

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

до організації самостійної роботи і проведення практичних занять  
із навчальної дисципліни

**«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ  
ОЧИЩЕННЯ ВОДИ»**

*(для студентів 3 курсу всіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти  
за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія  
та водні технології)*



**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2021**

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи і проведення практичних занять із навчальної дисципліни «Теоретичні основи технології очищення води» (для студентів 3 курсу всіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 194 – Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. К. Б. Сорокіна. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 63 с.

Укладач канд. техн. наук, доц. К. Б. Сорокіна

Рецензент

**В. О. Ткачов**, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та очищення вод (ХНУМГ ім. О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очищення вод, протокол № 1 від 01.09.2021.*

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Рекомендації до проведення практичних занять.....	5
ЗМ 1 Процеси та обладнання механічного очищення води.....	5
Тема 1 Аналіз фізико-хімічних показників якості природних та стічних вод за результатами хіміко-аналітичного контролю.....	5
Тема 2 Розрахункові параметри процесів видалення завислих речовин механічними методами.....	8
Тема 3 Розрахункові параметри процесу прояснення води фільтруванням.....	13
ЗМ 2 Застосування процесів видалення з води тонкодисперсних завислих речовин і колоїдів.....	16
Тема 4 Особливості агрегації тонкодисперсних домішок.....	16
ЗМ 3 Основи процесів коригування іонного складу води.....	28
Тема 5 Розрахункові параметри апаратів коригування іонного складу води.....	28
Тема 6 Розрахункові параметри апаратів та споруд для деструктивного очищення води.....	35
2 Рекомендації до організації самостійної роботи.....	44
Список рекомендованих джерел.....	55
Додатки.....	56

## ВСТУП

Склад природних вод постійно змінюється внаслідок процесів оксидування і відновлення, які протікають в них, седиментації диспергованих та колоїдних домішок, солей, як наслідок зміни тиску і температури; іонообміну між водою й донними відкладеннями; збагачення вод мікроелементами внаслідок біохімічних процесів; змішення вод різного живлення.

У поверхневих водотоках спостерігається самоочищення води за рахунок фізичних, хімічних і біологічних процесів, чому сприяє аерація, перемішування, декантація суспензій, розбавлення забруднень у великій масі води. Під дією простих водних організмів, мікробів-антагоністів, бактеріофагів і антибіотиків біологічного походження, під впливом біохімічних й окисних процесів гинуть патогенні бактерії та віруси.

Самоочищення води, як правило, не забезпечує необхідної її якості для виробничих і господарсько-питних потреб. Тому практично завжди поверхнева вода потребує кондиціювання її властивостей з доведенням їх до вимог споживача.

Господарська діяльність людини істотно впливає на стан вододжерел як в якісному, так і в кількісному відношенні. Одним з її чинників є змив з сільськогосподарських угідь хімічних добрив та скидання у водоймища недостатньо очищених стічних вод, вод теплових і атомних електростанцій. Внаслідок цього інтенсивно розвиваються планктон й макрофіти, які викликають заростання водоймищ, підвищення кольоровості води, виникнення присмаків і запахів, що погіршує санітарний стан вододжерел.

Таким чином, при виборі технології водопідготовки необхідно визначити якість води джерела, тобто склад і концентрацію домішок, що містяться в ній, а потім зіставити з вимогами, що пред'являються.

Важливу роль в охороні водойм від забруднення шкідливими домішками набувають різні способи очищення стічних вод, які дають можливість видаляти з води забруднювальні речовини і солі, утилізувати цінні компоненти як вторинну сировину та повертати їх у виробництво. Хімічне оброблення дає змогу також вирішити проблему використання очищених стічних вод для технічного водопостачання з організацією на цій основі замкнених циклів, що сприяє ефективному вирішенню проблеми раціонального використання водних ресурсів.

# 1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

## ЗМ 1 ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

### **Тема 1 Аналіз фізико-хімічних показників якості природних та стічних вод за результатами хіміко-аналітичного контролю**

Домішки, що містяться у воді, можуть бути класифіковані за різними критеріями: за *фізичним станом* (розчинені, колоїдні, нерозчинені), за *походженням* (органічні, мінеральні, мікроорганізми).

Якість природної води характеризується фізико-хімічними властивостями і бактерійними забрудненнями.

*Фізичні* властивості (*органолептичні*) – температура, каламутність (або прозорість), кольоровість, смак і присмак, запах.

*Хімічні* властивості обумовлюються вмістом у воді розчинених хімічних речовин. До цієї групи відносять сухий залишок, твердість, окислюваність, активна реакція, вміст заліза, марганцю, сполук кремнію, хлоридів, сульфатів, фтору, йоду та ін.

*Бактерійне і вірусне* забруднення води оцінюють за допомогою показників колі-індекс, колі-тітр, загальне мікробне число.

У відкритих водоймищах містяться також різноманітні дрібні рослинні й тваринні організми, що знаходяться у завислому стані (*планктон*) або прикріплені до дна водоймища (*бентос*). Рослинний планктон називається *фітопланктоном*, тваринний – *зоопланктоном*; бентос називають відповідно *фітобентосом* і *зообентосом*.

Вимоги до безпеки і якості питної води, призначеної для споживання людиною, а також правила виробничого контролю і державного санітарно епідеміологічного нагляду у сфері питного водопостачання населення встановлюються згідно ДержСанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічних вимог до води питної, призначеної для споживання людиною. Вимоги Санітарних норм не розповсюджуються на води мінеральні лікувальні, лікувально їдальні, природні їдальні. У світовій практиці використовують нормативи ВОЗ.

Питна вода, призначена для споживання людиною, повинна відповідати таким гігієнічним вимогам: бути безпечною в епідемічному і радіаційному відношенні, мати сприятливі органолептичні властивості і нешкідливий хімічний склад.

Перевірка придатності води для питних цілей і вибір відповідних методів обробки можуть бути здійснені при наявності повного аналізу води з визначенням таких показників: завислі речовини, сухий залишок, рН, кольоровість, окисність, вільна вуглекислота, лужність, твердість загальна, твердість карбонатна, вміст основних катіонів і аніонів. Залежно від виду джерела водопостачання потрібно мати кілька аналізів, що характеризують вихідну воду. При цьому необхідно переконатися в правильності аналізу води.

Основною перевіркою правильності аналізу є зіставлення сум концентрацій (у мг-екв/дм<sup>3</sup>) катіонів і аніонів. Вода електронейтральна, тому суми концентрацій катіонів  $\Sigma K$  і аніонів  $\Sigma A$  мають бути однакові:

$$\Sigma K = \Sigma A, \quad (1.1)$$

$$[Ca^{2+}] + [Mg^{2+}] + [Na^+] + [Fe^{2+}] = [HCO_3^-] + [SO_4^{2-}] + [Cl^-] + [SiO_3^{2-}].$$

Для перерахування концентрацій іонів, виражених у мг/дм<sup>3</sup>, у мг-екв/дм<sup>3</sup>, концентрацію треба розділити на еквівалентну масу даної речовини:

$$\frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16} + \frac{Na^+}{23} + \frac{Fe^{3+}}{27} = \frac{HCO_3^-}{61,02} + \frac{SO_4^{2-}}{48,03} + \frac{Cl^-}{35,48} + \frac{SiO_3^{2-}}{38}$$

Похибку аналізу обчислюють за формулою

$$\Delta = \frac{\Sigma K - \Sigma A}{\Sigma K + \Sigma A} \cdot 100\%. \quad (1.2)$$

Припустима похибка аналізу залежить від мінералізації води. За наявності у воді більше 15 мг-екв/дм<sup>3</sup> аніонів погрішність не повинна перевищувати 2 %, від 5 до 15 мг-екв/дм<sup>3</sup> – 2–5 %, від 3 до 5 мг-екв/дм<sup>3</sup> – 5–10 %, тобто із зменшенням мінералізації води припускається збільшення похибки.

Сумарна концентрація катіонів  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$  визначає загальну твердість води:

$$T_3 = \frac{Ca^{2+}}{20,04} + \frac{Mg^{2+}}{12,16}, \text{ ммоль/дм}^3. \quad (1.3)$$

*Карбонатна твердість*

$$T_K = \frac{HCO_3^-}{61,02}, \text{ ммоль/дм}^3. \quad (1.4)$$

*Некарбонатна твердість*

$$T_{HK} = T_3^{вих} - T_K, \text{ ммоль/дм}^3. \quad (1.5)$$

При випаровуванні води всі негазоподібні розчинені речовини переходять в сухий залишок. Виняток становить лише гідрокарбонат-іон, який розпадається за рівнянням  $2HCO_3^- \rightarrow CO_3^{2-} + CO_2 \uparrow + H_2O \uparrow$ .

При цьому у вигляді двоокису вуглецю і пари води втрачається 0,508 вагової кількості гідрокарбонат-іона. У практичних розрахунках цю цифру при округляють до 0,5.

Таким чином, *сухий (мінеральний) залишок* має чисельно дорівнювати сумі вагових кількостей всіх розчинених речовин у вигляді іонів і молекул (за винятком газів), причому кількість гідрокарбонат-іона в цьому випадку зменшують вдвічі.

Окрім неорганічних речовин, будь-яка природна (у тому числі й підземна) вода містить розчинені органічні речовини, які переходять в сухий залишок. Їх вміст хімічним аналізом не може бути визначений. Тому експериментально визначений сухий залишок завжди більше обчисленого. У прозорих водах, що не мають високої окисності, це перевищення ваги незначне. Остання обставина

дозволяє використовувати сухий залишок як визначення, яке контролює аналітичні дані, отримані при визначенні нелетких макрокомпонентів. Допустима розбіжність між величинами експериментального і обчисленого сухого залишку, включаючи кремнекислоту, при окисності води менше 5 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> в правильно виконаному аналізі не повинно перевищувати:

<i>Обчислений сухий залишок, мг/дм<sup>3</sup></i>	<i>Допустиме перевищення експериментального сухого залишку щодо обчисленого</i>
До 100	30 мг/дм <sup>3</sup>
100–500	50 мг/дм <sup>3</sup>
500–5 000	10 %
5 000–10 000	5–10 %
Більше 10 000	5 %

Гігієнічну оцінку безпеки і якості питної води проводять за показниками епідемічної безпеки (мікробіологічні, паразитарні), санітарно хімічними (органолептичні, фізико-хімічні, санітарно токсикологічні) і радіаційними показникам згідно з [1].

За наявності у воді хімічних речовин з однаковою лімітуючою ознакою шкідливості для урахування сумісної дії сполук сума відношення виявлених концентрацій у воді та їх граничнодопустимих концентрацій (ГДК) не має бути більше 1, тобто

$$\frac{C_1}{ГДК_1} + \frac{C_2}{ГДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ГДК_n} \leq 1, \quad (1.6)$$

де С – виявлені концентрації речовин, мг/дм<sup>3</sup>.

Результати аналізу іонного складу води зручно зобразити графічно як діаграму (рис. 1.1),

Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	

Рисунок 1.1 – Іонний склад води

Діаграму передбачуваного складу солей у воді за даними аналізу будують у вигляді трьох рівної довжини рівнобіжних смуг, що примикають одна до одної (рис. 1.2). На одній смугі ліворуч праворуч – відповідно концентрації у визначеному масштабі розташовують катіони, що містяться у воді, у порядку зростання основних властивостей, на другій смугі у тому ж масштабі ліворуч праворуч – аніони в порядку зростання основних властивостей. На третій смугі зі сполучень катіонів і аніонів визначають передбачуваний склад солей. Масштаб для середньої смуги вдвічі менше, ніж для верхньої і нижньої.

$Fe^{2+}=a$	$Ca^{2+}=b$		$Mg^{2+}=c$	$Na^{+}+K^{+}=d$	
$HCO_3^{-}=e$			$SO_4^{2-}=f$		$Cl^{-}=g$
$Fe(HCO_3)_2=a$	$Ca(HCO_3)_2=b$		$Mg(HCO_3)_2=e-a-b$	$MgSO_4=a+b+c-e$	$Na_2SO_4+K_2SO_4=e+f-a-b-c$
					$NaCl+KCl=a+b+c+d-e-f$

Рисунок 1.2 – Діаграма передбачуваного складу солей у воді за даними аналізу

### Завдання до теми 1

1. Визначте загальну, карбонатну і некарбонатну твердість води при таких вихідних даних: вміст у воді  $Ca^{2+}$  – 218,6 мг/дм<sup>3</sup>,  $Mg^{2+}$  – 51,3 мг/дм<sup>3</sup>,  $HCO_3^{-}$  – 532,8 мг/дм<sup>3</sup> (еквівалентна маса  $Ca^{2+}$  – 20,04,  $Mg^{2+}$  – 12,16,  $HCO_3^{-}$  – 61,02).

2. Чому дорівнюють існуючі форми твердості для води, результати аналізу якої представлені графічно ( $M = 1:2$  мг-екв/дм<sup>3</sup>):

$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^{+}+K^{+}$
$HCO_3^{-}$	$SO_4^{2-}$	$Cl^{-}$

3. Перевірте правильність виконання аналізу води при наступних вихідних даних:  $[Ca^{2+}] = 74,6$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Mg^{2+}] = 48,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Na^{+}] = 35,8$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[K^{+}] = 18,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[HCO_3^{-}] = 184,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[SO_4^{2-}] = 154,9$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Cl^{-}] = 104,8$  мг/дм<sup>3</sup>.

4. Представте графічно передбачуваний склад солей в досліджуваній воді, якщо відомі результати аналізу води:  $[Ca^{2+}] = 74,6$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Mg^{2+}] = 48,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Na^{+}] = 35,8$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[K^{+}] = 18,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[HCO_3^{-}] = 184,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[SO_4^{2-}] = 154,9$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Cl^{-}] = 104,8$  мг/дм<sup>3</sup>.

5. Визначте величину сухого залишку води, якщо  $[Ca^{2+}] = 74,6$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Mg^{2+}] = 48,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Na^{+}] = 35,8$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[K^{+}] = 18,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[HCO_3^{-}] = 184,2$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[SO_4^{2-}] = 154,9$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Cl^{-}] = 104,8$  мг/дм<sup>3</sup>.

6. Визначте, чи придатна вода для питних цілей, якщо в ній виявлені речовини, вміст яких нормують за санітарно-токсикологічним показником шкідливості:  $[Pb] = 0,003$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Sr] = 1,1$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[Mo] = 0,05$  мг/дм<sup>3</sup>.

## Тема 2 Розрахункові параметри процесів видалення завислих речовин механічними методами

### 1. Аналіз седиментаційних кривих.

Процес осадження, що відбувається у виробничих відстійниках, моделюють в лабораторних циліндрах з невеликою висотою стовпа води



(пробне відстоювання). Теоретичні передумови моделювання дає формула, яку виразимо у вигляді

$$P = U_0 \cdot \frac{t}{h} \cdot 100 \%, \quad (2.1)$$

де  $P$  – ефект осадження, %;

$U_0$  – гідравлічна велика суспензії, мм/с;

$t$  – тривалість відстоювання, с;

$h$  – глибина відстійника, мм.

Фізичний сенс формули полягає в тому, що при однаковій гідравлічній крупності суспензії ( $U_0 = \text{const}$ ) однаковий ефект осадження може бути отриманий при різних  $t$  і  $h$ , але при однакових співвідношеннях  $t/h$ .

Звідси отримано умову седиментаційної подібності

$$\frac{t_1}{h_1} = \frac{t_2}{h_2} = \dots = \frac{t_i}{h_i} = \dots = \frac{t_n}{h_n} = \text{const} \quad (2.2)$$

Наприклад, при відстоюванні однієї і тієї ж проби води у відстійнику завглибшки  $h_1 = 300$  см через  $t_1 = 100$  хв. отримуємо такий же ефект осадження (прояснення), як і у відстійнику завглибшки  $h_2 = 30$  см через  $t_2 = 10$  хв.

Якщо як  $h_1$  приймемо глибину робочого відстійника ( $h_P$ ), а  $h_2 = h_L$  (висота лабораторного циліндра), то отримаємо

$$\frac{t_P}{h_P} = \frac{t_L}{h_L},$$

звідки

$$t_P = t_L \cdot \frac{h_P}{h_L} \quad (2.3)$$

де  $t_P, t_L$  – тривалість відстоювання проби в робочому відстійнику і лабораторному циліндрі відповідно.

Таким чином, маючи пробу реальної води, можна в лабораторних умовах визначити тривалість перебування води в робочих відстійниках.

Методика технологічного моделювання процесу осадження полягає в наступному.

Спочатку будують криву осадження для реальної води на лабораторному циліндрі з висотою стовпа води  $h_L$  (рис. 2.1). Обчислюють необхідний ефект осадження

$$P_{\text{тр}} = \frac{M_{\text{вих}} - M_{\text{осе}}}{M_{\text{вих}}} \cdot 100, \%, \quad (2.4)$$

де  $M_{\text{вих}}$  – каламутність вихідної води г/м<sup>3</sup>;

$M_{\text{осе}}$  – каламутність проясненої води, г/м<sup>3</sup>.

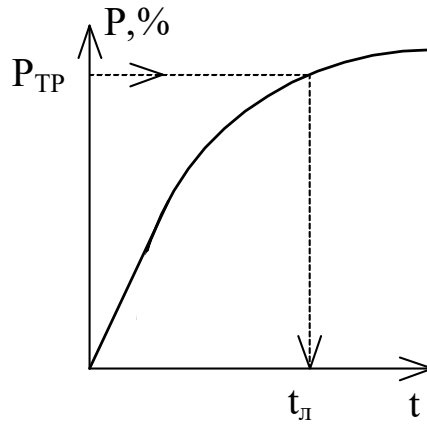


Рисунок 2.1 – До методики пробного відстоювання

Останній показник задається технологами залежно від вимог до якості очищеної води. По кривій осадження (рис. 2.1) визначають необхідну тривалість відстоювання в лабораторному циліндрі, достатню для отримання ефекту прояснення  $P_{тр}$ . Потім обчислюють  $t_p$  за формулою (2.3). Можна визначити необхідну довжину проектованого робочого відстійника  $L_{тр} = t_p \cdot V$ , де  $V$  – швидкість руху води в проточному відстійнику.

## 2. Розрахунок технологічних параметрів споруд і апаратів механічного очищення води

### Розрахунок тонкошарових відстійників і прояснювачів

Розрахунок технологічних і конструктивних параметрів споруд, а також окремих тонкошарових елементів слід проводити за залежністю

$$l_0 = \varphi \cdot K_{\phi} \cdot H_0 \cdot \left[ \frac{v_o}{u_0 \cdot \cos \alpha \cdot K_{ar} \cdot \beta} - K_{ст} \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha) \right]. \quad (2.5)$$

Для зручності розрахунку формула (2.5) приведена до вигляду

$$V_H = \frac{u_0 \cdot \beta \cdot K_{ar}}{K_1} \cdot \left( \frac{l_0}{K_2 \cdot H_0} + 1 \right) \quad (2.6)$$

або

$$l_0 = K_2 \cdot H_0 \cdot \left( \frac{V_H \cdot K_1}{u_0 \cdot \beta \cdot K_{ar}} - 1 \right), \quad (2.7)$$

де

$$K_1 = \frac{1}{K_{ст} \cdot K_{о.и.} \cdot K_K}, \quad (2.8)$$

$$K_2 = \frac{\varphi \cdot K_{\phi} \cdot K_{ст}}{\sin \alpha \cdot \cos \alpha}, \quad (2.9)$$

де  $\phi$  – коефіцієнт, що враховує вплив гідродинамічних умов потоку в тонкошарових елементах; визначають за даними таблиці 2.1, в якій  $b_0$  – ширина тонкошарового елемента,  $H_0$  – висота тонкошарового елемента.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт, що враховує вплив гідродинамічних умов потоку в тонкошарових елементах

Характеристика тонкошарового елемента	Значення $b_0 / H_0$			
	1,0–2,5	2,5–5,0	5,0–10	> 10
Значення $\phi$	1,25	1,15	1,05	1,0

$K_\phi$  – коефіцієнт, що враховує форму поперечного перетину тонкошарових елементів; залежить від фактичної форми і конфігурації тонкошарових елементів (осередків) в поперечному перетині: для перетину прямокутної форми – 1,0; круглої – 0,785; трикутної – 0,5; шестикутної – 0,65–0,75; при використанні труб і міжтрубного простору – 0,5;

$H_0$  – висота тонкошарового елемента, м;

$v_0$  – середня швидкість потоку в тонкошарових елементах, м/год;

$u_0$  – розрахункова швидкість осадження суспензії, м/год; повинна прийматися відповідно до досвіду експлуатації споруд, що працюють в аналогічних умовах. За відсутності такого досвіду слід проводити технологічне моделювання процесів утворення пластівців і тонкошарового осадження з метою визначення необхідного значення  $u_0$ . При неможливості вказаного значення  $u_0$  визначають за даними [2];

$\alpha$  – кут нахилу тонкошарових елементів до горизонту, град;

$\beta$  – коефіцієнт, що враховує обмежене осадження суспензії під тонкошаровими елементами;

$K_{ar}$  – коефіцієнт агломерації, що враховує вплив осаду, що виділяється з тонкошарових елементів, на інтенсифікацію утворення пластівців; значення твору  $\beta \cdot K_{ar}$  слід приймати рівним 1,15–1,3 (більші значення – для тонкошарового прояснювача, менші – для тонкошарового вертикального відстійника);

$K_{ст}$  – коефіцієнт, що враховує утруднення перетину потоку в тонкошаровому елементі сповзаючим осадом; рекомендується приймати в середньому 0,7–0,8 (великі значення – для каламутніших вод, менші – для малокаламутних кольорових вод);

$V_H$  – питома навантаження або продуктивність споруди з розрахунку на площу дзеркала води,  $m^3/(m^2 \cdot год)$  або м/год;

$K_1, K_2$  – узагальнені розрахункові коефіцієнти;

$l_0$  – довжина тонкошарового елемента, м;

$K_{O.и.}$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічну досконалість тонкошарової споруди і ступінь його об’ємного використання – відношення фактичного до розрахункового часу перебування води; величину  $K_{O.и.}$  для попередніх розрахунків рекомендується приймати рівній 0,6–0,75;

$K_K$  – конструктивний коефіцієнт, рівний відношенню фактичної відкритої для руху води площі тонкошарових елементів до загальної площі дзеркала води відстійної споруди; слід визначати за фактичними даними з урахуванням товщини матеріалу для тонкошарових елементів; заздалегідь рекомендується приймати його рівним 0,70–0,95 (великі значення – для тонких плівкових матеріалів).

Питомі навантаження на тонкошарові споруди, віднесені до площі, зайнятої тонкошаровими елементами, і з урахуванням показників якості води можуть бути прийняті за [2].

Отримані за розрахунком розміри тонкошарових елементів і тонкошарових споруд в цілому, а також значення питомих навантажень належить перевірити і скоректувати з урахуванням забезпечення мінімального часу між випусками осаду 6–8 год. При цьому висоту захисної зони для вертикального відстійника слід прийняти рівній 1,5 м, для горизонтального – 1 м.

Висоту зони збору проясненої води рекомендується приймати не менше 0,4–0,5 м.

У тонкошарових прояснювачах для запобігання утворенню зон підвищеної концентрації суспензії нижню кромку тонкошарових блоків необхідно розташовувати безпосередньо над верхньою відміткою осадкоприймальних вікон.

### **Завдання до теми 2**

1). Визначте ефект прояснення води у відстійнику, якщо каламутність води, яка поступає до нього 110 г/м<sup>3</sup>, а каламутність проясненої води – 14 г/м<sup>3</sup>.

2). Розрахунок вертикального тонкошарового відстійника.

#### **Вихідні дані для розрахунків**

1. Забарвленість вихідної води, град.	<i>Додаток А</i>
2. Вміст завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	<i>Додаток А</i>
3. Доза коагулянту за безводним продуктом, мг/дм <sup>3</sup>	<i>Додаток А</i>
4. Розрахункова швидкість осадження домішок, мм/с	<i>Додаток А</i>
5. Кут нахилу тонкошарових елементів	60°
6. Навантаження на споруду за умовами накопичення суспензії, м/год (не більше)	4

3). Розрахунок тонкошарового прояснювача

#### **Вихідні дані для розрахунків**

1. Забарвленість вихідної води, град.	<i>Додаток А</i>
2. Вміст завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	<i>Додаток А</i>
3. Доза коагулянту за безводним продуктом, мг/дм <sup>3</sup>	<i>Додаток А</i>
4. Розрахункова швидкість осадження домішок, мм/с	<i>Додаток А</i>
5. Висота тонкошарових елементів, м	1,2
6. Кут нахилу тонкошарових елементів	55°
7. Навантаження на споруду за умовами накопичення суспензії, м/год	6

### Тема 3 Розрахункові параметри процесу прояснення води фільтруванням

Прояснення води фільтруванням широко застосовують в технології обробки води. Для цього прояснювану воду фільтрують через шари зернистого матеріалу (кварцового піску, роздробленого антрациту, керамзиту та ін.), завантаженого у фільтр.

Якщо позначити всю продуктивність фільтрувальної установки  $Q_{\text{повн}}$ ,  $\text{м}^3/\text{год}$ , корисну  $Q_{\text{кор}}$  і витрату води на її власні потреби  $q_{\text{в.п.}}$ , то

$$Q_{\text{повн}} = Q_{\text{кор}} + q_{\text{в.п.}}, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (3.1)$$

Необхідна для отримання цієї кількості води площа фільтрування визначається за формулою:

$$F_0 = \frac{24 \cdot Q_{\text{повн}}}{V_0 \cdot (24 - n_0 \cdot t_0)} = \frac{Q_{\text{повн}}}{V_0} \cdot K_0, \text{ м}^2, \quad (3.2)$$

де  $V_0$  – швидкість фільтрування, що приймається в межах 5–10 м/год;

$n_0$  – кількість промивок фільтру за добу (не більше трьох);

$t_0$  – час простою фільтру в промивці, зазвичай близько 30–45 хв.

Коефіцієнт

$$K_0 = \frac{24}{24 - n_0 \cdot t_0} \quad (3.3)$$

враховує вимкнення фільтрів в період промивання.

Кількість встановлюваних фільтрів  $m_0$  визначатиметься формулою:

$$m_0 = \frac{F_0}{0,785 \cdot d_{\text{ф}}^2} = \frac{K_0 \cdot Q_{\text{повн}}}{0,785 \cdot d_{\text{ф}}^2 \cdot V_0}, \quad (3.4)$$

де  $d_{\text{ф}}$  – діаметр фільтру, м.

Своєю чергою,

$$n_0 = \frac{24}{T_0 + t_0}, \quad (3.5)$$

$$T_0 = \frac{h_0 \cdot B \cdot 10^3}{V_0 \cdot C_{\text{в}}}, \quad (3.6)$$

де  $T_0$  – період між промиваннями, год;

$B$  – брудомісткість фільтруючого матеріалу,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$C_{\text{в}}$  – концентрація завислих речовин у оброблюваній воді,  $\text{мг}/\text{л}$ .

Значення Б може змінюватися в широких межах залежно від характеру завислих речовин, їх фракційного складу, фільтруючого матеріалу та ін. При розрахунках можна приймати  $B = 3-4 \text{ кг/м}^3$ , в середньому  $3,5 \text{ кг/м}^3$ .

Значення Б може бути підраховано за формулою:

$$B = \frac{q_0 \cdot C_B}{h_0 \cdot f_0 \cdot 10^3}, \quad (3.7)$$

де  $q_0$  – кількість води, проясненої за фільтроцикл,  $\text{м}^3$ ;

$f_0$  – площа фільтру,  $\text{м}^2$ ;

$h_0$  – висота шару фільтруючого матеріалу, м.

Робочий цикл фільтрів уривається зупинкою для відновлення їх працездатності. В той же час споживачі обробленої води витрачають її безперервно. Зважаючи на це виникає необхідність в створенні на установках резерву в фільтрах або запасу води в баках, особливо якщо врахувати періодичне виведення фільтрів в ремонт.

Кількість фільтрів, що виводяться одночасно на промивку (регенерацію), залежить від загального їх числа  $m_0$  на установці. Якщо

$$m_0 \leq \frac{T_0 + t_0}{t_0}, \quad (3.8)$$

у промивці (на регенерації) знаходитиметься один фільтр.

При

$$m_0 = \frac{T_0 + t_0}{t_0} + x, \quad (3.9)$$

де  $x \leq m_0$  на промивку зупинятимуть два апарати.

Якщо  $x > m_0$  то в промивці знаходитимуться три фільтри і так далі. Формула (3.9) враховує це: визначена за ній кількість фільтрів буде достатньою і при одночасному виводі на промивку (регенерацію) двох і більшої кількості фільтрів. Це досягається введенням коефіцієнта  $K_0$ .

Якщо необхідна кількість фільтрів на установці складає  $m_H$ , а загальна, включаючи і резервні  $m_0$ , то резерв  $r$  дорівнюватиме

$$r = \frac{m_0 - m_H}{m_H}. \quad (3.10)$$

При розрахунку кількості фільтрів за рівнянням (3.9) під резервом слід розуміти фільтри, що встановлюють для заміни тих, що виводять в ремонт. Зазвичай встановлюють один резервний фільтр, тому

$$r = \frac{100}{m_0 - 1}, \% \quad (3.11)$$

Якщо продуктивність установки рівна  $Q_{\text{повн}}$ , м<sup>3</sup>/год, то при даному  $r$  одинична продуктивність встановлюваних фільтрів має дорівнювати  $q_{\text{ф}} = Q_{\text{повн}}/m_0 - 1$ . Таким чином, продуктивність фільтрів і їх кількість не є довільними параметрами, вони залежать від  $r$  і  $Q_{\text{повн}}$ .

Водопідготовча установка може бути укомплектована фільтрами різної продуктивності та різною кількістю, проте доцільно встановлювати меншу кількість фільтрів, оскільки це дозволяє скоротити кількість арматури, фланців, тобто елементів, що знижують надійність.

Середня фактична продуктивність фільтра  $q_{\text{сер}}$  за міжрегенераційний (міжпромивальний) період

$$q_{\text{сер}} = \frac{V_0 \cdot f \cdot (T_0 + t_0)}{T_0} \quad (3.12)$$

Із збільшенням  $T_0$  дріб  $(T_0 + t_0)/T_0$  прагне до одиниці. Отже, фактична швидкість фільтрування завжди більше розрахункової, якщо остання приймається без урахування простою фільтру на регенерації (промивці).

Значення власних потреб прояснювальних фільтрів у відсотках до вихідної води можуть бути підраховані за формулою

$$q'_{\text{в.п.}} = 2 + \frac{0,4 \cdot C_{\text{в}}}{B \cdot h_0} \quad (3.13)$$

Кількість води, що йде на промивку зернистого прояснювального фільтру  $q_{\text{п}}$ , м<sup>3</sup>, знаходять за формулою

$$q_{\text{п}} = \frac{3,6 \cdot i_0 \cdot f_0 \cdot t'_0}{60} \quad (3.14)$$

де  $i_0$  – інтенсивність промивки, л/(м<sup>2</sup>·с);

$f_0$  – площа перетину фільтру, м<sup>2</sup>;

$t'_0$  – час промивки, хв.

### **Завдання до теми 3**

1). Розрахунок технологічних параметрів процесів фільтрування та промивання завантаження фільтрів.

Вихідні дані для розрахунків

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. Продуктивність фільтрувальної установки, м <sup>3</sup> /год | Додаток Б |
| 2. Концентрація завислих речовин у фільтрованій воді, мг/л      | Додаток Б |
| 3. Діаметр фільтру, м   | Додаток Б |
| 4. Висота шару фільтруючого матеріалу, м                        | Додаток Б |

# ЗМ 2 ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН І КОЛОЇДІВ

## Тема 4 Особливості агрегації тонкодисперсних домішок

### 1. Особливості застосовуваних коагулянтів

Для коагуляційного очищення природних і стічних вод як коагулянти найчастіше застосовують солі алюмінію і заліза та особливо сульфат алюмінію. Також використовують хлорид і гідроксохлориди алюмінію, а також сульфати і хлориди заліза, алюмінат натрію.

#### Сульфат і основний сульфат алюмінію

Сульфат алюмінію застосовують для очищення кольорових і каламутних вод в інтервалі значень рН 5–7,5. Чим більша твердість і менша кольоровість оброблюваної води, тим вище оптимальне значення рН середовища. Безводний сульфат алюмінію – білий порошок зі щільністю 2 710 кг/м<sup>3</sup>. З водних розчинів в інтервалі температур –12...+112,2 °С кристалізується 16-гідрат сульфату алюмінію (рис. 4.1). За –12,0 °С і вмісту сульфату алюмінію 27,2 % утворюється евтектика.

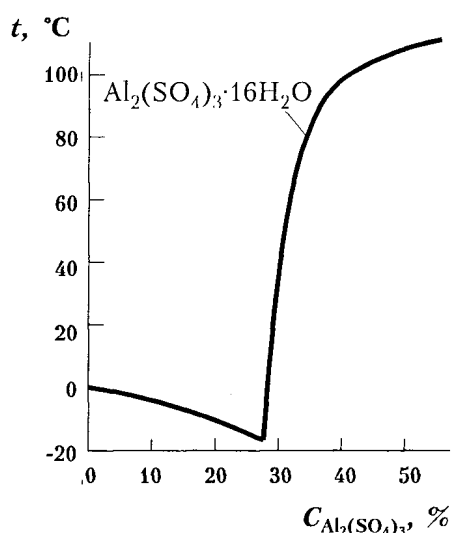


Рисунок 4.1 – Діаграма розчинності в системі  $Al_2(SO_4)_3 - H_2O$

У повітряному середовищі під час нагрівання відбувається постійне виділення води з утворенням 12-гідрату за 80–90 °С і 6-гідрату – за 130 °С. У замкнутій посудині 16-гідрат плавиться у власній кристалізаційній воді за температури 86 °С. Кристалогідрат, що містить 12 молекул води, під час нагрівання на повітрі не плавиться. В інтервалі 200–300 °С утворюється моногідрат. Повна дегідратація відбувається за 450 °С протягом двогодинного висушування. Руйнування безводного сульфату алюмінію з видаленням оксиду сульфуру (VI) починається за 650 °С та інтенсивно відбувається в інтервалі температур 700–800 °С. При цьому у твердій фазі утворюється  $\gamma-Al_2O_3$ . З підвищенням температури до 1 000 °С практично повністю видаляється  $SO_3$ , який у газовій фазі понад 700 °С дисоціює на  $SO_2$  та  $O_2$ .



У водних розчинах рН залежить від температури, концентрації солі та молярного співвідношення  $Al_2O_3$  і  $SO_3$ . У разі надлишку  $Al_2O_3$  проти стехіометричної кількості спостерігається збільшення рН, в разі нестачі – зменшення. Сульфат алюмінію у водних розчинах гідролізує з утворенням гідроксоіонів алюмінію та іонів водню. Тому в його розчині може розчинятися гідроксид алюмінію, що спричинює підвищення рН розчину. Чим більша концентрація сульфату алюмінію і вища температура, тим більша розчинність гідроксиду алюмінію. Проте слід брати до уваги, що за дуже високих температури і гідротермальних умов (понад 170 °С) помітно утворюються важкорозчинні основні солі Алюмінію типу гідрогеновмісного алуніту –  $H_2[Al_6(SO_4)_4(OH)_{12}]$ .

В інтервалі значень рН 3,8–4,9 гідроліз іонів  $Al^{3+}$  відбувається за першою стадією з утворенням гідроксокомплексних іонів  $[Al(H_2O)_5(OH)]^{2+}$ ; за рН 5–5,6 утворюються переважно іони  $[Al(H_2O)_4(OH)_2]^+$  за другою стадією гідролізу. Осадження відбувається в інтервалі значень рН 5–11. Для забезпечення глибокого осадження гідроксиду алюмінію значення рН очищеної води має перебувати в межах 7,2–7,6, а її температура – 20–30 °С. У разі нижчих температур очищеної води інтервал значень рН звужується і за 10 °С становить 7–7,2. З лужного розчину  $Al(OH)_3$  осаджується за рН близько 11.

Сульфат алюмінію випускають у формі кусків невизначених розмірів масою до 10 кг або лусочок з масовою часткою  $Al_2O_3$  14–16,3 %. У незначній кількості сульфат алюмінію поставляється споживачеві у вигляді розчину, що містить 6,7–7,7 %  $Al_2O_3$ , а також у вигляді неочищеного продукту, який являє собою суміш сульфату алюмінію і нерозчинного залишку, переважно оксиду силіцію (IV) (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Вимоги до якості сульфату алюмінію

Продукт	Сорт	Нормовані показники					Нерозчинний залишок $Al_2O_3$ , не більше
		Масова частка $Al_2O_3$ , %, не менше	Масова частка, %, не більше				
			Нерозчинний залишок	$H_2SO_4$ (вільна)	$Fe_2O_3$	$As_2O_3$	
Сульфат алюмінію (очищений)	Вищий	17,0	0,2		0,02	0,003	
	Перший	16,3	0,3	–	0,04	0,003	–
	Другий	15,0	0,5	0,05	0,70	0,003	–
Сульфат алюмінію технічний (очищений) у рідкому стані	–	$7,2 \pm 0,5$	1,0	0,1	0,1	0,003	–
Сульфат алюмінію технічний (неочищений)	А	9,5	–	2,0	0,5	0,003	2,2
	Б	9,5	–	3,0	0,9	0,003	2,7

Якщо масова частка  $Al_2O_3$  в продукті менша за 15 %, відбувається злежування продукту, що призводить до значних утруднень під час його використання. Істотним недоліком неочищеного сульфату алюмінію є низький вміст корисного компонента (сульфату алюмінію), а також підвищений – нерозчинного залишку та вільної сульфатної кислоти. Цей продукт характеризується незадовільним товарним виглядом, що спричинює великі ускладнення під час підготовки коагулянту до використання, підвищену агресивність розчинів та збільшення транспортних витрат. Як коагулянти можна застосовувати алюмінієві галуни –  $RAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$ , де R – іони  $Na^+$ ,  $K^+$  і  $NH_4^+$ . Проте їх застосування обмежене через високу вартість.

В останні роки розроблено технологію отримання нового ефективного коагулянту – дигідроксосульфату алюмінію (ДГСА) –  $Al_2(SO_4)_2(OH)_2 \cdot 11H_2O$ . Основні переваги ДГСА перед сульфатом алюмінію полягають ось у чому: він працює в ширшому інтервалі значень рН очищуваної води, потребує меншого лужного резерву і має значно кращу пластівцеутворювальну здатність, особливо за низьких температур. Міцели, утворені в результаті гідролізу, мають вищий позитивний заряд і кращу адсорбційну здатність. Оскільки він є більш основним коагулянтом, його розчини менш агресивні, завдяки чому різко знижується кислотна корозія обладнання та комунікацій. Для виробництва дигідроксосульфату алюмінію потрібно значно менше (на 33 %) сульфатної кислоти, що дає змогу істотно зменшити його собівартість. Витрати нового коагулянту (в розрахунку на  $Al_2O_3$ ) на 15–20 %, а іноді – на 30–35 % нижчі, ніж сульфату алюмінію.

Дигідроксосульфат алюмінію являє собою білий дрібнозернистий порошок. У разі повільної кристалізації можуть утворюватися великі кристали. Форма зерен призматична, рідко трапляються пластинчасті утвори. Розмір зерен коливається від 40 до 100 мкм за довжиною і від 10 до 25 мкм за шириною. Показник заломлення  $n_p = 1,466$  і  $n_d = 1,471$  і змінюється залежно від вмісту кристалізаційної води. Сіль, висушена за 150 °С, представлена ізотропною оптично неактивною речовиною. Показник заломлення  $n = 1,468$  за глибшого зневоднення солі збільшується до 1,528.

Дигідроксосульфат алюмінію добре розчиняється у воді, краще, ніж сульфат алюмінію. З підвищенням температури його розчинність збільшується:

Температура, °С	5	10	14	31,5	50,5	70,5
Розчинність ДГСА, %	41,9	44,3	46,3	48,4	54,1	59,4
% за $Al_2O_3$	8,4	8,5	9,3	9,7	10,9	11,9

Насичений за 22 °С розчин солі густиною 1,25 кг/дм<sup>3</sup> і концентрацією 8,5 %  $Al_2O_3$  не замерзає і не кристалізується протягом тривалого часу за температури -(10–15) °С.

Значення рН розчинів дигідроксосульфату алюмінію в ділянці концентрацій 0,5–8 %  $Al_2O_3$  змінюється в межах 4,09–3,14. Із зменшенням модуля основності (молярного відношення  $SO_3/Al_2O_3$ ) розчинів, а також з їх розбавлянням значення рН збільшується.

### *Хлорид і гідроксохлориди алюмінію*

Із хлоровмісних сполук алюмінію найбільше застосування для очищення води знайшли хлорид алюмінію й особливо гідроксохлориди  $Al_2(OH)_nCl_{n-1}$ . Нині в промислових масштабах виробляють і широко застосовують у практиці водопідготовки пентагідроксохлорид алюмінію  $Al_2(OH)_5Cl$ , що зумовлено цілою низкою його позитивних властивостей. Під час використання цього коагулянту інтенсифікується пластівцеутворення і прискорюється осадження коагульованих зависей. Значно зменшуються витрати коагулянту для очищення малозабарвлених вод з низьким вмістом солей і завислих часточок. Інтервал оптимальних значень рН істотно розширюється, особливо в бік низьких значень. Оскільки пентагідроксохлорид алюмінію має меншу кислотність, він придатний для очищення вод з невеликим лужним резервом. Відносно сульфату алюмінію у разі використання еквівалентної кількості  $Al_2(OH)_5Cl$  лужність води під час взаємодії з гідрогенкарбонатом кальцію знижується в 6 разів. Враховуючи малий вміст хлорид-іонів у коагулянті, при його застосуванні солевміст очищуваної води збільшується меншою мірою, ніж у разі використання сульфату алюмінію. Крім того, зменшується кількість залишкового алюмінію в оброблюваній воді. Пентагідроксохлорид алюмінію характеризується значно вищим вмістом водорозчинного алюмінію, а його розчини не потребують застосування неіржавних сталей і протикорозійного захисту апаратури та трубопроводів. Під час зберігання коагулянт не злежується і не старіє.

Хлорид алюмінію  $AlCl_3$  – кристалічний порошок білого кольору щільністю  $2\,470\text{ кг/м}^3$ , кристалізується у вигляді безбарвних псевдогексагональних пластинок. Він сублімується за  $182,7\text{ }^\circ\text{C}$  і плавиться за  $192,4\text{ }^\circ\text{C}$  і тиску  $2,5 \cdot 10^5\text{ Па}$ . Добре розчиняється у воді і майже в усіх органічних розчинниках. Розчинність хлориду алюмінію у воді:

Температура, $^\circ\text{C}$	0	20	100
Розчинність, %	30,5	31,4	32,9

З водного розчину кристалізується гексагідрат  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$  щільністю  $2\,400\text{ кг/м}^3$ . Під час заємодії з вологою повітря хлорид алюмінію гідролізує:



Під час нагрівання водних розчинів у результаті гідролізу утворюється гідроксохлорид алюмінію  $Al_2(OH)_3Cl_3$ . Електролізом водних розчинів хлориду алюмінію отримують гідроксохлориди  $Al(OH)_aCl$  і  $Al_2(OH)_5Cl$ .

Під час нагрівання  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$  в інтервалі температур  $50\text{--}70\text{ }^\circ\text{C}$  видаляється сорбована волога, а за  $105\text{--}110\text{ }^\circ\text{C}$  внаслідок взаємодії з кристалізаційною водою він розкладається. За  $400\text{ }^\circ\text{C}$  утворюється аморфний оксид алюмінію, який в інтервалі температур  $600\text{--}800\text{ }^\circ\text{C}$  перетворюється на  $\gamma\text{-}Al_2O_3$ , а понад  $900\text{ }^\circ\text{C}$  – на  $\alpha\text{-}Al_2O_3$ .

У разі обробки алюмінію хлоридною кислотою, взятою в недостатній кількості для повного розчинення, за температури кипіння утворюється пентагідроксохлорид алюмінію  $Al_2(OH)_5Cl$ . З розчину його можна осадити добавлянням хлориду натрію. Цей продукт можна також отримати обробкою активного гідроксиду алюмінію, що утворився під час карбонізації

алюмінатних розчинів, хлоридною кислотою, взятою в недостатній кількості. Пентагідроксохлорид алюмінію можна отримати у вигляді склоподібних пластин або зернистого порошку з насипною масою 1 000 кг/м<sup>3</sup>. Він легко розчиняється у воді.

У разі повільного добавляння луку до водного розчину хлориду алюмінію утворюється дигідроксохлорид Al(OH)<sub>2</sub>Cl. Деякі фізико-хімічні властивості 1 М розчинів хлориду і гідроксохлоридів алюмінію наведено в таблиці 4.2. Гідроксохлориди алюмінію зі ступенем основності (відношення числа OH<sup>-</sup> груп до числа атомів Алюмінію в брутто-формулі) менше ніж 2 можна отримати і зберігати впродовж тривалого часу, якщо концентрація хлоридів не перевищує 4,5 моль/дм<sup>3</sup>. Розчини зі ступенем основності 2–2,5 можна отримати і зберігати в будь-яких технологічно виправданих концентраціях. Тверді продукти доцільніше отримувати з розчинів зі ступенем основності 2–2,5.

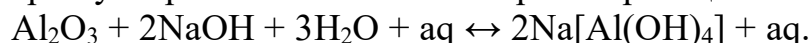
#### Алюмінат натрію

Алюмінат натрію зазвичай використовують як добавку для інтенсифікації процесу коагуляції домішок води сульфатом алюмінію. Змінюючи співвідношення сульфату алюмінію та алюмінату натрію, можна досягти заданого значення рН, необхідного для задовільної коагуляції різних вод за будь-якої лужності. У водах з низьким значенням рН алюмінат натрію застосовується як основний реагент без сульфату алюмінію. Витрати алюмінату разом із сульфатом алюмінію коливаються в межах 0,5–2 мг/дм<sup>3</sup> за Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

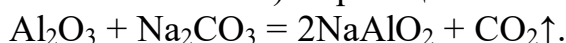
Таблиця 4.2 – Властивості водних розчинів хлориду і гідроксохлоридів алюмінію

Сполука	Концентрація, г/дм <sup>3</sup>		Густина, кг/м <sup>3</sup>		В'язкість · 10 <sup>-3</sup> , Па · с		Питома електропровідність, Ом <sup>-1</sup> · с <sup>-1</sup>		рН
	солі	алюмінію	25 °С	75 °С	25 °С	75 °С	25 °С	75 °С	
AlCl <sub>3</sub>	133,5	27	1 108	1 088	2,08	0,786	1,09	2,12	2,63
	405	81	1 315	1 295	26,13	5,47	0,45	1,51	0,38
Al(OH)Cl <sub>2</sub>	115	27	1 088	1 066	1,66	0,63	0,95	1,97	3,40
	345	81	1 266	1 245	8,65	2,56	0,92	2,25	2,51
Al(OH) <sub>2</sub> Cl	96,5	27	1 063	1 039	1,27	0,507	0,53	1,11	3,76
	289,5	81	1 190	1 167	2,88	1,15	1,18	2,35	2,95'
Al <sub>2</sub> (OH) <sub>5</sub> Cl	174,5	54	1 114	1 089	1,89	0,70	1,143	0,193	4,46
	349	108	1 226	1 202	5,13	1,79	0,157	0,220	4,30

Під час взаємодії алюмінію, а також його оксидів і гідроксидів з гідроксидом натрію утворюється алюмінат натрію за реакцією



Ця реакція відбувається інтенсивніше з підвищенням температури, норми і концентрації луку. Алюмінат натрію утворюється також під час взаємодії оксиду або гідроксиду алюмінію з карбонатом натрію за підвищених температур (спікання за 1 200–1 300 °С) за реакцією



У системі  $\text{Al}_2\text{O}_3$  —  $\text{Na}_2\text{O}$  —  $\text{H}_2\text{O}$  за 30–200 °С кристалізується моноалюмінат натрію  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$ . Він представлений монокристалами квадратного габітусу. На кривій ДТА спостерігаються ендотермічний ефект з максимумом за 250 °С, зумовлений видаленням води, а також ендотермічний ефект за 680–700 °С, що характеризує процес кристалізації безводного алюмінату натрію. Під час кристалізації алюмінату натрію з водних розчинів в інтервалі температур 30–85 °С за ізотермічних і політермічних умов показано, що вихід продукту залежить від температури. Зі зниженням температури від 85 до 30 °С вихід алюмінату підвищується від 58,6 до 81,2 % при одночасному збільшенні тривалості процесу. Особливо значний вплив на кристалізацію алюмінату натрію має початкова концентрація гідроксиду натрію. Зі збільшенням концентрації лугу від 448 до 528 г/дм<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{O}$  вихід алюмінату натрію підвищується від 13,4 до 85,5 %. Зниження виходу алюмінату за низьких концентрацій лугу (425 г/дм<sup>3</sup>  $\text{Na}_2\text{O}$ ) зумовлене підвищенням рівноважного вмісту оксиду алюмінію в розчині.

#### *Залізовмісні коагулянти*

Із солей заліза як коагулянти найбільше використовують сульфати заліза і хлорид заліза (III). Застосовують також залізовмісні коагулянти, отримані хлоруванням залізної стружки у водному середовищі та анодним розчиненням заліза в розчині хлориду натрію або сульфатної кислоти. Солі заліза мають кращі коагуляційні властивості в інтервалі рН 3,5–6,5 або 8–11. Знебарвлення води краще відбувається при рН 3,5–5,0. Залізовмісним коагулянтам слід віддавати перевагу в разі очищення каламутних твердих вод з високим значенням рН, а також очищення стоків. Вони дають змогу усунути запахи і присмаки, зумовлені наявністю гідрогенсульфуру, видаляти сполуки миш'яку, марганцю, міді, а також сприяють окисненню органічних сполук.

Порівняно з солями алюмінію солі заліза можуть застосовуватися для очищення вод з різноманітнішим сольовим складом і різними значеннями рН, краще діють за низьких температур, характеризуються більшою міцністю і гідравлічною крупністю пластівців. Недоліками солей заліза як коагулянтів є підвищені кислотні властивості, що чинять корозійну дію на апаратуру. Під час взаємодії іонів заліза з деякими органічними сполуками утворюються розчинні сильно забарвлені комплекси. Утворені пластівці в процесі очищення мають менш розвинену поверхню. У разі використання як коагулянту солей заліза (II) слід застосовувати вапно і хлор для окиснення заліза до тривалентного. У протилежному разі утворення пластівців значно уповільнюється. Технічні вимоги до сульфату заліза (II) – залізного купоросу, який отримують у процесі сірчано-кислотного травлення заліза, та оксиду титану (IV) наведено в таблиці 4.3.

Сульфат заліза (II) кристалізується з водного розчину в інтервалі температур -1,8–90 °С у вигляді кристалогідратів з сімома, чотирма і одним молекулою води. Гептагідрат сульфату заліза (II)  $\text{FeSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  утворюється в інтервалі температур -1,8–56,8 °С у вигляді моноклінних кристалів світло-зеленого кольору щільністю 1 800 кг/м<sup>3</sup>. На повітрі він вивітряється й

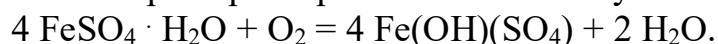
окиснюється з утворенням основного сульфату заліза (III)  $\text{Fe}(\text{OH})(\text{SO}_4)$  жовтувато-коричневого кольору.

Таблиця 4.3 – Технічні вимоги до реагентів

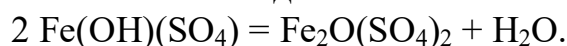
Показник	Сульфат заліза (II)		Оксид титану (IV)
	Сорт 1	Сорт 2	
Вміст сульфату заліза (II) $\text{FeSO}_4$ , %, не менше	53,0	47,0	47,0
Вміст вільної сульфатної кислоти, %, не більше	0,3	1,0	5,0
Вміст нерозчинного залишку, %, не більше	0,2	1,0	5,0
Зовнішній вигляд і колір	Зеленкувато-блакитні кристали різних розмірів		

Тетрагідрат сульфату заліза (II)  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  кристалізується з водного розчину за  $56,8\text{--}64\text{ }^\circ\text{C}$  у вигляді зелених кристалів щільністю  $2\ 200\ \text{кг}/\text{м}^3$ . За температури понад  $64\text{ }^\circ\text{C}$  утворюються кристали  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  моноклінної сингонії щільністю  $3050\ \text{кг}/\text{м}^3$ . Розчинність у воді сульфату феруму (II) із збільшенням температури від  $-1,8$  до  $56,7\text{ }^\circ\text{C}$  підвищується відповідно від  $14,91$  до  $35,3\%$ .

За наявності кисню у водному розчині сульфат заліза (II) окиснюється. Гептагідрат сульфату феруму (II) за  $64\text{ }^\circ\text{C}$  розчиняється у своїй кристалізаційній воді, а за подальшого підвищення температури відбувається дегідратація з утворенням гексагідрату за  $70\text{ }^\circ\text{C}$ , тетрагідрату – в інтервалі температур  $70\text{--}120\text{ }^\circ\text{C}$  і моногідрату – за  $120\text{--}130\text{ }^\circ\text{C}$ . За  $150\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$  останній при наявності кисню повітря перетворюється на основну сіль:



За  $350\text{--}400\text{ }^\circ\text{C}$  основна сіль зневоднюється:



Оксосіль  $\text{Fe}_2\text{O}(\text{SO}_4)_2$  за  $400\text{--}450\text{ }^\circ\text{C}$  розкладається з утворенням рентгеноаморфного оксиду заліза і сполуки  $\text{Fe}_4\text{O}(\text{SO}_4)_5$ , яка перетворюється на  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  з виділенням сірчаного ангідриду в газову фазу при подальшому нагріванні.

З водних розчинів сульфату заліза (III) кристалізуються 12-, 10-, 9-, 7-, 6- і 3-гідрати. Нонагідрат сульфату заліза (III) трапляється в природі у вигляді мінералу кокімбіту. Гексагональні кристали щільністю  $2\ 110\ \text{кг}/\text{м}^3$  мають короткопризматичну або пірамідальну форму. Гексагідрат трапляється в природі під назвою мінералу лаусеніту і кристалізується в моноклінній сингонії у вигляді таблитчастих безбарвних кристалів. В  $0,1\ \text{кг}$  води за  $20\text{ }^\circ\text{C}$  розчиняється  $0,44\ \text{кг}$  наонагідрату сульфату феруму (III).

Зневоднення гептагідрату сульфату заліза (III) у повітряній атмосфері відбувається поетапно. В інтервалі температур  $115\text{--}145\text{ }^\circ\text{C}$  утворюється пентагідрат, за  $170\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$  – дигідрат і за  $200\text{--}240\text{ }^\circ\text{C}$  – моногідрат сульфату

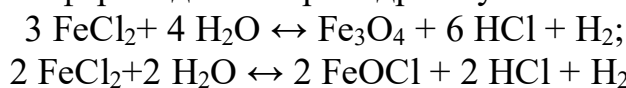
заліза (III). В інтервалі температур 240–265 °С утворюється безводний  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . За 600–750 °С у повітряній атмосфері видаляється сірка з утворенням у твердій фазі сполуки  $\text{Fe}_4\text{O}(\text{SO}_4)_5$ . З підвищенням температури випалення в продуктах розкладання утворюється  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ . За температур понад 350 °С в атмосфері водню сульфат феруму (III) частково відновлюється до сульфату заліза (II):



За вищих температур розкладання відбувається аналогічно розкладанню сульфату заліза (II). Безводний сульфат заліза (III) утворює ромбічні кристали щільністю 3 100 кг/м<sup>3</sup>, гігроскопічний і розпливається при взаємодії з атмосферною вологою. З водних розчинів сульфатів лужних металів, амонію і заліза (III) кристалізуються подвійні солі-галуни  $\text{Me}[\text{Fe}(\text{SO}_4)_2] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ , де  $\text{Me}^+$  – одновалентний іон.

Сульфат заліза (III) у водних розчинах гідролізує. З підвищенням температури і зменшенням концентрації солі ступінь гідролізу підвищується. Гідроліз інтенсифікується при добавлянні сульфатів калію, натрію та амонію. При цьому вихід заліза в тверду фазу і концентрація сульфатної кислоти в маточному розчині зростають. Під час взаємодії розчинів сульфату заліза (III) зі свіжоосадженим гідроксидом феруму (III) утворюються водорозчинні основні сульфати заліза (III). Після відокремлення нерозчинного залишку фільтруванням і висушування розчинів на повітрі за кімнатної температури утворюється продукт молекулярного складу  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2,35 \text{SO}_3 \cdot 6,6 \text{H}_2\text{O}$ . При нагріванні його в атмосфері повітря відбувається поетапне виділення води.

Хлорид заліза (II) безводний являє собою гігроскопічну безбарвну масу, що розпливається на повітрі; за підвищеної температури леткий. Він легко розчиняється у воді і спирті. За 20 °С в 0,1 кг води розчиняється 0,685 кг  $\text{FeCl}_2$ . З водних розчинів кристалізуються гідрати з 6, 4 і 2 моль води. Тетрагідрат хлориду заліза (II) кристалізується під час випаровування водних розчинів у вигляді моноклінних кристалів синьо-зеленого кольору, що розпливаються на повітрі. Під час нагрівання в інтервалі температур 120–230 °С поетапно зневоднюється, в атмосфері водяної пари гідролізує:



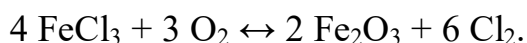
Безводний хлорид заліза (III)  $\text{FeCl}_3$  осаджується з водних розчинів у вигляді гексагональних кристалів зеленуватого або темно-коричневого кольору щільністю 2 900 кг/м<sup>3</sup>. За 300 °С він плавиться, а за 317 °С кипить. Хлорид заліза (III) гігроскопічний. При 20 °С насичений водний розчин  $\text{FeCl}_3$  містить 47,9 % хлориду. З водних розчинів кристалізується декілька гідратів. Хлорид заліза (III) у воді гідролізує, внаслідок чого розчини мають кислу реакцію. Під час гідролізу хлориду заліза (III) на холоді утворюються оксихлориди заліза типу  $\text{FeOCl}$  та ін. Оксихлорид заліза кристалізується у вигляді ромбічних листочків, що мають металічний блиск і в прохідному світлі забарвлені в червоний колір, щільністю 3 550 кг/м<sup>3</sup>. У водних розчинах за кімнатної температури оксихлориди перетворюються на  $\gamma\text{-FeOON}$  і  $\alpha\text{-FeOON}$ . Стійкішим продуктом гідролізу є гетит –  $\alpha\text{-FeOON}$ .

Ступінь гідролізу розбавлених розчинів хлориду заліза (III) за 12 °С через 48 год становить:

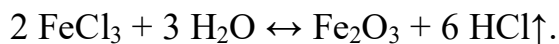
Концентрація FeCl <sub>3</sub> , моль/дм <sup>3</sup>	0,020 47	0,006 8	0,001 02	0,000 26
Ступінь гідролізу, %	0,6	23,55	56,12	79,03

Як продукти гідролізу виділені основні хлориди Fe(OH)Cl<sub>2</sub> і Fe(OH)<sub>2</sub>Cl. Кінцевим продуктом гідролізу є сполука FeCl<sub>3</sub> · n Fe(OH)<sub>3</sub>. У результаті гідролізу FeCl<sub>3</sub> утворюється β-FeOOH. В останньому міститься до 4 % іонів хлору, розподілених у ґратках. Під час нагрівання β-FeOOH зневоднюється і перетворюється на α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

В атмосфері повітря хлорид заліза (III) перетворюється на оксид заліза (III) з виділенням хлору:



В атмосфері водяної пари під час нагрівання хлорид заліза (III) гідролізує з утворенням оксиду заліза (III) в твердій фазі і виділенням гідрогенхлориду в газову фазу:



У разі нагрівання у вакуумі понад 500 °С хлорид заліза (III) частково розкладається з утворенням хлориду заліза (II) та елементарного хлору.

## **2. Особливості застосовуваних флокулянтів**

Флокулянти, які застосовують для очищення води, можна розділити на три групи: неорганічні полімери, природні високомолекулярні речовини та синтетичні органічні полімери.

Серед *неорганічних флокулянтів* найбільшого поширення набула активна силікатна кислота (АК). Її розглядають як колоїдну систему, що складається з часточок, які мають чітку поверхню поділу фаз, тобто як золь SiO<sub>2</sub>. Часточки сферичної форми мають розмір від 1 до 1 50 нм. За іншими уявленнями, АК є розчином високомолекулярних силікатних кислот.

До *високомолекулярних флокулянтів природного походження* належать крохмаль та його похідні, декстрин, альгінат натрію, похідні целюлози, гуарові смоли, хітозан, лігносульфонові кислоти та їх солі. Крохмаль складається з двох полімерних вуглеводів – лінійного полімеру амілози і розгалуженого амілопектину. Ці речовини мають однаковий склад елементарної ланки: C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>O<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>OH). Молекулярна маса амілози становить декілька сотень тисяч, а амілопектину – досягає декількох мільйонів. Від’ємний заряд розчинного крохмалю зумовлений наявністю незначної кількості естерів фосфатної кислоти CH<sub>2</sub>ORO(OH)<sub>2</sub>.

На основі крохмалю *синтезовані ефективні катіонні флокулянти* – аміновані крохмалі, до складу яких входять третинні аміногрупи — OCH<sub>2</sub>N(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>, або солі четвертинних амонійних основ — OCH<sub>2</sub>—CH<sub>2</sub>N(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Cl. Ефективними флокулянтами є крохмалі, до яких прищеплюють синтетичні полімери: поліакриламід, поліакрилову кислоту, естери поліметакрилової кислоти тощо. Як неіонні флокулянти використовують декстрин – крохмаль, оброблений сульфатною кислотою. Він містить амілози і має макромолекули менших розмірів.



З целюлози отримують похідні метил-, карбоксиметил-, оксіетилцелюлоза та інші водорозчинні аніонні поліелектроліти. Найбільшого поширення набула натрієва сіль карбоксиметилцелюлози (Na-КМЦ) складу  $C_2H_5O_2(OH)_{2-x}(CH_2OH)_{1-y}(OCH_2COONa)_x(CH_2OCH_2CONa)_y$ . Молекулярна маса залежно від умов синтезу коливається в межах  $40 \cdot 10^3$ – $450 \cdot 10^3$ , найчастіше  $40 \cdot 10^3$ – $110 \cdot 10^3$ . Солі важких і багатозарядних металів з Na-КМЦ не розчинні у воді.

Флокулянти на основі гуарових смол містять активну галактоманозу  $C_5H_5O_2(OH)CH_2OH$  з молекулярною масою порядку  $220 \cdot 10^3$ . Ці реагенти належать до неіонних флокулянтів і мають високу флокулюючу здатність. Хітозан являє собою полі(1,4- $\beta$ , D-глюкозамін) і має склад елементарної ланки  $C_5H_5(OH)(NH_2)CH_2(OH)$ . Молекулярна маса становить  $(5-15) \cdot 10^4$ . Добре розчиняється в органічних кислотах. Аміногрупа надає хітозану властивостей катіонного поліелектроліту. Лігносульфонові кислоти являють собою тримірний жорстколанцюговий сітчастий полімер, основу якого складають фенілпропанові ядра з фенольними і сульфогрупами. Молекулярна маса аніонних поліелектролітів коливається в межах від  $2 \cdot 10^3$  до  $100 \cdot 10^3$ .

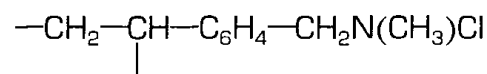
Значно більше застосовують синтетичні високомолекулярні флокулянти (ВМФ), які поділяють на неіонні, аніонні та катіонні. Найпоширенішим є поліетиленоксид (ПЕО) зі складом елементарної ланки  $-CH_2-CH_2-O-$ . Він має молекулярну масу від  $4 \cdot 10^4$  до  $5 \cdot 10^7$ , найчастіше  $M > 10^6$ . Відомі аналоги ПЕО з  $M < 4 \cdot 10^4$ . Флокулянт змішується з водою в будь-яких співвідношеннях, добре розчиняється у більшості органічних розчинників. Під час нагрівання водного розчину ПЕО понад  $100^\circ C$  полімер осаджується. Він також висолюється солями типу KCl. У разі тривалого зберігання розчинів ПЕО, ультрафіолетового опромінювання, нагрівання та інтенсивного перемішування, ультразвукової обробки, дії окисників (хлору, озону, кисню), а також при наявності іонів Купруму, Феруму або Алюмінію відбувається деструкція йонів полімеру. Розчини ПЕО стабілізують додаванням 0,2–0,5 % оксихіноліну, а також етилового, ізопропілового або алілового спиртів.

Одним з найпоширеніших аніонних флокулянтів є поліакриламід (ПАА). Він являє собою полімер акриламідру  $-CH_2-CH-CONH_2$  з молекулярною масою  $(1-6) \cdot 10^6$ . Поліакриламідні флокулянти виготовляють переважно у вигляді гелю з масовою часткою полімеру 7–11 %, рідше – у вигляді гранул з масовою часткою основної речовини 82–98 % (ПАА-ГС – поліакриламід гранульований сульфатний). Поліакриламід гідролізується водою, лугами, кислотами з утворенням акрилової кислоти та її солей. У практиці широко застосовують гідролізовані поліакриламідні (ГПАА), що являють собою співполімери акриламідру з акрилатами при вмісті останніх понад 20 %. До аніонних флокулянтів належать також гідролізований поліакрилонітрил (гіпан), співполімери акриламідру, акрилонітрилу та акрилатів, а також метасол, полістиролсульфо кислота та ін.

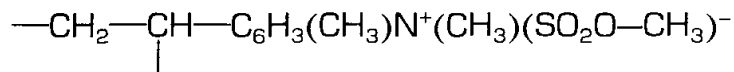
До катіонних флокулянтів належать поліетиленімін (ПЕІ), четвертинні амонієві солі на основі полістиролу, полімер піридинової солі (ППС), полідиметиламіноетилметакрилати (полі-ДМАЕМА), аміфлок, поліаміноалкілові естери метакрилової кислоти, полівінілпіролідони (ПВП) та

ін. Високомолекулярний ПЕІ складається з ланок двох типів:  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}-$  і  $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{NH}_2$ ; має молекулярну масу порядку  $(4-11) \cdot 10^4$ . Він добре розчиняється у воді, спирті, ацетоні та хлороформі. У розбавлених водних розчинах поступово розкладається з виділенням аміаку і деструкцією макромолекул. З солями Купруму, Цинку, Кобальту, Ніколу, Плюмбуму та деяких інших металів ПЕІ утворює інтенсивно забарвлені міцні комплексні сполуки. Він взаємодіє з білками, полівінілсульфо кислотою, поліметакрилатом натрію, карбоксиметилцелюлозою та іншими водорозчинними сполуками, що містять кислотні групи, з утворенням не розчинних у воді полімер-полімерних комплексів.

Четвертинні амонієві солі на основі полістиролу (ВПК і ВА) з елементарною ланкою



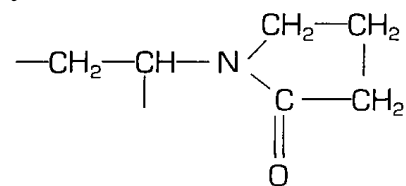
мають молекулярну масу в межах  $5 \cdot 10^4-5 \cdot 10^5$ . Склад елементарної ланки флокулянту ППС



Він добре розчиняється у воді і метиловому спирті, слабо – в етиловому спирті.

Полі-ДМАЕМА являє собою сіль третинного аміну з елементарною ланкою складу  $-\text{CH}_2-\text{C}(\text{CH}_3)\text{COOC}_2\text{H}_4\text{N}(\text{CH}_3)_2 \cdot \text{HCl}$ . Має молекулярну масу порядку  $(1,2-1,5) \cdot 10^6$ . Розчиняється у воді, ацетоні, метиловому і бутиловому спиртах. У розбавлених розчинах на світлі, при наявності йонів Феруму, карбонатів і силікатів, а також під час нагрівання понад  $25^\circ\text{C}$  відбувається деструкція полімеру.

Аміфлок є співполімером метакриламідів і діетиламіноетилметакрилату у співвідношенні 65:35. Флокулянт ПВП має склад елементарної ланки



Він має молекулярну масу  $10^4-3 \cdot 10^5$ . Добре розчиняється у воді, спиртах, етиленгліколі, гліцерині, амінах, хлороформі та інших розчинниках.

### 3. Визначення необхідної дози коагулянту та флокулянту

Згідно з [2] марку і вид реагентів, розрахункові дози реагентів слід встановлювати на основі попередніх досліджень відповідно з їх характеристиками для різних періодів року залежно від якості вихідної води та коригувати в період налагодження та експлуатації споруд. При цьому потрібно враховувати допустимі їх залишкові концентрації в обробленій воді, які передбачені санітарними нормами і правилами та технологічними вимогами. Всі реагенти, які застосовують для приготування питної води повинні бути дозволені Міністерством охорони здоров'я України.

*Дозу коагулянту*,  $D_K$ , мг/дм<sup>3</sup>, в розрахунку на  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$  (за безводною речовиною) допускається приймати при обробці:

- каламутних вод – відповідно до [2, табл. 15] (дод. Е);
- забарвлених вод – за формулою

$$D_K = 4\sqrt{3ab}, \quad (4.1)$$

де  $3ab$  – забарвленість оброблюваної води, град.

*При одночасному вмісті у воді завислих речовин і забарвленості приймається більша з доз коагулянту, визначених за таблицею 15 [2] і формулою (4.1).*

Для покращення процесів коагулювання забруднень та їх видалення з води рекомендується застосовувати **органічні та неорганічні флокулянти**. Порядок введення флокулянтів у воду, їх вид та дози слід встановлювати на основі результатів технологічних досліджень. Для орієнтовних розрахунків, при використанні органічного флокулянту (поліакриламід) доза його за безводним продуктом:

- при введенні перед відстійниками або прояснювачами із завислим осадом – 0,20–1,5 мг/дм<sup>3</sup>;
- при введенні перед фільтрами в схемах з відстоюванням (прояснення в шарі завислого осаду) і фільтруванням – 0,05–0,015 мг/дм<sup>3</sup>;
- при введенні перед фільтрами в схемах з одноступеневим фільтруванням – 0,20–0,60 мг/дм<sup>3</sup>.

При використанні неорганічного флокулянту – активованої кремнієвої кислоти (за  $SiO_2$ ) доза її за безводним продуктом:

- при введенні перед відстійниками або прояснювачами із завислим осадом для води з температурою понад 5–7 °С – 2–3 мг/л, з температурою менше ніж 5–7 °С – 3–5 мг/л;
- при введенні перед фільтрами при двоступеневому очищенні – 0,2–0,5 мг/л;
- при введенні перед контактними прояснювачами або фільтрами при одноступеневому очищенні, а також перед префільтрами – 1–3 мг/л.

#### ***Завдання до теми 4***

1. Визначте дозу коагулянту, якщо відомі результати аналізу води: каламутність 320 НОК, забарвленість 70 град. пкш, температура 18 °С, окисність 6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

2. Визначте дозу коагулянту в схемі очищення воді з контактними прояснювачами, якщо відомі результати аналізу води: каламутність 95 мг/дм<sup>3</sup>, забарвленість 60 град. пкш, температура 20 °С, окисність 4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>.

## ЗМ 3 ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ КОРИГУВАННЯ ІОННОГО СКЛАДУ ВОДИ

### Тема 5 Розрахункові параметри апаратів коригування іонного складу води

#### *1. Розрахунок адсорбційних апаратів.*

Залежно від дисперсного складу адсорбенту принципові конструкції адсорберів можна підрозділити на такі типи:

I – адсорбер з нерухомим або рухомим завантаженням, через яке водний потік фільтрується або низхідним потоком зі швидкістю до 20 м/год, або висхідним – з швидкістю до 12 м/год; застосовують для фракцій 0,8–5 мм;

II – адсорбер з псевдозрідженим завантаженням, розширення шару якого здійснюється не менше чим на 50 % висхідним потоком води із швидкістю 10–40 м/год; застосовують для фракцій 0,25–2,5 мм;

III – адсорбери-змішувачі застосовують для фракцій 0,05–0,5 мм;

IV – патронні адсорбери з фільтруванням води із швидкістю 1–12 м/год через шар адсорбенту завтовшки 0,5–2 см; застосовують для фракцій 0,02–0,1 мм.

Адсорбери I типу можуть застосовуватися для очищення будь-яких об'ємів стічних вод найширшого спектру концентрації і хімічної будови витягуваних домішок.

Якщо вичерпання ємкості адсорбенту відбувається на короткому шарі завантаження (за рахунок високої ефективності адсорбції або малої концентрації адсорбату) і процес можна перервати на період зміни завантаження або її регенерації, то вся висота завантаження, використовувана для адсорбції, розміщується в одному адсорбері.

Якщо необхідна висота завантаження більше розмірів одного адсорбера або процес не може уриватися, то використовують декілька послідовно працюючих адсорберів, або порційний (дискретний або безперервний) вивід з адсорбера відпрацьованого адсорбенту.

У тих випадках, коли витрата води перевищує допустимий для одного адсорбера або необхідний ступінь очищення можна забезпечити за рахунок змінення потоків, що поступають з адсорберів з різною ефективністю роботи, встановлюють паралельно працюючі адсорбери.

Адсорбери II типу найдоцільніше застосовувати для очищення невеликих об'ємів стічних вод з забрудненнями, які добре сорбуються.

Адсорбери III типу ефективно використовувати для очищення невеликих об'ємів висококонцентрованих стічних вод, а адсорбери IV типу – для очищення невеликих об'ємів низькоконцентрованих стічних вод (5–10 мг/л витягуваних домішок).

### Адсорбери з щільним шаром завантаження активного вугілля

Як адсорбери належить застосовувати конструкції безнапірних відкритих і напірних фільтрів із завантаженням у вигляді щільного шару гранульованого вугілля крупністю 0,8–5 мм.

Вміст завислих речовин в стічних водах, що поступають на адсорбери, не повинен перевищувати 5 мг/л.

Площа завантаження адсорбційної установки

$$F_{\text{ads}} = \frac{q_w}{v}, \text{ м}^2, \quad (5.1)$$

де  $q_w$  – середньогодинна витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год;

$v$  – швидкість потоку, що приймається не більше 12 м/год.

При виключенні одного адсорбера швидкість фільтрування на останніх не повинна збільшуватися більш ніж на 20 %.

Кількість послідовно працюючих адсорберів

$$N_{\text{ads}} = \frac{H_{\text{tot}}}{H_{\text{ads}}}, \quad (5.2)$$

де  $H_{\text{ads}}$  – висота сорбційного завантаження одного фільтру, м, що приймається конструктивно;

$H_{\text{tot}}$  – загальна висота сорбційного шару, м, визначувана за формулою

$$H_{\text{tot}} = H_1 + H_2 + H_3, \text{ м}, \quad (5.3)$$

де  $H_1$  – висота сорбційного шару, м, в якому за період  $t_{\text{ads}}$  (між промиваннями) адсорбційна ємкість сорбенту вичерпується до ступеня  $K$ ; розраховується за формулою

$$H_1 = \frac{D_{\text{sb}}^{\text{min}} \cdot q_w \cdot t_{\text{ads}}}{F_{\text{ads}} \cdot \gamma_{\text{sb}}}, \text{ м}, \quad (5.4)$$

де  $\gamma_{\text{sb}}$  – насипна вага активного вугілля; приймається за довідковими даними;

$D_{\text{sb}}^{\text{min}}$  – мінімальна доза активного вугілля, г/л, вивантажуваного з адсорбера при коефіцієнті вичерпання ємкості  $K_{\text{sb}}$ , визначувана за формулою

$$D_{\text{sb}}^{\text{min}} = \frac{C_{\text{en}} - C_{\text{ex}}}{K_{\text{sb}} \cdot a_{\text{sb}}^{\text{max}}}, \text{ г/л}, \quad (5.5)$$

де  $C_{\text{en}}, C_{\text{ex}}$  – концентрації речовини до і після очищення, мг/л;

$K_{\text{sb}}$  – приймається рівним 0,6–0,8;

$a_{\text{sb}}^{\text{max}}$  – максимальна сорбційна ємкість активного вугілля, мг/л, визначувана експериментально;

$H_2$  – висота завантаження сорбційного шару, що забезпечує роботу установки до концентрації  $C_{ex}$  протягом часу  $t_{ads}$ ; приймається за умовами експлуатації, і визначається за формулою

$$H_2 = \frac{D_{sb}^{max} \cdot q_w \cdot t_{ads}}{F_{ads} \cdot \gamma_{sb}}, \text{ м}, \quad (5.6)$$

де  $D_{sb}^{max}$  – максимальна доза активного вугілля, г/л, визначається за формулою

$$D_{sb}^{max} = \frac{C_{en} - C_{ex}}{a_{sb}^{min}}, \text{ г/л}, \quad (5.7)$$

де  $a_{sb}^{min}$  – мінімальна сорбційна ємність активного вугілля, мг/г, визначається експериментально;

$H_3$  – резервний шар сорбенту, розрахований на тривалість роботи установки протягом часу перевантаження або регенерації шару сорбенту заввишки  $H_1$ , м.

Втрати натиску в шарі гранульованого вугілля при крупності частинок завантаження 0,8–5 мм належить приймати не більше 0,5 м на 1 м шару завантаження.

Вивантаження активного вугілля з адсорбера слід передбачати насосом, гідроелеватором, ерліфтом і шнеком при відносному розширенні завантаження на 20–25 %, створюваному висхідним потоком води із швидкістю 40–45 м/год.

У напірних адсорберах допускається передбачати вивантаження вугілля під тиском не менше 0,3 МПа (3 кгс/см<sup>2</sup>).

Металеві конструкції, трубопроводи, арматура і ємкості, дотичні з вологим вугіллям, мають бути захищені від корозії.

## **2. Розрахунок іонообмінної установки**

Na-катіонування застосовують для пом'якшення *підземної води* з каламутністю не більше 5–8 мг/л і окисністю не більше 15 мг/л  $O_2$  і для *попередньо обробленої* води (коагуляцією, вапнуванням, проясненням).

Під час Na-катіонування з води видаляються катіони  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ , а у воду надходять іони  $Na^+$ , аніонний склад води під час Na-катіонування не змінюється.

Після одноступеневого Na-катіонування можна отримати воду із залишковою твердістю до 0,1 мг-екв/л, а для більш глибокого пом'якшення (із залишковою твердістю 0,01–0,02 мг-екв/л) застосовують двоступеневе Na-катіонування.

Даний метод обробки води застосовують, якщо загальна твердість води не перевищує 10 мг-екв/л. Після натрій-катіонування можна застосовувати корекційні методи обробки води (нітратування, амінування та інші).

Вихідними даними для розрахунку є потужність установки (із врахуванням води на власні потреби подальших етапів обробки, тому для багатоступеневої схеми ВПУ технологічні розрахунки ведуть, починаючи з хвостових апаратів), загальна твердість води і залишкова твердість фільтрату.

Порядок розрахунку Na-катіонітових фільтрів I ступеня:

1. Необхідний об'єм катіоніту  $W_k$ , м<sup>3</sup>, у фільтрах першого ступеня

$$W_k = \frac{24 \cdot Q_{Na} \cdot T_{заг}}{n \cdot E_p^{Na}}, \quad (5.8)$$

де  $Q_{Na}$  – потужність Na- катіонітових фільтрів, м<sup>3</sup>/год;

$T_{заг}$  – загальна твердість води, що поступає на фільтри, г-екв/м<sup>3</sup> (мг-екв/л) (на натрій-катіонітові фільтри першого ступеня може надходити вода з твердістю, яка дорівнює твердості природної води, або частково пом'якшена після попередньої обробки, тоді вона розраховується за відповідними формулами. На Na-катіонування другого ступеня надходить вода з твердістю 0,1 мг-екв/л);

$n$  – число регенерацій кожного фільтра за добу, яке попередньо приймають в межах від однієї до трьох;

$E_p^{Na}$  – робоча обмінна ємність катіоніта, г-екв/м<sup>3</sup>

$$E_p^{Na} = \alpha_{Na} \cdot \beta_{Na} \cdot E_{пов} - 0,5 \cdot q_{II} \cdot T_{заг}, \quad (5.9)$$

де  $\alpha_{Na}$  – коефіцієнт ефективності регенерації натрій-катіоніта, який залежить від питомої витрати солі на регенерацію;

$\beta_{Na}$  – коефіцієнт, що враховує зменшення обмінної здатності катіоніту по Ca<sup>2+</sup> і Mg<sup>2+</sup> за рахунок часткового затримання катіонів Na<sup>+</sup>. Цей коефіцієнт залежить від співвідношення  $C_{Na}^2/T_{заг}$  (де  $C_{Na}$  – концентрація натрію у воді, мг-екв/л);

$q_{II}$  – питома витрата води на відмивання катіоніта, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

0,5 – доля пом'якшення відмивочної води;

$E_{нов}$  – повна обмінна ємність катіоніта, г-екв/м<sup>3</sup>.

2. Необхідна площа катіонітових фільтрів першого ступеня  $F_k$ , м<sup>2</sup>

$$F_k = \frac{W_k}{H}, \quad (5.10)$$

де  $H$  – висота шару катіоніта, м, приймають від 2 до 2,5 м (більшу висоту завантаження слід приймати, якщо твердість води перевищує 10 мг-екв/л).

3. За необхідною площею підбирають потрібну кількість і розміри стандартних фільтрів, які випускаються промисловістю, так щоб сумарна площа фільтрування була рівною або перевищувала необхідну:  $\sum f_{Na} \geq F_k$ .

Кількість катіонітових фільтрів першого ступеня приймають: робочих – не менше двох, резервний – один. Під час проектування рекомендовано приймати фільтри більших типорозмірів, із тим щоб кількість фільтрів була меншою. У двоступеневих схемах водопідготовки передбачають можливість роботи фільтра другого ступеня в якості фільтра першого ступеня.

4. Для підібраних фільтрів перевіряють швидкість фільтрування:

– нормальну – під час роботи усіх фільтрів, м/год:

$$w'_H = \frac{Q_{Na}}{f_{Na} \cdot a} \leq w_H; \quad (5.11)$$

– максимальну – під час регенерації одного з фільтрів, м/год:

$$w'_{\text{макс}} = \frac{Q_{Na}}{f_{Na} \cdot (a-1)} \leq w_{\text{макс}}, \quad (5.12)$$

де  $w_H$  і  $w_{\text{макс}}$  – відповідно нормальна і максимальна швидкості фільтрування, м/год, приймають залежно від твердості води, яка поступає на фільтр;

$Q_{Na}$  – потужність Na-катіонітових фільтрів, м<sup>3</sup>/год;

$f_{Na}$  – площа фільтрування натрій-катіонітового стандартного фільтра, м<sup>2</sup>;

$a$  – кількість працюючих фільтрів, приймають не менше двох, окрім резервного, який в розрахунку не враховується.

5. Кількість солей твердості, г-екв/доб, які видаляються за добу на натрій-катіонітових фільтрах

$$A = 24 \cdot T_{\text{заг}} \cdot Q_{Na}, \quad (5.13)$$

6. Кількість регенерацій кожного фільтра за добу

$$n = \frac{A}{f_{Na} \cdot H \cdot E_p^{Na} \cdot a}. \quad (5.14)$$

7. Регенерацію катіоніта виконують технічною кухонною сіллю. Витрата 100 %-ної солі на одну регенерацію натрій-катіонітового фільтра, кг

$$Q_c^{Na} = \frac{E_p^{Na} \cdot f_{Na} \cdot H \cdot q_c}{1000}, \quad (5.15)$$

де  $q_c$  – питома витрата солі на регенерацію, г/г-екв.

8. Витрата технічної солі за добу, кг/доб

$$Q_{\text{т.с}} = \frac{Q_c^{Na} \cdot n \cdot a \cdot 100}{p}, \quad (5.16)$$

де  $p$  – вміст солі в технічному продукті, %, для харчової солі другого сорту  $p = 96,5$  %.

9. Витрати води на регенерацію Na-катіонітового фільтра складаються з витрат води на розпушення фільтра, приготування регенераційного розчину, відмивання катіоніта від продуктів регенерації й надлишку солі.

– Розпушення шару катіоніта необхідне для усунення злежування й видалення подрібнених частинок катіоніта. Витрата води на одне розпушення, м<sup>3</sup>

$$Q_{\text{роз}} = \frac{i \cdot f_{Na} \cdot 60 \cdot t_{\text{роз}}}{1000}, \quad (5.17)$$

де  $i$  – інтенсивність розпушення фільтра, л/(с·м<sup>2</sup>);

$t_{\text{роз}}$  – тривалість розпушення, хв.

– Витрата води на приготування регенераційного розчину солі  $Q_{\text{р.р}}$ , м<sup>3</sup>

$$Q_{\text{р.р}} = \frac{Q_c^{Na} \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{\text{р.р}}}, \quad (5.18)$$



де  $b$  – концентрація регенераційного розчину, %;

$\rho_{p.p}$  – густина регенераційного розчину, т/м<sup>3</sup>, приймають залежно від прийнятої величини  $b$ .

Витрата води на відмивання катіоніта від продуктів регенерації  $Q_B$ , м<sup>3</sup>

$$Q_B = q_{\text{п}} \cdot f_{\text{Na}} \cdot H, \quad (5.19)$$

де  $q_{\text{п}}$  – питома витрата води на відмивання катіоніта, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Витрата води на одну регенерацію фільтра, м<sup>3</sup>, без використання промивної води (тобто води після відмивання катіоніта від продуктів регенерації) на розпушування фільтра

$$Q'_{\text{влас}} = Q_{\text{роз}} + Q_{p.p} + Q_B. \quad (5.20)$$

Витрата води на одну регенерацію фільтра, м<sup>3</sup>, із використанням промивної води для розпушування фільтра

$$Q''_{\text{влас}} = Q_{p.p} + Q_B. \quad (5.21)$$

10. Середньогодинна витрата води на власні потреби Na-катіонітового фільтра  $Q_{\text{влас}}^{\text{ГОД}}$ , м<sup>3</sup>/год.

$$Q_{\text{влас}}^{\text{ГОД}} = \frac{Q_{\text{влас}} \cdot a \cdot n}{24}. \quad (5.22)$$

11. Час між регенераціями фільтра, год

$$T_{\text{Na}} = \frac{24}{n} - \frac{t_{\text{рег}}^{\text{Na}}}{60}, \quad (5.23)$$

де  $t_{\text{рег}}^{\text{Na}}$  – час регенерації фільтра, хв

$$t_{\text{рег}}^{\text{Na}} = t_{\text{роз}} + t_{p.p} + t_B, \quad (5.24)$$

де  $t_{\text{роз}}$  – тривалість розпушення, хв;

$t_{p.p}$  – час пропускання регенераційного розчину крізь фільтр, хв

$$t_{p.p} = \frac{Q_{p.p} \cdot 60}{w_{p.p} \cdot f_{\text{Na}}}, \quad (5.25)$$

де  $w_{p.p}$  – швидкість пропускання регенераційного розчину, м/год;

$t_B$  – час відмивання від продуктів регенерації, хв

$$t_B = \frac{Q_B \cdot 60}{w_B \cdot f_{\text{Na}}}, \quad (5.26)$$

де  $w_B$  – швидкість відмивання, м/год.

12. Кількість фільтрів, що одночасно регенеруються

$$n_{o.p} = \frac{n \cdot a \cdot t_{\text{рег}}^{\text{Na}}}{24}. \quad (5.27)$$

Регенерації будуть співпадати якщо  $n_{o.p} > 1$ . Перевірку на одночасність регенерацій і відповідно поправку у визначенні максимальної швидкості фільтрування слід виконувати, якщо число регенерацій кожного фільтра близько 3 разів на добу й одночасно працює 4 і більше фільтрів.

### Порядок розрахунку Na-катіонітових фільтрів II ступеня

Розрахунок Na-катіонітових фільтрів другого ступеня аналогічний розрахунку фільтрів першого ступеня. На відміну від фільтрів першого ступеня під час розрахунку фільтрів другого ступеня приймають:

- твердість води, яка надходить на фільтр, 0,1 мг-екв/л,
- швидкість фільтрування до 40 м/год,
- висоту шару катіоніту 1,5 м,
- питому витрату солі на регенерацію катіоніту 300–400 г/г-екв,
- концентрацію регенераційного розчину 8–12 %,
- втрату напору 13–15 м,
- робочу обмінну ємність катіоніту 250–300 г-екв/м<sup>3</sup>,
- відмивання катіоніту передбачають фільтратом першого ступеня катіонування.

– твердість фільтрату після другого ступеня Na-катіонітонування приймають рівною 0,01 мг-екв/л.

Для другого ступеня встановлюють два фільтри спеціальної конструкції з меншою висотою фільтруючого шару (1,5 м). На ВПУ малої потужності з метою уніфікації обладнання на обох ступенях встановлюють Na-катіонітові фільтри першого ступеня у кількості не менше чотирьох: із них два працюють як фільтри першого ступеня, один – другого ступеня, один – резервний, який під час регенерації фільтра другого ступеня використовують на другому ступені, а під час ремонту одного з фільтрів – як резервний.

Починають розрахунок фільтрів другого ступеня з того, що приймають робочу обмінну ємність, кількість робочих і резервних фільтрів другого ступеня Na-катіонування. Далі, задаючись швидкістю фільтрування, яка не повинна перевищувати  $w_n \leq 40$  м/год, визначають необхідну площу фільтрування:

$$F_{\text{к}}^{\text{П}} = \frac{Q_{\text{Na}}}{w_n \cdot a}. \quad (5.28)$$

За величиною необхідної площі фільтрування підбирають стандартні фільтри так, щоб їх сумарна площа була рівною або перевищувала необхідну. Потім розрахунок ведуть у тій же послідовності, що й розрахунок фільтрів I ступеня.

### Завдання до теми 5

1). Розрахунок адсорберу з щільним шаром завантаження активного вугілля.

Вихідні дані для розрахунків

1. Середньогодинна витрата очищеної води, м <sup>3</sup> /год	Додаток В
2. Висота сорбційного завантаження одного фільтру, м	0,9
3. Насипна вага активного вугілля	450
4. Коефіцієнт вичерпання ємності сорбенту	0,7
5. Концентрації речовин до очищення, мг/л	Додаток В
6. Концентрації речовин після очищення, мг/л	Додаток В
7. Максимальна та мінімальна сорбційна ємність активного вугілля, мг/л	Додаток В

2). Визначте швидкість фільтрування при нормальному та форсованому режимі на фільтрах розмірами 6×6 м, якщо за добу на іонообмінне очищення надходить 15 000 м<sup>3</sup> води. Згідно нормативів швидкість фільтрування при нормальному режимі не повинна перевищувати 10 м/год.

3). Визначте швидкість фільтрування при нормальному та форсованому режимі на фільтрах діаметром 3 м, якщо за добу на іонообмінне очищення надходить 6 900 м<sup>3</sup> води. Згідно нормативів швидкість фільтрування при нормальному режимі не повинна перевищувати 10 м/год.

4). Визначте об'єм води у м<sup>3</sup>, який витрачають на розпушення двох іонообмінних фільтрів при таких вихідних даних: діаметр кожного фільтру 3 м, інтенсивність розпушення фільтра 4 л/(с·м<sup>2</sup>), тривалість розпушення 15 хв.

## **Тема 6 Розрахункові параметри апаратів та споруд для деструктивного очищення води**

### **1. Розрахунок установок для електрохімічного очищення води**

Апарати для електрохімічного очищення стічних вод можуть бути як з тими, що не піддаються (електролізери), так і з анодами, що піддаються електричному розчиненню (електрокоагулятори).

#### *Розрахунок електролізера для обробки ціанвміщуючих стічних вод*

Для обробки ціанвміщуючих стічних вод належить застосовувати електролізери з анодами, що не піддаються електролітичному розчиненню (графіт, титан з металооксидним покриттям та ін.), і сталевими катодами.

Електролізери слід застосовувати при витраті стічних вод до 10 м<sup>3</sup>/год і вихідній концентрації ціанідів не менше 100 мг/л.

Корпус електролізера повинен бути захищений зсередини матеріалами, стійкими до дії хлору і його кисневих сполук, обладнаний вентиляційним пристроєм для видалення газоподібного водню, що виділяється.

Величину робочого струму при роботі електролізерів безперервної і періодичної дії визначають за формулою

$$I_{\text{cur}} = \frac{2,06 \cdot C_0 \cdot W}{\eta \cdot t}, \text{ А}, \quad (6.1)$$

де 2,06 – коефіцієнт питомої витрати електрики, А/год г;

$C_0$  – початкова концентрація забруднюючої речовини в оброблюваній воді, г/м<sup>3</sup>;

$W$  – об'єм води, що обробляють в апараті, м<sup>3</sup>:

$$W = q \cdot t, \text{ м}^3, \quad (6.2)$$

де  $q$  – витрата оброблюваної води, м<sup>3</sup>/год;

$t$  – час перебування води в апараті, год;

$\eta$  – вихід за струмом;  $\eta = 0,6-0,8$ .

Тоді

$$I_{\text{cur}} = \frac{2,06 \cdot C_0 \cdot (q \cdot t)}{\eta \cdot t} \text{ або } I_{\text{cur}} = \frac{2,06 \cdot C_0 \cdot q}{\eta}. \quad (6.3)$$

Загальну робочу поверхню анодів визначають за формулою

$$f_{\text{an}} = \frac{I_{\text{cur}}}{i_{\text{an}}}, \text{ м}^2, \quad (6.4)$$

де  $i_{\text{an}}$  – анодна щільність струму; приймають 100–150 А/м<sup>2</sup>.

Як аноди слід прийняти до установки плити з графіту розміром 1 000 × 180 × 50 мм. Площа однієї сторони плити рівна 1·0,18 = 0,18 м<sup>2</sup>. З урахуванням роботи обох сторін плити загальна поверхня електроду дорівнює  $f'_{\text{an}} = 0,18 \cdot 2 = 0,36 \text{ м}^2$ .

Загальну кількість анодів з графіту, що поміщають в один електролізер, визначають за формулою

$$N = \frac{f_{\text{an}}}{f'_{\text{an}}}. \quad (6.5)$$

Кількість катодів слід прийняти більшим на 1.

*Розрахунок електрокоагулятора періодичної дії з алюмінієвими електродами для очищення маслемульсійних стічних вод*

Електрокоагулятори з алюмінієвими пластинчастими електродами слід застосовувати для очищення концентрованих маслорозносячих стічних вод, що утворюються при обробці металів, з концентрацією масел не більше 10 г/л.

При обробці стічних вод з вищим вмістом масел необхідне попереднє розбавлення переважно кислими стічними водами. Залишкова концентрація масел в очищених стічних водах повинна бути не більше 25 мг/л.

Робочий об'єм коагулятора (відповідно, об'єм оброблюваної води в ньому)

$$W = q \cdot t, \text{ м}^3, \quad (6.6)$$

де  $q$  – витрата оброблюваної води, м<sup>3</sup>/год;

$t$  – час перебування води в апараті, год (загальний, з урахуванням обробки, наливання й зливу стічних вод в апарат).

Загальна витрата електрики, необхідної для оброблюваного об'єму стічних вод

$$Q_{\text{cur}} = W \cdot q_{\text{cur}}, \text{ Агод}, \quad (6.7)$$

де  $q_{\text{cur}}$  – питома витрата електрики, Агод/м<sup>3</sup>, приймають згідно із таблицею 6.1.

Таблиця 6.1 – Питома витрата електрики

Параметр	Вміст масел, г/м <sup>3</sup>						
	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000	8 000
$q_{\text{cur}}$	315	360	405	430	495	540	720

Величину робочого струму визначають за формулою

$$I_{\text{cur}} = \frac{Q_{\text{cur}}}{t_1}, \text{ А}, \quad (6.8)$$

де  $t_1$  – тривалість електрокоагуляційної обробки, год.

Загальну робочу поверхню електродів визначають за формулою

$$f = \frac{I_{\text{cur}}}{i}, \text{ м}^2, \quad (6.9)$$

де  $i$  – електродна щільність струму  $i = 80\text{--}120 \text{ А/м}^2$ .

Загальний об'єм електродів

$$W_{\text{ек}} = f \cdot \delta, \text{ м}^3, \quad (6.10)$$

де  $\delta$  – товщина електродних пластин, м.

Загальна маса електродів

$$M_{\text{ек}} = W_{\text{ек}} \cdot \rho_{\text{Al}}, \text{ т}, \quad (6.11)$$

де  $\rho_{\text{Al}}$  – щільність алюмінію  $\rho_{\text{Al}} = 2,7 \text{ т/м}^3$ .

Приймаємо кількість електродних блоків  $n_{\text{bl}}$  за умови, що маса одного не повинна перевищувати 50 кг Тоді маса одного блоку буде

$$m_{\text{ек}} = \frac{M_{\text{ек}}}{n_{\text{bl}}}, \text{ кг}. \quad (6.12)$$

Об'єм рідини в міжелектродному просторі всіх блоків

$$W_{\text{ж}} = f \cdot b, \text{ м}^3, \quad (6.13)$$

де  $b$  – міжелектродна відстань, м.

Об'єм одного електродного блоку

$$W_{\text{bl}} = \frac{W_{\text{ек}} + W_{\text{ж}}}{n_{\text{bl}}}, \text{ м}^3. \quad (6.14)$$

Форму блоку слід умовно приймати кубічною.

Довжину ребра блоку визначають за формулою

$$l_{\text{bl}} = \sqrt[3]{W_{\text{bl}}}, \text{ м}. \quad (6.15)$$

Кількість електродів в одному блоці

$$n_{\text{ек}} = \frac{l_{\text{bl}}}{\delta + b}. \quad (6.16)$$

Приймаємо кількість електродів непарним (анооди + катооди). З урахуванням відстані між блоками  $l'_{\text{bl}} = 0,07 \text{ м}$  загальна довжина електрокоагулятора

$$L_e = n_{\text{bl}} \cdot l_{\text{bl}} + l'_{\text{bl}}, \text{ м}. \quad (6.17)$$

Ширина електрокоагулятора

$$B_e = l_{\text{bl}} + 2 \cdot l'_{\text{bl}}, \text{ м}. \quad (6.18)$$

Висота верхньої кромки електродів

$$h_1 = l_{bl} + l'_{bl}, \text{ м.} \quad (6.19)$$

На рівні верхньої кромки електродів об'єм рідини

$$W_1 = L_e \cdot B_e \cdot h_1 - W_{ek}, \text{ м}^3. \quad (6.20)$$

Висота шару рідини над електродами

$$h_2 = \frac{W - W_{ek}}{L_e \cdot B_e}, \text{ м.} \quad (6.21)$$

Загальна висота шару рідини в електрокоагуляторі

$$h_e = h_1 + h_2, \text{ м.} \quad (6.22)$$

Повну висоту електрокоагулятора  $H_e$  приймають на підставі розрахованої загальної висоти шару рідини і з урахуванням деякого запасу висоти для розміщення піногінного пристрою.

Таким чином, розраховують загальні розміри електрокоагулятора: довжину –  $L_e$ , ширину –  $B_e$ , висоту –  $H_e$ . Знаючи ці параметри, можна обчислити загальний об'єм електрокоагулятора  $W_e$ .

*Розрахунок електрокоагулятора із сталевими електродами для очищення хромвміщуючих стічних вод*

Електрокоагулятори із сталевими електродами слід застосовувати для очищення стічних вод підприємств різних галузей промисловості від шестивалентного хрому та інших металів при витраті стічних вод не більше 50 м<sup>3</sup>/год, концентрації шестивалентного хрому до 100 мг/л, початковому загальному вмісті іонів кольорових металів до 100 мг/л, при концентрації кожного з іонів металів до 30 мг/л, мінімальному загальному солевмісті стічної води 300 мг/л, концентрації завислих речовин до 50 мг/л.

Корпус електрокоагулятора повинен бути захищений зсередини кислотостійкою ізоляцією і обладнаний вентиляційним пристроєм.

Величина робочого струму за наявності в стічних водах одного компоненту визначається за формулою

$$I_{cur} = q \cdot C_0 \cdot q_{cur}, \text{ А,} \quad (6.23)$$

де  $q$  – продуктивність апарату (витрата оброблюваних стічних вод), м<sup>3</sup>/год;

$C_0$  – початкова концентрація компоненту, що видаляється, в стічних водах, мг/л;

$q_{cur}$  – питома витрата електрики, необхідна для видалення із стічних вод 1 г іона металу, А·год/г; при видаленні 1 г шестивалентного хрому необхідно 3,1 А·год/г.

Для установки необхідно приймати випрямляч, що виробляє струм величиною до 1 600 А при максимальній напрузі до 12 В.

Загальна поверхня анодів:

$$f_{ek} = \frac{I_{cur}}{i_{an}}, \text{ м}^2, \quad (6.24)$$

де  $i_{an}$  – анодна щільність струму, А/м<sup>2</sup>;  $i_{an}=150$  А/м<sup>2</sup>.

Розміри однієї електродної пластини (і катодної, і анодної) слід прийняти такими: ширина  $b = 300$  мм, робоча висота  $h = 600$  мм; тоді робоча поверхня однієї сторони пластини  $0,3 \cdot 0,6 = 0,18$  м<sup>2</sup>, а загальна поверхня електроду з урахуванням роботи обох сторін  $f'_{ek} = 2 \cdot 0,18 = 0,36$  м<sup>2</sup>.

Загальна кількість електродних пластин

$$n_{\text{э}} = \frac{f_{ek}^{\text{an}} + f_{ek}^{\text{kat}}}{f'_{ek}} = \frac{2 \cdot f_{ek}}{f'_{ek}}. \quad (6.25)$$

Приймають за розрахунковими даними кількість електродів. Загальна кількість електродних пластин в одному електродному блоці повинна бути не більше 30. З урахуванням цієї вимоги приймають кількість блоків і електродів в них.

Робочий об'єм одного електродного блоку електрокоагулятора

$$W_{ek} = f_{ek} \cdot b', \text{ м}^3, \quad (6.26)$$

де  $b'$  – відстань між електродами  $b' = 0,008$  м.

Час перебування стічних вод в міжелектродному просторі

$$t = \frac{W_{ek}}{q}, \text{ год.} \quad (6.27)$$

Витрата металевого заліза для обробки стічних вод визначається за формулою

$$Q_{Fe} = \frac{q \cdot 24 \cdot C_0 \cdot q_{Fe}}{1000 \cdot K_{ek}}, \text{ кг/доб}, \quad (6.28)$$

де  $q_{Fe}$  – питома витрата металевого заліза для видалення 1 г забруднюючої речовини із стічної води, г;  $q_{Fe} = 2-2,5$  г;

$K_{ek}$  – коефіцієнт використання матеріалу електродів; залежно від товщини електродних пластин приймають в межах 0,6–0,8.

## **2. Основи розрахунку споруд біологічного очищення стічних вод**

Для міських стічних вод за табл. В.4 [3] приймають константи:

- максимальну швидкість окислення  $\rho_{\text{max}} = 85$  мг БСК<sub>повн</sub>/л·год;
- константу, що характеризує властивості забруднень  $K_1 = 33$  БСК<sub>повн</sub>/л;
- константу, що характеризує вплив кисню  $K_O = 0,625$  мг О<sub>2</sub>/л;
- коефіцієнт інгібування  $\phi = 0,07$  л/г;
- зольність активного мула  $s = 0,3$ .

Приймають концентрацію розчиненого кисню  $C_O$ , дозу активного мула в аеротенку  $a_1$  і початкове значення мулового індексу  $J_1$ .

Розраховують ступінь рециркуляції активного мула

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{J_i}{1000} - a_i} \quad (6.29)$$

Розраховане значення  $R_i$  має бути не менше 0,3 для відстійників з мулососами, 0,4 – з мулоскребами, 0,6 – при самопливному видаленні мула. Якщо значення менше мінімальної величини, то ступінь рециркуляції приймається рівній мінімальній величині.

Визначають БСК<sub>повн</sub> стічної води, що поступає в аеротенк, з урахуванням розбавлення рециркуляційною витратою  $L_{mix}$

$$L_{mix} = \frac{L_{en} + L_{ex} \cdot R_i}{1 + R_i}, \text{ мгО}_2/\text{л} \quad (6.30)$$

Розраховують тривалість обробки води в аеротенку

$$t_{atv} = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_{mix}}{L_{ex}}, \text{ год} \quad (6.31)$$

Розраховують дозу активного мула в регенераторі

$$a_r = a_i \cdot \left( \frac{1}{2 \cdot R_i} + 1 \right), \text{ г/л} \quad (6.32)$$

Розраховують питому швидкість окислення  $\rho$  при дозі активного мула  $a_r$

$$\rho = \rho_{max} \cdot \frac{L_{ex} \cdot C_O}{L_{ex} \cdot C_O + K_1 \cdot C_O + K_O \cdot L_{ex}} \cdot \frac{1}{1 + \varphi \cdot a_i}, \text{ мг БСК}_{повн}/(\text{г} \cdot \text{год}), \quad (6.33)$$

де  $\rho_{max}$  – максимальна швидкість окислення органічних забруднень, мгБСК<sub>повн</sub>/(г·год);

$L_{ex}$  – БСК<sub>повн</sub> очищеної стічної води, мг/л;

$C_O$  – концентрація розчиненого кисню, мг/л;

$K_1$  – константа, що характеризує властивості забруднень, мгБСК<sub>повн</sub>/л;

$K_O$  – константа, що характеризує вплив кисню, мг О<sub>2</sub>/л;

$\varphi$  – коефіцієнт інгібування, л/грам.

Визначають загальну тривалість окислення органічних забруднень

$$t_O = \frac{L_{en} - L_{ex}}{R_i \cdot a_r \cdot (1-s)}, \text{ год} \quad (6.34)$$

Визначають тривалість регенерації

$$t_r = t_O - t_{atv}, \text{ год} \quad (6.35)$$

Визначають тривалість перебування в системі аеротенк-регенератор

$$t_{a-r} = (1 + R_i) \cdot t_{atv} + R_i \cdot t_r, \text{ год} \quad (6.36)$$



Розраховують середню дозу активного мула в системі аеротенк-регенератор

$$a_{i \text{ mix}} = \frac{(1 + R_i) \cdot t_{\text{atv}} \cdot a_i + R_i \cdot t_r \cdot a_r}{t_{a-r}}, \text{ г/л.} \quad (6.37)$$

Розраховують навантаження на активний мул

$$q_i = \frac{24 \cdot (L_{\text{en}} - L_{\text{ex}})}{a_{i \text{ mix}} \cdot (1 - s) \cdot t_{a-r}}, \text{ мг БСК}_{\text{повн}}/(\text{г} \cdot \text{добу}). \quad (6.38)$$

Перевіряють відповідність мулового індексу  $J_i$  отриманому навантаженню  $q_i$ . Якщо муловий індекс відрізняється від табличного значення більш ніж на 10 %, розрахунок повторюють знову, приймаючи новий муловий індекс, відповідний навантаженню.

Визначають об'єм аеротенка

$$W_{\text{at}} = q_w \cdot (1 + R_i) \cdot t_{\text{atv}}, \text{ м}^3. \quad (6.39)$$

Визначають об'єм регенератора

$$W_r = q_w \cdot R_i \cdot t_r, \text{ м}^3. \quad (6.40)$$

За загальним обсягом аеротенка і регенератора ( $W_{\text{at}} + W_r$ ) вибирають типовий проєкт аеротенка-вітиснювача.

### 3. Розрахунок дискового заглибного біофільтра

Складаються з дисків діаметром 1–5 м, що збирають в пакети по 30–180 штук, закріплюваних на горизонтальному валу (див. рис. 6.1).

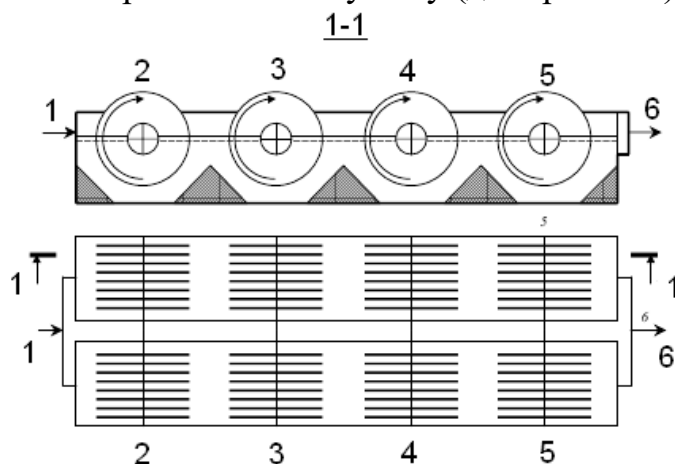


Рисунок 6.1 – Схема дискового заглибного біофільтра:

1 – подача стічних вод; 2, 3, 4, 5 – перший, другий, третій і четвертий ступені біофільтра; 6 – випуск очищених стічних вод

Залежно від БСК<sub>5</sub> стічної води, що надходить, ( $L_{\text{en}}$ ) і очищеної ( $L_{\text{ex}}$ ), а також від середньозимньої температури стічної води  $T_w$  за графіками на рис. 6.2 знаходять припустиме навантаження за БСК<sub>5</sub> на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні дисків за

добу  $M_{df}$  і температурний коефіцієнт  $K_T$  (при температурі  $T_w > 20$  °С коефіцієнт  $K_T = 1$ ).

Визначають загальну площу поверхні дисків  $F_{заг}$

$$F_{заг} = \frac{L_{ен} \cdot Q_w}{M_{df} \cdot K_T}, \text{ м}^2, \quad (6.41)$$

де  $Q_w$  – добова витрата стічної рідини,  $\text{м}^3/\text{доб}$ .

Приймають конструктивно діаметр диска  $D_{df}$ , м, і розраховують його робочу поверхню з обох боків

$$F_{df} = \frac{\pi \cdot D_{df}^2}{2}, \text{ м}^2. \quad (6.42)$$

Визначають необхідну кількість дисків

$$n_{df} = \frac{F_{заг}}{F_{df}}. \quad (6.43)$$

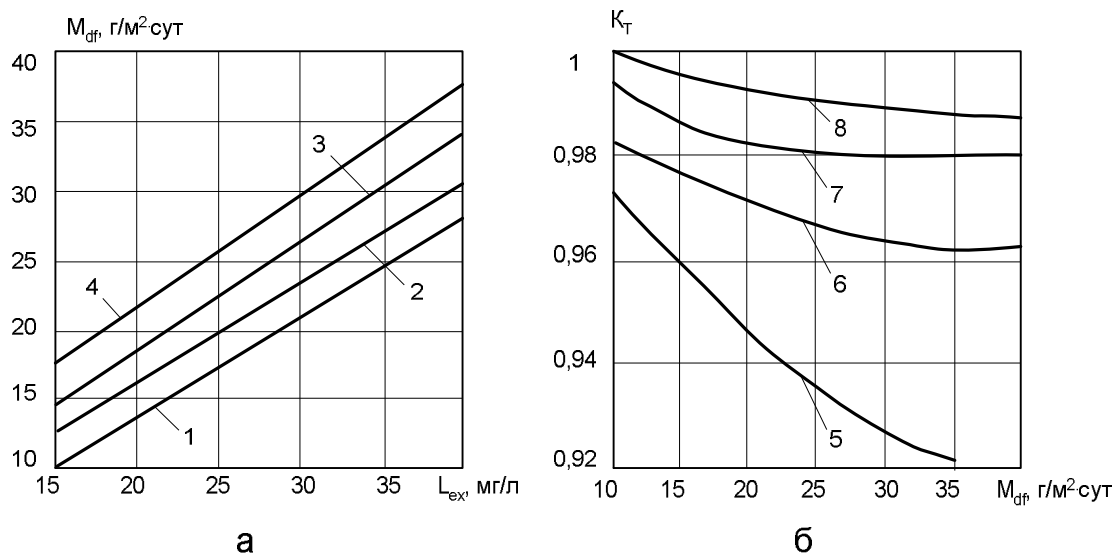


Рисунок 6.2 – Графіки для розрахунку дискових заглибних біофільтрів:  
а – залежність допустимого навантаження за БСК<sub>5</sub> на 1 м<sup>2</sup> площі поверхні дисків за добу  $M_{df}$  від БСК<sub>5</sub> стічної води, що поступає, ( $L_{ен}$ ) і очищеної ( $L_{ex}$ );

б – залежність температурного коефіцієнта  $K_T$  від навантаження  $M_{df}$  і середньозимньої температури стічної води  $T_w$ ;

1 – при  $L_{ен} = 100\text{--}200$  мг/л; 2 – при  $L_{ен} = 200\text{--}300$  мг/л;

3 – при  $L_{ен} = 300\text{--}400$  мг/л; 4 – при  $L_{ен} = 400\text{--}500$  мг/л; 5 – при  $T_w = 7$  °С;

6 – при  $T_w = 10$  °С; 7 – при  $T_w = 13$  °С; 8 – при  $T_w = 16$  °С

Приймають кількість секцій  $n_s$ , ступенів в кожній секції  $n_{ss}$  і визначають кількість дисків в одному ступені:

$$n = \frac{n_{df}}{n_s \cdot n_{ss}}. \quad (6.44)$$

Розраховують ширину секції:

$$B = 0,1 + \delta_1 \cdot n + \delta_2 \cdot (n - 1), \text{ м}, \quad (6.45)$$

де  $\delta_1$  – товщина диска, м, залежить від матеріалу (частіше 1–10 мм);

$\delta_2$  – відстань між дисками, м (приймається 0,015–0,03 м).

Розраховують довжину секції

$$L = n_{SS} \cdot (0,2 + D_{df}), \text{ м.} \quad (6.46)$$

Приймають робочу глибину секції  $H = (0,4 - 0,5) \cdot D_{df}$ , м, частоту обертання валу з дисками  $n_0$ , хв.<sup>-1</sup>, і відстань від нижньої частини дисків до дна секції  $\delta_2 = 0,03 - 0,05$  м.

### **Завдання до теми 6**

1). Розрахунок дискового заглибного біофільтра.

#### **Вихідні дані для розрахунків**

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. Добова витрата стічної рідини, тис. м <sup>3</sup> /добу                     | Додаток Г |
| 2. БСК <sub>5</sub> стічної води, що надходить на очищення, мгО <sub>2</sub> /л | Додаток Г |
| 3. БСК <sub>5</sub> очищеної стічної води, мгО <sub>2</sub> /л                  | Додаток Г |
| 4. Середньозимня температура стічної води, °С                                   | Додаток Г |

2). Розрахунок електролізера для обробки ціанвміщуючих стічних вод.

#### **Вихідні дані для розрахунків**

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. Витрата стічних вод, що поступають на очищення, м <sup>3</sup> /год | Додаток Д |
| 2. Початкова концентрація ціанідів у стічних водах, мг/л               | Додаток Д |
| 3. Тривалість електролізної обробки, хв.                               | 15        |
| 4. Тривалість наливання і зливу стічних вод в апарат, хв.              | 15        |
| 5. Матеріал електродів: аноди – графіт, катоди                         | сталь     |

3). Розрахунок електрокоагулятора періодичної дії з алюмінієвими електродами для очищення маслемульсійних стічних вод.

#### **Вихідні дані для розрахунків**

- |   |           |
|---|-----------|
| 1. Витрата маслемульсійних стічних вод, що надходять на очищення, м <sup>3</sup> /год | Додаток Д |
| 2. Початковий вміст масел в стічних водах, мг/л                                       | Додаток Д |
| 3. Товщина електродних пластин, м   | 0,006     |
| 4. Міжелектродна відстань, м  | 0,02      |
| 5. Тривалість електрокоагуляційної обробки, хв.                                       | 15        |
| 6. Тривалість наливання і зливу стічних вод в апарат, хв.                             | 15        |

Вкажіть параметри розрахованого електрокоагулятора періодичної дії на його схемі (дод. Ж).

4). Розрахунок електрокоагулятора із сталевими електродами для очищення хромвміщуючих стічних вод.

#### **Вихідні дані для розрахунків**

- |  |           |
|--|-----------|
| 1. Витрата хромвміщуючих стічних вод, що поступають на очищення, м <sup>3</sup> /год | Додаток Д |
| 2. Концентрація шестивалентного хрому, мг/л  | Додаток Д |

## 2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

### ЗМ 1 ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

#### Тема 1 СКЛАД, ХАРАКТЕРИСТИКА ДОМІШОК І ЗАБРУДНЕНЬ ПРИРОДНИХ І СТИЧНИХ ВОД

1. Загальні поняття про домішки води.
2. Класифікації природних вод.
3. Показники якості води.
4. Класифікація домішок за фазово-дисперсним станом і орієнтовний вибір процесів і способів (методів) очищення води на її основі.

Природні води є складною багатокомпонентною динамічною системою, до складу якої входять солі, органічні речовини, гази, дисперговані домішки, гідробіонти, бактерії і віруси.

Концентрація окремих домішок у воді визначає її властивості, тобто якість. Розрізняють показники якості води фізичні (температура, завислі речовини, кольоровість, запах, смак та ін.), хімічні (твердість, лужність, активна реакція, окислюваність, сухий залишок та ін.), біологічні (гідробіонти) і бактеріологічні (загальна кількість бактерій, колі-індекс та ін.).

Незадовільні санітарно-бактеріологічні показники води вказують на забруднення водоймища в даний час, тоді як низькі хімічні показники за відсутності бактерійного зараження – на давність забруднення, що відбулося. Отримані одночасно низькі хімічні і незадовільні бактеріологічні показники води свідчать про те, що водоймище має постійне джерело забруднення і що забруднення води відбувалося раніше і продовжується в даний час.

Л. А. Кульським запропонована класифікація домішок води, заснована на їх фазовому стані та дисперсності. Домішки води розділені на чотири групи.

#### *Контрольні питання*

1. Які сполуки входять до складу природної води?
2. Що таке гідравлічна крупність?
3. От чого залежить ступінь забрудненості води?
4. Назвіть основні класифікації природних вод.
5. Які бувають підземні води за ступенем мінералізації?
6. Суть класифікації природних вод по О. А. Алекину.
7. Які розрізняють групи показників якості води?
8. Назвіть і дайте характеристику фізичних показників якості води.
9. Назвіть і дайте характеристику хімічних показників якості води.
10. Назвіть і дайте характеристику біологічних показників якості води.
11. Назвіть і дайте характеристику бактеріологічних показників якості води.
12. Як оцінюється інтенсивність запахів і присмаків води?

13. Дайте характеристику окислюваності води.
14. Основні показники ДСанПіН.
15. Як сапробні організми характеризують якість води?
16. От чого залежить бактерійна зараженість води?
17. Які умови існування аеробних і анаеробних мікроорганізмів?
18. Які чинники роблять вплив на мікроорганізми?
19. На якій характеристиці домішок побудована класифікація Л. А. Кульського?
20. Дайте характеристику домішок першої групи за класифікацією Л. А. Кульського і назвіть методи їх видалення.
21. Дайте характеристику домішок другої групи за класифікацією Л. А. Кульського і назвіть методи їх видалення.
22. Дайте характеристику домішок третьої групи за класифікацією Л. А. Кульського і назвіть методи їх видалення.
23. Дайте характеристику домішок четвертої групи за класифікацією Л. А. Кульського і назвіть методи їх видалення.

## **Тема 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИДАЛЕННЯ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН МЕХАНІЧНИМИ МЕТОДАМИ**

1. Основні властивості і характеристики завислих речовин.
2. Седиментаційні методи видалення грубодисперсних речовин.
3. Основні закономірності видалення грубодисперсних завислих речовин у відцентровому полі та в завислому шарі.

Видалення завислих у воді домішок і скоагульованих пластівців досягається відстоюванням і фільтруванням. При відстоюванні з неї віддаляється основна маса завислих речовин, а фільтрування є лише завершуючим процесом, який використовується для повного звільнення води від суспензій.

При відстоюванні суспензій відбувається як вільне, так і пов'язане осадження. При вільному осадженні виключається вплив частинок одна на одну, при зв'язаному – одні частинки захоплюють одна одну, сприяючи процесу осадження. З урахуванням того, що концентрація суспензії у воді навіть у разі коагуляції мала, у верхніх шарах спостерігається режим вільного осадження. У нижніх шарах концентрація суспензії збільшується за рахунок частинок, що осідають з верхніх шарів, тому стає можливим зв'язане осадження.

Принцип дії гідроциклонів ґрунтується на сепарації часточок твердої фази в обертовому потоці рідини. Величина швидкості сепарування часточок у відцентровому полі гідроциклону в сотні разів перевищує швидкість осідання під дією сил гравітації.

У деяких випадках виділення колоїдно-дисперсних речовин з води проводять електрофільтруванням. Суть процесу полягає в тому, що на фільтр, виготовлений з йонообмінного матеріалу, діє електричне поле. Застосування

електромагнітного поля дає змогу інтенсифікувати фільтрування і здійснити більш тонке очищення води від дисперсних часточок без використання хімічних реагентів.

Принцип дії прояснювачів із завислим шаром полягає в тому, що очищувана вода, змішана з реагентами (коагулянт, флокулянт), надходить у прояснювач знизу і рівномірно розподіляється на площі коридорів. Рухаючись знизу вгору, вона проходить крізь шар раніше сформованого завислого осаду, який складається з маси завислих у потоці пластівців, що перебувають у безперервному русі, проте весь шар загалом залишається нерухомим. Проходячи крізь шар завислого осаду, вода прояснюється в результаті контактної коагуляції. Забруднення сорбується шаром завислого осаду, надлишок якого безперервно видаляється в осадощільнювач, після чого скидається у водостік. Прояснена вода збирається за допомогою жолобів і відводиться для подальшого прояснення на фільтрах.

### ***Контрольні питання***

1. На які категорії діляться завислі речовини за хімічним складом?
2. На що впливає той факт, що глинисті частинки мають амфотерні властивості?
3. Якими показниками виражається концентрація завислих речовин?
4. Чому дорівнює приведений діаметр частинки?
5. Чому дорівнює показник сферичності частинки?
6. Чому дорівнює гідравлічна крупність частинки?
7. Чим відрізняються монодисперсні та полідисперсні суспензії?
8. Охарактеризуйте процес вільного осадження.
9. Охарактеризуйте процес зв'язаного осадження.
10. З якою метою будують криві випадання суспензії?
11. Від яких параметрів залежить час випадання суспензії?
12. Для чого може бути використана подібність кривих випадання суспензії, отримуваних при різних величинах висот осадження?
13. Назвіть застосовувані типи відстійників?
14. Як можна розрахувати ефект осадження суспензії?
15. На чому ґрунтується принцип дії гідроциклонів?
16. Які переваги мають гідроциклони?
17. Як працюють відкриті та напірні гідроциклони?
18. Опишіть конструкцію центрифуги?
19. Опишіть суть процесу електрофільтрування.
20. Як працюють прояснювачі із шаром завислого осаду?
21. Які параметри забезпечують стабільну роботу прояснювачів із завислим шаром?
22. Охарактеризуйте межі існування завислого шару.
23. Як відбувається видалення надлишкового осаду із завислого шару в прояснювачах?
24. Опишіть конструктивні особливості прояснювачів із завислим шаром.

### Тема 3 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИДАЛЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ З ВОДИ МЕТОДОМ ФЛОТАЦІЇ І ЕЛЕКТРОФЛОТАЦІЇ

1. Особливості механізму дії флотації.
2. Вплив поверхнево-активних речовин на процеси флотації.
3. Способи диспергування бульбашок газу при флотації та їх зв'язок з механізмом флотації.
4. Конструктивне оформлення флотаційного очищення води.

Флотація – метод відділення диспергованих і колоїдних домішок від води, заснований на здатності частинок прилипати до повітряних (газових) бульбашок і переходити разом з ними в пінний шар. Флотацією можна витягувати з води нафтопродукти, масла та інші емульговані рідкі речовини, радіоактивні сполуки, іони багатьох розчинених у воді речовин.

Контакт бульбашок повітря і частинок домішок можливий двома шляхами: при зіткненні частинок з поверхнею бульбашок і при їх утворенні на частинках при виділенні розчинених газів. Для напірної флотації при очищенні природних вод процес взаємодії бульбашок при їх зіткненні з частинками домішок є основним і тому представляє практичний і теоретичний інтерес.

Обробку води флотацією рекомендується застосовувати при її каламутності до 150 мг/дм<sup>3</sup> і забарвленості до 200 град.

В процесі флотації поверхнево-активні речовини грають особливо важливу роль.

Насичення води бульбашками можливо диспергуванням повітря через пористі матеріали, в імпелерних машинах і при струменевих процесах; утворенням бульбашок з пересичених розчинів; утворенням бульбашок в результаті хімічних реакцій і біологічних процесів; утворенням бульбашок при електрохімічній обробці води.

До складу флотаційних установок входять камери флотацій, суміщені з камерами утворення пластівців; вузли підготовки й розподілу водоповітряного розчину; пристрої для видалення і відведення піни.

#### *Контрольні питання*

1. Що таке флотація?
2. Сфера застосування і особливості процесу флотації
3. Змочуваність частинок.
4. Опишіть апарати для розчинення газів в рідинах.
5. Яким чином досягається інтенсифікація процесу флотації?
6. Як впливають поверхнево-активні речовини на процес очищення води флотацією?
7. Якими способами можливе насичення води бульбашками?
8. Які умови необхідно дотримувати при диспергуванні повітря через пористі матеріали?
9. Як відбувається утворення бульбашок з пересиченого розчину газу?
10. Чи є можливим утворення бульбашок газу при хімічних реакціях?

11. Утворення бульбашок якого газу, використовуваних для флотації, відбувається при електролізі води?
12. Від яких чинників залежить вибір способу отримання бульбашок газу, а отже і механізму флотації?
13. За яким параметром ведуть розрахунок флотаційних споруд?
14. Які схеми флотаційного очищення застосовують на практиці?
15. Які елементи входять до складу флотаційних установок?
16. Назвіть основні характеристики вживаних камер-флотаторів.
17. Яким чином проводять видалення піни з флотатора?

#### **Тема 4 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЯСНЕННЯ ВОДИ ФІЛЬТРУВАННЯМ**

1. Основні типи і характеристики фільтрів і фільтрувальних перегородок.
2. Фільтруючі матеріали для зернистих фільтрів.
3. Основні закономірності процесу фільтрування через зернисті завантаження.
4. Підвищення брудомісткості зернистих фільтрів.

При русі води через сітки, тканини, пористі матеріали досягається витягання з неї завислих речовин. Процес здійснюється або на поверхні, або в глибині фільтруючого матеріалу. Поверхнєве фільтрування відбувається при русі води через об'ємні елементи з пористих матеріалів значної товщини (патронні фільтри і фільтри з пористої кераміки); сітчасті або тканинні перегородки (фільтрування під тиском або під вакуумом, мікрофільтрування); жорсткі проникні каркаси із заздалегідь нанесеним фільтруючим шаром (наливні фільтри трубчастої, рамної або барабанної конструкції).

Витягання домішок з води та їх закріплення на зернах фільтруючого завантаження відбувається під дією сил адгезії.

З відомих теорій процесу очищення води фільтруванням найбільше визнання отримала теорія Д. М. Мінца, яка експериментально підтверджена і впроваджена. На основі цієї теорії розроблена методика технологічного аналізу процесу фільтрування, що дозволяє визначати параметри процесу і використовувати їх для оптимізації режиму роботи фільтрувальних споруд.

Процес обробки води фільтруванням через зернисте завантаження описується двома основними рівняннями, що визначають час захисної дії завантаження і час, протягом якого досягається гранична втрата напору.

#### ***Контрольні запитання***

1. Опишіть механізм видалення домішок фільтруванням?
2. Чим відрізняються поверхнєве та об'ємне фільтрування?
3. Які параметри впливають на вибір фільтруючого матеріалу?
4. Як і з якою метою проводять ситовий аналіз фільтруючого матеріалу?
5. Як визначають еквівалентний діаметр зерен фільтруючого матеріалу?
6. Який фільтруючий матеріал є найбільш поширеним?



7. Назвіть застосовувані фільтруючі матеріали?
8. Яка з існуючих теорій процесу очищення води фільтруванням набула найбільше визнання?
9. За допомогою яких сил відбувається витягання домішок з води і їх закріплення на зернах завантаження?
10. Яке значення має час захисної дії завантаження?
11. Яке значення має час досягання граничної втрати напору?
12. На що впливає різне співвідношення між часом захисної дії завантаження та часом досягання граничної втрати напору?
13. Що таке «фільтроцикл»?
14. Що характеризує питомий опір завантаження?
15. Назвіть принципи підвищення трудомісткості фільтрів.
16. Як здійснюють фільтрування у напрямі убавання крупності зерен завантаження?
17. Як можна досягти ущільнення і зміцнення осаду в порах завантаження?

## **ЗМ 2 ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН І КОЛОЇДІВ**

### **Тема 5 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИДАЛЕННЯ З ВОДИ ТОНКОДИСПЕРСНИХ ЗАВИСЛИХ РЕЧОВИН І КОЛОЇДІВ МЕТОДАМИ АГРЕГАЦІЇ ДОМІШОК**

1. Основні властивості та характеристики колоїдів. Електрокінетичні явища і стійкість гідрофобних систем.
2. Фізико-хімічні основи теорії процесу коагуляції колоїдів. Види коагулянтів.
3. Фізико-хімічні основи теорії процесу флокуляції колоїдів. Види флокулянтів.
4. Інтенсифікація процесу коагуляції і флокуляції.

Для очищення природних і стічних вод, що утворюють колоїднодисперсну систему, треба провести розділення рідкої й твердої фаз з метою виділення завислих речовин. При цьому внаслідок малого розміру часточок дисперсної фази, а також високої агрегативної та седиментаційної стійкості системи виникають певні ускладнення. Інтенсифікувати процес розділення, тобто порушити агрегативну стійкість колоїдно-дисперсної системи, можна за рахунок укрупнення часточок в агрегати під дією коагулянтів, флокулянтів та їхніх сумішей.

В колоїдних системах коагулювальними є йони електролітів, які несуть протилежний часточці заряд (протийони), і концентрація цих протийонів зменшується у міру збільшення їх заряду.

Як коагулянти використовують переважно солі алюмінію та феруму. Одним із найпоширеніших коагулянтів є сульфат алюмінію.

Швидкість коагуляції перебуває у прямій залежності від температури, відстані й особливо від концентрації часточок, а також в оберненій залежності від динамічної в'язкості та радіуса часточок.

Контактне коагулювання домішок води полягає в тому, що на поверхні зерен завантаження фільтра під час руху води, обробленої коагулянтном, відбувається сорбція колоїдно-дисперсних часточок.

До флокулянтів належать неорганічні або органічні високомолекулярні сполуки (далі – ВМС), які сприяють утворенню агрегатів у результаті об'єднання кількох часточок за допомогою макромолекули адсорбованого або хімічно зв'язаного полімеру.

### ***Контрольні питання***

1. Чому виникають труднощі при видаленні домішок, які зумовлюють каламутність і кольоровість води?
2. Як впливають на дрібні часточки електроліти-коагулятори?
3. У чому полягає суть процесу коагуляційного очищення води?
4. На що вказує седиментаційна стійкість дисперсії?
5. На що вказує агрегативна стійкість дисперсії?
6. Які сили діють між колоїдними часточками?
7. Назвіть правило Шульце-Гарді.
8. Охарактеризуйте електростатичні сили відштовхування часточок?
9. Як виникає подвійний електричний шар?
10. Назвіть потенціали подвійного електричного шару?
11. Яке значення у теорії коагуляції має електрокінетичний потенціал?
12. Як можна змінити структуру подвійного електричного шару?
13. Охарактеризуйте сили притягання часточок?
14. Як визначається енергія взаємодії дисперсних часточок?
15. Як відбувається гетерокоагуляція?
16. Як відбувається взаємна коагуляція?
17. Опишіть механізм очищення води коагулянтами.
18. Назвіть найбільш поширені коагулянти
19. Опишіть дію сульфату алюмінію.
20. Від чого залежить швидкість коагуляції?
21. Як змінюється каламутності води в процесі коагулювання?
22. З яких операцій складається технологія очищення води коагулянтами?
23. Від чого залежить доза коагулянту?
24. Як визначають дозу коагулянта?
25. Опишіть принцип контактної коагуляції.
26. Які речовини є флокулянтами?
27. Опишіть кінетику і механізм флокуляції.
28. Як відбувається флокуляція дисперсій?
29. Які є способи інтенсифікації процесу коагуляції і флокуляції?
30. Як здійснюють роздільне коагулювання?
31. Як здійснюють концентроване коагулювання?
32. Як здійснюють фракційне коагулювання?

33. Як здійснюють переривчасте коагулювання?
34. Яке значення має перемішування при коагулюванні?
35. Що таке селективна флокуляція?

## **ЗМ 3 ОСНОВИ ПРОЦЕСІВ КОРИГУВАННЯ ІОННОГО СКЛАДУ ВОДИ**

### **Тема 6 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОРИГУВАННЯ ІОННОГО СКЛАДУ ВОДИ**

1. Суть адсорбційного очищення води та сфери його застосування.
2. Апаратурне оформлення адсорбційного очищення води.
3. Суть іонообмінного методу очищення води і сфери його застосування.
4. Технологія іонообмінної підготовки води.
5. Характеристика баромембранних процесів.

Адсорбція – процес поглинання одного або кількох компонентів (адсорбату, адсорбтиву) з об'єму фаз на поверхні поділу між ними, наприклад із газу або розчину на поверхні твердого тіла (адсорбенту) або рідини. один із ефективних способів глибокого очищення природних і стічних вод від речовин переважно органічного походження. Зокрема, вона є ефективною для знебарвлення та усунення запахів і присмаків із природних вод. Адсорбцію можна застосовувати для очищення стічних вод від розчинених органічних речовин целюлозно-паперової, хімічної, нафтохімічної, текстильної та інших галузей промисловості. Перевагою цього способу є можливість адсорбції речовин багатоконпонентних сумішей та висока ефективність очищення слабкоконтрованих вод.

Іонообмінні процеси, які застосовують у водопідготовці та водоочищенні, ґрунтуються на вибіркового поглинанні одного або кількох компонентів з водних розчинів за допомогою іонітів. Іоніти – тверді, майже нерозчинні у воді та органічних розчинниках матеріали, що мають іонообмінні властивості.

До складу іонітів входять функціональні групи, здатні до іонізації та обміну з електролітами. В результаті іонізації функціональних груп утворюються фіксовані іони, які закріплені на каркасі й не переходять у розчин, та протиіони (обмінні іони). Кількість протиіонів еквівалентна кількості фіксованих іонів. Останні здатні переходити в розчин й обмінюватися з розчину на еквівалентну кількість інших іонів, що мають заряд з тим самим знаком.

Сучасні мембранні технології, вживані для водопостачання і водовідведення, розділяють на мікрофільтрацію, ультрафільтрацію, нанофільтрацію і зворотний осмос.

Суть всіх мембранних методів полягає у фільтруванні оброблюваної води під певним тиском через елементи, що фільтрують, володіють різним ступенем затримання забруднень.

Ефективність баромембранного очищення води залежить від властивостей мембран, робочого тиску, температури, природи і концентрації очищуваних домішок, концентраційної поляризації, гідродинамічних умов та

конструктивного оформлення апарата. Істотний вплив на проникність і селективність у процесі очищення води має взаємодія останньої з матеріалом мембрани, тобто її гідрофільність.

### ***Контрольні питання***

1. Дайте визначення процесу адсорбції.
2. Які домішки виділяють за допомогою адсорбції?
3. Як відбувається фізична адсорбція?
4. Як відбувається активована адсорбція?
5. Як відбувається хімічна адсорбція?
6. На що впливає питома адсорбційна ємність?
7. Які матеріали можуть бути застосовані як адсорбенти?
8. Які пори мають адсорбенти?
9. Охарактеризуйте вуглецеві сорбенти.
10. Охарактеризуйте синтетичні полімерні сорбенти.
11. Охарактеризуйте мінеральні сорбенти.
12. Для чого проводять регенерацію сорбентів?
13. Назвіть способи регенерації сорбентів?
14. Охарактеризуйте особливості процесу адсорбції.
15. Що характеризує статична активність сорбенту?
16. Що характеризує динамічна активність сорбенту?
17. Коли настає рівновага при адсорбції?
18. Які постулати покладені в основу теорії мономолекулярної адсорбції?
19. Охарактеризуйте ізотерму адсорбції Ленгмюра.
20. Які стадії виділяють при адсорбції речовин?
21. Які апарати застосовують для адсорбційного очищення води?
22. Як працюють апарати зі щільним нерухомим шаром сорбенту?
23. Як працюють апарати з примусовим перемішуванням сорбенту?
24. Як працюють апарати із псевдозрідженим («киплячим») шаром сорбенту?
25. Як застосовують іонообмінні процеси у водопідготовці та водоочищенні?
26. Яку будову мають іоніти?
27. Охарактеризуйте катіоніти.
28. Охарактеризуйте аніоніти.
29. Що характеризує статична обмінна ємність іоніту?
30. Що характеризує динамічна обмінна ємність іоніту?
31. Що характеризує повна динамічна ємність іоніту?
32. Як проходить процес регенерації іонообмінних смол?
33. Як можна утилізувати відпрацьовані регенераційні розчини?
34. Охарактеризуйте особливості іонообмінного процесу.
35. Опишіть технологію іонообмінної підготовки води.
36. Назвіть мембранні технології, вживані для водопостачання і водовідведення.
37. Які переваги мають мембранні технології при очищенні води?

38. У чому полягає суть всіх мембранних методів?
39. Опишіть принцип зворотного осмосу.
40. Які недоліки має зворотний осмос?
41. Яким вимогам мають відповідати баромембранні установки?
42. Опишіть принцип ультрафільтрації.
43. Опишіть принцип нанофільтрування.
44. Опишіть принцип мікрофільтрування.
45. Які вимоги ставлять до мембран?
46. Які застосовують мембрани?
47. Від чого залежить ефективність баромембранного очищення води?
48. Які основні фактори впливають на вибір матеріалу для виготовлення полімерної мембрани?
49. Як домішки впливають на їх затримування мембраною?
50. Які фактори впливають на ефективність затримування домішок мембранами?
51. Опишіть суть явища концентраційної поляризації.

## **Тема 7 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДЕСТРУКТИВНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ**

1. Обробка води сильними окисниками.
2. Використання випромінювань для обробки води.
3. Електрохімічна деструкція забруднень.
4. Суть і сфери застосування біологічного очищення води.

У разі неможливості або недоцільності вилучення домішок з води іншими методами використовують деструктивні методи: окислювальні, термоокиснювальні, а також електрохімічне та радіаційне окиснення.

До термоокиснювальних методів належать парофазне, рідкофазне окиснення, а також парофазне каталітичне окиснення. Зміст цих методів полягає в окисненні домішок киснем повітря за підвищеної температури. Часто ці методи є єдиними надійними прийомами знешкодження стічних вод, які містять відносно великі кількості сумішей токсичних речовин.

Найбільш поширеними окислювачами в практиці очищення води є хлор і озон; іноді застосовують бром, йод, іони благородних металів.

Для деструкції речовин, що забруднюють воду, є сенс використовувати ті види випромінювань, енергія яких достатня для розриву зв'язків в молекулах, або для іонізації атомів речовин. Крім того, можуть використовуватися випромінювання, які пригнічують життєдіяльність мікроорганізмів.

Електрохімічне очищення води часто економічно доцільніше, ніж інші методи їх знешкодження. Під час електрохімічного очищення в електролізері відбувається декілька процесів: окиснення на аноді, електрокоагуляція, електрофорез колоїдних часточок, електрофлотація.

Суть біологічного очищення води полягає у застосуванні природних біоценозів гідробіонтів для звільнення забрудненої води від небажаних

домішок. До складу біоценозів гідробіонтів входять мікроорганізми та інші представники тваринного й рослинного світу, які проживають в активному мулі, біоплівці та в очищеній воді.

Біологічні способи застосовують для очищення промислових і комунально-побутових стічних вод від органічних речовин, які використовують мікроорганізми як джерело живлення та енергії. При цьому відбувається деструктивне розкладання – окиснення за аеробного та відновні процеси з утворенням метану за анаеробного очищення.

### ***Контрольні питання***

1. До яких процесів застосовують термін «окиснення»?
2. До яких процесів застосовують термін «відновлення»?
3. Як проходить окисно-відновна реакція?
4. Які параметри характеризують окисно-відновну здатність системи?
5. Які окиснювачі застосовують в практиці очищення води?
6. Як протікає знешкодження домішок води хлором або його сполуками?
7. Для чого і як будують криві хлоропоглинальності?
8. Як визначають дозу хлору?
9. Від чого залежить вид кривої хлоропоглинальності?
10. Як застосовують сполуки Мангану для окиснення ряду органічних речовин?
11. Як застосовують пероксид гідрогену як окисник?
12. Охарактеризуйте озон як окисник.
13. У чому полягає суть біологічного очищення води?
14. Чим відрізняються аеробні та анаеробні процеси?
15. Які забруднення видаляють при біологічному очищенні води?
16. Від яких факторів залежить ефективність перебігу процесів біологічного очищення?
17. Як протікають аеробні процеси очищення води від органічних речовин?
18. Опишіть принцип роботи аеротенку.
19. Як може протікати біологічне окиснення речовин?
20. Як протікають анаеробні процеси очищення води від органічних речовин?
21. Опишіть технологію біологічного очищення води.
22. Опишіть принцип роботи біофільтрів.
23. Які є види аеротенків.
24. Які осади утворюються при очищенні стічних вод?
25. Які застосовують технологічні операції обробки осадів стічних вод?
26. Як досягається стабілізація осадів?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною ДСанПіН 2.2.4-171-10 : Затв. МОЗ України 12.05.2010. – Київ, 2010. – 25 с.
2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5 – 74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
3. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 210 с.
4. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води / А. К. Запольський. – Київ : Вища школа, 2005. – 674 с.
5. Теоретические основы очистки воды : учеб. пособие / Н. И. Куликов, А. Я. Найманов, Н. П. Омельченко, В. Н. Чернышев. – Донецк : Ноулидж, 2009. – 299 с.
6. Запольський А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та ін. – Київ : Лібра, 2000. – 552 с.
7. Тугай А. М. Водопостачання / А. М. Тугай, В. О. Орлов. – Рівне : РДТУ, 2001. – 429 с.
8. Григорьева Л. С. Физико-химическая оценка качества и водоподготовка природных вод / Л. С. Григорьева. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2011. – 152 с.
9. Орлов В. О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою / В. О. Орлов. – Рівне : НУВГП, 2005. – 163 с.
10. Орлов В. О. Технологія підготовки питної води : навч. посібник / В. О. Орлов, А. М. Орлова, В. О. Зошук. – Рівне : НУВГП, 2010. – 176 с.
11. Коростелев Д. П. Водный режим и обработка радиоактивных вод от атомных электростанций / Д. П. Коростелев. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 240 с.
12. Запольский А. К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды / А. К. Запольский, А. А. Баран. – Л. : Химия, 1987. – 204 с.
13. Яковлев С. В. Технология электрохимической очистки воды / С. В. Яковлев, И. Г. Краснобородько, В. М. Рогов. – Л. : Стройиздат, 1987. – 312 с.
14. Яковлев С. В. Биологические процессы в очистке сточных вод / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина. – М. : Стройиздат, 1980. – 200 с.
15. Журба М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : в 3-х т. / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова – М. : АСВ, 2004.

## ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Вихідні дані для розрахунку вертикальних тонкошарових відстійників (1) та тонкошарових прояснювачів (2)

Варіант	Забарвленість вихідної води, град.	Вміст завислих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	Доза коагулянту за безводним продуктом, мг/дм <sup>3</sup>	Розрахункова швидкість осадження домішок, мм/с (1)/ (2)
1	100	70	60	0,25 / 0,35
2	95	65	58	0,3 / 0,4
3	90	60	56	0,35 / 0,45
4	85	65	54	0,25 / 0,35
5	80	70	52	0,3 / 0,4
6	75	65	50	0,35 / 0,45
7	70	60	55	0,3 / 0,4
8	100	55	50	0,25 / 0,35
9	95	60	55	0,3 / 0,4
10	90	65	50	0,35 / 0,45
11	85	70	60	0,25 / 0,35
12	80	70	58	0,3 / 0,4
13	75	65	56	0,35 / 0,45
14	70	60	54	0,3 / 0,4
15	100	65	52	0,25 / 0,35
16	95	70	50	0,3 / 0,4
17	90	65	55	0,35 / 0,45
18	85	60	60	0,25 / 0,35
19	80	70	58	0,3 / 0,4
20	75	65	56	0,35 / 0,45
21	70	60	54	0,3 / 0,4
22	100	65	52	0,25 / 0,35
23	95	70	50	0,3 / 0,4
24	90	65	55	0,35 / 0,45
25	85	60	60	0,25 / 0,35
26	80	70	58	0,3 / 0,4
27	75	65	56	0,35 / 0,45
28	70	60	54	0,3 / 0,4
29	100	65	52	0,25 / 0,35
30	95	70	50	0,3 / 0,4



## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Вихідні дані для розрахунку технологічних параметрів процесів фільтрування та промивання завантаження фільтрів

Варіант	Продуктивність фільтрувальної установки м <sup>3</sup> /год	Концентрація завислих речовин у фільтрованій воді мг/л	Діаметр фільтру, м	Висота шару фільтруючого матеріалу, м
1	780	65	2,5	1,0
2	790	70	3,0	1,1
3	800	75	3,4	1,2
4	810	80	2,5	1,0
5	820	65	3,0	1,1
6	830	70	3,4	1,2
7	840	75	2,5	1,0
8	850	80	3,0	1,1
9	780	65	3,4	1,2
10	790	70	2,5	1,0
11	800	75	3,0	1,1
12	810	80	3,4	1,2
13	820	65	2,5	1,0
14	830	70	3,0	1,1
15	840	75	3,4	1,2
16	850	80	2,5	1,0
17	780	65	3,0	1,1
18	790	70	3,4	1,2
19	800	75	2,5	1,0
20	810	80	3,0	1,1
21	820	65	3,4	1,2
22	830	70	2,5	1,0
23	840	75	3,0	1,1
24	850	80	3,4	1,2
25	780	65	2,5	1,0
26	790	70	3,0	1,1
27	800	75	3,4	1,2
28	810	80	2,5	1,0
29	820	65	3,0	1,1
30	830	70	3,4	1,2

## ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Вихідні дані до розрахунку адсорбера з щільним шаром завантаження активного вугілля

Варіант	Середньогодинна витрата очищеної води, м <sup>3</sup> /год	Концентрація речовин до очищення, мг/л	Концентрація речовин після очищення, мг/л	Максимальна / мінімальна сорбційна ємкість активного вугілля, мг/л
1	500	600	45	250 / 50
2	510	605	50	253 / 56
3	520	610	55	255 / 58
4	530	615	45	250 / 50
5	540	620	50	253 / 56
6	550	625	55	255 / 58
7	560	630	45	250 / 50
8	570	635	50	253 / 56
9	580	600	55	255 / 58
10	590	605	45	250 / 50
11	600	610	50	253 / 56
12	500	615	55	255 / 58
13	510	620	45	250 / 50
14	520	625	50	253 / 56
15	530	630	55	255 / 58
16	540	635	45	250 / 50
17	550	600	50	253 / 56
18	560	605	55	255 / 58
19	570	610	45	250 / 50
20	580	615	50	253 / 56
21	590	620	55	255 / 58
22	600	625	45	250 / 50
23	500	630	50	253 / 56
24	510	635	55	255 / 58
25	520	600	45	250 / 50
26	530	605	50	253 / 56
27	540	610	55	255 / 58
28	550	615	45	250 / 50
29	560	620	50	253 / 56
30	570	625	55	255 / 58

## ДОДАТОК Г

Таблиця В.1 – Вихідні дані для розрахунку дискового заглибного біофільтра

Варіант	Добова витрата стічної рідини, тис. м <sup>3</sup> /добу	БСК <sub>5</sub> стічної води, що надходить на очищення, мгО <sub>2</sub> /л	БСК <sub>5</sub> очищеної стічної води, мгО <sub>2</sub> /л	Середньозимня температура стічної води, °С
1	20	110	20	7
2	25	120	25	10
3	30	150	30	13
4	35	170	35	16
5	40	110	20	7
6	20	120	25	10
7	25	150	30	13
8	30	170	35	16
9	35	110	20	7
10	40	120	25	10
11	20	150	30	13
12	25	170	35	16
13	30	110	20	7
14	35	120	25	10
15	40	150	30	13
16	20	170	35	16
17	25	110	20	7
18	30	120	25	10
19	35	150	30	13
20	40	170	35	16
21	20	110	20	7
22	25	120	25	10
23	30	150	30	13
24	35	170	35	16
25	40	110	20	7
26	20	120	25	10
27	25	150	30	13
28	30	170	35	16
29	35	110	20	7
30	40	120	25	10

## ДОДАТОК Д

Таблиця Д.1 – Вихідні дані для розрахунку установок електрохімічної обробки води різних конструкцій

Варіант	Електролізер для обробки ціанвміщуючих стічних вод		Електрокоагулятор періодичної дії з алюмінієвими електродами для очищення маслемульсійних стічних вод		Електрокоагулятор із сталевими електродами для очищення хромвміщуючих стічних вод	
	Витрата стічних вод, що поступають на очищення, м <sup>3</sup> /год	Початкова концентрація ціанідів в стічних водах, мг/л	Витрата маслемульсійних стічних вод, що поступають на очищення, м <sup>3</sup> /год.	Початковий вміст масел в стічних водах, г/м <sup>3</sup>	Витрата хромвміщуючих стічних вод, що поступають на очищення, м <sup>3</sup> /доб.	Концентрація шестивалентного хрому, мг/л
1	5	150	1,7	5 000	1,5	2 500
2	6	200	1,8	5 500	1,6	3 000
3	7	250	1,9	6 000	1,7	3 500
4	8	300	2,0	6 500	1,8	4 000
5	9	150	2,1	5 000	1,9	4 500
6	10	200	1,7	5 500	2,0	2 500
7	5	250	1,8	6 000	1,5	3 000
8	6	300	1,9	6 500	1,6	3 500
9	7	150	2,0	5 000	1,7	4 000
10	8	200	2,1	5 500	1,8	4 500
11	9	250	1,7	6 000	1,9	2 500
12	10	300	1,8	6 500	2,0	3 000
13	5	150	1,9	5 000	1,5	3 500
14	6	200	2,0	5 500	1,6	4 000
15	7	250	2,1	6 000	1,7	4 500
16	8	300	1,7	6 500	1,8	2 500
17	9	150	1,8	5 000	1,9	3 000
18	10	200	1,9	5 500	2,0	3 500
19	5	250	2,0	6 000	1,5	4 000
20	6	300	2,1	6 500	1,6	4 500
21	5	150	1,7	5 000	1,5	2 500
22	6	200	1,8	5 500	1,6	3 000
23	7	250	1,9	6 000	1,7	3 500
24	8	300	2,0	6 500	1,8	4 000
25	9	150	2,1	5 000	1,9	4 500

Варіант	Електролізер для обробки ціанвміщуючих стічних вод		Електрокоагулятор періодичної дії з алюмінієвими електродами для очищення маслемульсійних стічних вод		Електрокоагулятор із сталевими електродами для очищення хромвміщуючих стічних вод	
	Витрата стічних вод, що поступають на очищення, м <sup>3</sup> /год	Початкова концентрація ціанидів в стічних водах, мг/л	Витрата маслемульсійних стічних вод, що поступають на очищення, м <sup>3</sup> /год.	Початковий вміст масел в стічних водах, г/м <sup>3</sup>	Витрата хромвміщуючих стічних вод, що поступають на очищення, м <sup>3</sup> /доб.	Концентрація шестивалентного хрому, мг/л
26	10	200	1,7	5 500	2,0	2 500
27	5	250	1,8	6 000	1,5	3 000
28	6	300	1,9	6 500	1,6	3 500
29	7	150	2,0	5 000	1,7	4 000
30	8	200	2,1	5 500	1,8	4 500

## ДОДАТОК Е

Таблиця Е.1 – Доза безводного коагулянту для обробки каламутних вод (Таблиця 15 [2])

Каламутність води, НОК (мг/дм <sup>3</sup> )	Доза безводного коагулянту для обробки мутних вод, мг/дм <sup>3</sup>
До 172 (100) включ.	25–35
Від 172 (100) до 345 (200) включ.	30–40
Від 345 (200) до 690 (400) включ.	35–45
Від 690 (400) до 1 034 (600) включ.	45–50
Від 1 034 (600) до 1 379 (800) включ.	50–60
Від 1 379 (800) до 1 724 (1 000) включ.	60–70
Від 1 724 (1 000) до 2 586 (1 500) включ.	70–80

Примітка 1. Менші значення доз відносяться до води, яка містить грубодисперсну завись.

Примітка 2. Допускається застосування інших коагулянтів крім вказаних в п.10.4.2 [2] зокрема полімерних, дози яких необхідно встановлювати на основі наукових досліджень з урахуванням рекомендацій виробника.

Примітка 3. При використанні процесу контактної коагуляції безпосередньо в товщі фільтруючого завантаження фільтрів, орієнтовну дозу коагулянту варто приймати на 10–15 % менше вказаної в таблиці і визначеної за формулою (5) [2].

ДОДАТОК Ж

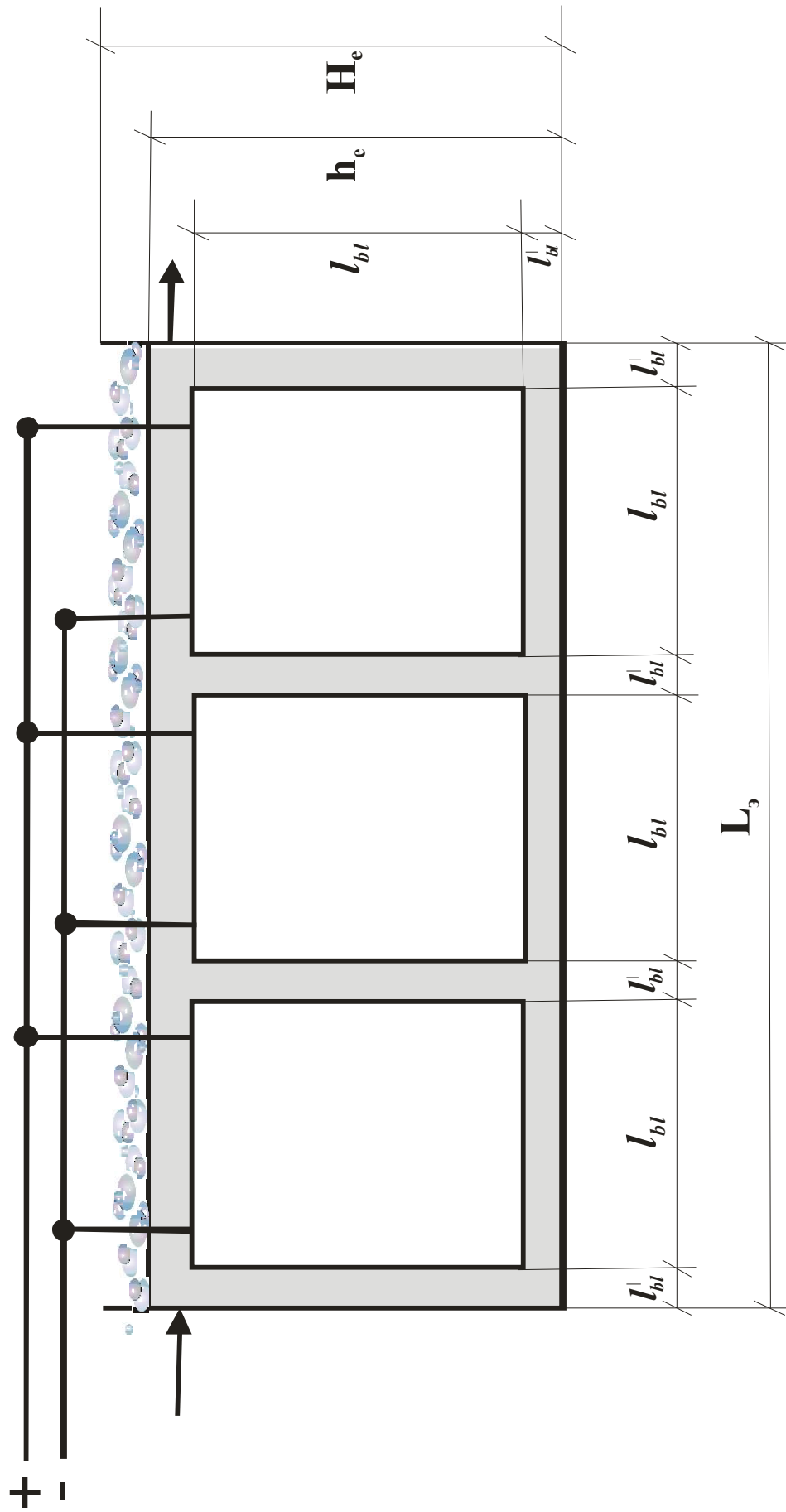


Рисунок Ж.1 – Принципова схема розташування електродних блоків в корпусі електрокоагулятора

*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до організації самостійної роботи і проведення практичних занять  
з навчальної дисципліни

## **«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ»**

*(для студентів 3 курсу всіх форм навчання першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти за спеціальністю 194 – Гідротехнічне будівництво, водна  
інженерія та водні технології)*

Укладач **СОРОКІНА** Катерина Борисовна

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *К. Б. Сорокіна*

План 2021, поз. 545 М

---

Підп. до друку 21.10.2021. Формат 60 × 84/16.  
Електронне видання. Ум. друк. арк. 3,7.

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