

## Практичне заняття №7

### Тема: Господарсько-питне водопостачання промислових підприємств

**Мета заняття:** закріпити навички аналізу впливу потужності промислового підприємства на гідравлічні режими системи водопостачання міста; перевірити ступінь засвоєння навичок реконструкції очисних споруд на прикладі розрахунку робочих параметрів відстійника з тонкошаровими блоками та оцінки результатів розрахунку стосовно зміни ефективності очищення.

#### Задача №1.

для розроблення генерального плану розвитку міста і його інженерного забезпечення необхідно визначити можливе збільшення добових і годинних витрат води в системі водопостачання і намітити заходи щодо збільшення її пропускної можливості.

В чинному місті проживає  $N_1$  людей, які в середньому споживають  $Q_1$  тис.м<sup>3</sup>/добу води. На виробничі потреби питної води витрачається  $Q_2$  тис.м<sup>3</sup>/добу води при рівномірному водорозборі. По перспективному плану кількість мешканців в місті повинна зрости на  $N_2$  тисяч людей, а потужність промислових підприємств повинна зрости у 2 рази. Жилий сектор нових районів повинен мати повний доброустрій з централізованим гарячим водопостачанням. Виробничі потужності між старими та новими районами розподіляються орієнтовно пропорційно кількості мешканців. Витрати води на полив не враховувати. Чисельні величини витрат і кількості мешканців прийняти по додатку А.

#### Розв'язування типової задачі.

Дано:  $N_1 = 200$  тис. людей,  $N_2 = 100$  тис. людей,  $Q_1 = 50\,000$  м<sup>3</sup>/добу,  $Q_2 = 20\,000$  м<sup>3</sup>/добу.

а) Визначити середню добову витрату води в системі водопостачання на господарські питні потреби з врахуванням перспективного збільшення водоспоживання:

$$\bar{Q}_{доб.} = q_{пит.н.} * N / 1000 ,$$

де  $\bar{Q}_{доб.}$  – середньодобове водоспоживання в м<sup>3</sup>/добу,

$N$  – загальна кількість людей в місті з врахуванням перспективного зростання :

$$N = N_1 + N_2 = 200\,000 + 100\,000 = 300\,000 \text{ людей.}$$

$q_{пит.н.}$  – перспективне питне водоспоживання на одного мешканця, яке згідно з будівельними нормами [4] дорівнює 600 л/(добу×мешк.).

$$\bar{Q}_{доб.} = 600 * 300\,000 / 1000 = 180\,000 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

Ця витрата розподіляється так:

– для існуючої частини міста:

$$\bar{Q}'_{доб} = q_{нптп.} * N_1 / 1000 = 600 * 200\ 000 / 1000 = 120\ 000 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

– для нових районів:

$$\bar{Q}''_{доб} = q_{нптп.} * N_2 / 1000 = 600 * 100\ 000 / 1000 = 60\ 000 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

б) Визначити витрату води в добу найбільшого водоспоживання з врахуванням перспективного розвитку для міста в цілому.

$$Q_{макс.доб} = K_{макс.доб} * \bar{Q}_{доб},$$

де  $K_{макс.доб}$  – максимальний коефіцієнт добової нерівномірності,

$$K_{макс.доб} = 1,1 \div 1,3 [4].$$

$$Q_{макс.доб} = 1,2 * 180\ 000 = 216\ 000 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

В тому числі:

– для чинної частини міста

$$Q'_{макс.доб} = K_{макс.доб} * \bar{Q}'_{доб} = 1,2 * 120\ 000 = 144\ 000 \text{ м}^3 / \text{добу};$$

– для нових районів

$$Q''_{макс.доб} = K_{макс.доб} * \bar{Q}''_{доб} = 1,2 * 60\ 000 = 72\ 000 \text{ м}^3 / \text{добу.}$$

в) Максимальні годинні витрати води в системі:

– для всієї системи

$$Q_{макс.год} = K_{макс.год} * Q_{макс.доб} / 24 = \alpha_{макс} * \beta_{макс} * Q_{макс.доб} / 24,$$

де  $\alpha_{макс}$  – максимальний коефіцієнт, який враховує ступінь доброустрою будівель, режим роботи підприємств і приймається в межах  $\alpha_{макс} = 1,2 \div 1,4$  [4];

$\beta_{макс}$  – максимальний коефіцієнт, який враховує число мешканців [4].

При кількості мешканців 300 000 людей  $\beta_{макс} = 1,05$ .

$$Q_{макс.год} = 1,3 * 1,05 * 216\ 000 / 24 = 12\ 285 \text{ м}^3 / \text{год};$$

– для чинної системи:

$$Q'_{макс.год} = \alpha'_{макс} * \beta'_{макс} * Q'_{макс.доб} / 24 = 1,3 * 1,075 * 144\ 000 / 24 = 8385 \text{ м}^3 / \text{год};$$

– для нових районів міста:

$$Q''_{макс.год} = \alpha''_{макс} * \beta''_{макс} * Q''_{макс.доб} / 24 = 1,3 * 1,14 * 72\ 000 / 24 = 4446 \text{ м}^3 / \text{год.}$$

г) Визначити витрати води на потреби промисловості.

Добова витрата визначається, виходячи з таких міркувань. Точних даних про формування водоспоживання на промислових підприємствах немає. Тому може бути два шляхи визначення промислового водопостачання:

– вважати, що водоспоживання промислових підприємств зростає пропорційно росту потужності промисловості;

– визначити витрату згідно з п. 4 примітки до табл. 4 [1], згідно з якою додаткову витрату на потреби виробництв, які забирають воду з мережі господарські питні водопроводи населеного пункту, можна приймати в розмірі до 25% витрати води на господарські питні потреби населеного пункту, визначеного за перспективним питомим водоспоживанням.

Тоді в першому випадку витрата на потреби промисловості буде:

$$Q_{доб.в} = 20\,000 * 2 = 40\,000 \text{ м}^3 / \text{добу}.$$

В другому випадку витрата на ті ж потреби буде:

$$Q_{доб.в} = Q_2 + 0,25 * (\bar{Q}_{доб.} - Q_1) = 20000 + 0,25 * (180000 - 50000) = 52500 \text{ м}^3 / \text{добу},$$

де  $Q_1$  та  $Q_2$  – чинне водоспоживання на господарські питні потреби міста і промисловості відповідно.

Враховуючи, що можливе зростання водоспоживання шляхом непередбачених витрат, краще прийняти витрату на потреби виробництва 52500 м<sup>3</sup>/добу (допустимо прийняти також 40 000 м<sup>3</sup> / добу). При такій добовій витраті, годинна витрата на виробничі потреби при трьох змінній роботі підприємства буде:

$$Q_{год.в} = Q_{доб.в} / 24 = 52\,500 / 24 = 2188 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Якщо прийняти розподіл виробничих потужностей пропорційним кількості мешканців в районах міста, то годинна витрата на виробничі потреби в перспективі в старій частині міста зросте до величини:

$$Q'_{год.в} = 2188 * 200\,000 / 300\,000 = 1459 \text{ м}^3 / \text{год},$$

а в новій частині міста – до величини:

$$Q''_{год.в} = 2188 - 1459 = 729 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

д) Визначити повні годинні витрати для міста з врахуванням перспективного розвитку.

$$Q_{год} = Q_{макс.год} + Q_{год.в} = 12\,285 + 2188 = 14\,473 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

В тому числі:

– для старої частини міста:

$$Q'_{год.в} = Q'_{макс.год} + Q'_{год.в} = 8385 + 1459 = 9844 \text{ м}^3 / \text{год};$$

– для нової частини міста:

$$Q''_{год.в} = Q''_{макс.год} + Q''_{год.в} = 4446 + 729 = 5175 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Аналізуючи отримані результати, можна рекомендувати такі основні заходи:

– збільшити подачу насосної станції другого підйому до:

$$216\,000 + 52\,500 = 268\,500 \text{ м}^3 / \text{добу}.$$

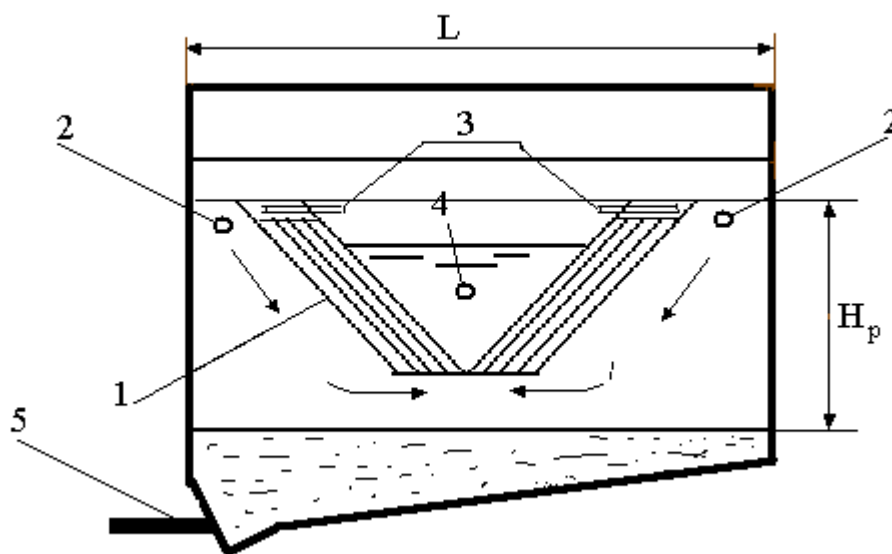
– збільшити добову продуктивність водозабору і станції водопідготовки приблизно в 4 рази,

- при роздільних мережах в старій і новій частинах міста необхідно збільшити їх пропускну можливість відповідно до 9844 м<sup>3</sup>/добу та до 5175 м<sup>3</sup>/добу.

### **Задача №2.**

Визначити, як зміниться допустиме навантаження на горизонтальний відстійник (рис. 10), якщо його переобладнати у відстійник з тонкошаровими модулями. Горизонтальний відстійник має параметри: довжина  $L$  м, ширина  $B$  м, робоча глибина  $H_p$  м, швидкість руху води в ньому  $v$  мм/с, що забезпечує затримання в ньому завислих речовин з гідравлічною крупністю  $u$  мм/с. Пакети тонкошарових модулів встановлюються під кутом  $60^\circ$  до горизонту, загальна висота пакета  $h_n = H_p$  в тому числі непротічна частина  $h_v = 0,5$  м. Відстань між пластинами  $v_n = 0,04$  м, товщина скла, з якого виготовляються пластини  $v_l = 0,004$  м. Можливі монтажні прозори між пакетами та стінками  $t = 0,2$  м.

Чисельні значення величин прийняти згідно з додатком А.



1 – пакет пластин, 2 – перфорований впускний трубопровід, 3 – труби для відводу води після освітлення, 4 – колектор для відводу, 5 – трубопровід мулу.

Рисунок 10 – Установка тонкошарових модулів в горизонтальному відстійнику.

### **Розв'язування типової задачі.**

Дано:  $L = 18$  м,  $B = 2$  м,  $H_p = 1,6$  м,  $v = 4$  мм/с,  $u = 0,5$  мм/с.

Знайти годинне навантаження на відстійник до його реконструкції:

$$Q_{від} = F * v,$$

де  $F$  – площа поперечного перерізу.

$$Q_{від} = 2 * 1,6 * 0,004 * 3600 = 46 м^3 / год.$$

Впродовж відстійника встановлюються два пакети нахилених під кутом  $60^0$  пластин загальною висотою  $h_n = 1,6 м$ .

Загальна довжина  $L_n$ , яка буде зайнята пластинами, визначається за формулою:

$$L_n = L - 2h_n * tg30^0 - 2t = 18 - 2 * 1,6 * 0,57735 - 2 * 0,2 = 16,55 м.$$

Пакети виготовляються з віконного скла товщиною  $e_1 = 0,004 м$ . Висота частини пакета від його верху до верхньої крайки пластин  $h_e = 0,5 м$ . Тоді довжина протічної частини в пластинах буде:

$$L_1 = (h_n - h_e) / \cos 30^0 = (1,6 - 0,5) / \cos 30^0 = 1,27 м.$$

Загальна кількість пакетів у відстійнику

$$n = L_n / (e_n + e_1) = 16,65 / (0,04 + 0,004) = 376 шт.$$

Термін відстоювання у пакеті

$$T = e_n * 1000 / (\sin 30^0 * u) = 0,04 * 1000 / (0,5 * 0,5) = 160 с.$$

Максимальна швидкість потоку в пакеті

$$v_{макс} = L_1 / T = 1,27 / 160 = 0,00794 м / с.$$

Годинне навантаження на відстійник після реконструкції визначається за формулою

$$Q'_{від} = (3600 * v_{макс} / k) * 2 * 0,755 * n * B * e_n,$$

де  $k$  – коефіцієнт,  $k = 1,5 \div 2,5$

$$Q'_{від} = (3600 * 0,00794 / 1,7) * 2 * 0,755 * 376 * 0,8 * 0,04 = 305 м^3 / год.$$

Співвідношення навантажень на відстійник

$$\frac{Q'_{від}}{Q_{від}} = \frac{305}{46} = 6,6.$$

Таким чином, переобладнання відстійника з установкою в ньому тонкошарових пакетів дозволяє збільшити навантаження на нього більше, ніж в 6 разів. Якщо навантаження не збільшувати, то буде кращою водопідготовка шляхом затримання менших частинок з огляду на те, що максимальна швидкість потоку в пакетах зменшиться до величини

$$v_{макс} = Q'_{від} * 1000 * 1,7 / (2 * 0,755 n B e_n * 3600) = 1,2 мм / с.$$

Перевіряємо стійкість роботи відстійника за числом Фруда

$$F_r = v_{\text{макс}}^2 / (gR) \geq 10^{-5},$$

де  $R$  – гідравлічний радіус, м.

$$R = \frac{B * \epsilon_n}{2 * (B + \epsilon_n)} = \frac{0.8 * 0.04}{2 * (0.8 + 0.04)} = 1.9 * 10^{-2}.$$

Тоді

$$F_r = 0.0012^2 / (9.81 * 1.9 * 10^{-2}) = 0.77 * 10^{-5}.$$

Таким чином, потік буде нестійким і необхідно збільшити початкове навантаження на відстійник. Приймавши  $F_r = 1 * 10^{-5}$ , визначимо допустиму швидкість

$$v'_{\text{макс}} = \sqrt{g * R * 10^{-5}} = \sqrt{9.81 * 1.9 * 10^{-2} * 10^{-5}} = 1.36 * 10^{-3} \text{ м/с}.$$

Навантаження на відстійник повинно зрости до величини

$$Q'_{\text{від}} = (3600 * 0,00136 / 1,7) * 2 * 0,755 * 376 * 0,8 * 0,04 = 52 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Термін відстоювання буде

$$T' = L_1 / v'_{\text{макс}} = 1,27 / (1,36 * 10^{-3}) = 934 \text{ с}.$$

Гідравлічна крупність завислих речовин, які будуть затримуватися, зменшиться до величини

$$u' = 40 / (\sin 30^{\circ} * 93.4) = 0.085 \text{ м/с}.$$

Розрахунки підтверджують доцільність переобладнання горизонтальних відстійників в відстійники з тонкошаровими пакетами.

### Питання для самоконтролю

1. Чим обумовлюється доцільність використання очищених стічних вод як джерела технічного водопостачання?
2. Умови використання для технічного водопостачання очищених міських промислових стічних вод і поверхневого стоку.
3. Які методи доочищення міських стічних вод застосовують із метою їх використання в системах технічного водопостачання?
4. Які вимоги ставляться до біологічно очищених стічних вод, що використовують для підживлення зворотних систем?
5. Наведіть приклади використання поверхневого стоку в системах технічного водопостачання.

## 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: <http://files.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi72/0052303.pdf>.
2. Кравченко В.С. Водопостачання та каналізація : підручник. Київ : Кондор, 2009. 288 с. URL : [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Kravch\\_2009\\_288.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2016/Kravch_2009_288.pdf) (дата звернення: 15.09.2023).
3. Орлов В. О., Литвиненко Л. Л., Орлова А. М. Водопостачання промислових підприємств : навч. посіб. Київ : Знання, 2014. 278 с.

Додаток А.

Таблиця А1 – Чисельні величини вихідних даних

Показник	Одиниці вимірювання	Величина показника при останній цифрі залікової книжки									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$N_1$	тис.люд	195	190	185	180	175	180	187	193	191	205
$N_2$	тис.люд	95	105	90	100	97	99	85	88	90	96
$Q_1$	тис.м <sup>3</sup> /добу	50	49	48	47	46	45	46	47	48	49
$Q_2$	тис.м <sup>3</sup> /добу	19	20	18	19	20	18	19	20	21	22
$L$	м	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
$B$	м	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0	2,5	3,0
$H_p$	м	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4
$v$	мм/с	4	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,4	4,3	4,2	4,1

