сатуратора:

$$F_u = \frac{Q_u}{3600v} = \frac{1167}{3600 \cdot 0,075} = 4,32 \text{ м}^2, \quad (2.8)$$

де v – швидкість руху води в циліндричній частині, приймається 0,05-0,1 мм/с.

Діаметр сатуратора

$$D_c = \sqrt{\frac{4F_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,32}{3,14}} = 2,35 \text{ м}. \quad (2.9)$$

Висота циліндричної частини сатуратора:

$$H_u = 3,6tv = 3,6 \cdot 6 \cdot 0,075 = 1,62 \text{ м}, \quad (2.10)$$

де t – термін перебування води в сатураторі (рекомендується $t \geq 5$ год).

Об'єм циліндричної частини сатуратора:

$$W_u = H_u F_u = 1,62 \cdot 4,32 \approx 7 \text{ м}^3. \quad (2.11)$$

Висота нижньої конічної частини сатуратора

$$H_k = \frac{1}{2}(D_c - d) \operatorname{ctg} \frac{60^\circ}{2} = \frac{1}{2}(2,35 - 0,4) \operatorname{ctg} 30^\circ = 1,25 \text{ м}, \quad (2.12)$$

де d – діаметр нижньої частини сатуратора, приймається залежно від діаметра сатуратора D_c :

при D_c до 1,5 м – $d = 350$ мм;

при D_c до 2,5 м – $d = 400$ мм; п

при D_c більше 1,5 м – $d = 450$ мм.

Об'єм нижньої конічної частини сатуратора:

$$W_k = \frac{1}{3} \pi H_k \left[\left(\frac{D_c}{2} \right)^2 + \left(\frac{d}{2} \right)^2 + \frac{D_c d}{4} \right] = \frac{1}{3} \cdot 3,14 \cdot 1,25 \left[\left(\frac{2,35}{2} \right)^2 + \left(\frac{0,4}{2} \right)^2 + \frac{2,35 \cdot 0,4}{4} \right] \approx 5 \text{ м}^3. \quad (2.13)$$

Загальний об'єм сатуратора:

$$W_c = W_u + W_k = 7 + 5 = 12 \text{ м}^3.$$

Загальна висота сатуратора:

$$H_c = 1,62 + 1,25 = 2,87 \text{ м}.$$

3. ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ФТОРУ

Знефторювання води є спеціальним методом обробки питної води і входить у загальний комплекс очисних споруд комунального водопроводу. Зазвичай знефторюють підземні води із вмістом фтору до 5 мг/дм^3 . Численними дослідженнями фахівців з гігієни встановлено, що великі концентрації фтору несприятливо впливають на організм людини. При вмісті в питній воді фтору більше допустимої за нормами концентрації виникають флюороз зубів «плямиста емаль» і флюороз скелета людини, а у дітей – недокрів'я і рахіт. Є дані про не-

сприятливий вплив на функціональний стан серцево–судинної системи і загальний фізичний стан.

Знефторювання є одним зі складних і дорогих методів водопідготовки. Насьогодні застосовуються такі методи знефторювання:

- 1) фільтрація через шар активованого оксиду алюмінію;
- 2) сорбція свіжо–виділеними осадами – гідроксидом алюмінію та гідроксидом магнію.

У цьому прикладі зроблений розрахунок станції обезфторювання за першим методом (рис. 3.1). Склад споруд:

- напірні фільтри;
- насосна станція II–го підйому (з урахуванням витрат води на власні потреби);
- знезаражувальна установка;
- резервуари: а) обезфтореної води; б) відмивочної води; в) води на розпушування сорбенту;
- розчинні баки;
- баки для зберігання приготовленого розчину;
- ежектори для розведення приготовленого розчину до регенераційної концентрації та подання цього розчину на фільтри;
- витратні баки розчину;
- повітродувки для перемішування розчину в баках.

3.1 Технологічна схема знефторювання води фільтруванням через сорбент

Очищення цим методом можливе при вмісті у воді зважених речовин не більше 8 мг/дм^3 і при загальному солевмісті не вище 1000 мг/дм^3 . Вихідна вода зі свердловин насосами I–го підйому подається на фільтри, завантажені сорбентом, потім обезфторена вода змішується з вихідною до концентрації фтору, що дорівнює $1,0 \text{ мг/дм}^3$ і надходить у резервуар знефтореної води, звідки насосами II–го підйому подається споживачеві.

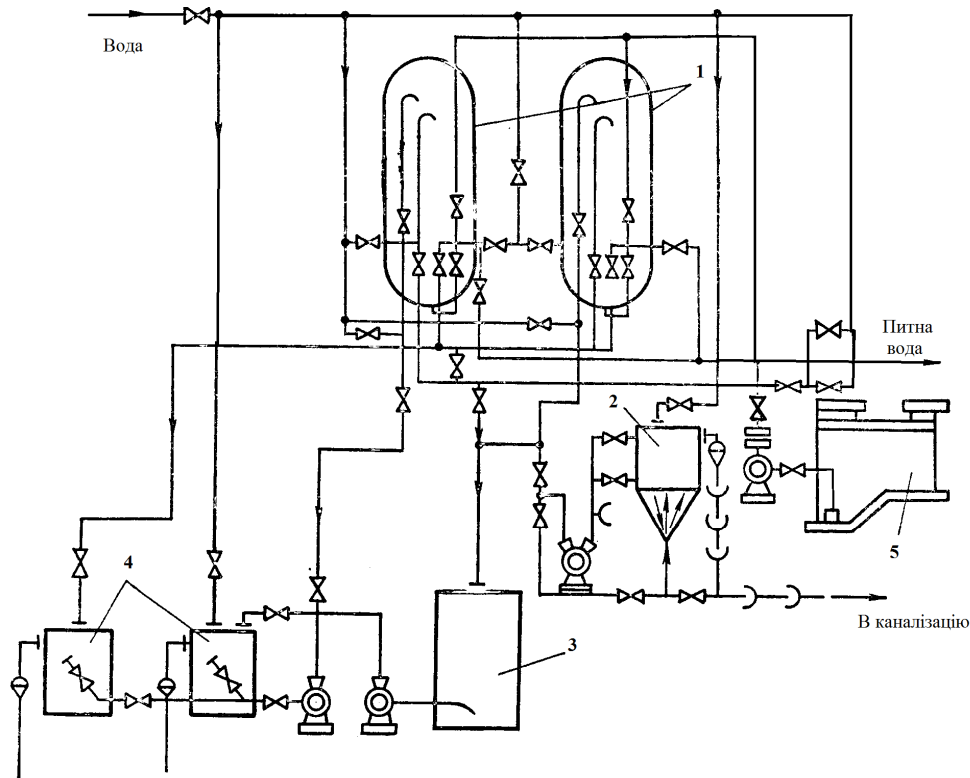


Рис. 3.1 – Принципова схема установки знефторювання:

- 1 – напірні фільтри; 2 – бак для приготування розчину 8–10%-го сульфату алюмінію;
 3 – бак для зберігання проясненого концентрованого розчину сульфату алюмінію;
 4 – бак для приготування 1–1,5%-го розчину сульфату алюмінію для регенерації;
 5 – резервуар для повторного використання води при розпушуванні завантаженого фільтруючого шару*

Сорбентом може служити активований оксид алюмінію з крупністю зерен 1–3 мм, ємкість поглинання якого становить 900–1000 г фтору на 1 м³ сорбенту та об'ємною масою 0,5 т/м³. При фільтруванні води через сорбент у результаті поглинання ним фтору вміст останнього у воді спочатку знижується до 0,1 – 0,3 мг/дм³, по мірі виснаження поглинальної здатності сорбенту концентрація фтору у воді поступово збільшується. При досягненні її 1,0–1,5 мг/дм³ робочий цикл знефторювання припиняють і фільтр включають на регенерацію.

Регенерація кожного фільтру проводиться послідовно, один раз на добу.

Концентрація фтору в фільтрованій воді коливається від 1 мг/дм³ до його слідів. Середній вміст фтору в обезфтореній воді, що виходить з фільтрів, становить 0,35 мг/дм³. Регенерацію сорбенту проводять 1–1,5%-ним розчином сульфату алюмінію ($Al_2(SO_4)_3$). Для його зберігання передбачені баки, де реагент зберігається у вигляді 8–10% або 17%-го розчину. 1,0–1,5%-ний розчин

$Al_2(SO_4)_3$ на регенерацію подається насосами-дозаторами або ежектором. Перед пропуском розчину сульфату алюмінію проводиться розпушування сорбенту. Після пропуску 1,0–1,5%-го розчину необхідне відмивання сорбенту вихідною водою. Перша порція відмивної води скидається в каналізацію. Інша частина спрямовується у спеціальний резервуар повторного використання для розпушування сорбенту.

Після регенерації фільтр включається в роботу.

3.2 Визначення кількості води, що підлягає знефторюванню

Знайдемо кількість вихідної води, що додається до обезфтореної води за наступною формулою

$$n = \frac{C_{\text{крит}} - C_{\text{обесфм}}}{C_{\text{исх}} - C_{\text{обесфм}}} \cdot 100\% , \% \quad (3.1)$$

де $C_{\text{обесфм}}$ – середній вміст фтору в обезфтореній воді, що виходить з фільтрів, що дорівнює 0,35 мг/дм³;

$C_{\text{исх}}$ – вміст фтору у вихідній воді, що дорівнює 8 мг/дм³;

$C_{\text{крит}}$ – критична концентрація фтору в поглинальному сорбенті, рівна 1,0 мг/дм³.

$$n = \frac{1,0 - 0,35}{8 - 0,35} \cdot 100 = 8,5\% .$$

У метрах кубічних за добу це складе:

$$\frac{Q_{\text{пол}}}{100\%} \cdot 8,5\% = \frac{10000}{100\%} \cdot 8,5\% = 850 \text{ м}^3 / \text{добу} ,$$

де $Q_{\text{пол}}$ – корисна (розрахункова) продуктивність станції, рівна 10 000 м³/добу.

Тоді, кількість води, що підлягає знефторюванню, складе 91,5% від розрахункової продуктивності установки, тобто 9150 м³/добу.

3.3 Розрахунок фільтрів

На станціях невеликої продуктивності застосовуються вертикальні напірні фільтри в тому випадку, коли продуктивність станції не перевищує 7 200 – 12 000 м³/добу (див. додаток 1). Діаметр вертикальних напірних фільтрів, що випускаються промисловістю – 1–3,4 м, максимальна поверхня фільтрування не перевищує 9,1 м². Продуктивність кожного фільтра складає 50–90 м³/год.

Сумарна площа фільтрації для напірних фільтрів визначається за формулою:

$$F = \frac{Q_v}{v} = \frac{381,25}{6} = 63,5 \text{ м}^2, \quad (3.2)$$

де Q_v – розрахункова годинна продуктивність станції, згідно з розрахунком рів-

$$\text{на } Q_v = \frac{9150}{24} = 381,25 \text{ м}^3 / \text{год};$$

v – розрахункова швидкість фільтрації, що дорівнює 6 м/год для нормального режиму при вмісті фтору у воді до 10 мг/дм³, для форсованого при виключенні одного фільтра на регенерацію до 8 м/год.

Число напірних фільтрів знаходимо з виразу:

$$n = \frac{F}{f} = \frac{63,5}{9,1} = 7 \text{ шт.} \quad (3.3)$$

де f – площа одного стандартного фільтра Таганрозького заводу, рівна 9,1 м² (див. додаток 1).

До проектування приймаються 8 напірних фільтрів (7 робочих, 1 – резервний), Н–катіонітових площею 9,1 м², діаметром 3,4 м. Висота шару сорбенту 3 м. Над шаром завантаження передбачається додаткова висота (не менше 60% висоти шару завантаження, з урахуванням того, що сорбент при розпушуванні розширюється. Крім того, нижче сорбенту на дренажні ковпачки укладається шар кварцевого піску товщиною 150 мм з крупністю зерен 2–4 мм. Таким чином, загальна висота фільтра:

$$H_{\text{общ}} = 3 + 0,6 \cdot 3 + 0,15 = 4,95 \text{ м}.$$

Примітка: у напірних фільтрах типу Н–катіонітових товщину шару сорбенту приймають:

- при вмісті фтору у воді до 5 мг/дм³ – 2 м;
- при вмісті фтору у воді від 8 до 10 мг/дм³ – 3 м.

Швидкість фільтрації при форсованому режимі при відключенні одного фільтра на регенерацію визначається за формулою

$$v_{\phi} = \frac{n \cdot v}{n-1} = \frac{7 \cdot 6}{7-1} = 7 < 8 \text{ м/год}. \quad (3.4)$$

де n – число працюючих фільтрів, шт.

Таким чином, v_{ϕ} при форсованому режимі не перевищує 8 м/год. Втрати напору складають 0,7 м на 1 м висоти завантаження, тобто в цьому випадку

$$h = \frac{0,7 \cdot 4,95}{1} = 3,47 \text{ м}.$$

3.4 Регенерація фільтрів

Для відновлення обмінної здатності сорбент регенерується шляхом пропуску через нього 1,5%-го розчину $Al_2(SO_4)_3$.

Процес регенерації включає наступні етапи:

- 1) розпушування;
- 2) приготування робочого 1,5%-го розчину сульфату алюмінію та пропуск його через сорбент;
- 3) відмивання сорбенту.

Тривалість роботи фільтра між регенераціями:

$$T = \frac{f \cdot H \cdot E_{\text{раб}}}{Q_{\text{ч}}^{\phi} \left(C_{\text{исх}} - \frac{C_{\text{обесфм}}}{3} \right)} = \frac{9,1 \cdot 3 \cdot 900}{54,46 \cdot \left(8 - \frac{0,35}{3} \right)} = 57,25 \text{ год}, \quad (3.5)$$

де f – площа фільтра, рівна $9,1 \text{ м}^2$;

H – висота шару сорбенту, що дорівнює 3 м;

$E_{\text{раб}}$ – робоча ємкість поглинання сорбенту по фтору, приймаємо рівною $900\text{--}1000 \text{ г/м}^3$;

$Q_{\text{ч}}^{\phi}$ – годинна витрата води, що надходить на один робочий фільтр:

$$Q_{\text{ч}}^{\phi} = \frac{Q_x}{n} = \frac{381,25}{7} = 54,46 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

$C_{\text{исх}}$ – вміст фтору у вихідній воді, що дорівнює 8 мг/дм^3 ;

$C_{\text{обесфм}}$ – середня за фільтроцикл концентрація фтору в знефтореній воді, яка приймається $0,35 \text{ мг/дм}^3$.

3.5. Розпушування

Перед регенерацією проводиться розпушування сорбенту з інтенсивністю $W_{\text{взр}} = 4\text{--}5 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$. Тривалість розпушування $t_{\text{взр}} = 15\text{--}20 \text{ хв}$ ($0,25\text{--}0,33 \text{ год}$).

Витрата води на розпушування одного фільтра

$$q_{\text{взр}} = \frac{W_{\text{взр}} \cdot f \cdot t_{\text{взр}} \cdot 60}{1000} = \frac{5 \cdot 9,1 \cdot 15 \cdot 60}{1000} = 40,95 \text{ м}^3, \quad (3.6)$$

де $W_{\text{взр}}$ – інтенсивність розпушування, що дорівнює 5 л/с·м²;

f – площа поперечного перерізу фільтра, рівна 9,1 м²;

$t_{\text{взр}}$ – тривалість розпушування, рівна 15 хв.

Для зберігання води на розпушування приймаємо два резервуари, розміром 3х6х2,5 м кожний.

3.6 Приготування регенераційного 1,5%-го розчину $Al_2(SO_4)_3$

Подача 1,5%-го $Al_2(SO_4)_3$ проводиться насосами-дозаторами НД–1000/10к (див. додаток 2).

Витрата технічного сульфату алюмінію для регенерації їдкого фільтра розраховуємо за формулою

$$P = \frac{W_{\phi} (C_{\text{исх}} - C_{\text{ср.}\phi}) \cdot D_{\kappa}}{10 \cdot b_{\kappa}}, \text{ кг} \quad (3.7)$$

де W_{ϕ} – кількість води, профільтрованої за один фільтроцикл, м³;

$C_{\text{ср.}\phi}$ – середній за фільтроцикл уміст фтору у фільтраті, г/м³;

D_{κ} – доза сульфату алюмінію в г/год, поглиненого сорбентом фтору, приймається рівною 40–50 г на 1 г видаленого з води фтору:

для цього прикладу $D_{\kappa} = (8 - 1) \cdot 50 = 350 \text{ г/г}$;

b_{κ} – вміст $Al_2(SO_4)_3$, для очищеного глинозему приймаємо 40%.

Об'єм сорбенту в одному фільтрі:

$$W_1 = f \cdot H = 9,1 \cdot 3 = 27,3 \text{ м}^3, \quad (3.8)$$

де f – площа поперечного перерізу одного фільтра, м²;

H – висота шару сорбенту, м.

Сумарний обсяг сорбентів у фільтрах:

$$W_{\text{обц}} = W_1 \cdot n = 27,3 \cdot 7 = 191,1 \text{ м}^3, \quad (3.9)$$

де n – кількість робочих фільтрів, рівна 7.

Сумарна вага сорбенту у фільтрах:

$$G_{\text{обц}} = 0,5 W_{\text{обц}} = 0,5 \cdot 191,1 = 95,55 \text{ т}, \quad (3.10)$$

де 0,5 – насипна вага сорбенту.

Кількість профільтрованої води за один фільтроцикл:

$$W_{\phi} = \frac{Q_{\phi} \cdot T}{H} = \frac{54,46 \cdot 57,25}{3} = 1039 \text{ м}^3, \quad (3.11)$$

де Q_{ϕ} – годинна витрата води, що надходить на один робочий фільтр, м³/год,

T – тривалість роботи фільтру між регенераціями, год;

H – висота шару сорбенту, м.

Тоді за формулою (3.5)

$$P = \frac{1039 \cdot (8 - 0,35) \cdot 350}{10 \cdot 40} = 6955 \text{ кг}.$$

Годинна витрата розчину:

$$Q_{\text{часте}} = f \cdot v_p = 7,1 \cdot 2 = 14,2 \text{ м}^3 / \text{год}, \quad (3.12)$$

де v_p – швидкість фільтрації розчину при регенерації сорбенту, приймається рівною 2–2,5 м/год.

Об'єм 1,5%-го розчину $Al_2(SO_4)_3$ на одну регенерацію фільтра, визначається за формулою:

$$W_p = \frac{E_{\text{раб}} f H D_k n}{10^6 b \gamma} = \frac{900 \cdot 9,1 \cdot 3 \cdot 350 \cdot 1}{10^6 \cdot 1,5 \cdot 1,01} = 5,68 \text{ м}^3, \quad (3.13)$$

де D_k – доза сульфату алюмінію в мг/год, поглиненого сорбентом фтору, приймається рівною 40–50 г на 1 г видаленого з води фтору:

для цього прикладу $D_k = (8 - 1) \cdot 50 = 350 \text{ г} / \text{г}$;

n – число регенерацій, на яке розрахована ємність бака ($n = 1$ при кількості фільтрів $N < 8$ і $n = 2$ при $N > 8$);

b – концентрація розчину сульфату алюмінію, що дорівнює 8–10% для розчинного баку і 1–1,5% для витратного баку ;

γ – щільність розчину, що дорівнює 1,09 т/м³ для 8–10%-ного розчину і 1,01 т/м³ на 1–1,5%-ного розчину.

Інтенсивність подачі повітря для перемішування розчину в баках приймається 8–10 л/с·м² поперечного перерізу баку. Для розподілу повітря проектується дірчасті труби з кислотостійких матеріалів. Швидкість руху повітря в трубах складає 10–15 м/с, а при виході з отворів діаметром 3–4 мм – 20–30 м/с.

3.7 Відмивання сорбенту

Відмивання сорбенту після регенерації проводиться вихідною фторовмісною водою шляхом подачі води на фільтр знизу вгору з інтенсивністю $w_{омм} = 4-5 \text{ л/с}\cdot\text{м}^2$. Витрата води для відмивання приймається $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Витрата відмивної води для одного фільтра:

$$q_{омм} = 10 fH = 10 \cdot 9,1 \cdot 3 = 273 \text{ м}^3. \quad (3.14)$$

Час відмивання:

$$t_{омм} = \frac{1000 q_{омм}}{f w_{омм}} = \frac{1000 \cdot 273}{9,1 \cdot 5} = 6000 \text{ с} = 1,7 \text{ год}. \quad (3.15)$$

Промивна вода відводиться на споруди повторного використання промивної та відмивної води.

Знефторювання починається після закінчення відмивання фільтру і закінчується при концентрації фтору у фільтрованій воді $1,0-1,2 \text{ мг/дм}^3$.

3.8 Резервуари чистої води

Ємкість резервуарів визначається з умови зберігання таких витрат:

1) витрати води на нерівномірність водоспоживання протягом доби (п. 9.2, СНіП 2.04.02-84);

2) пожежного об'єму води, у тому числі:

– витрати води на гасіння пожежі протягом 3-х годин;

– витрата води на господарсько-питні потреби під час гасіння пожежі протягом 3-х годин максимального водоспоживання;

3) додаткового об'єму води на пожежогасіння (СНіП 2.04.02-84 п. 9.6);

4) об'єму води на час ліквідації аварії на водоводі від майданчика споруд II-го підйому до майданчика насосної станції III-го підйому.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. СНіП 2.04.02–84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. – М. : ГУП ЦПП, 2000. – 128 с.
2. Кожин В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. – М. : Изд-во лит-ры по стр-ву, 1971. – 303 с.

Технічна характеристика напірних фільтрів

Показник	Шифр					
	ХВ-044-1	ХВ-044-2	О-2	О-26	О-3	О-3,4
Площа фільтрування, куб. м	0,80	1,78	3,14	5,30	7,10	9,10
Діаметр фільтру, м	1,00	1,50	2,00	2,60	3,00	3,40
Об'єм завантаження, куб. м	0,97	2,31	4,34	7,86	11,00	14,70
Маса, т						
кварцу	1,53	3,70	6,95	10,28	15,27	23,32
антрациту	0,76	1,85	3,50	5,14	7,62	11,66
Кількість щілинних ковпачків						
робочих	32,00	80,00	--	--	--	--
запасних	7,00	16,00	--	--	--	--
Виготовлювач	Бійський котельний завод (БКЗ)		Таганрогський завод (ТКЗ)			

Технічна характеристика насосів–дозаторів

Марка насосів	Подача, куб. м/год	Напір, м	Потужність електро-двигуна, кВт	Частота обертання, об/хв	КПД, %	Завод-виготовлювач
НД 100/10	0,1	100	0,27	1500		Риґахіммаш
НД-120/6	0,12	60	0,6	1500		Риґахіммаш
НД-400/6	0,4	60	1	1500		Риґахіммаш
НД-800/6і	0,8	60	1	1500		Риґахіммаш
НД 630/10	0,63	100	1,1	1500		Риґахіммаш
НД 1000/10	1	100	2,2	1500		Риґахіммаш
НД 1600/10	0,45 - 4,3	60	4	1450		Риґахіммаш
НД 2500/10	1,6	100	3	1500		Риґахіммаш

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки
до виконання курсової роботи
з дисципліни

«Спецкурс з очистки природних вод»

(для магістрів спеціальностей 8.092601 (8.06010108)
«Водопостачання та водовідведення» та 8.06010302
«Раціональне використання і охорона водних ресурсів»)

Укладач **КРАМАРЕНКО** Леся Василівна

Відповідальний за випуск *С. В. Тимощук*

Комп'ютерне верстання *Л. В. Крамаренко*

План 2010, поз. 106 М

Підп. до друку 21.12.10

Друк на ризографі.

Зам. №

Формат 60x84 /16

Ум. друк. арк. 1,5

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4064 від 12.05.2011 р.