

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства та  
природокористування  
Навчально-науковий інститут будівництва та архітектури  
Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи

**03-06-130М**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять з навчальної дисципліни  
«Водопідготовка систем теплопостачання»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-  
професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія»  
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
усіх форм навчання

Рекомендовано науково-  
методичною радою  
з якості ННІБА  
Протокол № 6  
від 14.06.2022 р.

Рівне – 2022

Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Водопідготовка систем тепlopостачання» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання [Електронне видання] / Орлова А. М., Мартинов С. Ю. – Рівне : НУВГП, 2022. – 30 с.

Укладачі: Орлова А. М., к.т.н., доцент, водopостачання, водовідведення та бурової справи; Мартинов С. Ю., д.т.н., професор, водopостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., д.т.н., професор, завідувач кафедри водopостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» – Караван В. В., доцент, к.т.н.

© А. М. Орлова,  
С. Ю. Мартинов, 2022.  
© НУВГП, 2022.

## З М І С Т

Вступ .....	3
1. Вибір схеми підготовки води, розрахунок показників якості води після окремих методів її оброблення .....	4
2. Розрахунок швидких безнапірних (напірних) прояснювальних фільтрів .....	8
3. Розрахунок установок для Na-катіонування, H- Na-катіонування .....	16
4. Розрахунок регенераційного господарства іонітової установки .....	20
5. Дегазація води, підбір та розрахунок дегазаторів .....	24
Список літератури .....	26

## ВСТУП

Режим експлуатації водопідготовчих установок та водно-хімічний режим повинні забезпечити роботу котельень і підприємств теплових мереж без пошкоджень і зниження економічності їх роботи, що викликаються корозією внутрішніх поверхонь водопідготовчого, теплоенергетичного та мережевого обладнання, а також без утворення накипу і відкладень на теплопередаючих поверхнях, відкладень в проточній частині обладнання, шламу в обладнанні та трубопроводах котельень і теплових мереж.

Ці умови можуть бути виконані шляхом проведення ряду хімічних і теплотехнічних заходів з обробки вихідної (сирої води), що надходить в котельню для поповнення втрат конденсату (парова котельня) в загальному циклі роботи на споживача, крім цього необхідно поповнення втрат живильної та мережевої води через продукти котлів і теплових мереж, витоків, безповоротних втрат на пропарювання мазутних цистерн (при роботі котельень на мазуті) тощо.

Обробка води здійснюється на спеціальних спорудах водопідготовки, які необхідно розрахувати, підібрати згідно вимог до якості води споживача (котельень, ТЕС, АЕС тощо).

## ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Розрахунки на практичних заняттях виконуються в зошиті. Вони можуть виконуватися за прикладом, що представляє викладач, або розрахунки за індивідуальними даними. В кінці кожного практичного заняття студент представляє викладачеві результати його виконання. Викладач оцінює в балах: індивідуальність виконання роботи, ступінь та правильність виконання. Максимальна кількість балів представлена в платформі moodle. Отримані бали відображаються в електронному журналі. В разі невиконання певного практичного заняття з об'єктивних причин, студент має право його відпрацювати.. Час та порядок відпрацювання визначається викладачем.

### ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

#### *Вибір схеми підготовки води, розрахунок показників якості води після окремих методів її оброблення*

Водний режим повинен забезпечувати роботу котла та живлячого тракту без пошкоджень їх елементів унаслідок утворення відкладів і шламу, перевищення відносної лужності котлової води або в результаті корозії металу. Усі парові котли з природною й багатократною примусовою циркуляцією паропродуктивністю 0,7 т/год і більше, усі парові прямоточні котли незалежно від паропродуктивності, а також усі водогрійні котли повинні бути обладнані установками для докотлової обробки води.

Перевірку придатності тієї чи іншої схеми водопідготовки (ВП) необхідно проводити за трьома важливими показниками: продукції котла, вмісту вуглекислоти у парі та відносній лужності котлової води.

**Сухий залишок** після Na-катіонування збільшиться й буде становити

$$S_{ов}^{Na} = S_{ноч} + 2,96 \cdot Ж_{Ca} + 10,84 \cdot Ж_{Mg}, \text{ мг/дм}^3 \quad (1.1)$$

де  $S_{ов}^{Na}$  - сухий залишок води, який подається на натрій-катіонітовий фільтр (згідно завдання), мг/дм<sup>3</sup>;

$Ж_{Ca}$ ,  $Ж_{Mg}$  - початкова кальцієва і магнеєва жорсткість (згідно

завдання) , ммоль/дм<sup>3</sup>

**Продукву котлів** за сухим залишком визначають із рівняння %:

$$P = \left( \frac{S_{ов} \cdot \alpha_{ов} \cdot 100}{S_{кв} - S_{ов} \cdot \alpha_{ов}} \right), \quad (1.2)$$

де  $S_{ов}$  – сухий залишок обробленої води, мг/дм<sup>3</sup>, який розраховується залежно від схеми обробки води ;

$\alpha_{ов}$  – доля обробленої води, яка визначається з пароводяного балансу котельної з врахуванням втрат конденсату (на виробництві, на розігрівання мазуту, втрати в деаераторі, приймається згідно завдання);

$S_{кв}$  – сухий залишок котлової води, який визначається за паспортними даними заводу-виробника, мг/дм<sup>3</sup>.

Таблиця 1.1.

Величини сухого залишку котлової води для різних типів котлів

Тип котла	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>
Жаротрубні	12 000
Газотрубні	5 000
Водотрубні без нижніх барабанів	2 000
Водотрубні з нижнім барабаном	3 000
Вертикально водотрубні типу ДКВР:	
✓ з механічним барабанним сепаратором	3 000
✓ з внутрішньобарабанним циклоном	4 000
✓ з двоступеневим випаровуванням	6 000
✓ з двоступеневим випаровуванням та виносними циклонами	10 000

*Примітка:* з 1968 р. Бійський котельний завод усі котли (без пароперегрівачів) випускає лише з механічною сепарацією пари, крім котлів ДКВР-20-13, які мають двоступеневе випаровування та виносні циклони.

Котли з тиском до 2,4 МПа потужністю 10 т/год і більше повинні працювати з продуквою не більше 10% при солемісті живлячої води до 500 мг/дм<sup>3</sup>. При тискові до 4 МПа і солемісті живлячої води до 250 мг/дм<sup>3</sup> величина продукви не повинна перевищувати 5% за наявності двоступеневого випарювання і надійних внутрішньокотлових пристроїв.

Розрахунок продукви ведуть на максимальні втрати пари та конден-

сату і найгірші показники (за сухим залишком) живлячої води.

Якщо продувка значно перевищує допустиму, то приймають схему обробки води, яка забезпечує зменшення сухого залишку обробленої води.

**Концентрація вуглекислоти у парі** при використанні деаераторів ДСА з барботуванням визначається за рівнянням

$$CO_2 = 22 \cdot L_{ов} \cdot \alpha_{ов} \cdot (\sigma_1 + \sigma), \text{ мг/кг} \quad (1.3)$$

де  $\sigma_1 \approx 0,4$  – доля розкладання  $NaHCO_3$  у котлі (60% розкладається в деаераторі з барботуванням і видаляється з випаром); де  $L_{ов}$  – лужність обробленої води, ммоль/дм<sup>3</sup> (приймається згідно завдання);  $\alpha_{ов}$  – доля обробленої води (згідно завдання);  $\sigma$  – доля розкладання  $Na_2CO_3$  у котлі, яка приймається за відповідним графіком в залежності від тиску МПа ( рис.1.1).

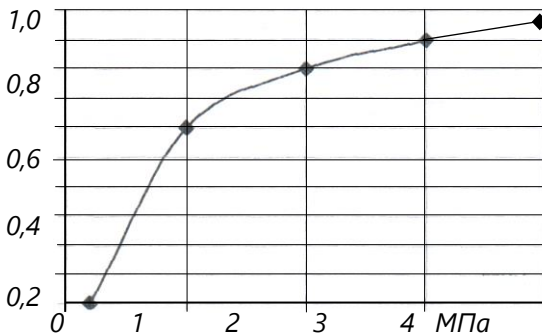


Рис. 1.1.  
Залежність розкладання  $Na_2CO_3$  від тиску в котлі

**Концентрація вуглекислоти у парі** при використанні деаераторів ДСА без барботуванням визначається за рівнянням

$$CO_2 = 22 \cdot L_{ов} \cdot \alpha_{ов} \cdot (1 + \sigma), \text{ мг/кг} \quad (1.4)$$

Допустимий вміст вуглекислоти у парі приймається по ГОСТ 20995-75\*\* залежно від умов використання пари споживачем: за умови розгалуженої мережі споживачів пари вміст вуглекислоти у ній не повинен перевищувати 20 мг/кг; за умови централізованого споживання пари, обов'язкового вентильовання парових об'ємів і надійного видалення під час цього вуглекислоти її кількість у парі може бути до 100 мг/кг.

Для попередження вуглекислотної корозії рекомендують застосовувати:

- ✓ дегазацію конденсату в апаратурі, де використовується пара;
- ✓ амінування живлячої води котлів, якщо споживачі пари допускають наявність у парі аміаку, а в конденсатопроводі відсутні деталі з мідних сплавів;
- ✓ схеми підготовки із зменшенням лужності живлячої води.

**Відносна лужність котлової води** дорівнює відноській лужності обробленої води (розбавлення конденсатом і концентрація солей у воді відносно лужність не змінюють). Відносну лужність визначають з виразу

$$L_{в.к.в} = L_{в.ов} = \frac{40 \cdot L_{ов} \cdot 100}{S_{ов}^{Na}}, \% \quad (1.5)$$

де 40 – еквівалентна маса NaOH, ммоль/дм<sup>3</sup>;

$L_{в.к.в}$ ;  $L_{в.ов}$  – відносна лужність, відповідно, котлової й обробленої води, %;

$L_{ов}$  – лужність обробленої води, ммоль/дм<sup>3</sup>;

$S_{ов}$  – сухий залишок обробленої води, мг/дм<sup>3</sup>.

Відносна лужність котлової води вище нормативних значень може викликати міжкристалічну корозію або так звану каустичну ламкість.

Відносна лужність котлової води має бути (РТМ ЦКТИ 108.030.114-77):

- ✓ за наявністю заклепкових з'єднань ..... 20%
- ✓ за наявністю вальцювальних з'єднань . ≤ 50%
- ✓ за наявністю тільки зварних з'єднань..... не нормується

Для зварних котлів, які працюють *при* тискові більше 1 МПа і *відноській лужності більше 20%*, слід передбачати обробку води нітратами або аналогічними пасиваторами. *За величини відносної лужності більше 50%* для зварних котлів слід передбачати схеми обробки, які зменшують лужність початкової води.

Якщо один із трьох перерахованих показників вибору схем обробки води для парових котлів не відповідає нормам (під час перевірки на найбільш просту схему, наприклад, Na-катіонування), приймають іншу схему залежно від необхідності зменшити сухий залишок, вміст вуглекислоти в парі або відносну лужність котлової води. Одночасно передбачають усі методи обробки, щоб живляча вода відповідала усім нормам, наведеним у [4].

Технологічну схему підготовки технічної води для теплогенеруючої установки підбирають за умовами та схемами, наведеними у [17].

Прийнятту схему наводять у розрахунках, вказують показники якості води після кожного з етапів її обробки. Зразок схеми наведений на рис. 1.2.

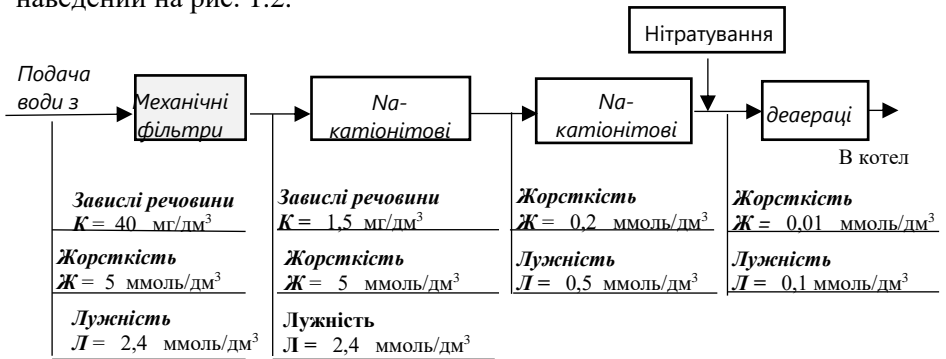


Рис. 1.2. Прийнята технологічна схема обробки води

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

*Розрахунок швидких безнапірних (напірних) прояснювальних фільтрів* (згідно завдання викладача)

### 2.1. Розрахунок безнапірних швидких кварцевих фільтрів

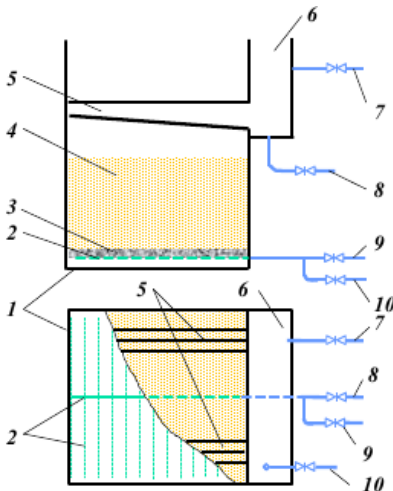


Рис. 2.1. Схема безнапірного кварцевого фільтру

1 – корпус фільтру, 2 – нижня дренажно-розподільча система; 3 – підтримуючі шари; 4 – кварцева засипка; 5 – верхня розподільча система (жолоби); 6 – боковий канал; 7 – трубопровід подавання вихідної води; 8 – трубопровід відведення промивної води; 9 – трубопровід подавання води на промивання; 10 – трубопровід відведення профільтрованої води



Згідно з [2, п.10.12.4] сумарна площа фільтрів, м<sup>2</sup>

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\kappa}}{T_{cm} \cdot V_n - n_{np} \cdot q_{num} - n_{np} \cdot \tau_{np} \cdot V_n} \quad (2.1)$$

де  $Q_{\kappa}$  – корисна продуктивність станції, м<sup>3</sup>/добу;

$T_{cm}$  – тривалість роботи станції упродовж доби, год. Як правило,

$T_{cm} = 24$  год;

$V_n$  – розрахункова швидкість фільтрування в нормальному режимі, м/год (Додаток А);

$n_{np} = 1-3$  – кількість промивань одного фільтра за добу при нормальному режимі експлуатації;

$\tau_{np}$  – час простою фільтра в зв'язку із промиванням. При промиванні фільтра водою  $\tau_{np} = 0,33$  год, водою та повітрям – 0,5 год;

$q_{num}$  – питомі витрати води на одне промивання одного фільтра, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>, які визначаються з врахуванням вимог [2, п.10.12.15]

$$q_{num} = 3,6 \cdot \omega \cdot t_1, \quad (2.2)$$

де  $\omega$  – інтенсивність промивання, дм<sup>3</sup>/(с·м<sup>2</sup>); приймається за Додатком Б або [2, табл. 23];

$t_1$  – тривалість промивання, год. Приймається за Додатком В або [2, табл. 23].

Згідно з [2, п.10.12.5] кількість фільтрів на станції продуктивністю більше 1600 м<sup>3</sup>/добу повинна бути не менше 4, а їх загальна кількість, шт, визначається

$$N_{\phi} = 0,5 \cdot \sqrt{F_{\phi}} \quad (2.3)$$

Швидкість фільтрування у форсованому режимі, м/год

$$V_{\phi} = \frac{V_n \cdot N_{\phi}}{N_{\phi} - N_I}, \quad (2.4)$$

де  $N_I$  – кількість фільтрів, яка знаходиться в ремонті, шт. Згідно з [2, п.10.12.1] при кількості фільтрів до 20 шт  $N_I = 1$  шт, а при більшій -  $N_I = 2$  шт.

Швидкість фільтрування води у форсованому режимі, визначена за формулою 2.4 не повинна перевищувати табличного значення (Додаток А).

Крупність фракцій та висота підтримуючих шарів при розподільній системі великого опору приймається Додатком В. При водоповітряній промивці з подачею повітря по трубчастій системі, висоту шарів крупністю 10-5 мм та 5-2 мм приймають по 150-200 мм кожний.

Площа одного фільтра,  $m^2$ , не повинна перевищувати 100-120  $m^2$  і визначається

$$F_1 = \frac{F\phi}{N} \quad (2.5)$$

При площі одного фільтра до 40  $m^2$ , він проектується з боковим каналом, при більшій – з центральним.

Розміри фільтра в плані, в осях, приймаються кратними 0,5 м. Тоді, площа фільтрування швидкого фільтра,  $m^2$  становитиме

$$F_1' = (A - t) \cdot (B - t) \geq F_1 \quad (2.6)$$

де  $t = 0,2$  м – товщина стінки корпусу швидкого фільтра.

Кількість промивної води на один фільтр, л/с

$$q_{np} = F_1' \cdot \omega \quad (2.7)$$

Згідно з [2, п.10.12.12] діаметр колектора розподільної системи визначають, виходячи зі швидкості руху води на його початку,  $V_{кол} = 0,8 \dots 1,2$  м/с.

*Приклад розрахунку безнапірних кварцевих фільтрів наведений у [11] с. 150 ... 153.*

## **2.2. Розрахунок безнапірних швидких пінополістирольних фільтрів ФПЗ-1, конструкторії д.т.н., проф. Орлова В.О.)**

Пінополістирольні фільтри з висхідним фільтраційним потоком (рис. 2.2) можуть працювати по одноступеневій схемі (контактні фільтри), коли вода надходить на фільтр після вертикального змішувача, а також по двоступеневій - коли вода потрапляє на фільтри після відстійника або прояснювача з завислим шаром осаду.

Сумарна площа фільтрів згідно з [2, п.10.14.8] або Додатку Г,  $m^2$

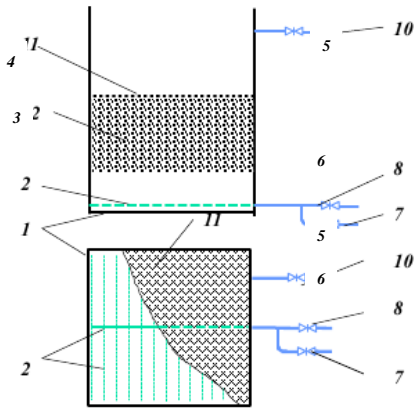


Рис. 2.2. Схема безнапірного пінополістирольного фільтра з висхідним фільтраційним потоком 1 – корпус фільтра, 2 – нижня дренажно-розподільча система; 3 – пінополістирольна засипка; 4 – утримуюча решітка; 5 – трубопровід відведення профільтрованої води; 6 – трубопровід відведення промивної води; 7 – трубопровід подавання вихідної води; 8 – трубопровід відведення промивної води; 10 – трубопровід відведення профільтрованої води;

$$F_{\phi} = \frac{Q_{\kappa}}{T_{cm} \cdot V_{\phi}^H - 3,6 \cdot n_{np} \cdot \omega \cdot t_1 - n_{np} \cdot \tau \cdot V_{\phi}^H}, \quad (2.8)$$

де  $Q_{\kappa}$  – корисна продуктивність станції, м<sup>3</sup>/добу;

$T_{cm}$  – тривалість роботи станції упродовж доби, год;

$V_{\phi}^H$  – розрахункова швидкість фільтрування в нормальному режимі, м/год;

$n_{np} = 1...3$  – кількість промивань одного фільтра за добу при нормальному режимі експлуатації;

$\omega$  – інтенсивність промивання, л/(с·м<sup>2</sup>), приймається за Додатком Д;

$t_1$  – тривалість промивання, год, приймається за Додатком Г;

$\tau$  – тривалість простою фільтра у зв'язку з промиванням (0,17 год). В формулі приймається розрахункова швидкість фільтрування в нормальному режимі згідно Додатку Г, інтенсивність та тривалість промивання – згідно Додатку Д.

Кількість фільтрів визначається за формулою 2.3. Розміри фільтрів, виходячи з компонування, приймаються 3×3; 4,5×4,5; 3×6; 6×6 м. Надфільтровий простір повинен бути спільним або взаємопов'язаним для 3 - 4 фільтрів.

Утримуюча решітка встановлюється над дном на висоті, м

$$H_{реш} = \frac{(100 + e)H_3}{100} + 0,3 + D_k, \quad (2.9)$$

де  $D_k$  - діаметр колектора, м. Діаметр визначається за умов пропуску промивних витрат зі швидкістю 1,0...1,2 м/с;

$e$  – відносне розширення фільтруючої засипки, %, приймається з Додатку Д.

Решітка виготовляється з кутової сталі, з вічками розмірами 0,7×0,7 м, 1х×1 м, які перекриваються латунною сіткою з комірками 0,5×0,5мм.

Висота надфільтрового простору, м

$$H_{н.п.} = \frac{t_1}{n'_ф} \cdot [3,6\omega - V_{ф}^H(n'_ф - 1)] + 0,2 \geq 0,5 \text{ м}, \quad (2.10)$$

де  $n'_ф$  - кількість фільтрів, які мають взаємопов'язаний надфільтровий простір.

Верх корпусу фільтра повинен перевищувати максимальний рівень води в фільтрі на 0,5 м.

*Приклад розрахунку безнапірних пінополістирольних фільтрів ФПЗ-1 наведений у [11] с. 166, 167.*

### 2.3 Розрахунок напірних механічних фільтрів

Для видалення з води завислих речовин (каламутності), зниження забарвленості або зменшення концентрації іонів заліза, сполук кремнія) рекомендується використовувати фільтрування. Пропонуються механічні напірні фільтри із антрацитовим завантаженням (рис. 2.3). Діаметр зерен засипки 0,6-1,4 мм, висота фільтруючого шару  $H_ф = 1\text{м}$ .

Необхідна сумарна площа фільтрів, м<sup>2</sup>

$$F_ф = \frac{q_y \cdot \alpha_{вл}}{V_{ф}^H}, \quad (2.11)$$

де  $q_y$  – продуктивність установки, м<sup>3</sup>/год (завдання);

$V_n$  – швидкість фільтрування в нормальному режимі, м/год;

$\alpha_{вл}$  – коефіцієнт, який враховує витрати води на власні потреби фільтрів, попередньо прийняти рівним 1,1 (10%).

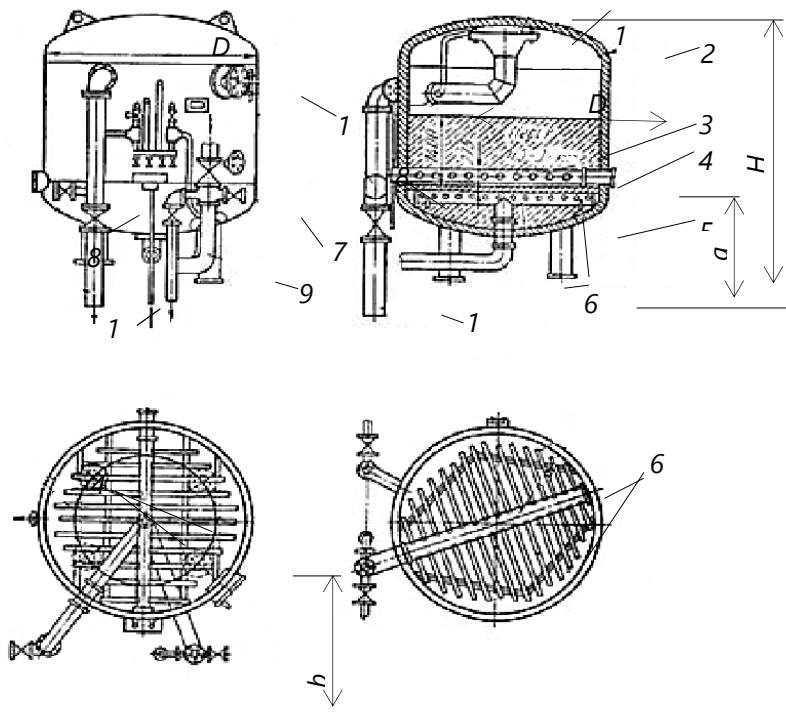


Рис. 2.3. Схема напірного механічного фільтру

1 — збірно-розподільча воронка; 2 — сталевий корпус; 3 — фільтруюче завантаження; 4 — нижня розподільча система щільною перфорацією; 5 — бетонна «подушка»; 6 — подача повітря; 7, 8 — відведення фільтрату та подача вихідної води; 9, 10 — подача и відведення промивної води

Механічні напірні фільтри мають стандартні діаметри, наведені в Додатку 2 [18], відповідні площі фільтрів також наведені в даному Додатку.

Маючи значення площ фільтрів, визначається загальна розрахункова кількість робочих фільтрів

$$N_{\text{розр.м.ф.}} = \frac{F_{\phi}}{f_1}, \quad (2.12)$$

де  $F_{\phi}$  — необхідна сумарна площа механічних фільтрів, м<sup>2</sup>;

$f_1$  – площа одного фільтра, м<sup>2</sup> (Додаток 2 [18]).

Фактична кількість фільтрів  $N_{np}$  – заокруглюється розрахункова кількість до цілого числа в більшу сторону.

Сумарна площа фільтрування, м<sup>2</sup>

$$F_{\text{сум}} = N_{np} \cdot f_1, \quad (2.13)$$

Витрати води на одне промивання фільтра, м<sup>3</sup>

$$q_{np.m.f.} = \frac{60 \cdot \omega \cdot t_{np} \cdot f_1}{1000}, \quad (2.14)$$

де  $\omega$  – інтенсивність промивання, л/(с·м<sup>2</sup>), приймається за [18], Додаток 3,

$t_{np}$  – тривалість промивання, хв, ), приймається за [18], Додаток 3.

Середньогодинні витрати води на власні потреби  $q_{вл}$ , м<sup>3</sup>/год

$$q_{c.z.} = \frac{q_{np} \cdot n_{np} \cdot N_{np.f.}}{T_{\text{уст}}}, \quad (2.15)$$

де  $q_{np.m.f.}$  – витрати води на одне промивання фільтра, м<sup>3</sup>;

$n_{np}$  – число промивань фільтрів, приймаються  $n_{np} = 1-2$  рази на добу,

$N_{np.f.}$  – кількість прийнятих робочих фільтрів, шт.

Фактична швидкість фільтрування:

- в нормальному режимі (працюють усі фільтри, один відключений для промивання), м/год

$$V_{н.факт.} = \frac{Q_y + q_{c.z.}}{f_1 (N_{np.f.} - 1)}, \quad (2.16)$$

де  $Q_y = I \cdot l \cdot q_{\text{уст}}$  – продуктивність установки з врахуванням витрат на власні потреби, м<sup>3</sup>/год;

- у форсованому режимі (один фільтр відключений на промивання, другий - для ремонту), м/год

$$V_{ф.факт.} = \frac{Q_y + q_{c.z.}}{f_1 (N_{np.f.} - 2)}, \quad (2.17)$$

Порівнюємо розрахункові швидкості фільтрування із допустимими, [18], Додаток 3.

Мінімальна кількість робочих фільтрів повинна бути 2.

Розрахунок доцільно виконувати в табличній формі ( Таблиця 2.1)

Таблиця 2.1.

Визначення розрахункової кількості робочих механічних фільтрів

Діаметр фільтра, мм	700	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Площа фільтрування, $f_l, \text{м}^2$							
Загальна сумарна площа фільтра, $F_{\phi}, \text{м}^2$							
Розрахункова кількість фільтрів, $N_{\text{розр.м.ф.}}, \text{шт}$							
Кількість прийнятих робочих фільтрів $N_{\text{пр}}, \text{шт}$							
Сумарна площа фільтрування, $\text{м}^2 F_{\text{сум}}$							
Витрати води на одне промивання фільтра, $q_{\text{пр.м.ф.}}, \text{м}^3/\text{ГОД}$							
Середньогодинні витрати, $q_{\text{с.г.}}, \text{м}^3/\text{ГОД}$							
Продуктивність установки з додатковими витратами, $Q_y, \text{м}^3/\text{год}$							
Швидкість фільтрування в нормальному режимі, $\text{м}/\text{год}$ $V_{\text{н.факт.}}$							
Швидкість фільтрування форсованому режимі, $\text{м}/\text{год}$ $V_{\text{ф.факт.}}$							

Зробити висновок, швидкості фільтрування яких фільтрів знаходиться в допустимих межах згідно з Додатком 3, [18]. Ці фільтри приймаються для подальших розрахунків.

Кількість резервних фільтрів -  $N_{\text{рез.}}$

Загальна кількість фільтрів

$$N_{\text{заг.м.ф.}} = N_{\text{роб.м.ф.}} + N_{\text{рез.м.ф.}} \quad (2.18)$$

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 3.

### Розрахунок установок для Na-катіонування, H- Na-катіонування

#### 3.1. Визначення кількості H-катіонітових фільтрів (I ступінь)

Необхідний об'єм катіоніту  $W_H$ , м<sup>3</sup>, визначають

$$W_H = \frac{T_{уст} \cdot Q_{уст} \cdot (Ж_{заг} + C_{Na})}{n \cdot E_{роб}^H}, \quad (3.1)$$

де  $T_{уст}$  – тривалість роботи установки упродовж доби, год;

$Q_{уст}$  – продуктивність H-катіонітових фільтрів, з врахуванням витрат води на власні потреби установки (10%), м<sup>3</sup>/год;

$Ж_{заг}$  – загальна жорсткість води, що поступає на фільтри, ммоль/дм<sup>3</sup>;

$n = 1 \dots 3$  - число регенерацій кожного фільтра за добу;

$$n = \frac{T}{t + t_1}, \quad (3.2)$$

де  $T$  – тривалість роботи установки упродовж доби, год;

$t$  – корисна тривалість одного циклу,  $t = 10 \dots 22$  год;

$t_1$  – тривалість регенерації фільтра,  $t_1 = 1,5$  год;

$E_p^H$  – робоча обмінна ємність катіоніту, г-екв/м<sup>3</sup>, яка приймається під час H-катіонування (завдання) г-екв/м<sup>3</sup>;

$C_{Na}$  – концентрація у воді натрію, ммоль/дм<sup>3</sup>.

Необхідна площа катіонітових фільтрів  $F_H$ , м<sup>2</sup>

$$F_H = \frac{W_{уст}}{H}, \quad (3.3)$$

де  $H$  - висота шару катіоніту, м. Висота шару катіоніту приймається за [18], Додаток 9.

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

Кількість H-катіонітових фільтрів приймають: робочих – не менше двох, резервний – один, якщо кількість робочих не перевищує шести й два резервних для більшої кількості робочих.

Швидкості фільтрування, м/год, визначаються



$$V'_{\text{норм}} = \frac{Q_{\text{уст}}}{f_1 \cdot n_{\text{роб}}} \leq V_{\text{норм}} \quad (3.4)$$

$$V'_{\text{форс}} = \frac{Q_{\text{уст}}}{f_1 \cdot (n_{\text{роб}} - 1)} \leq V_{\text{форс}} \quad (3.5)$$

де  $V_{\text{норм}}$  і  $V_{\text{форс}}$  – відповідно, рекомендована (нормальна) та максимальна (форсована) швидкості фільтрування, м/год.;

$f_1$  – площа поперечного перерізу фільтра, м<sup>2</sup>;

$n_{\text{роб}}$  – кількість Н-катіонітових фільтрів, приймають не менше двох, окрім резервного.

Розрахунок рекомендується виконувати в табличній формі (Таблиця 3.1).

Таблиця 3.1.

Визначення кількості Н -катіонітових фільтрів (І ступінь)

Діаметр фільтра, мм	700	1000	1500	2000	2600	3000	3400
Площа основи, $f_1$ , м <sup>2</sup>							
Необхідний об'єм катіоніту $W_H$ , м <sup>3</sup>							
Висота шару катіоніту, $H$ , м							
Площа катіонітових фільтрів, $F_n$ , м <sup>2</sup>							
Розрахункова кількість фільтрів, $N_{\text{розр}} = F_n / f_1$ , шт							
Прийнята кількість фільтрів $N_{\text{прийн}}$ , шт							
Сумарна площа фільтрування, м <sup>2</sup> , $F_{\text{сум}} = N_{\text{прийн}} \cdot f_1$							
Нормативна швидкість фільтрування, $V_{\text{норм}}$ м/год							
Форсована швидкість фільтрування, $V_{\text{форс}}$ м/год							

Зробити висновок, швидкості фільтрування яких фільтрів знаходяться в допустимих межах (нормальна і максимальна

швидкості фільтрування, м/год,  $V_H = 25$  м/год;  $V_\phi = 40$  м/год). Ці фільтри приймаються для подальших розрахунків.

Кількість резервних фільтрів -  $N_{рез}$ .

Загальна кількість фільтрів

$$N_{заг.Н.} = N_{прин.Н.} + N_{рез.Н.} \quad (3.6)$$

### 3.2. Визначення кількості натрій-катионітових фільтрів

*I ступінь*

Необхідний об'єм катіоніта  $W_k$ , м<sup>3</sup>,

$$W_{k.Na} = \frac{T_{уст.} \cdot Q_{уст.} \cdot Ж_{заг}}{n \cdot E_p^{Na}} \quad (3.7)$$

де  $T_{уст}$  – тривалість роботи установки упродовж доби, год;

$Q_{Na}$  – продуктивність Na- катионітових фільтрів з врахуванням витрат води на власні потреби установки (10%), м<sup>3</sup>/год;

$Ж_{заг}$  – загальна жорсткість води, що поступає на фільтри, ммоль/дм<sup>3</sup>;

$n = 1 \dots 3$  - число регенерацій кожного фільтра за добу;

$$n = \frac{T}{t + t_1}, \quad (3.8)$$

де  $T$  – тривалість роботи установки упродовж доби, год;

$t$  – корисна тривалість одного циклу,  $t = 10 \dots 22$  год;

$t_1$  – тривалість регенерації фільтра,  $t_1 = 1,5$  год;

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

$$E_p^{Na} = \alpha_{Na} \cdot \beta_{Na} \cdot E_{нов} - 0,5 \cdot q_{num} \cdot Ж_{заг}, \quad (3.9)$$

де  $\alpha_{Na}$  - коефіцієнт ефективності регенерації натрій-катионіта, який залежить від питомої витрати солі на регенерацію, приймається згідно з Додатком 6 [18];

$\beta_{Na}$  – коефіцієнт, що враховує зменшення обмінної здатності катіоніта по  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$  за рахунок часткового затримання катіонів  $Na^+$ . Цей коефіцієнт залежить від співвідношення  $C_{Na}^2/Ж_{заг}$  (де  $C_{Na}$  – концентрація натрію у воді, ммоль/дм<sup>3</sup>)

$C_{Na}^2/Ж_{заг}$ , приймається згідно з Додатком 6 [18];

$q_n$  – питомі витрати води на відмивання катіоніта, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, приймається згідно з Додатком 5 [18];

0,5 – доля пом'якшення відмивочної води;

$E_{пов}$  – повна обмінна ємність катіоніта, приймається згідно з Додатком 8 [18] залежно від заданої марки катіоніту

Підбирається фільтр стандартного діаметру за Додатком 2 [18]. Висота шару засипки приймається  $H=2,0$ м та  $H=2,5$ м, Додаток 9 [18].

Необхідна площа,  $m^2$  визначається

$$F_{Na} = \frac{W_{уст}}{H} . \quad (3.10)$$

За необхідною площею підбирають потрібну кількість і розміри стандартних фільтрів, які випускаються промисловістю, так щоб сумарна площа фільтрування була рівною або перевищувала необхідну:

Для даної кількості робочих фільтрів приймається один резервний.

Для остаточного визначення кількості фільтрів, визначають швидкості фільтрування в нормальному та форсованому (максимальна) режимах

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

$$V_{норм}^{Na} = \frac{Q_{уст}}{f_{1Na} \cdot n_{роб.пр}} \leq V_n \quad (3.11)$$

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

$$V_{форс}^{Na} = \frac{Q_{уст}}{f_{1Na} \cdot (n_{роб.пр} - 1)} \leq V_{форс} \quad (3.12)$$

де  $V^n$  і  $V^ф$  – відповідно, нормальна і максимальна швидкості фільтрування, м/год;  $V^n = 25$  м/год;  $V_ф = 40$ м/год;

$Q_{уст}$  – продуктивність Na-катіонітових фільтрів з врахуванням витрат води на власні потреби установки,  $m^3/год$ ;

$f_{1Na}$  – площа фільтрування одного натрій-катіонітового стандартного фільтра,  $m^2$ ;

$n_{роб.пр}$  – кількість працюючих прийнятих фільтрів, шт.

Розрахунок рекомендується виконувати в табличній формі (Таблиця 3.1).

### II ступінь

Розрахунок Na-катіонітових фільтрів II ступеня виконується за аналогічними формулами, як для I ступеня з врахуванням наступних

умов:

- загальна жорсткість води  $J_{\text{заг.ІІ}}$ , що поступає на ІІ ступінь  $\text{Na}$ -катіонування ;
- повна обмінна ємність катіоніта, приймається на 20% меншою, за І ступінь  $\text{Na}$ -катіонування;
- $E_p^{\text{Na}}$  – робоча обмінна ємність катіоніта, г-екв/м<sup>3</sup> визначається без врахування коефіцієнта  $\beta_{\text{Na}}$

$$E_p^{\text{Na}} = \alpha_{\text{Na}} \cdot E_{\text{пов}} - 0,5 \cdot q_{\text{нум}} \cdot J_{\text{заг.ІІ}} \quad (3.13)$$

де – умовні позначення, див. формулу 3.9.

Розрахунок рекомендується виконувати в табличній формі (Таблиця 3.1).

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 4.

### Розрахунок регенераційного господарства іонітової установки

#### 4.1. Розрахунок регенераційного господарства $\text{H}$ -катіонітових фільтрів

Одним з основних факторів під час вибору діаметра й кількості фільтрів є число регенерацій кожного фільтра за добу, яке повинно бути в межах від 1 до 3 і визначається

$$n = \frac{T_{\text{учт}} \cdot Q_{\text{учт.Н}} (J_{\text{заг}} - J_{\text{к}})}{f_1 \cdot H \cdot n_{\text{роб}} \cdot E_{\text{роб}}^{\text{H}}} \quad (4.1)$$

де  $J_{\text{заг}}$  і  $J_{\text{к}}$  – відповідно, загальна та карбонатна жорсткості води, що подається на фільтр і фільтрату, ммоль/дм<sup>3</sup> (завдання).

Витрати 100%-ної сірчаної кислоти на одну регенерацію  $\text{H}$ -катіонітового фільтра з “голодною” регенерацією, кг, визначаються

$$Q_k = \frac{49 \cdot f_{1\text{H}} \cdot H \cdot E_{\text{роб}}^{\text{H}}}{1000}, \quad (4.2)$$

де 49 – питомі витрати сірчаної кислоти під час “голодної” регенерації, г/г-екв

Витрати технічної сірчаної кислоти за добу, кг/доб, визначаються

$$Q_k^m = \frac{Q_k \cdot n \cdot n_{\text{роб}} \cdot 100}{C}, \quad (4.3)$$

де  $C \geq 92\%$  - вміст сірчаної кислоти у технічному продукті, який

використовують в енергетиці.

Витрати води на одну регенерацію Н-катионітового фільтра складаються з витрат:

- на розпушення катионіту, яка розраховується так само як для Na-катионітових фільтрів;
  - витрат води на приготування регенераційного розчину;
  - витрат води на відмивання катионіту від продуктів реакції.
- ❖ Витрати води на одне розпушення, м<sup>3</sup>, визначають

$$Q_{розн} = \frac{i \cdot f_{IH} \cdot 60 \cdot t_{розн}}{1000}, \quad (4.4)$$

де  $i$  - інтенсивність розпушення фільтра, л/(с·м<sup>2</sup>), прийняти при крупності зерен катионіту 0,3...0,8 мм  $i = 3$  л/(с·м<sup>2</sup>), при крупності зерен катионіту 0,5...1,0 мм  $i = 4$  л/(с·м<sup>2</sup>), при крупності зерен катионіту 0,8...1,2 мм  $i = 5$  л/(с·м<sup>2</sup>),

$t_{роз} = 15 - 20$  хв – тривалість розпушення.

❖ Витрати води на приготування регенераційного розчину, м<sup>3</sup>, визначають

$$Q_{р.р.} = \frac{Q_k^m \cdot 100}{1000 \cdot b \cdot \rho_{р.р.}}, \quad (4.5)$$

де  $b$  – концентрація регенераційного розчину  $b = 0,7-1\%$ , а густина регенераційного розчину  $\rho_{р.р.}$  залежить від концентрації і приймається за додатками 14, 15, 16 [18].

❖ Витрати води на відмивання катионіту від продуктів реакції, м<sup>3</sup>, визначають

$$Q_в = q_n \cdot f_H \cdot H, \quad (4.6)$$

де  $q_n$  – питомі витрати води на відмивання катионіту, м<sup>3</sup>води/м<sup>3</sup>катионіту приймаються згідно з Додатком 14 [18].

Сумарні витрати води на одну регенерацію фільтра при умові, що відмивочні води катионітових фільтрів не використовуються для розпушення катионітової засипки будуть становити

$$\Sigma Q_{рег} = Q_{роз} + Q_{р.р.} + Q_в + Q_c, \quad \text{м}^3\text{води} \quad (4.7)$$

Загальні додаткові витрати проясненої води при двократній за добу регенерації всіх фільтрів будуть становити

$$Q_{заг.рег} = \Sigma Q_{рег} \cdot 2 \cdot n_{роб}, \quad \text{м}^3\text{води}. \quad (4.8)$$

де  $n_{роб}$  – кількість робочих фільтрів, шт.

Відсоток додаткової води

$$p = \frac{Q_{заг.рег} \cdot 100}{T_{уст} \cdot q_H}, \% \quad (4.9)$$

Для скорочення витрат води на власні потреби установки слід передбачити повторне використання відмивочних вод для розпушення катіоніту та приготування регенераційного розчину солі. Для цих умов витрати води на власні потреби установки будуть становити

$$\sum Q_{новт.} = Q_{p.p} + Q_6, \quad \text{м}^3 \text{води.} \quad (4.10)$$

Загальні додаткові витрати проясненої води при двократній за добу регенерації всіх фільтрів буде становити

$$Q_{заг.новт} = \sum Q_{новт.} \cdot 2 \cdot n_{роб}, \quad \text{м}^3 \text{води,} \quad (4.11)$$

де  $n_{роб}$  – кількість робочих фільтрів, шт.

Відсоток додаткової води

$$p = \frac{Q_{заг.новт} \cdot 100}{T_{уст} \cdot q_H}, \% \quad (4.12)$$

Час між регенераціями фільтра

$$T_H = \frac{T_{уст}}{n} - \frac{t_{рег}^H}{60}, \quad (4.13)$$

де  $t_{рег}^H$  – час регенерації фільтра

$$t_{рег}^H = t_{роз} + t_{p.p} + t_6, \quad \text{хв.,} \quad (4.14)$$

де  $t_{роз} = 20-30$ хв – тривалість розпушення, хв;

$t_{p.p}$  – час пропускання регенераційного розчину через фільтр

$$t_{p.p.} = \frac{Q_{p.p.} \cdot 60}{V_{p.p.} \cdot f_{IH}}, \quad \text{хв} \quad (4.15)$$

де  $V_{p.p.} = 3-4$  м/год - швидкість пропускання регенераційного розчину;

$t_6$  – час відмивання від продуктів регенерації

$$t_6 = \frac{Q_6 \cdot 60}{V_6 \cdot f_{IH}}, \quad \text{хв} \quad (4.16)$$

де  $V_6 = 6-8$  м/год – швидкість відмивання, м/год.

## 4.2. Розрахунок регенераційного господарства натрій-катионітових фільтрів

Кількість солей жорсткості, г-екв/доб, які видаляються за добу на натрій-катионітових фільтрах другого ступеня

$$A = T_{\text{уст}} \cdot Ж_{\text{заг}} \cdot Q_{\text{Na}} . \quad (4.17)$$

Кількість регенерацій кожного фільтра за добу

$$n = \frac{A}{f_{\text{INa}} \cdot H \cdot E_p^{\text{Na}} \cdot n_{\text{роб}}} \quad (4.18)$$

де  $f_{\text{Na}}$  - площа фільтрування одного натрій-катионітового стандартного фільтра, м<sup>2</sup>;

$H$  - висота шару катионіту, м,

$E_p^{\text{Na}}$  - робоча обмінна ємність катионіту, г-екв/м<sup>3</sup>,

$n_{\text{роб}}$  – прийнята кількість робочих натрій-катионітових фільтрів, шт.

Витрати 100%-ної солі на одну регенерацію натрій-катионітового фільтра, кг

$$Q_c^{\text{Na}} = \frac{E_p^{\text{Na}} \cdot f_{\text{INa}} \cdot H \cdot q_c}{1000} \quad (4.19)$$

де  $q_c$  - питомі витрати солі на регенерацію, г/г-екв, приймаються за додатком 13, [18].

Витрати технічної солі за добу, кг/доб

$$Q_{\text{m.c.}} = \frac{Q_c^{\text{Na}} \cdot n \cdot n_{\text{роб}} \cdot 100}{p}, \quad (4.20)$$

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

Витрати води на власні потреби Na-катионітового фільтра визначаються за формулами 4.4...4.16.

Кількість фільтрів, що одночасно регенеруються

$$N_{\text{o.p.}} = \frac{n \cdot n_{\text{роб}} \cdot t_{\text{рег}}^{\text{Na}}}{24}, \text{ шт.} \quad (4.21)$$

Розрахунок регенерації Na-катионітових фільтрів II ступеня аналогічний, I ступеню. При цьому відмивання катионіту передбачають фільтратом першого ступеня катионування.

## ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 5.

### Дегазація води, підбір та розрахунок дегазаторів, декарбонізаторів

Існують два види декарбонізаторів: з насадками з кілець Рашига та з дерев'яною хордовою насадкою. До недоліків декарбонізаторів з хорошою насадкою слід віднести велику витрату повітря, невелику питому поверхню десорбції, що вимагає збільшення площі декарбонізатора, незручність в монтажі і експлуатації. Декарбонізатори насадкою керамічних кілець Рашига дозволяють зменшити висоту і площу декарбонізатора, зменшити витрату повітря, і отримати більш глибокий ефект декарбонізації. Кільця Рашига більш довговічні і зручні в експлуатації.

#### 5.1. Розрахунок декарбонізатора

Іони  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$  та двоокис вуглецю  $CO_2$  зв'язані вуглекислотним рівнянням. Частина двоокису вуглецю, яка знаходиться у рівновазі з бікарбонатами, називається рівноважною і не вступає в хімічну реакцію. Надлишкова вільна (або агресивна) вуглекислота на відміну від рівноважної досить активна. Наявність її у воді призводить до корозії бетонних споруд та металевих труб.

Фактичний вміст  $CO_2$ , мг/дм<sup>3</sup> у воді

$$[CO_2]_{вих} = [CO_2]_{табл} \beta \cdot \tau, \quad (5.1)$$

де  $[CO_2]_{вих}$  - вміст вільної вуглекислоти, мг/дм<sup>3</sup>, за даними Додатку

24 [18] в залежності від  $pH$  та загальної лужності  $L$  в ммоль/дм<sup>3</sup>;

$\beta$  – поправка на зміну солемісту, Додаток 19, [18];

$\tau$  – поправка на зміну температури, Додаток 20, [18].

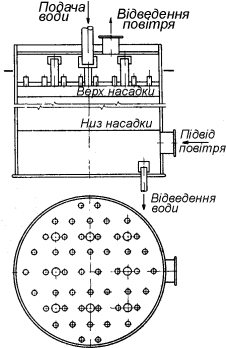


Рис. 5.1. Схема декарбонізатора



Вміст вуглекислоти у воді, що подається на декарбонізатор

$$[CO_2]_n = [CO_2]_{вих} + 44L, \quad (5.2)$$

де  $[CO_2]_{вих}$  - вміст вільної вуглекислоти у вихідній воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$L$  – лужність вихідної води, ммоль/дм<sup>3</sup> (згідно завдання).

Для декарбонізації води ( видалення вільної вуглекислоти CO<sub>2</sub>) найбільш доцільними є плівкові дегазатори, завантажені насадками й обладнані вентиляторами для примусової подачі повітря знизу, тобто в напрямку, зустрічному по відношенню до води, яка рухається зверху до низу. Насадкою можуть бути або керамічні кільця Рашига розміром 25×25×3мм, або дерев'яні насадки (бруски) розміром 50×13мм (продуктивність установки до 150 м<sup>3</sup>/год).

Площа поперечного перерізу декарбонізатора, м<sup>2</sup>

$$F_{декарб} = \frac{q_{год}}{P_o}, \quad (5.3)$$

де  $q_{год}$  – продуктивність установки, м<sup>3</sup>/год;

$P_o$  – площа зрошення на 1м<sup>2</sup>площі декарбонізатора, м<sup>3</sup>/год. Для насадок Рашига  $P_o = 60$ м<sup>3</sup>/год, для дерев'яної хордової насадки  $P_o = 40$ м<sup>3</sup>/год.

Висоту шару насадки в декарбонізаторі визначити за Додатком 23[18].

Вентилятор декарбонізатора повинен забезпечувати подачу питомих витрат повітря  $q_{нит} = 20$ м<sup>3</sup>на 1м<sup>3</sup>води, що подається у декарбонізатор, тобто

$$Q_{nob} = q_{год} \cdot q_{нит}, \quad (5.4)$$

де  $q_{год}$  –годинні витрати установки, м<sup>3</sup>/год.

Необхідний напір , що розвиває вентилятор, визначається з врахуванням втрат напору у насадці, які прийняті 30мм вод.ст. на 1м висоти шару насадки, а також величин інших втрат напору ( $h_w=30-40$ мм.вод.ст.), тобто

$$\Sigma h = 30h_{нас} + h_w. \quad (5.5)$$

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В. 2.5-77:2014. Котельні. К. Мінрегіонбуд. 2015. - 61с.  
URL: [https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn\\_v\\_2\\_5\\_77/1-1-0-1185](https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_v_2_5_77/1-1-0-1185)
2. ДБН В 2.5.-74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проєктування. К.: Мінрегіонбуд та ЖКХ України, 2013. 172 с. URL: <https://www.poproekty.com.ua › uploads › 2021/04>.
3. Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж наказ міністерства палива та енергетики України від 14 лютого 2007 року п 71 зареєстровано в міністерстві юстиції України. URL: <https://dnaop.com/html/33778/doc-pravilatehnicnoji-jekspluataciji-teplovihustanovok-i-merezh>
4. ДНАОП 0.00-1.08-94. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів – К.: 1999. – 592 с. URL: [https://dnaop.com/html/89/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F\\_0.00-1.08-94](https://dnaop.com/html/89/doc-%D0%9D%D0%9F%D0%90%D0%9E%D0%9F_0.00-1.08-94)
5. Бойко В. О., Поржезінський Ю. Г. Водопідготовка в промислових котельнях. К. : ЮНІДО, 2015. 52 с. URL: <https://docplayer.net/54875134-Vodopidgotovka-v-promislovih-kotelnyah.html>
6. Фізико-хімічні методи обробки природних вод / Епоян С. М., Назарова Р. І., Коновалов О. М. та ін. Харків : Точка, 2010. 262 с.
7. Кострикин Ю. М., Мещерский Н. А., Коровина О. В.. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления : справ. М. : Энергоатомиздат, 1990. 251 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/66881/>
8. Кожинов В. Ф. Очистка питьевой и технической воды. М. : Стройиздат, 1971 (2009). 303 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/544249/>
9. Любимова Л. Л., Заворин А. С., Ташлыков А. А. Инженерные расчеты в водоподготовке паровых и водогрейных котлов. Томск : изд. ТПУ, 2001. 193 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/1344602/>
10. Орлов В. О., Зошук А. М. Водопідготовка : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2004. 215 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2714/>
11. Орлов В. О., Мартинов С. Ю., Зошук А. М. Проєктування станцій прояснення та знебарвлення води : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2007. 252 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/2251/>.

12. Орлов В. О., Литвиненко Л. Л., Орлова А. М. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. Київ : Знання, 2014. 278 с.
13. Поржезінський Ю. Г. Основи проектування водопідготовки ТЕЦ і котелень харчових підприємств. К. : НУХТ, 2008. 206 с.
14. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання : підручник. К. : Знання, 2009. 735 с.
15. Шевелев Ф. А., Шевелев А. Ф. Таблицы для гидравлического расчета водопроводных труб : справ. пособие / 6-е изд. М. : Стройиздат, 1984 (2008). 116 с.
16. Силабус 03-06-02S навчальної дисципліни Водопідготовка систем теплопостачання для здобувачів вищої освіти ступеня «бакалавр», які навчаються за освітньо-професійною програмою «Теплогазопостачання та вентиляція», 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Рівне : НУВГП, 2021. 27 с.
17. Орлова А. М., Орлов В. О. Методичні вказівки 03-06-61 до виконання курсової роботи з дисципліни «Водопідготовка систем теплопостачання» на тему «Підготовка води для теплогенеруючої установки» Ч. 1. «Підбір схеми підготовки води» студентами за напрямом підготовки 6.060101 «Будівництво» професійного спрямування «Теплогазопостачання та вентиляція» денної та заочної форм навчання. Рівне : НУВГП, 2016. 32 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/4287/>
18. Орлова А. М. Методичні вказівки 03-06-127М до виконання курсової роботи з навчальної дисципліни «Водопідготовка систем теплопостачання» на тему «Підготовка води для теплогенеруючої установки». Ч.3. Довідкові матеріали для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійною програмою «Будівництво та цивільна інженерія» усіх форм навчання. Рівне : НУВГП, 2020. 20 с. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/21559/>
19. Кафедра водопостачання, водовідведення та бурової справи НУВГП. URL: <http://nuwm.edu.ua/nni-ba/kaf-vvbs>.

## Характеристики фільтруючих шарів швидких фільтрів

Фільтри	Матеріал засипки	Діаметр зерен, мм		Коефіцієнт неоднорідності засипки	Товщина шару, м	Швидкість фільтрування, м/год, при режимі	
		найменший	найбільший			нормальному	форсованому
Одношарові	Кварцовий пісок	0,5	1,2	1,8 - 2	0,7-0,8	5 - 6	6 - 7,5
		0,7	1,6	1,6 - 1,8	1,3-1,5	6 - 8	7 - 9,5
		0,8	2	1,5 - 1,7	1,8-2	8 - 10	10 - 12
	Подрібнений ке-рамзит	0,5	1,2	1,8 - 2	0,7-0,8	6 - 7	7 - 9
		0,7	1,6	1,6 - 1,8	1,3-1,5	7 - 9,5	8,5 - 11,5
		0,8	2	1,5 - 1,7	1,8-2	9,5 - 12	12 - 14
Двошарові	Кварцовий пісок	0,5	1,2	1,8 - 2	0,7-0,8	7 - 10	8,5 - 12
	Подрібнений ке-рамзит	0,8	1,8	1,6 - 1,8	0,4-0,5		
Тришарові	Активоване вугілля	3	5	1,5	0,3	10 - 12	12 - 15
	Антрацит	1,25	3,15	1,5	1,25		
	Кварцовий пісок	0,8	1,2	1,5	0,5		

Примітки. 1. При очищенні води для господарсько-питних потреб належить приймати менші значення швидкостей фільтрування.  
2. Одношарові швидкі фільтри з крупністю засипки 0,8-2 мм належить використовувати тільки для виробничого водопостачання.

## Додаток Б.

## Параметри промивання водою засипки з кварцового піску

Засипка фільтра	Інтенсивність промивання, $\text{дм}^3/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$	Тривалість промивання, хв	Відносне розширення засипки, %
Одношарова з діаметром зерен, мм:			
0,5 - 1,2	12 - 14	6 - 5	45
0,7 - 1,6	14 - 16	6 - 5	30
0,8 - 2,0	16 - 18	6 - 5	25
Двошарова	14 - 16	7 - 6	50

*Примітка. Більшим значенням інтенсивності промивання відповідають менші значення тривалості.*

## Додаток В.

## Параметри підтримуючих шарів

Крупність зерен, мм	Висота шару, мм
2,0-1,2	100 (передбачається для фільтрів з крупністю зерен засипки менше 2 мм)
5 - 2	50 - 100
10 - 5	100 - 150
20 - 10	100 - 150
40 - 20	Верхня межа повинна бути на рівні верху розподільної системи, але не менше ніж на 100 мм вище отворів

Додаток Г

Рекомендовані параметри засипки і швидкості фільтрування пінополістирольних фільтрів з висхідним фільтраційним потоком

Реагентна схема	Характеристика фільтруючого шару					Швидкість фільтрування, м/год, при режимах	
	Діаметр гранул, мм			Коефіцієнт неоднорідності	Товщина шару засипки, м	нормальному	форсованому
	найменший	найбільший	еквівалентний				
Одношарова пенева	0,5	1	0,7	1,7	0,7	6	9
	1	2	1,4	1,6	1	5	8
	1	1,25	1,1	1,1	1,0...1,2	6	9
	0,6/1,1	1/1,4	0,75/1,2	1,5/1,2	0,5/0,3	6	9 (двошарова)
Двошарова пенева	0,5	1,25	0,7...0,8	2...2,2	0,6	5	7,5
	0,75	1,25	0,9...1	1,8...2	1,2...1,4	7	9
	0,6/1,1	1/1,4	0,75/1,2	1,5/1,2	0,5/0,3	7	9 (двошарова)

Додаток Д.

Параметри промивання фільтрів з плаваючою засипкою

Еквівалентний діаметр, мм, при засипці	Відносне розширення засипки, %	Інтенсивність промивання, л/(с·м <sup>2</sup> )	Тривалість промивання, хв.
одношаровій: 0,65...0,75 0,9...1,0 1,1...1,3	45	10...12	4...3
	30	11...13	4...3
	25	12...14	4...3
двошаровій: 0,75/1,2	50	12...15	4...3