628.1
Д 560

Міністерство освіти і науки України
Запорізький національний університет

О. Г. Добровольська

СУЧАСНІ СИСТЕМИ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ БУДІВЕЛЬ

Методичні вказівки
та завдання до самостійної роботи

для студентів
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

2023

ВСТУП

Самостійна робота студентів полягає відпрацюванні навичок з вибору методів водопідготовки, складанні технологічних схем очистки води та визначення складу споруд, що забезпечують необхідний ефект поліпшення якості води при мінімальній величині приведених витрат на будівництво й експлуатацію.

Розкриваючи обрану тему, студент під керівництвом викладача працює над аналізом технології виробничого процесу, визначенням параметрів вихідних даних для складання технологічної схеми водопостачання та вибору споруд і обладнання. В результаті студент повинен навчитись: здійснювати інформаційний пошук; виконувати аналіз, узагальнювати результати ознайомлення з літературними, відомчими, статистичними даними, проектними розробками; складати науковий звіт (реферат); складати доповідь й рецензії за оглядовими рефератами для виступу на семінарі (конференції).

Самостійна робота сприяє оволодінню методами водопідготовки у виробництві, розвитку раціонального мислення, оптимальній організації робочого часу, набуттю практичних навичок, необхідних для написання та оформлення наукових робіт, умінню аналізувати законодавчі та нормативні акти і спеціальну періодичну та наукову літературу в будівельній галузі.

Методичні вказівки призначено для підготовки магістрів за освітньо-професійною програмою «Міське будівництво та господарство», "Промислове та цивільне будівництво" зі спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

<u>Завдання :</u> Розрахувати напірні фільтри для прояснення води

Інформація до розв'язання

Розрахунок напірних фільтрів

В прикладі, який нами розглядається, концентрація зважених речовин становить 15,0 мг/л. В цьому випадку необхідно передбачити споруди для прояснення води. Приймаємо вертикальні напірні фільтри, які серійно випускаються промисловістю. Необхідні для розрахунку дані наведені в табл.

Вертикально напірні фільтри випускаються шести типорозмірів діаметрами 1; 1,5; 2; 2,6; 3; 3,4 м і з висотою шару завантаження 1 м.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики напірних фільтрів

Матеріал завантаження	Крупність зерен завантаження	Коефіцієнт неоднорідності	Швидкість фільтрування, м/г, при режимах	
Пісок кварцовий	0,8…2,0	1,5…1,7	8…10	10…12
Те саме	0,5…1,25	2,0…2,2	5,5…6,0	6,0…7,5
Антрацит дроблений	0,8…1,8	2,0	8,0…10,0	10…12

Для розрахунку приймаємо фільтри з антрацитовим завантаженням і крупністю зерен 0,8...1,8 мм.

1.1.1.2. Розрахунок площі фільтрів

Приймаємо одношарові фільтри вертикального типу із завантаженням антрацитом крупністю 0,8...1,8 і висотою шару завантаження 1 м.

Загальна площа фільтрування з урахуванням власних потреб

$$F_{о.ф} = \frac{Q_{о.ф}}{V_н} = \frac{216}{8} = 27{,}0 м^2 \qquad (1.1)$$

де $V_н$ – швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/г.

Вибираємо фільтри діаметром 3,0 м і площею фільтрування 7,1 м^2.

Тоді число фільтрів $n = \frac{27{,}0}{7{,}1} = 3{,}8 \approx 4.$

Завдання Скласти балансову схему оборотного циклу очистки стічних вод від газоочисток доменного виробництва та виконати розрахунок її елементів. Вихідні дані приведені в таблиці 1.

Інформація до розв'язання

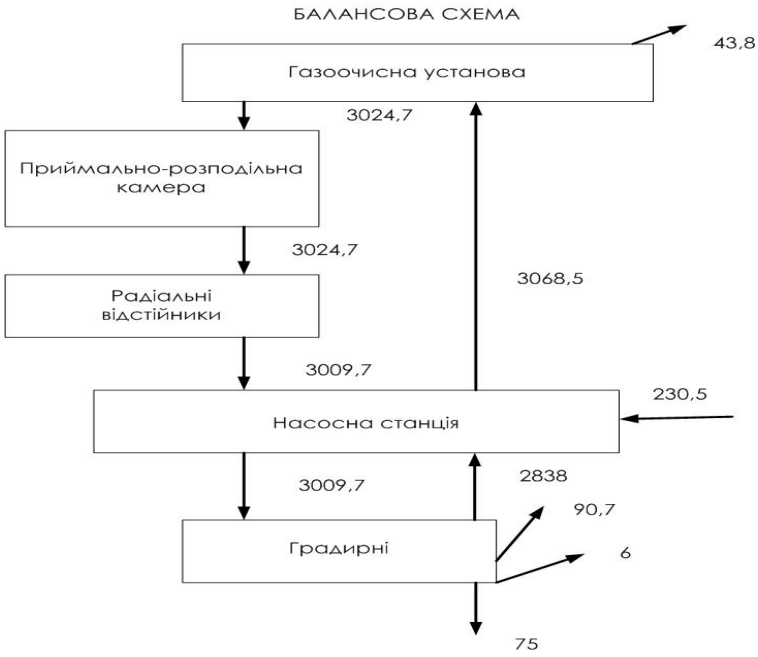


Рисунок 1 – Балансова схема

Розрахункова витрата оборотної води в системі водопостачання кожного виробництва визначається за формулою:

$$Q_p \frac{n_в \cdot N \cdot K_{год}}{T}, \qquad (1)$$

де $n_в$ - норма водоспоживання (кількість води на одиницю продукції), $м^3/т$;

$K_{год}$ - коефіцієнт годинної нерівномірності

T- кількість годин роботи виробництва за рік, год

Втрати води в оборотному циклі:

$$P_{вип} = P_1 + P_2 + P_3. \qquad (2)$$

де P_1 і P_2 – безповоротні втрати оборотної води при охолодженні на випаровування і винос вітром, %;

P_3 – величина продувки, %.

Втрати води в охолоджувачі залежать від типу охолоджувача, кліматичних умов, температур води на вході й виході з цеху і категорії водоспоживача.

Втрати води на випаровування в градирнях, % :

$$P_{вип} = 1{,}6 \cdot x \cdot \Delta t, \qquad (3)$$

де х – частка теплоти, що віддається охолоджуючою водою, за рахунок її випаровування в градирні (влітку 1,0, взимку – 0,5, весною і восени – 0,75);

Завдання: Визначити витрату гріючої пари і площу поверхні нагрівання однокорпусної установки для концентрування розчину їдкого натру.

Вихідні дані для розрахунку

1. Витрата розчину G= 2500 кг/ч.
2. Початкова (вихідна) концентрація розчину $X_{поч}$= 5%.
3. Кінцева концентрація розчину $X_{кін}$ = 40%.
4. Тиск гріючої пари $P_{г.п}$= 0,6 МПа.
5. Тиск вторинної пари $p_{вт}$ = 0,015 МПа.
6. Розчин надходить в установку підігрітим до температури 100 °С.

Подача установки по випарюваній воді

$$W = G\,(1 - (X_{поч} / X_{кін})) = \frac{2500}{3800} \times \left(1 - \frac{5}{40}\right) = 0{,}6 \text{ кг/с.}$$

Перевіряємо кінцеву концентрацію випареного розчину:

$$X_{кон} = G\,X_{поч} / (G - W) = \frac{2500 \times 0.05}{2500 - 2160} = 0{,}36 = 36\%$$

Надалі розрахунок можна виконувати на І кг розчину, що надходить на випарювання:

$$w = W / C = \frac{2160}{2500} = 0{,}86 \text{ кг.}$$

Питома теплоємність розчину при початковій концентрації

$$C = (C_{сух}X_{поч} + (100 - X_{поч})) / 100 = \frac{4.13 \times 5 + (100 - 5)}{100} = 1{,}15 \text{ кДж/(кг·К),}$$

де $C_{сух}$ – питома теплоємність речовини в чистому виді, кДж/(кг·К),

$$C_{сух} = 4{,}13 \text{ кДж/(кг·К).}$$

Температурну депресію знаходять по довідкових матеріалах [2], Δ_+=28°С.

Гідростатичну і гідравлічну депресію можна прийняти

$$\Delta r + \Delta_{гідр} = 2°C\,.$$

Тоді сумарна депресія

$$\sum\Delta = \Delta_+ + \Delta r + \Delta_{гідр} = 28{,}0 + 2{,}0 = 30°C.$$

Завдання

Розрахувати установку реагентного пом'якшення води і розробити технологічну схему/

До складу установки можуть входити:

а) пристрій для приготування і дозування розчинів,

б) змішувачі,

в) камери утворення пластівців,

г) освітлювачі зі зважених шаром осаду або вихрові реактори,

д) фільтри.

Інформація до розв'язання

Початкові дані:

Витрата води Q; рміст Ca^{2+}; рміст Mg^{2+}; rаламутність вихідної води Мі; кольоровість початкової води; pH вихідної води; температура води t; вимоги до пом'якшеної води:

- жорсткість загальна залишкова $Ж_0$
- допустима каламутність $М_1$

Визначаємо загальну жорсткість води. Визначаємо карбонатні жорсткість води. Визначаємо некарбонатную жорсткість води.

Зміст у вихідній воді вільної вуглекислоти (CO_2) при заданому pH і заданої лужності $Щ_0$ і температурі визначаємо відповідно до вихідних параметрів.

Доза вапна (для усунення карбонатної жорсткості) в перерахунку на CaO:

$$Д_и = 28\ (\frac{CO_2}{22{,}01} + \frac{HCO_3^-}{61{,}02} + \frac{Mg^{2+}}{12{,}16} + \frac{Д_к}{e} + 0{,}5)\ \text{мг/л}$$

де $Д_к$ – доза коагулянту $FeCl_3$ або $FeSO_4$ у перерахунку на безводну речовину в мг/л;

Завдання

Вихідні дані: розрахувати 3-х ступінчасту установку для глибокого знесолення води. Витрата Q.

Аналіз води: Катіони:

Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, Fe^{3+}

Аніоніти:

Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}

Інформація до розв'язання

Розрахунок анионитовых фильтров 1-го ступеня

Для фільтрів 1-го ступеня розрахункова обмінна здатність слабоосновних аніонітів АН-2Ф у вологому стані становить = 550г-екв / м3 (приймають по табл.5). Розрахункову швидкість фільтрування визначають за формулою:

$$v_p = \frac{E_{раб} \times h_a - 5\, h_a \times A}{T \times A + 0.02 \times E_{раб} \times \ln A - 0.1 \ln A},$$

де h_a– висота завантаження аніонітових фільтрів 1-го ступеня, що дорівнює 2,5м;

A - вміст аніонітів сильних кислот у вихідній воді ($A = Cl^{-} + SO_4^{2-}$ =2.37+14.63г-экв/м^3);

T – тривалість роботи кожного фільтру між регенераціями:

$$T = (24/n) - t_1 - t_2 - t_3 ,$$

n – число регенерацій за добу (приймаємо 2…3);

t_1 – тривалість розпушування аніоніта (0,25ч);

t_2 – тривалість пропуску через аніоніт розчину лугу для регенерації (дорівнює 1,5 год);

t_3 – тривалість відмивання аніоніту після регенерації (дорівнює 3 год).

Завдання

Вихідні дані: розрахувати 3-х ступінчасту установку для глибокого знесолення води. Витрата Q.

Аналіз води: Катіони:

Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, Fe^{3+}

Аніоніти:

Cl^{-}, SO_4^{2-}, HCO_3^{-}

Розрахуємо загальну мінералізацію води:

$$M = \sum K + \sum A$$

<u>Інформація для розв'язання</u>

Н-катионітові фильтри завантажують сильнокислотним катіонітом КУ-2-8.

Розрахунок катіонітових фільтрів 1-го ступеня

Об'єм Н-катіонітових фільтрів 1-го ступеня розраховуємо за формулою:

$$W = a_1 \, Q_{сут} \, \sum[K] \, / \, (n \, E_{раб}) \, ,$$

де a_1 – коєффіцієнт врахування води на власні потреби установки (можно прийняти 1,1…1,35);

$Q_{доб}$ – корисна витрата (знесоленої води), м^3/доб;

$\sum[K]$ – сума катіонів у вихідній воді, г-екв/м^3;

n – число фільтроциклів за добу;

$$E_{раб} = a_э^н \, E_{полн} - 0{,}5 \, q_y \, \sum[K]$$

$a_э^н$ – коефіцієнт ефективності регенерації;

$E_{полн}$ – повна обмінна здатність катіоніту, що дорівнює КУ1 – 600…650г-экв/м^3, КУ2-8 – 1500…1700г-экв/м^3;

q_y – питома витрата освітленої води на відмивання 1 м^3 Н-катіоніту.

Тоді при $E_{повн}$=1500 г-екв/м^3 и q=4…5 м^3/м^3

При висоті завантаження h=2,5м, сумарна площа фільтрів буде:

Завдання

Розрахувати катіонітові фільтри першого ступеня очистки для продуктивності очисної станції Q, м^3/доб.

Розрахунок фільтрів першого ступеня

При розрахунку слід мати на увазі, що в установці повинно бути не менше двох робочих фільтрів і додатково один резервний. Оскільки в нашому прикладі твердість води досить висока (10 мг-екв/л), а залишкова твердість не повинна перевищувати 0,01 мг-екв/л, приймаємо двоступінчасту схему Na-катіонування.

Знаходимо необхідний об'єм катіоніта:

$$W = \frac{24 \cdot Q_{1ст} T_o}{E_p^{Na} a}$$

де $Q_{1ст}^{Na}$ – витрата води на фільтри першого ступеня, м^3/год,

$$Q_{1ст}^{Na} = 180 \cdot 1{,}1 = 198 \text{ м}^3/\text{год}$$

T_o – загальна твердість вихідної води, г-екв/м^3:

E_p^{Na} – робоча ємність катіоніта, г-екв/м^3

$$E_p^{Na} = \alpha_e \cdot \beta \cdot E_n - 0.5 \cdot g_y \cdot T_o$$

α_e – коефіцієнт ефективності регенерації залежно від питомої витрати солі /по табл. 1.7 приймаємо 150 г-екв, тому λ=0,74/;

β – коефіцієнт, що враховує зниження обмінної ємності катіоніта по Ca^{2+} і Mg^{2+} за рахунок вмісту N_a^+ (приймаємо по табл. 1);

E_n – повна обмінна ємність катіоніта, г-екв/м^3 ;

g_y – питома витрата води на відмивання катіоніта (по табл.1.6 приймаємо 4м^3/м^3);

a – число регенерацій катіоніта на добу (не більше трьох, приймаємо 2).

Підставляючи числові значення в першу формулу, отримуємо

Завдання: Розрахувати прямоточну з природною циркуляцією багатокорпусну випарну установку для концентрування розчину хлористого кальцію.

Вихідні дані для розрахунку

1. Початкова витрата розчину $G_{поч}$= 7 т/г.
2. Початкова (вихідна) концентрація розчину $X_{поч}$ = 3%.
3. Кінцева концентрація розчину $X_{кін}$= 40%.
4. Розчин в установку надходить підігрітим до температури кипіння $t_{поч}$=100°С.
5. Обігрів здійснюється насиченою водяною парою з тиском $P_{г.п}$=0,8 МПа.
6. Тиск у барометричному конденсаторі $P_{б.к}$ = 0,01 МПа.
7. Висота гріючих труб $H_{тр}$= 5 м.
8. Відбір екстрапари не здійснюється.

Подача установки по випарюваній воді

$$W = \frac{7000}{3600}\left(1-\frac{3}{40}\right). = 6475 \text{ кг/год} = 1{,}8 \text{ кг/с}.$$

Інформація до розв'язання

Розподіл концентрацій розчину по корпусах установки буде залежати від співвідношення навантажень по випарюваній воді у кожному апараті. На підставі практичних даних можна прийняти масові кількості випарюваної води по корпусах у наступному співвідношенні: 1:2:3 = 1,0:1,1:1,2.

Тоді масова витрата випарюваної води у першому корпусі

$$W_1 = \frac{6475\times 1}{3600(1+1{,}1+1{,}2)} = 0{,}545 \text{ кг/с},$$

у другому

$$W_2 = \frac{1.1\times W}{3.3} = 0{,}599 \text{ кг/с},$$

у третьому

Підсумкове завдання . Розробка технологічної схеми водопостачання промислового підприємства

Розробити технологічну схему водопідготовки для промислового підприємства.

Таблиця 1 – Вихідні дані

Вихідні дані	Номер варіанту											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Витрата води Q, м^3/доб	15000000	8000	12000	3000	5000	10000	18000	3000	6000	14000	17000	9000
Підприємство	Металургійний комбінат	Консервний завод	Хлібний комбінат	Кондитерська фабрика	Виробництво добрив	Цукровий завод	Текстильна фабрика	Виробництво цегли	Деревообробний комбінат	Консервний завод	Хлібний комбінат	Прядильна фабрика

$$W_3 = \frac{1.2 \times W}{3.3} = 0{,}654 \text{ кг/с.}$$

Разом $W = 1{,}779$ кг/с = 1,8 кг/с.

Потім визначають концентрацію розчину по корпусах, використовуючи рівняння теплового балансу. З першого корпуса в другий перейде розчину:

$$G_1 = C_{поч} - W_1 = \frac{7000}{3600} - 0.545 = 1{,}94 - 0{,}545 = 1{,}395 \text{ кг/с.}$$

Концентрація розчину

$$X_1 = G_{поч} X_{поч} / (G_{поч} - W_1) = \frac{1.94 \times 3}{1.94 - 0.545} = 4{,}17\%$$

Із другого корпуса в третій перейде розчину

$$G_2 = G_{поч} - W_1 - W_2 = 1{,}94 - 0{,}545 - 0{,}599 = 0{,}796 \text{ кг/с.}$$

Концентрація розчину

$$X_2 = \frac{1.94 \times 3}{0.796} = 7{,}3\%$$

Із третього корпуса виходить розчину

$$G_{кін} = G_{поч} - W = 1{,}94 - 1{,}8 = 0{,}14 \text{ кг/с.}$$

з концентрацією

$$X_{кін} = \frac{1.94 \times 3}{0.14} = 41{,}5\ \%$$

що відповідає завданню.

Розрахунок перепаду тиску по корпусах

З вихідних даних видно, що загальний перепад тиску в установці дорівнює різниці тисків гріючої пари і пари в барометричному конденсаторі:

$$\Delta p = 0{,}8 - 0{,}01 = 0{,}79 \text{ МПа.}$$

Попередньо загальний перепад тисків розподіляємо між корпусами установки нарівно, тобто на кожний корпус можна прийняти

$$\Delta p = 0{,}79{:}3 = 0{,}263 \text{ МПа.}$$

Тоді абсолютні тиски розподіляться по корпусах у такий спосіб:

- у третьому корпусі $P_3 = 0{,}01$ МПа (задане),

- у другому P_2 =0,01+0,263 = 0,273 МПа; у першому P_1 = 0,273 + 0,263 = 0,536 МПа.

Тиск гріючої пари

$$P_{г.п} = 0,536 + 0,263 = 0,799 \approx 0,8 \text{ МПа},$$

що відповідає завданню.

Знаходимо температури насичених пар води й питомі теплоти паротворення для прийнятих тисків (табл. 1.13).

Таблиця 1.1 - Температури насичених пар води й питомі теплоти паротворення

Температура насиченої пари, С	Питома теплота паротворення
гріюча пара, $t_{1год}$= 169,6;	r_1 = 2057 кДж/кг;
у першому корпусі $t_{2год}$= 153,2;	r_2= 2113 кДж/кг ;
у другому $t_{3год}$= 121,7;	r_3 = 2156 кДж/кг ;
у третьому i = 45,4;	r_4 = 2190 кДж/кг.

Розрахунок температурних втрат

Знаходимо температури кипіння розчинів при атмосферному тиску (табл.1.14) і визначаємо температурну депресію по корпусах згідно.

Таблиця 1.2 - Температури кипіння розчинів при атмосферному тиску

Корпус	Концентрація$CaCl_2$. %	Температура кипіння, °С	Депресія°С
Перший	4,17	100,8	0,8
Другий	7,46	101,5	1,5
Третій	40,0	120,0	20,0

При спрощеному розрахунку температурну депресію можна не уточнювати. Отже, сумарна температурна депресія

$$\Delta g = 0,8 + 1,5 + 20,0 = 22,3°\text{C}.$$

Потім розраховуємо гідростатичну депресію, що обумовлена різницею тисків у середньому шарі киплячого розчину і на його поверхні. Для цього

спочатку знаходимо за довідковим даними щільність розчину хлористого кальцію при температурі 20 °С (табл. 1.15).

Таблиця 1.3 - Щільність розчину хлористого кальцію при температурі 20 °С

Корпус	Концентрація $CaCl_2$, %	Щільність, кг/м^3
Перший	4,17	1014
Другий	7,46	1033
Третій	40,0	1390

При визначенні щільності розчинів по кожному корпусу зневажають зміною її з підвищенням температури від 20°С до температури кипіння через малість коефіцієнта об'ємного розширення.

Далі визначаємо температури вторинних пар по корпусах установки (для цього гідравлічну депресію між корпусами установки приймаємо рівної 1°С):

$$t_{в.п.1} = t_{г.п.2} + \Delta_{гідр} = 153{,}2 + 1{,}0 = 154{,}2\ ;$$

$$t_{в.п.2} = t_{г.п.3} + \Delta_{гідр} = 121{,}7 + 1{,}0 = 122{,}7\ ;$$

$$t_{в.п.3} = t_{г.п.4} + \Delta_{гідр} = 45{,}4 + 1{,}0 = 46{,}4\ .$$

Знаючи температури вторинних пар, знаходимо їхні тиски [3].

Температура вторинних пар, °С: $t_{в.п.1} = 54{,}2$; $t_{в.п.2} = 122{,}8$; $t_{в.п.3} = 46{,}4$,

Тиск, МПа: 0,54; 0,27; 0,011 відповідно.

Розраховуємо тиск у середньому шарі киплячого розчину кожного корпуса випарної установки. При бульбашковому режимі кипіння розчину перенаповнення $\varepsilon = 0{,}4...0{,}6$. Для даного випадку приймемо $\varepsilon = 0{,}5$.

Тоді тиск у середньому шарі кип'ятильних труб

$$P_{1ср} = P_{в\cdot п.1} + \frac{\rho_1 g H_{тр}}{2}(1-\varepsilon) =$$

$$= 0{,}54 + \frac{1014 \times 9.8 \times 5}{2}(1 - 0{,}5) = 54{,}0\times10^4 + 1{,}24\times10^4 = 55{,}24\times10^4 \text{ Па};$$

$$P_{2ср.} = 0{,}27 + \frac{1033 \times 9.8 \times 5}{2}(1 - 0{,}5) = 27{,}0\times10^4 + 1{,}26\times10^4 = 28{,}26\times10^4 \text{ Па};$$

$$P_{3ср.} = 0{,}011 + \frac{1390 \times 9.8 \times 5}{2}(1 - 0{,}5) = 1{,}1\times10^4 + 1{,}7\times10^4 = 2{,}8\times10^4 \text{ Па};$$

Цим тискам відповідають наступні температури кипіння і теплоти випарування розчинника.

Таблиця 1.4 - Температури кипіння й теплоти випарування розчинника

Тиск	Температура кипіння	Теплота випару
$P_{1ср}$= 0,552 МПа	154,6 °С	2107 кДж/кг
$P_{2ср}$= 0,282 МПа	131,5 °С	2180 кДж/кг
$P_{3ср}$= 0,028 МПа	66,8 °С	2189 кДж/кг

Гідростатична депресія:

у першому корпусі

$$\Delta_1 r = t_{1ср} - t_{1вп} = 154{,}6 - 154{,}2 = 0{,}4°\text{C};$$

у другому

$$\Delta_2 r = t_{2ср} - t_{2вп} = 131{,}5 - 122{,}8 = 8{,}7°\text{C};$$

у третьому

$$\Delta_3 r = t_{3ср} - t_{3вп} = 130{,}5 - 121{,}4 = 9{,}1°\text{C};$$

Сума гідростатичних депресій

$$\sum\Delta r = \Delta_1 r + \Delta_2 r + \Delta_3 r = 0{,}4 + 8{,}7 + 9{,}1 = 18{,}2°\text{C}.$$

Втрату різниці температур між корпусами приймаємо 1°С. Отже, сумарні втрати теплоти від гідравлічних депресій

$$\sum\Delta_{гідр} = 1 \times 3 = 3°\text{C}.$$

Сумарні температурні втрати для установки в цілому

$$\sum\Delta t_{пот} = \sum\Delta g + \sum\Delta r + \sum\Delta_{гідр} = 22{,}3 + 18{,}2 + 3{,}0 = 43{,}5°\text{C}.$$

Температури кипіння розчинів по корпусах установки:

у першому корпусі

$$t_{1к} = t_{2r} + \Delta_1 g + \Delta_1 r + \Delta_{1гідр} = 153{,}2 + 0{,}8 + 0{,}4 + 1{,}0 = 155{,}4°\text{C}.$$

у другому

$$t_{2к} = t_{3r} + \Delta_2 g + \Delta_2 r + \Delta_{2гідр} = 121{,}7 + 8{,}7 + 1{,}0 = 131{,}4°\text{C}.$$

у третьому

$t_{3к} = t_{4r} + \Delta_3 g + \Delta_3 r + \Delta_{3гідр} = 45{,}4 + 20{,}0 + 9{,}1 + 1{,}0 = 75{,}5°C.$

№ варіанту	Вихідні дані					
	Витрата води, $м^3$/доб	Вміст у вихідній воді, г/л				
		$CaCl_2$	$NaCl$	Na_2SO_4	$Ca(HCO_3)_2$	K_2SO_4
1.	1800	0,4	0,2	-	1,2	0,4
2.	2100	-	0,8	0,2	0,3	0,8
3.	4000	0,1	-	-	1,5	0,6
4.	3200	1,1	-	0,6	-	0,3
5.	2500	0,4	0,6	-	1,2	-
6.	3600	1,0	-	-	0,7	0,7
7.	1500	0,9	1,3	-	-	-
8.	1900	0,1	-	0,9	0,9	-
9.	2000	-	0,5	-	0,9	0,5
10.	4100	1,1	-	0,7	-	-

Підсумкове завдання . Розробка технологічної схеми водопостачання промислового підприємства

Розробити технологічну схему водопідготовки для промислового підприємства.

Таблиця 1 – Вихідні дані

Вихідні дані	Номер варіанту											
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Витрата води Q, м^3/доб	15000000	8000	12000	3000	5000	10000	18000	3000	6000	14000	17000	9000
Підприємство	Металургійний комбінат	Консервний завод	Хлібний комбінат	Кондитерська фабрика	Виробництво добрив	Цукровий завод	Текстильна фабрика	Виробництво цегли	Деревообробний комбінат	Консервний завод	Хлібний комбінат	Прядильна фабрика

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація).
3. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник. Харків : Фактор, 2010. 192 с
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізикохімічні основи технології очищення стічних вод : підручник для внз Київ : Лібра, 2000. 551 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник для студентів внз. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
6. Константінов Ю.М Технічна механіка рідини і газу : підручник. Київ : Вища школа, 2002.
7. Прутцьков Д.В. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 200 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Знання, 2008. 735 с.

$$W = \frac{24 \cdot 200 \cdot 10}{318 \cdot 2} = 75.47 \approx 75.5 м^3$$

Таблиця 1 – Питома витрата солі на регенерацію катіоніта

Питома витрата солі на регенерацію катіоніта, г-екв, робочої обмінної ємності	100	150	200	250	300		
Коефіцієнт ефективності регенерації катіоніта	0,62	0,74	0,81	0,86	0,9		
$\frac{C_{Na}}{T_o}$	0,01	0,03	0,05	0,07	0,1	0,3	0,5
	0,7	1,0	3,0	5,0	7,01	10,0	
β	0,93	0,91	0,88	0,86	0,83	0,77	0,7
	0,68	0,65	0,60	0,54	0,52	0,5	

У табл. 1 $C_{Na^+} = \frac{[Na^+]}{23}$. Для даного приклада по табл. 1 $C_{Na} = \frac{1}{10} = 0.1$. Отже за табл. 1.7 знаходимо, що β=0,83. Тоді $E_p = 0.74 \cdot 0.83 \cdot 550 - 0.5 \cdot 4 \cdot 10 \approx 318$ г – екв/м³.

Приймаємо висоту завантаження катіоніта 2,5 м і фільтри діаметром 3,4м. Необхідна сумарна площа фільтрів

$$F = \frac{W}{H_{1ст}^{Na}} = \frac{75.5}{2.5} = 30 м^2,$$

де $H_{ІСТ}^{Na}$ - висота шару завантаження фільтра першого ступеня.

Далі визначаємо число робочих фільтрів:

$$n = \frac{F}{f} = \frac{36.2}{9.1} = 3.3 \approx 4$$

Приймаємо чотири робочих фільтра й один резервний. Потім визначаємо швидкості фільтрування води:

при нормальному режимі $V_н = \frac{Q_{1ст}^{Na}}{f \cdot n} = \frac{200}{9.1 \cdot 4} = 5.5$ м/год;

при форсованому режимі $V_ф = \frac{Q_{1ст}^{Na}}{f \cdot (n-1)} = \frac{200}{9.1 \cdot 3} = 7$ м/год.

При низьких швидкостях фільтрування знижується обмінна ємність катіоніта. У нашому прикладі швидкості досить низькі, тому необхідно зменшити кількість фільтрів і розрахувати швидкості фільтрування при трьох робочих фільтрах:

$$V_{\text{н}} = \frac{200}{9.1 \cdot 3} = 7.7 \text{ м/год} < 15\text{м/год}$$

$$V_{\text{н}} = \frac{200}{9.1 \cdot 2} = 11 \text{ м/год} < 25\text{м/год}$$

Необхідна кількість регенерацій

$$a = \frac{24 \cdot Q_{1cm} T_o}{f H_{к1cm} E_p^{Na} n} = \frac{24 \cdot 200 \cdot 10}{9{,}1 \cdot 2{,}5 \cdot 3 \cdot 318} = 2{,}2 \,.$$

Таким чином, доцільно прийняти три робочих фільтра й один резервний. Кількість регенерацій: дві (при збільшенні витрати солі на регенерацію до 200г/ г-екв) або три, що відповідає нормам [1].

Таблиця 1 – Вихідні дані

Вихідні дані	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Витрата води Q, м^3/доб	15000	8000	12000	3000	5000	10000	18000	3000	6000	14000

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація).
3. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник. Харків : Фактор, 2010. 192 с
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізикохімічні основи технології очищення стічних вод : підручник для внз Київ : Лібра, 2000. 551 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник для студентів внз. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
6. Константінов Ю.М Технічна механіка рідини і газу : підручник. Київ : Вища школа, 2002.
7. Прутцьков Д.В. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 200 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Знання, 2008. 735 с.

$$\sum F_{H1} = W / h$$

Швидкість фільтрації води в нормальному режимі:

$$v = Q / F$$

Розрахунок катіонітових фільтрів 2-го ступеня

Для катіонітових фільтрів 2-й ступеня:

$$E_{раб} = {}^{a}{}_{э}\ E_{полн} - 0{,}5\ q\ C_{Na}\ ,$$

де C_{Na} – вміст натрію в воді, що надходить на фільтри 2-го ступеня, внаслідок проскоку у фільтрат 1-го ступеня. Величина C_{Na} приймається (с запасом) равному концентрації у вихідній воді.

При питомій витраті H_2SO_4, равній 100г/г-екв, ${}^{a}{}_{э} =$ 0,85; q=8…10м^3/м^3 катіоніту.

Водень-катіонітові фільтри 3-й ступеня приймаємо без розрахунку, рівнозначно 2-го ступеню. Швидкість фільтрації води через Н-катіонітові фільтри 1-го ступеня повинна бути не більше 25 м / год, а при форсованому режимі - не більше 30 м / год. Для фільтрів 2-й і 3-го ступеня цю величину можна збільшити до 40 ... 60 м / год.

Вихідні дані

Таблиця 1 – Варианти завдань

№ варіанту	Вихідні дані					
	Витрата води, м^3/доб	Вміст у вихідній воді, г/л				
		$CaCl_2$	$NaCl$	Na_2SO_4	$Ca(HCO_3)_2$	K_2SO_4
1.	1800	0,4	0,2	-	1,2	0,4
2.	2100	-	0,8	0,2	0,3	0,8
3.	4000	0,1	-	-	1,5	0,6
4.	3200	1,1	-	0,6	-	0,3
5.	2500	0,4	0,6	-	1,2	-
6.	3600	1,0	-	-	0,7	0,7
7.	1500	0,9	1,3	-	-	-

8.	1900	0,1	-	0,9	0,9	-
9.	2000	-	0,5	-	0,9	0,5
10.	4100	1,1	-	0,7	-	-

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація).
3. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник. Харків : Фактор, 2010. 192 с
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізикохімічні основи технології очищення стічних вод : підручник для внз Київ : Лібра, 2000. 551 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник для студентів внз. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
6. Константінов Ю.М Технічна механіка рідини і газу : підручник. Київ : Вища школа, 2002.
7. Прутцьков Д.В. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 200 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Знання, 2008. 735 с.

Таблиця 1 – Характеристика аніонітів

Назва аніоніту	Розмір зерен, мм	Рабоча обмінна емність, г-екв/м^3	Примітка
АН – 2Ф	0,3…0,5	450-550	Стійкий в кислому середовищі до t=50°С
ЭДЭ – 10П	0,3…1,5	800	Теж
АВ - 17	0,2…1,6	650	Стійкий в кислому середовищі до t=50°С

Розрахунок аніонітових фільтрів 2-го ступеня

Для фільтрів 2-го ступеня розрахункова величина обмінної ємності:

$$E_{расч} = E_р – 0,5\ q^{C}_{SiO_3^{2-}}$$

Таблиця 2 – Залежність середньої концентрації за межрегенераціний період

Середня концентрація в мг / л в знесоленій воді за межрегенераційний період	Залишкова концентрація в фільтраті аніонітових фільтрів 1-го ступеня
0,02	0,1
0,05	0,2
0,07	0,3
0,1	0,4
0,12	0,5
0,13	0,6
0,15	0,7
0,17	0,8
0,18	0,9
0,2	1,0
0,22	1,1

0,23	1,2
0,25	1,3
0,26	1,4
0,28	1,5

Таблиця 3 – Залежність робочої кремнеємності аніоніту Еде-10П від концентрації кремнієвої кислоти у вихідній воді

Залишкова концентрація в фільтраті в момент вимикання на регенерацію в мг / л	Робоча кремнеємність аніонату в г-екв / м^3 при концентрації у вихідній воді в мг / л													
	3	**6**	**9**	**12**	**15**	**18**	**21**	**24**	**27**	**30**	**33**	**36**	**39**	**42**
0,1	15	23	29	34	37	39	40	43	44	45	46	47	49	50
0,5	27	35	39	43	47	50	53	57	61	64	67	70	74	77
1,0	38	45	50	55	60	64	67	70	73	76	79	82	86	89
1,5	50	56	61	67	70	73	76	80	84	87	90	93	97	100

Замість аніоніту Еде-10П можна приймати для завантаження сільноосновним АВ-17, розрахункова кремнеємність становить 420 г-екв / м^3 (табл.8), тобто вона значно вище.

Таблиця 4 – Робоча кремнеємність сільноосновних аніонітів

Назва аніоніту	Робоча кремнеємність аніоніту в г-екв/м^3 до проскоку у фільтрат в мг/л			Витрата їдкого натру на регенерацію в кг на 1м^3 аніоніту
	0,1	0,5	1,0	
ЭДЭ – 10П	32	60	84	24,5
АВ – 16	176	238	255	144
АВ - 17	420	528	562	210

Аніоніти фільтрів 3-й ступеня підбирають за швидкістю фільтрування до 30м / год і h = 1,5 м. Тому в даному випадку ці фільтри прийняті тих же розмірів, що і для 2-го ступеня.

Вихідні дані

Таблиця 5 – Варіанти завдань

№ варіанту	Вихідні дані					
	Витрата води, $м^3$/доб	Вміст у вихідній воді, г/л				
		$CaCl_2$	$NaCl$	Na_2SO_4	$Ca(HCO_3)_2$	K_2SO_4
1.	1800	0,4	0,2	-	1,2	0,4
2.	2100	-	0,8	0,2	0,3	0,8
3.	4000	0,1	-	-	1,5	0,6
4.	3200	1,1	-	0,6	-	0,3
5.	2500	0,4	0,6	-	1,2	-
6.	3600	1,0	-	-	0,7	0,7
7.	1500	0,9	1,3	-	-	-
8.	1900	0,1	-	0,9	0,9	-
9.	2000	-	0,5	-	0,9	0,5
10.	4100	1,1	-	0,7	-	-

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація).
3. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник. Харків : Фактор, 2010. 192 с
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізикохімічні основи технології очищення стічних вод : підручник для внз Київ : Лібра, 2000. 551 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник для студентів внз. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
6. Константінов Ю.М Технічна механіка рідини і газу : підручник. Київ : Вища школа, 2002.
7. Прутцьков Д.В. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 200 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Знання, 2008. 735 с.

e - еквівалентна вага активної речовини коагулянту (для $FeCl_3$ – 54 мг-екв/л; для $FeSO_4$ – 76 мг-екв/л; для $Al_2(SO_4)_3$ – 57 мг-екв/л);

0,5 – надлишок вапна, мг/л.

Член $Д_к/e$ приймається зі знаком (+), якщо коагулянт вводять разом з вапном або після нього, і зі знаком (-), якщо коагулянт вводять раніше вапна.

Доза коагулянту визначається за формулою:

$$Д_к = 3\sqrt[3]{C},$$

де C – кількість що утворюється при пом'якшенні води суспензією в перерахунку не суху речовину, мг/л.

Кількість суспензії, що утворюється при вапняному способі пом'якшення, визначають, використовуючи залежність:

$$C_и = M_и + 50\left(\frac{CO_2}{22{,}01} + 2Ж_к\right) + 29\frac{Mg^{2+}}{12{,}16} + Д_и\left(\frac{100-m}{100}\right) \text{ мг/л}$$

де m – зміст вапна в товарній продукції, %.

Потім визначаємо кількість суспензії, що утворюється при вапняно-содовому пом'якшенні води:

$$C_{и.с} = M_и + 50\left(Ж_0 + Ж_к + \frac{CO_2}{22{,}01} + 0{,}5\right) + 29\frac{Mg^{2+}}{12{,}16} + Д_и\frac{100-m}{100} \text{ мг/л}$$

Визначаємо дозу соди (в перерахунку на Na_2CO_3)

$$Д_с = 53\left(Ж_н + \frac{Д_к}{e} + 1\right)$$

При проектуванні установок для приготування вапняного молока необхідно передбачити: бункер для прийому вапна, дробарку, класифікатор, баки для вапняного молока з пристроями для перемішування.

Вагові кількості реагентів - вапна, соди, хлорного заліза, необхідні для пом'якшення і освітлення, розраховуємо з виразів:

$$G_и = \frac{Q \times Д_и \times 100}{К_и \times 100}; \quad G_с = \frac{Q \times Д_с \times 100}{К_с \times 100}; \quad G_к = \frac{Q \times Д_к \times 100}{К_к \times 100}.$$

де $К_и$ – вміст CaO в товарному вапні, дорівнює 70%;

$К_с$ – вміст соди в товарному продукті, дорівнює 95%;

$К_к$ – вміст хлорного заліза в товарному коагулянті, дорівнює 98%.

Потім підбираємо основні споруди, що входять до складу технологічної схеми, розраховуємо матеріальний баланс, а також розміри і кількість споруд та обладнання.

Рекомендується приймати змішувачі вертикальні. Ребристі і дірчасті змішувачі застосовувати недоцільно, тому що швидкість руху води в них недостатня для підтримки частинок вапна у зваженому стані і вони будуть випадати в осад у самому змішувачі.

Таблиця 1 – Вихідні дані для розрахунку з освітлювачами

Вихідні дані	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Витрата води Q, м^3/доб	15000	8000	12000	3000	5000	10000	18000	3000	6000	14000
Вміст Ca^{2+}, мг/л	175	120	70	200	220	50	120	140	180	150
Вміст Mg^{2+}, мг/л	30	25	15	10	18	32	40	35	30	22
Каламутність вихідної води, мг/л	300	250	170	60	350	400	420	390	90	220

Вміст бікарбонатів HCO_3^-, мг/л	488	366	289,7	366	488	253,7	244	427	488	244
Температура води, °С	10	15	20	25	30	35	20	15	10	20
pH вихідної води	7,1	6,8	7,2	6,8	7,6	7,4	6,6	7,5	7,9	7,7

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація).
3. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник. Харків : Фактор, 2010. 192 с
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізикохімічні основи технології очищення стічних вод : підручник для внз Київ : Лібра, 2000. 551 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник для студентів внз. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
6. Константінов Ю.М Технічна механіка рідини і газу : підручник. Київ : Вища школа, 2002.
7. Прутцьков Д.В. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 200 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Знання, 2008. 735 с.

Температура кипіння розчину

$$t_{кр} = 54 + 30 = 84°C.$$

По таблицях водяної пари необхідно знайти ентальпії гріючої і вторинної пари:

$P_{г.п} = 0{,}6$ МПа; $i_{г.п} = 2765$ кДж/кг;

$P_{в.т} = 0{,}15$ МПа; $i_{в.т} = 2489$ кДж/кг.

Коефіцієнти випару і самовипару:

$$\alpha_i = \frac{i_{г.п} - t_n}{i_{вт.} - t_{к.р}} = \frac{2765 - 158.0}{2489 - 180.0} = 1{,}12;$$

$$\beta = \frac{i_0 - t_{к.р}}{i_{вт.} - t_{к.р}} = \frac{101 - 180.0}{2489 - 180.0} = 0{,}034,$$

де t_0 – температура кипіння розчину на вході в апарат, °С.

Питома витрата гріючої пари

$$d_{г.п} = \frac{\omega - C\beta}{\alpha_и} = \frac{0.86 - 1.15 \times 0.034}{1.12} = 0{,}82 \text{ кг/кг}.$$

Загальна витрата пари

$$D = d\, G_{нач} = 0{,}82 \times 2500 = 2052 \text{ кг/г}.$$

Теплова подача апарата

$$Q = D\,(i_{г.п} - t_п) = 2052\ (2765 - 158) = 5349564 \text{ кДж/г}.$$

Температурний напір

$$\Delta t = 158{,}0 - 80{,}0 = 78°C\ .$$

При розрахунку приймають коефіцієнт теплопередачі в I год K=1530 кДж/(м^2·К).

Площа поверхні нагрівання установки

$$F = \frac{Q}{k \times \Delta t} = \frac{5349564}{1530 \times 78} = 44{,}9 \text{ м}^2.$$

За ГОСТ II 987-8I вибираємо випарний апарат з наступними характеристиками:

номінальна площа поверхні теплообміну, м² 63

діаметр труб, мм 38х2

висота труб, мм 4000

діаметр гріючої камери, мм 800

загальна висота апарата, мм 13000

№ варіанту	Вихідні дані					
	Витрата води, $м^3$/доб	Вміст у вихідній воді, г/л				
		$CaCl_2$	$NaCl$	Na_2SO_4	$Ca(HCO_3)_2$	K_2SO_4
1.	1800	0,4	0,2	-	1,2	0,4
2.	2100	-	0,8	0,2	0,3	0,8
3.	4000	0,1	-	-	1,5	0,6
4.	3200	1,1	-	0,6	-	0,3
5.	2500	0,4	0,6	-	1,2	-
6.	3600	1,0	-	-	0,7	0,7
7.	1500	0,9	1,3	-	-	-
8.	1900	0,1	-	0,9	0,9	-
9.	2000	-	0,5	-	0,9	0,5
10.	4100	1,1	-	0,7	-	-

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація).
3. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник. Харків : Фактор, 2010. 192 с
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізикохімічні основи технології очищення стічних вод : підручник для внз Київ : Лібра, 2000. 551 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник для студентів внз. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
6. Константінов Ю.М Технічна механіка рідини і газу : підручник. Київ : Вища школа, 2002.
7. Прутцьков Д.В. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 200 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Знання, 2008. 735 с.

Δ t – зниження температури в градирні.

Втрати води з краплинним винесенням вітром залежать від типу охолоджувача. Для вентиляторних градирень ці втрати складають 0,2-0,5 % від витрати оборотної води, для баштових градирень – 0,5-1%.

Позначимо кількість води, що знаходиться в обороті $Q_{об}$, $м^3$/год, тоді

$$q_д = \frac{P_д \cdot Q_{об}}{100} \; ; q_1 = \frac{P_1 \cdot Q_{об}}{100} ; q_{пр} = \frac{P_3 \cdot Q_{об}}{100} \qquad (4)$$

Таблиця**1** - Вихідні дані для виконання розрахункової частини

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1-5	**6-10**	**11-15**	**16-20**	**21-25**
Продуктивність цеха за рік, т	$1{,}4 \cdot 10^6$	$1{,}0 \cdot 10^6$	$1{,}2 \cdot 10^6$	$0{,}9 \cdot 10^6$	$1{,}1 \cdot 10$
Норма водоспоживання, $м^3$ на 1000 $м^3$ газу	10	8	5,7	6	10,3
Кількість годин роботи за рік,	8760	8472	8472	8472	8760
Коефіцієнт годинної нерівномірності	1,05	1,0	1,05	1,0	1,05
Влаговміст доменного газу при t=55°С, г/$м^3$	120	120	120	120	120
Втрати води в процесі очистки,	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Втрати води з бризговиносом на градирні, %	0,2	0,25	0,2	0,2	0,25
Температура нагрітої води,	42	45	50	48	4
Температура охолодженої води,	30	30	35	34	3
Коефіцієнт випаровування $К_{ВИП}$	2,2	3,0	1,4	2,0	2
Виробничість скрубера по газу, $м^3$/год.	120 тис.	90 тис.	150 тис.	80 тис.	66 тис.
Апарат для очистки стічних вод	Флокулятор d = 12	радіальний відстійник d = 24	радіальний відстійник d = 30	радіальний відстійник d = 24	Флокулятор d = 12

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація).
3. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник. Харків : Фактор, 2010. 192 с
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізикохімічні основи технології очищення стічних вод : підручник для внз Київ : Лібра, 2000. 551 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник для студентів внз. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
6. Константінов Ю.М Технічна механіка рідини і газу : підручник. Київ : Вища школа, 2002.
7. Прутцьков Д.В. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 200 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Знання, 2008. 735 с.

Витрата води на власні потреби $q = \frac{drn}{24}$

де d – витрата води на одне промивання одного фільтра, м^3,

$$d = \frac{i \cdot f \cdot \tau \cdot 60}{1000} = \frac{12 \cdot 7.1 \cdot 15 \cdot 60}{1000} = 76.6 \approx 77 м^3 \quad (1.2)$$

де i – інтенсивність промивання, $л/(с \cdot м^2)$, приймаємо $12 л/(с \cdot м^2)$;

f – площа фільтра;

τ – тривалість промивання, приймається 15 хв;

r – число промивань кожного фільтра, приймаємо 2.

Таким чином, $g = \frac{77 \cdot 2 \cdot 4}{24} = 27.5 м^3 / год = 15{,}3\%$

Як видно з розрахунків, витрата води на власні потреби фільтрів становить 15,3% замість 8,0% /прийнятих за вихідним даними/. Тому необхідно зменшити число регенерацій фільтрів і зробити перерахунок, або при визначенні собівартості води врахувати отримані дані.

Необхідно знайти швидкість фільтрування при нормальному режимі (один фільтр у промиванні) і форсованому (один фільтр у промиванні, один у ремонті):

$$V_н = \frac{Q_{о.ф.} + g'}{f \cdot (n-1)} = \frac{216 + 14}{7{,}1 \cdot (4-1)} = 10{,}8 м/год \geq 10 м/год, \quad (1.3)$$

де g' – додаткова витрата води на власні потреби в порівнянні із прийнятим, м^3/год;

$$V_ф = \frac{Q_{о.ф.} + g'}{f \cdot (n-2)} = \frac{216 + 14}{7.1 \cdot (4-2)} = 16.2 \text{ м/г} \geq 12 \text{ м/год} \quad (1.4)$$

Отже, швидкості завищені, тому необхідно кількість фільтрів збільшити до 5. Тоді :

$$V_н = \frac{230}{7.1 \cdot (5-1)} = 8{,}1 \text{ м/г} \leq 10 \text{ м/год}$$

$$V_ф = \frac{230}{7.1 \cdot (5-2)} = 10{,}8 \text{ м/г} \leq 12 \text{ м/год}$$

Відповідно до розрахунку необхідно встановити п'ять фільтрів діаметром 3,0 м.

Вихідні дані

Таблиця 1 – Варианти завдань

№ варіанту	Вихідні дані					
	Витрата води, $м^3$/доб	Вміст у вихідній воді, г/л				
		$CaCl_2$	$NaCl$	Na_2SO_4	$Ca(HCO_3)_2$	K_2SO_4
1.	1800	0,4	0,2	-	1,2	0,4
2.	2100	-	0,8	0,2	0,3	0,8
3.	4000	0,1	-	-	1,5	0,6
4.	3200	1,1	-	0,6	-	0,3
5.	2500	0,4	0,6	-	1,2	-
6.	3600	1,0	-	-	0,7	0,7
7.	1500	0,9	1,3	-	-	-
8.	1900	0,1	-	0,9	0,9	-
9.	2000	-	0,5	-	0,9	0,5
10.	4100	1,1	-	0,7	-	-

Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013 Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 172 с. (Інформація та документація).
2. ДБН В.2.5 – 75:2013 Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2013. 128 с. (Інформація та документація).
3. Епоян С.М. Водопостачання та очистка природних вод : навчальний посібник. Харків : Фактор, 2010. 192 с
4. Запольський А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М. Фізикохімічні основи технології очищення стічних вод : підручник для внз Київ : Лібра, 2000. 551 с.
5. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручник для студентів внз. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
6. Константінов Ю.М Технічна механіка рідини і газу : підручник. Київ : Вища школа, 2002.
7. Прутцьков Д.В. Водопостачання та водовідведення промислових підприємств : навчальний посібник. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 200 с.
8. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання : підручник для студентів вищих навчальних закладів. Київ : Знання, 2008. 735 с.

1. Завдання для самостійної роботи

Тема 1. Утворення карбонатних відкладень. Стабільність води. Сольовий склад. Зміни концентрації розчинених речовин. Література [1, 5, 12, 14].

Тема 2. Види охолоджувачів води у промисловості. Градирні, бризкальні басейни. Температурний режим охолоджувачів. Література [5, 7, 8,12].

Тема 3. Тепловий режим охолоджувачів.Зміни ттемператури. Ефективнісь роботи охолоджувачів. Література [1, 4, 5, 10].

Тема 4. Види градирень, їх конструкції. Література [1, 9, 10, 12].

Тема 5. Процеси теплообміну у випарних охолоджувачах. Багатокорпусні випарні установки. Література [7, 10, 12, 14].

Тема 6. Фосфатування води. Реагенти. Технологічна схема обробки методом фосфатування. Література [1, 5, 6].

Тема 7. Розрахунок доз реагентів для підкислення. Реагенти для підкислення води. Методика розрахунку доз реагентів. Література [1, 5, 6, 7].

Тема 8. Катіонітове фільтрування. Іонообмінні фільтри, технологічні схеми процесу іонообміну. Література [6, 7, 8, 10].

Тема 9. Регенерація завантаження в йоннообмінних установках. Література [4-7].

Тема 10.Амоній-катіонітові установки, конструкція, технологія процессу, регенерація завантаження. Література [4-7].

Тема 11. Водопідготовка для атомних електростанцій. Вимоги до якості води, технологчні схеми водопідготовки. Література [2, 3, 8, 12].

Тема 12. Водопостачання коксохімічного виробництві. Вимоги до якості води, технологчні схеми водопідготовки. Література [1, 11, 14].

Тема 13. Водопостачання тваринницьких комплексів. Вимоги до якості води, технологчні схеми водопідготовки. Література [2, 5, 12].

Тема 14. Випарні установки, технологічні схеми роботи однокорпусних та багатокорпусних установок. Література [1, 5, 7, 10].

Тема 15. Розрахунок випарних установок. Вихідні дані. Розрахунок температурного режиму, барометричного конденсатору, витрати гріючого пару. Література [1, 5, 7, 14].

2. Ціль і тема контрольної роботи

Ціль контрольної роботи – засвоєння необхідного обсягу знань у галузі наукових досліджень, підготовка магістрантів до самостійного виконання наукової роботи, ознайомлення з формами звітів, методикою підготовки повідомлень, доповідей, наукових статей, тез, магістерської роботи.

Контрольна робота складається з письмових відповідей на два теоретичних питання (додаток Б).

3. Склад контрольної роботи

Контрольна робота включає такі розділи:

- теоретичні питання;
- список використаної літератури.

4. Методичні вказівки до виконання роботи

Варіант контрольної роботи вибирається студентом по двох останніх цифрах його залікової книжки згідно з додатком А.

Конкретний зміст контрольної роботи студент визначає самостійно згідно з переліком питань, які приведені в додатку Б. Перелік рекомендованої літератури додається.

Відповіді на теоретичні питання повинна починатися з заголовку і повинні бути конкретними з необхідними схемами, рисунками і посиланнями на використану літературу. Зміст питання необхідно викладати своїми словами після вивчення необхідного матеріалу.

Завдання повинно включати умову з вихідними даними, хід розв’язання з необхідними пояснюючими схемами, прикладами, висновком за результатами виконання.В кінці контрольної роботи приводиться список використаної літератури, оформлений згідно з діючими стандартами.

Додаток А

Вибір варіанту контрольної роботи

ПЕРЕДОСТАННЯ ЦИФРА НОМЕРА ЗАЛІКОВОЇ КНИЖКИ	Запоріжжя, 2023. – 200 с.ОСТАННЯ ЦИФРА НОМЕРА ЗАЛІКОВОЇ КНИЖКИ									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1,36	2, 35	3, 34	4, 33	5, 32	6, 31	7, 30	8, 29	9, 28	10,27
1	11, 26	12, 25	13, 24	14, 23	15, 22	16, 21	17, 20	18, 19	19, 17	20, 18
2	15, 21	14, 22	13, 23	12, 24	11, 25	10, 26	9, 27	8, 28	7, 29	6, 30
3	5, 31	4, 32	2, 33	1, 34	4, 35	5, 36	1, 18	2, 19	3, 20	4, 21
4	5, 22	6, 23	7, 24	8, 25	9, 26	10, 27	11, 28	12, 29	1, 30	2, 31/14
5	3, 32/15	4, 33	5, 34	6, 35	7, 36	8, 10	9, 11	10, 12	11, 13	12, 16/24
6	1, 17/25	2, 18	3, 19	4, 20	5, 21	6, 22	7, 23	8, 24	9, 25	10, 26/34
7	11, 27/35	12, 28	1, 29	2, 30	3, 31	4, 32	5, 33	6, 34	7, 35	8, 36/16
8	9, 20/17	10, 21	11, 22	12, 23	1, 24	2, 25	3, 26	4, 27	5, 28	6, 29/26
9	7, 30/27	8, 31	9, 32	10, 33	11, 34	12, 35	1, 25	2 ,30	3, 34	4, 20/36

Примітк а: Цифри в чисельнику відповідають номеру теоретичного питання, а в знаменнику - номеру теми дослідження

Питання для самостійної роботи

1. Які основні функції систем водозабезпечення у складі інженерної інфраструктури промислової будівлі?
2. Які чинники визначають вибір схеми водозабезпечення промислового підприємства?
3. Які вимоги висуваються до систем водозабезпечення з урахуванням функціонального призначення та технологічного процесу промислової будівлі?
4. Як архітектурно-планувальні рішення промислової будівлі впливають на трасування внутрішніх мереж водопостачання?
5. Які конструктивні рішення необхідно передбачати для прокладання трубопроводів у промислових будівлях?
6. Які способи прокладання внутрішніх водопровідних мереж доцільно застосовувати у виробничих приміщеннях?
7. Як розміщення технологічного обладнання впливає на проєктування та експлуатацію систем водозабезпечення промислової будівлі?
8. Які вимоги до надійності систем водозабезпечення необхідно враховувати під час проєктування промислових будівель?
9. Які основні види водоспоживання характерні для промислових підприємств і як вони впливають на розрахункові витрати води?
10. Які принципи формування балансу водоспоживання промислового підприємства?
11. У чому полягають особливості проєктування систем господарсько-питного, виробничого та протипожежного водопостачання промислових будівель?
12. Які критерії використовують для вибору насосного обладнання систем водозабезпечення промислових будівель?
13. Як регулювання продуктивності насосних установок впливає на енергоефективність системи водозабезпечення?
14. Які конструктивні та інженерні рішення забезпечують захист трубопроводів від механічних пошкоджень, корозії та температурних деформацій?
15. Які особливості проєктування систем водозабезпечення багатопрогонових промислових будівель?
16. У чому полягають принципи формування оборотних систем водопостачання промислових підприємств?
17. Які переваги мають системи повторного використання води у промислових будівлях?
18. Які технологічні та будівельно-конструктивні рішення необхідні для інтеграції систем повторного використання води в існуючу будівлю?
19. Які способи зменшення витрат свіжої води можна застосовувати під час реконструкції промислових будівель?
20. Які сучасні технології очищення та підготовки води можуть застосовуватися в системах водозабезпечення промислових об'єктів?
21. Які особливості застосування іонообмінних технологій у системах підготовки води для промислових будівель?
22. Які можливості використання мембранних технологій, зокрема ультрафільтрації та зворотного осмосу, у системах повторного використання промислової води?
23. Як системи водозабезпечення впливають на енергетичну ефективність промислової будівлі?
24. Які можливості використання BIM-технологій під час проєктування та координації систем водозабезпечення промислових будівель?
25. Які переваги використання цифрової моделі будівлі для контролю трасування трубопроводів, обладнання та інженерних комунікацій?
26. Які методи моніторингу технічного стану систем водозабезпечення можуть застосовуватися під час експлуатації промислових будівель?
27. Які основні причини аварій та відмов систем водозабезпечення промислових будівель і як їх можна мінімізувати на етапі проєктування?
28. Які рішення щодо резервування інженерного обладнання та мереж підвищують живучість систем водозабезпечення промислових будівель?
29. Які особливості реконструкції та відновлення систем водозабезпечення промислових будівель, пошкоджених унаслідок надзвичайних ситуацій і воєнних ризиків?
30. Які сучасні підходи до проєктування систем водозабезпечення забезпечують одночасно надійність, ресурсоефективність, енергоефективність та адаптивність промислової будівлі?

1. Данкевич Н. О., Добровольська О., Данкевич С. Ю. Аналіз стану інженерних мереж та використання сучасних технологій їх реконструкції при розробці проєктно-технологічної документації. Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. 2024. Т. Том 3 . № № 107 (2024). С. 21-30. URL: https://doi.org/10.31713/vt320243Добровольська О.Г., Світлична В.Б. Моніторинг та удосконалення інженерних об'єктів : конспект лекцій. Запоріжжя: ЗНУ, 2020. 125 с.
2. Добровольська О., Фостащенко О. М., Чудновський П. Б. Реконструкція інженерних об'єктів нежитлового фонду в контексті відновлення України. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2024. № 21. С. 57-65. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/article/view/1472/1351.
3. Добровольська О.Г. Реконструкція інженерних мереж та обладнання в контексті відбудови України. Наука, технології та інновації:від досліджень до практичних рішень. Рига: Baltija Publishing. С.60-90.
4. Добровольська О., Данкевич Н. О., Данкевич С. Ю. Удосконалення та модернізація інженерних об'єктів. Зелене будівництво : зб. тез доп. III міжнар. наук.-практ. інтер.-конф., м. Київ, 16-17 квітня 2024 р. Київ, 2024 Київ: Київський національний університет будівницт, 2024. С. 103-105. URL: https://www.knuba.edu.ua/wp-content/uploads/2024/05/zbirnyk_gotovyj4.pdf
5. Добровольська О., Шевченко Г. . Інженерне забезпечення систем транспортування води в будівлях і міському середовищі: сучасне обладнання, проблеми та шляхи вдосконалення. Інженерні інновації та розбудова національної економіки : зб. тез доп. II міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 15-16 трав. 2025 р. Запоріжжя, 2025 Запоріжжя: Видавничий дім «Гельветика», 2025. С. 612-615.
6. Савйовський В. В. Реконструкція будівель і споруд : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2020. 320 с.
7. Конспект лекцій з дисципліни "Обстеження і випробування будівель і споруд" : для студентів спец. 192 "Буд-во та цивіл. інженерія / уклад. О. П. Конончук ; ТНТУ ім. Івана Пулюя. Тернопіль : [б. м.], 2018. 95 с. URL: http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi71/0051983.pdf
8. Сіромолот Г. В. Технічна експертиза, обстеження пошкоджень об'єктів будівництва та методи їх усунення : навч.-метод. посіб. для студентів ЗДІА спец. 192 "Буд-во та цив. інженерія" ден. та заоч. форм навчання / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2018. 161 с/
9. Фостащенко О. М., Добровольська О., Гондар С. О., Фостащенко Д. О. Моніторинг та удосконалення проєктних рішень заміни підкранових конструкцій монтажно-збирального цеху промислової будівлі. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2023. № 20. С. 158-170. URL: https://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction/issue/view/137/134.
10. Elchalakani M., Yang B., Mao K., Pham T. GeopolymerConcreteStructureswithSteeland FRP Reinforcements : AnalysisandDesign. Cambridge : WoodheadPublishing, 2023. 645 p. URL: http://surl.li/aztlue 12.Environmental TechnologyApplicationsintheRetrofittingofResidentialBuildings / M. B. Luther, I. Martek, M. Amirkhani [etal.] (eds.). Basel : MDPI, 2022. 232 p. URL: http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi71/0052149.pdf.