

**Практичне заняття**  
**ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНІ ФІЛЬТРАЦІЇ ТА ГАБАРИТІВ**  
**ЧАРУНКИ ФІЛЬТРІВ**

*Мета заняття* – ознайомитись із конструкцією фільтрів, набути навичок розрахунку швидких фільтрів.

Вода, що надходить для кінцевого освітлення на фільтри, після її виходу з відстійників (чи освітлювачів) повинна вміщувати не більше 8-15 мг/л завислих речовин. Після фільтрації каламутність води повинна бути 1-1,5 мг/л.

Швидкий відкритий безнапірний фільтр (рис. 13) являє собою резервуар, завантажений шарами піску та гравію. Верхній шар піску 2 товщиною 0,7 м - фільтруючий. Шар цього піску лежить на підтримуючих шарах піску і гравію 3. Підтримуючі шари торкаються з розподільчою трубчатою системою (рис. 14), яка складається із колектору I, відгалужень 4 і 5. Якщо втрати натиску під час фільтрування досягають гранично припустимої величини, фільтр вимикається і відбувається промивка фільтруючого завантаження її піднімаючимся потоком води. Промивна вода подається в колектор 1. Величина відносного розширення завантаження при промивці коливається від 25 до 50%. Тривалість промивки 5-7 хвилин.

Крупність та однорідність фільтруючого завантаження визначають за допомогою ситового аналізу. Якість піску повинно задовольняти вимогам табл.4.

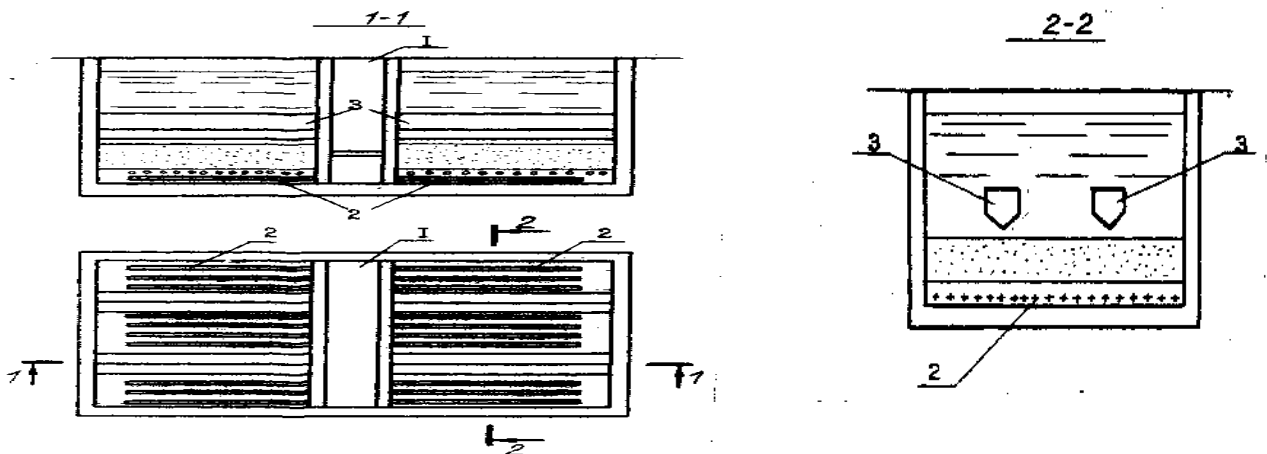


Рисунок 1 – Схема швидкого фільтра з центральним каналом:

1 - центральний канал; 2 - відгалуження розподільної системи;  
 3 – промивні жолоба

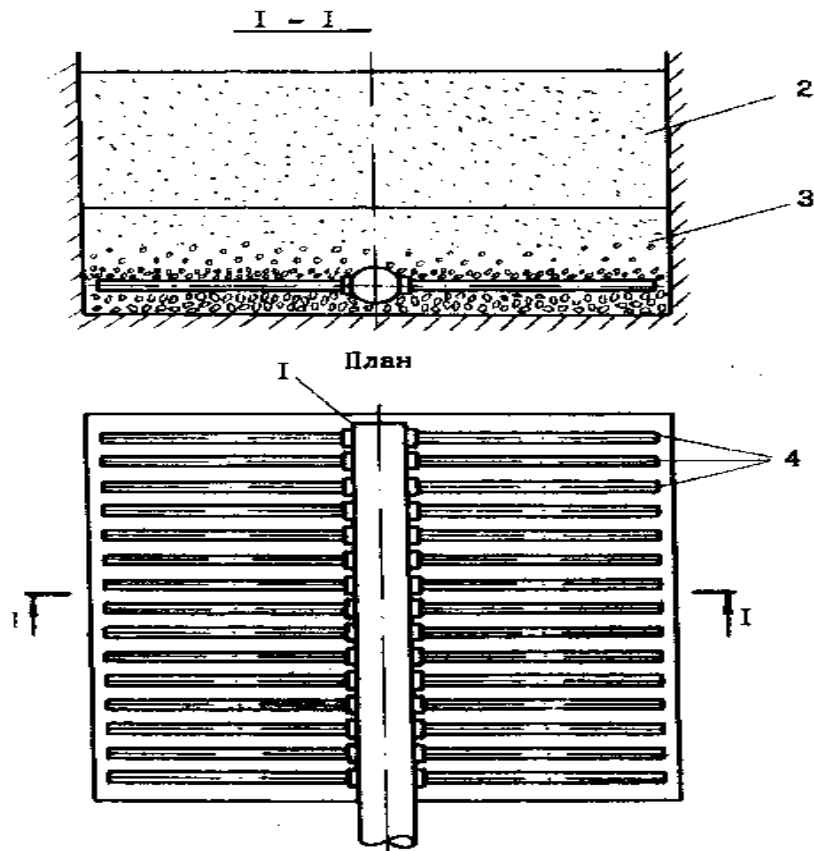


Рисунок 2 – Розподільча трубчаста система великого опору:

1 - колектор; 2 - фільтруючий шар; 3 - підтримуючі шари;  
 4 - бокові трубчасті відгалуження

Сумарна площа швидких фільтрів визначається за формулою:

$$F_{\phi} = \frac{Q}{T_{CT}V_H - n_{\text{пр}}q_{\text{пр}} - n_{\text{пр}}\tau_{\text{пр}}V_H}, \quad (1)$$

де Q - корисна продуктивність станції, м<sup>3</sup>/добу;

T – тривалість роботи станції продовж доби, год;

V<sub>H</sub> - розрахункова швидкість фільтрування при нормальному режимі, м/год, що приймається по табл. 4;

$n_{пр}$  - кількість промивок одного фільтра за добу, при нормальному режимі експлуатації;

$q_{пр}$  – питома витрата води на одну промивку одного фільтра,  $m^3/m^2$ ;

$t_{пр}$  – час простою фільтру в зв'язку з промивкою, який приймається для фільтрів, що промивається водою - 0,33 год; водою та повітрям – 0,5 ч.

Таблиця 1 - Характеристика фільтруючого шару та швидкість фільтрування скорого фільтру

Фільтри	Характеристика фільтруючого шару						Швидкість фільтрування, м/год	
	Матеріал завантаження	Діаметр зерен, мм			Коефіцієнт неоднорідності завантаження	Висота шару, м	При нормал. режиму, $V_H$	При форсован. режимі, $V_\Phi$
		Найменш	Найбільш	еквівалент				
Одношарові швидкі фільтри з завантаженням різної крупності	Кварцевий пісок	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	5-6	6-7,5
		0,7	1,6	0,8-1	1,3-1,5	1,3-1,5	6-8	7-9,5
		0,8	2,0	1-1,2	1,8-2	1,8-2	8-10	10-12
	Подріблений керамзит	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	6-7	7-9
		0,7	1,6	0,8-1	1,6-1,8	1,3-1,5	7-9,5	8,5-11,5
		0,8	2	1-1,2	1,5-1,7	1,8-2	9,5-12	12-14
Швидкі фільтри з двошаровим завантаженням	Кварцевий пісок	0,5	1,2	0,7-0,8	1,8-2	0,7-0,8	7-10	8,5-12
	Подріблений керамзит чи антрацит	0,8	1,8	0,9-1,1	1,6-1,8	0,4-0,5		

Інтенсивність та тривалість промивки швидких фільтрів приймається по табл.5.

Таблиця 5 – Інтенсивність та тривалість промивки швидких фільтрів

Фільтри та їх завантаження	Інтенсивність промивки, л/(с×м <sup>2</sup> )	Тривалість промивки, хвилин	Величина відносного розширення завантаження, %
Швидкі з одношаровим завантаженням діаметром:			
0,7-0,8	12-14	6-5	45
0,8-1	14-16		30
1-1,2	16-18		25
Швидкі з двошаровим завантаженням			
	14-16	7-6	50

Кількість фільтрів повинна бути:

$$N_{\phi} = 0,5\sqrt{F_{\phi}} \quad (2)$$

Швидкість фільтрування води при форсованому режимі:

$$V_{\phi} = \frac{V_H N_{\phi}}{N_{\phi} - N_1}, \quad (3)$$

де  $N_1$  - кількість фільтрів, які знаходяться в ремонті;

$V_{\phi}$  – швидкість фільтрування при форсованому режимі, яка повинна бути не більше, вказаної в табл.4.

У тому випадку, якщо розрахункова швидкість при форсованому режимі вийде більше припустимої (табл. 4), необхідно збільшити кількість фільтрів.

Висота шару води над поверхнею завантаження у відкритих фільтрах повинна бути не менше 2 м. При кількості фільтрів менше 6 і режимі їх роботи з постійною швидкістю фільтрування над нормальним розрахунковим рівнем води в фільтрах необхідно передбачати додаткову висоту для приймання води при вимкненні фільтрів на промивку.

$$H_{\text{дод}} = \frac{W_0}{\sum F_{\phi}} \quad (4)$$

де  $W_0$  - об'єм води,  $m^3$ , яка накопичується за час простою фільтрів, що одночасно промиваються;

$\Sigma F_\Phi$  – сумарна площа фільтрів,  $m^2$ , в яких відбувається накопичення води.

Відстань між всіма дренажних труб слід приймати 250-350 мм. Інтенсивність промивки фільтрів приймається за табл. 5. Діаметр колектору розподільчої системи визначається із розрахунку швидкості руху води на його початку (0,8-1,2 м/с).

Для збору і відведення води передбачаються жолоби напівкруглого чи п'ятикутного перерізу. Відстань між всіма жолобів приймається не більше 2,2 м.

Ширина жолоба  $B$ , м:

$$B_{\text{ЖОЛ}} = K_{\text{ЖОЛ}} \sqrt[5]{\frac{q^2_{\text{ЖОЛ}}}{(1,57 + \alpha_{\text{ЖОЛ}})^3}}, \quad (5)$$

де  $q_{\text{ЖОЛ}}$  – витрата вода по жолобу,  $m^3/\text{год}$ ;

$\alpha_{\text{ЖОЛ}}$  - відношення висоти прямокутної частини жолоба до половини його ширини (приймаємо від 1 до 1,5);

$K_{\text{ЖОЛ}}$  – коефіцієнт, який приймається рівним: для жолобів з напівкруглим лотком - 2, для п'ятикутних жолобів - 2,1.

Висота кромки жолоба над поверхнею фільтруючого завантаження, м:

$$H_{\text{Ж}} = \frac{H_3 \times a_3}{100 + 0,3}, \quad (6)$$

де  $H_3$  - висота фільтруючого шару, м;

$a_3$  - відносне розширення фільтруючого завантаження, %, що приймається за табл. 5.

Витрати на промивку фільтрів, відсоток загальної витрати по станції:

$$P_\Phi = \frac{W_H N}{qT} 100\% \quad (7)$$

де  $W_H$  - кількість води, яка витрачається на одну промивку фільтра,  $m^3$ ;

$N$  - кількість фільтрів на станції;

$q$  - розрахункова витрата води на станції, м<sup>3</sup>/год;

$T$  - тривалість роботи фільтру між промивками (фільтроцикл), год.

Промивна вода з жолобів потрапляє в збірний канал. При площі фільтра до 40 м<sup>2</sup> влаштовується бічний збірний канал, а при площі фільтра більше ніж 40 м<sup>2</sup> - центральний.

Відстань від дна жолоба до дна збірного каналу:

$$H_{KAN} = 1,733 \sqrt{\frac{q_{KAN}^2}{gB_{KAN}^2} + 0,2}, \quad (8)$$

де  $q_{KAN}$  – витрата води по каналу, м<sup>3</sup>/с;

$B_{KAN}$  - ширина каналу, м, приймається не менше 0,7 м.

Насоси для промивки фільтрів підбираються з урахуванням втрат напору при промивці фільтрів.

Для рівномірного розподілення води при промивці усієї площі в фільтрах передбачають розподільчі системи: трубчасту - великого опору з гравійними шарами і безгравійну.

### **Розрахунок безгравійної трубчастої розподільчої системи**

Максимальна секундна витрата промивної води для промивки одного фільтру:

$$q_{ПРОМ} = WF_{\phi}, \quad (9)$$

де  $W$  – інтенсивність промивки, л/с×м<sup>2</sup>, приймається за табл. 23 [5].

По  $q_{ПРОМ}$  визначаються діаметри трубопроводів, які підводять та відводять промивну воду. Швидкість руху води в трубопроводі приймається згідно п.6.117 [5]. Приймавши відстань між відгалуженнями розподільчої системи, т.б.в. знайдемо площу фільтру, що приходить на кожне відгалуження, м<sup>2</sup>:

$$f_{Б.В.} = \frac{Lt_{Б.В.}}{2},$$

(8.10)

Витрата промивної води, яка потрапляє крізь одне бічне відгалуження:

$$q_{Б.В.} = f_{Б.В.} \times W \quad (11)$$

Згідно [5] швидкість руху води у відгалуженнях  $V_{Б.В.}$  повинна бути 1,5-2 м/с. Виходячи з  $V_{Б.В.}$  та  $q_{Б.В.}$  визначається діаметр труб відгалужень.

У нижній частині відгалуження під кутом  $45^\circ$  до вертикалі робляться отвори діаметром 10-12 мм. Загальна площа усіх отворів у відгалуженнях розподільчої системи повинна складати 0,25...0,3% площі фільтру,  $m^2$ :

$$F_0 = \frac{(0,25...0,3)F_{\text{ф.п.}}}{100}. \quad (12)$$

Кількість отворів в розподільчій системі одного фільтру:

$$n_0 = \frac{F_0}{f_0}, \quad (13)$$

де  $f_0$  – площа отворів діаметром  $d_0$ ,  $m^2$ .

Довжина одного відгалуження:

$$l_{Б.В.} = \frac{L}{2} - 0,1. \quad (14)$$

Кількість отворів на кожному фільтрі при кроці відгалужень:

$$n_{Б.В.} = \frac{B}{t_{Б.В.}} \quad (15)$$

Кількість отворів в кожному відгалуженні:

$$n_1 = \frac{n_0}{n_{Б.В.}} \quad (16)$$

Крок вісі отворів:  $t_0 = \frac{l_{Б.В.}}{n_1}$

Отвори розташовуються в два ряди в шаховому порядку під кутом  $45^\circ$  до вертикальної вісі труби. В підвищених місцях розподільчої системи передбачається установка стояків-повітряників для випуску повітря.

### Приклади розв'язання задач.

Приклад 1. Розрахувати швидкі одношарові фільтри з піщаним завантаженням, якщо продуктивність станції складає  $28000 \text{ м}^3/\text{добу}$ .

Визначаємо сумарну площу фільтрів:

$$F_\phi = \frac{28000}{24 \times 6 - 2 \times 4,5 - 2 \times 0,33 \times 6} = 214,26 \text{ м}^2$$

Приймаємо типову чарунку фільтра  $4,5 \times 6$  площею  $27 \text{ м}^2$ . Кількість фільтрів  $214,26 : 27 = 8$  шт. Швидкість фільтрації  $\frac{6 \times 214,26}{27 \times 8} = 5,95 \text{ м/год}$ .

Швидкість фільтрування води при форсованому режимі:

$$V_\phi = \frac{8}{8-1} \times 5,95 = 6,79 \text{ м/год} < 10 \text{ м/год}$$

Швидкість фільтрування при форсованому режимі відповідає табл.2.1.[5,7;С.33].

Визначаємо склад завантаження фільтру. Висота фільтруючого шару піску –  $700 \text{ мм}$  з крупністю зерен  $0,5-1,2 \text{ мм}$ . Еквівалентний діаметр зерен  $0,7-0,8 \text{ мм}$ , коефіцієнт неоднорідності  $K = 1,8 - 2,0$ . Загальна висота підтримуючих шарів гравію –  $500 \text{ мм}$ .

Розраховуємо пристрій для збору та відводу промивної води.

Витрата промивної води на промивку одного фільтру:

$$q_{\text{пр}} = WF = 27 \times 12,5 = 337,5 \text{ л/с}$$

Приймаємо 3 жолоба для відводу промивної води. Відстань між жолобами  $6 : 3 = 2 \text{ м}$ . Витрата промивної води, яка приходить на 1 жолоб:

$$q_{\text{ж}} = 337,5 \div 3 = 112,5 \text{ л/с} = 0,112 \text{ м}^3/\text{с}$$

Приймаємо відношення висоти жолобу до половини його ширини  $\alpha = 1,5$ ;  $K=2,1$ .



$$\text{Тоді, } B = 2,15 \sqrt{\frac{0,125^2}{(1,57 + 1,5)}} = 0,45 \text{ м.}$$

Висота прямокутної частини жолобу, м:

$$h_{\text{пр}} = 0,75B = 0,34 \text{ м.}$$

Корисна висота жолобу, м:

$$h = 1,25B = 0,56 \text{ м.}$$

Висота кромки жолоба над поверхнею фільтруючого завантаження при  $H = 0,7$  м і  $\epsilon = 45\%$ .

$$\Delta h_{\text{ж}} = \frac{0,7 \times 45}{100} + 0,3 = 0,62 \text{ м.}$$

Відсоток води, що витрачається на промивку фільтрів:

$$p = \frac{337,5 \times 8 \times 3600}{1166,7 \times 12 \times 1000} 100 = 6,94\%$$

Розраховуємо збірний канал. Прийmemo ширину каналу  $A = 0,7$  м.

Відстань від дна жолоба до дна збірного каналу повинна бути не менш

$$H_{\text{кан}} = 1,733 \sqrt{\frac{0,3375}{9,81 \times 0,7^2}} + 0,2 = 0,7 \text{ м.}$$

Швидкість руху води в каналі при розмірах поперечного перерізу  $0,7 \times 0,7 = 0,49 \text{ м}^2$  складе:

$$v_{\text{кан}} = \frac{q_{\text{кан}}}{f_{\text{кан}}} = \frac{0,3375}{0,49} = 0,7 \text{ м/с.}$$

Приклад 2. Розрахувати безгравійну трубчасту розподільчу систему швидкого фільтра площею  $45 \text{ м}^2$  і розміром в плані  $5 \times 9$  м.

Максимальна секундна витрата промивної води при інтенсивності промивки  $W = 15 \text{ л/с} \times \text{м}^2$ :

$$q_{\text{пр}} = WF_{\text{яч}} = 15 \times 45 = 675 \text{ л/с}$$

Діаметр трубопроводів, підводящих та відводящих промивну воду при  $V = 1,5 \text{ м/с}$  дорівнює  $D = 750 \text{ мм}$ .

Площа фільтру, що приходиться на кожне відгалуження, при кроці вісі відгалужень  $f_{Б.В.} = 0,27$  м.

$$f_{Б.В.} = \frac{9 \times 0,27}{2} = 1,21 \text{ м}^2$$

Витрата промивної води через одне бокове відгалуження:

$$q_{Б.В.} = f_{Б.В.} \times W = 1,21 \times 15 = 18,15 \text{ л/с.}$$

При  $V_{Б.В.} = 2$  м/с;  $R_{Б.В.} = 100$  мм.

Площа отворів у відгалуженнях розподільчої системи:

$$F_0 = \frac{0,25 F_{\text{ЧАР}}}{100} = \frac{0,25 \times 45}{100} = 0,1125 \text{ м}^2 = 1125 \text{ см}^2.$$

Прийнявши отвір діаметром 10 мм, знайдемо площу кожного отвору:

$$f_0 = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3,14 \times 1^2}{4} = 0,785 \text{ см}^2$$

Кількість отворів в розподільчій системі одного фільтру:

$$n_0 = \frac{F_0}{f_0} = \frac{1125}{0,785} = 1433 \text{ шт.}$$

При розмірі в плані  $5 \times 9$  довжина одного відгалуження:

$$l_{Б.В.} = \frac{L}{2} - 0,1 = \frac{9}{2} - 0,1 = 4,4 \text{ м.}$$

Кількість відгалужень на кожному фільтрі:

$$n_{Б.В.} = \frac{B}{t_{Б.В.}} \times 2 = \frac{5}{0,27} \times 2 = 37$$

Кількість отворів в кожному відгалуженні:

$$n_1 = \frac{n_0}{n_{Б.В.}} = \frac{1433}{37} = 39 \text{ шт.}$$

Крок вісі отворів:  $t_0 = \frac{l_{Б.В.}}{n_1} = \frac{4,4}{39} = 0,1 \text{ м.}$

Для випуску повітря приймаємо один стояк – повітряник діаметром 75мм.

## Питання для самоконтролю

1. Коли треба очистити фільтруючий шар від затриманих ним забруднень?
2. Чому дорівнює швидкість фільтрування у повільних фільтрах?
3. Одноступенева реагентна схема прояснення та знебарвлення води
4. Двохступенева реагентна схема прояснення та знебарвлення води.

## Література

1. ДБН В.2.5 – 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. [Чинний від 2014-01-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2013. 172 с. URL: [www.minregion.gov.ua/.../DBN\\_V.2.5-74\\_2013](http://www.minregion.gov.ua/.../DBN_V.2.5-74_2013) (дата звернення: 15.09. 2019).
2. Тугай А.М., Орлов В.О. Водопостачання: підручник. Київ. 2008. 735 с.
3. Орлов В.О. Водопостачання та водовідведення: підручник. Київ: знання, 2011. 359 с.
4. Орлов В. О. Водоочисні фільтри із зернистою засипкою: підручник. Рівне: НУВГП, 2012. 163 с.
5. Орлов В. О., Орлова А.М., В. О. Зошук Технологія підготовки питної води: навч.посібник. Рівне: НУВГП, 2010. 176 с.