

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

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

для організації самостійної роботи і проведення практичних занять з навчальної  
дисципліни

**«ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СПОРУД ТА ОБЛАДНАННЯ  
СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ»**

*(для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти  
денної та заочної форм навчання спеціальності  
192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2019**

Методичні рекомендації для організації самостійної роботи і проведення практичних занять з навчальної дисципліни «Інтенсифікація функціонування споруд та обладнання систем водопостачання та водовідведення» (для здобувачів третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : С. С. Душкін, С. С. Душкін. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 55 с.

Укладачі: докт. техн. наук, проф. С. С. Душкін  
канд. техн. наук, ст. викл. С. С. Душкін

#### Рецензент

В. О. Ткачов, кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

*Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення і очищення вод, протокол № 1 від 29.08.2017 р.*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ТЕМА 1 Системи водопостачання, як комплекс інженерних споруд, структура і організація диспетчерської служби.....	5
1.1 Водоспоживання міста.....	5
Приклади рішення задач з теми «Водоспоживання міста».....	5
Задачі з теми «Водоспоживання міста».....	9
1.2 Вільні напори в водопровідній мережі.....	11
Приклади рішення задач з теми «Вільні напори в водопровідній мережі»....	12
Задачі з теми «Вільні напори в водопровідній мережі».....	16
1.3 Основи гідравлічного розрахунку та схеми трасування зовнішніх водопровідних мереж.....	18
Приклади рішення задач з теми «Основи гідравлічного розрахунку та схеми трасування зовнішніх водопровідних мереж».....	20
Задачі з теми «Основи гідравлічного розрахунку та схеми трасування зовнішніх водопровідних мереж».....	23
1.4 Пошук витоку та визначення його розміру за допомогою приладу інженера Панкевича.....	25
Приклад розрахунку витоку.....	27
Питання для самоконтроля.....	27
ТЕМА 2 Ресурсозберігаючі технології при експлуатації систем водопостачання.....	29
2.1 Реагентні методи.....	29
2.2 Технологічні методи ресурсозберігаючих технологій систем водопостачання.....	31
2.3 Фізичні методи ресурсозберігаючих технологій систем водопостачання.....	37
Задачі з теми «Ресурсозберігаючі технології при експлуатації систем водопостачання».....	39
Питання для самоконтроля.....	42
ТЕМА 3 Аварійні ситуації в системах водовідведення.....	43
Вивчення витрати стічних вод в самопливних лотках.....	43
Питання для самоконтроля.....	49
ТЕМА 4 Шляхи ресурсозбереження в системах водовідведення, санація систем водовідведення.....	51
Питання для самоконтроля.....	51
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

## ВСТУП

Розвиток цивілізації нерозривно пов'язаний з використанням води, споживання якої відбувається в масштабах, які постійно збільшуються. Забезпечення населення водою, яка відповідає певним санітарно-гігієнічним вимогам, є однією з основних задач водопостачання.

В даний час численні споживачі пред'являють до води вимоги, різні як в кількісному, так і в якісному відношенні. Зростання водоспоживання у всьому світі призвело до кількісного та якісного дефіциту води. Тому в сучасних умовах потрібен комплексний підхід до вирішення завдань водопостачання, що враховує інтереси різних груп споживачів води, раціональне її використання, що передбачає розробку заходів щодо охорони джерел від забруднення і виснаження, вдосконалення систем водопостачання, використання науково обґрунтованих норм водоспоживання, розробку маловодних і безводних технологічних процесів, вдосконалення водного законодавства тощо.

Каналізаційні мережі являються також системами життєзабезпечення. Реальна довговічність деяких каналізаційних трубопроводів становить всього 4–5 років, що допустимо мало в порівнянні з нормативними значеннями терміну служби в 25 років для таких відповідальних дорогих споруд. Розглядаючи місто як складну систему, необхідно відзначити невідповідність термінів служби її елементів – каналізаційні мережі – 25 років, а міські будівлі залежно від ступеня їх капітальності – 50 і більше років. Ця невідповідність в сукупності з численними відмовами під час експлуатації каналізаційних мереж є причиною порушення нормальної життєдіяльності людей, міського ландшафту, забруднення навколишнього середовища, перевитрати матеріальних і енергетичних ресурсів. Щоб забезпечити надійну роботу каналізаційної мережі протягом тривалого часу і підтримувати мережу в справному стані, потрібно в процесі її експлуатації своєчасно і планомірно здійснювати ряд технічних заходів (огляд мережі, її профілактичне очищення, усунення випадкових засмічень, поточний ремонт тощо).

Підвищення надійності роботи каналізаційної мережі, зниження вартості її експлуатації, скорочення термінів проведення робіт залежать не тільки від поліпшення якості проектування, будівництва та експлуатації мережі, але і від підвищення культури користування внутрішніми каналізаційними пристроями населенням і персоналом промислових підприємств.

## ТЕМА 1 Системи водопостачання, як комплекс інженерних споруд, структура і організація диспетчерської служби

### 1.1 Водоспоживання міста

Першочерговим завданням при розрахунку систем водопостачання є визначення обсягів води, яка подається споживачам. Для знаходження сумарних витрат використаної води потрібно найбільш повний облік всіх абонентів. Всі види споживання води умовно поділяють на такі основні категорії:

- витрата води на господарсько-питні потреби населення з урахуванням потреби у воді громадських будівель;
- витрата води на поливання і миття вулиць, площ і зелених насаджень;
- витрата води на потреби підприємств, які отримують її з міського водопроводу, включаючи господарсько-питне водоспоживання робітників і службовців під час перебування їх на виробництві;
- витрата води на потреби пожежогасіння.

Кількість води ( $\text{м}^3/\text{добу}$ ), яка споживається кожною категорією споживачів, визначається як добуток числа водоспоживачів на норму водоспоживання, а добова витрата всього об'єкта – як сума додатків за окремими категоріями споживачів:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{гп}} + Q_{\text{пол}} + Q_{\text{підпр}}, \quad (1.1)$$

де  $Q_{\text{заг}}$  – загальна кількість води, яка споживається в добу об'єктом;

$Q_{\text{гп}}$  – витрата води на господарсько-питні потреби;

$Q_{\text{підпр}}$  – витрата води на потреби промпідприємства.

Повне водоспоживання  $Q_{\text{повн}}$  ( $\text{м}^3/\text{добу}$ ), крім добової витрати об'єкта, враховує також витрати води на власні потреби водопроводу  $Q_{\text{вл}}$  (періодична промивка мережі, фільтрів, видалення осадів з резервуарів тощо):

$$Q_{\text{повн}} = Q_o + Q_{\text{вл}} = Q_o + \alpha Q_o, \quad (1.2)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує власні потреби водопроводу, для попередніх розрахунків приймається 0,05–0,10.

Визначення витрат води по різних категоріям споживачів має свою специфіку, на що слід звертати особливу увагу при виконанні відповідних розрахунків.

### Приклади розв'язання задач за темою «Водоспоживання міста»

**Приклад 1.** Визначити витрати води на господарсько-питні потреби жителів міста з щільністю населення  $P = 160$  чел / га і площею житлової забудови – 1000 га. Будинки обладнані внутрішнім водопроводом, каналізацією

та централізованим гарячим водопостачанням. Місто розташоване на північному сході України.

### **Рішення.**

Виходячи з природно-кліматичних умов і ступеня благоустрою міста, приймаємо норму господарсько-питного водоспоживання на одного жителя рівною 270 літрів на добу.

При визначенні витрат води на господарсько-питні потреби населення міста необхідно визначити кількість населення міста стосовно:

$$N = F \cdot P,$$

де  $F$  – площа житлових кварталів, га;

$P$  – щільність, чол / га.

$$N = 1000 \cdot 160 = 160000 \text{ чол.}$$

Розрахункова (середня за рік) добова витрата води на господарсько-питні потреби населення міста в м<sup>3</sup>/добу. За формулою отримаємо:

$$Q_{\text{ср.доб.}} = \frac{160000 \cdot 270}{1000} = 43200 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Розрахункові витрати води на добу найбільшого і найменшого водоспоживання визначаємо за формулами:

$$Q_{\text{макс.доб.}} = 1,3 \cdot 43200 = 56160 \text{ м}^3/\text{добу}, \quad Q_{\text{мін.доб.}} = 0,7 \cdot 43200 = 30240 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Визначаємо розрахункові годинні витрати води

$$Q_{\text{год.макс.}} = 1,4 \cdot 1,085 \cdot \frac{56160}{24} = 3554,46, \text{ м}^3/\text{год.};$$

$$Q_{\text{год.мін.}} = 0,4 \cdot 0,685 \cdot \frac{30240}{24} = 345,24 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Максимальна секундна витрата води

$$Q_{\text{макс.сек.}} = \frac{3554,46}{3,6} = 987,35 \text{ л/с} \quad Q_{\text{мін.сек.}} = \frac{345,24}{3,6} = 95,9 \text{ л/с.}$$

**Приклад 2.** Площа житлової забудови міста становить 500 га. Розрахункова щільність населення – 180 чол./га. Витрата води на господарсько-питне водоспоживання – 250 л/чол. на добу середнього водоспоживання. Коефіцієнт добової нерівномірності водоспоживання  $K_{\text{доб}} = 1,2$ . Визначити витрати води на господарсько-питні потреби жителів міста.

### **Рішення.**

При визначенні витрат води на господарсько-питні потреби населення міста необхідно визначити кількість населення:

$$N = 180 \cdot 500 = 90000 \text{ чол.}$$

Розрахункова добова витрата води на господарсько-питні потреби населення міста в м<sup>3</sup>/добу за формулою отримуємо:

$$Q_{\text{ср.сут.}} = \frac{90000 \cdot 250}{1000} = 22500 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

Розрахункові витрати води на добу найбільшого і найменшого водоспоживання:

$$Q_{\text{макс.доб.}} = 1,2 \cdot 22500 = 27000 \text{ м}^3/\text{добу};$$

Розрахункові годинні витрати води визначаємо за формулою  $Q_{\text{ср.доб}} = Q_{\text{макс.доб}} / 24$ , з врахуванням формули  $K_{\text{год}} = a \cdot \beta$ :

$$Q_{\text{год.макс.}} = 1,3 \cdot 1,111 \cdot \frac{27000}{24} = 1624,84, \text{ м}^3/\text{год.};$$

Максимальна секундна витрата води складе:

$$Q_{\text{макс.сек.}} = \frac{1624,84}{3,6} = 451,34 \text{ л/с.}$$

### Приклад 3.

Визначити добову витрату води на поливання вулиць і зелених насаджень міста при площі вулиць  $F_{\text{п}} = 80$  га і площі зелених насаджень  $F_{\text{з}} = 90$  га. Число полівок на добу  $n$  прийняти рівним 2.

#### Рішення.

Приймаємо норму води на полив вулиць 0,5 л/с на  $\text{м}^2$  і 5 л/с на  $\text{м}^2$  на полив зелених насаджень (відповідно до ДБН В.2.5-75:2013).

Добова витрата води на поливання покриттів і насаджень міста:

$$Q_n = \frac{F_n \cdot q_n \cdot n}{1000} + \frac{F_z \cdot q_z \cdot n}{1000} = \frac{800000 \cdot 0,5 \cdot 2}{1000} + \frac{900000 \cdot 5 \cdot 2}{1000} = 9800 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

### Приклад 4.

Визначити добову витрату води на поливання покриттів і зелених насаджень міста з населенням  $N = 160000$  жителів, прийнявши поливальну витрату води в перерахунку на одного жителя 50 л/добу.

#### Рішення.

Добова витрата води на поливання покриттів і насаджень міста

$$Q_{n.\text{доб}} = q \cdot N = 50 \cdot 160000 = 8000000 \text{ л/добу} = 8000 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

### Приклад 5.

Визначити витрату води на господарсько-питні потреби робітників на промисловому підприємстві. Кількість робочих на підприємстві становить 6680 осіб. У гарячих цехах працюють 880 чоловік, з них: на I зміні – 350; на II – 280, на III – 250. У холодних цехах працюють 5800 осіб, з них: на I зміні – 2150; на II – 1900, на III – 1750.

#### Рішення.

Виходячи з норм витрат води на господарсько-питні потреби на промислових підприємствах, визначаємо змінні витрати води окремо в цехах з

тепловиділенням більше 20 ккал. на 1 м<sup>3</sup> (гарячі цехи) і в інших цехах (холодні цехи)

$$Q_{г.ц.}^{Iзм} = 0,001 \cdot 45 \cdot 350 = 15,75 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$Q_{г.ц.}^{IIзм} = 0,001 \cdot 45 \cdot 280 = 12,60 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$Q_{г.ц.}^{IIIзм} = 0,001 \cdot 45 \cdot 250 = 11,25 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$\sum Q_{г.ц.} = 39,60 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

$$Q_{х.ц.}^{Iзм} = 0,001 \cdot 25 \cdot 2150 = 53,75 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$Q_{х.ц.}^{IIзм} = 0,001 \cdot 25 \cdot 1900 = 47,50 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$Q_{х.ц.}^{IIIзм} = 0,001 \cdot 25 \cdot 1750 = 43,75 \text{ м}^3/\text{добу};$$

$$\sum Q_{х.ц.} = 145 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

### Приклад 6.

Користуючись вихідними даними попереднього прикладу, визначити витрату води на потреби душових, маючи на увазі, що виробничий процес в гарячих цехах викликає забруднення одягу і рук, а в холодних цехах не викликає такого забруднення. У гарячих цехах душем користуються 70% працівників, а в холодних – 20%.

### Рішення.

В гарячих цехах використовують душ

$$I \text{ зм} - 350 \cdot 0,7 = 245 \text{ чол.};$$

$$II \text{ зм} - 280 \cdot 0,7 = 196 \text{ чол.};$$

$$III \text{ зм} - 250 \cdot 0,7 = 175 \text{ чол.}$$

В холодних цехах використовують душ

$$I \text{ зм} - 2150 \cdot 0,2 = 430 \text{ чол.};$$

$$II \text{ зм} - 1900 \cdot 0,2 = 380 \text{ чол.};$$

$$III \text{ зм} - 1750 \cdot 0,2 = 350 \text{ чол.}$$

Виходячи з норми витрати води на одну душову сітку  $q_{д.с.} = 500$  л/год. і тривалості користування душем  $t_{д.} = 45$  хв. після закінчення зміни, витрата води на підприємстві для душових в м<sup>3</sup> може бути визначена з виразу

$$Q_{душ.}^{зм} = \frac{0,001 \cdot q_{д.с.} \cdot t_{д.} \cdot N_i}{n_i},$$

де  $N_i$  – кількість робітників, які користуються душем в зміну, з  $i$ -ою санітарною характеристикою технологічного процесу;

$n_i$  – розрахункова кількість людей на одну душову сітку в цехах з  $i$ -ою санітарною характеристикою технологічного процесу.

У цехах, що викликають забруднення одягу і рук,

$$Q_{душ.}^{Iзм} = \frac{0,001 \cdot 500 \cdot 0,75 \cdot 245}{7} = 13,13 \text{ м}^3/\text{зм.};$$

$$Q_{душ.}^{IIзм} = \frac{0,001 \cdot 500 \cdot 0,75 \cdot 196}{7} = 10,50 \text{ м}^3/\text{зм.};$$

$$Q_{душ.}^{IIIзм} = \frac{0,001 \cdot 500 \cdot 0,75 \cdot 175}{7} = 9,38 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

$$\sum Q_{душ.} = 33,01 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

У цехах, що не викликають забруднення одягу і рук,

$$Q_{душ.}^{Iзм} = \frac{0,001 \cdot 500 \cdot 0,75 \cdot 430}{15} = 10,75 \text{ м}^3/\text{зм.};$$

$$Q_{душ.}^{IIзм} = \frac{0,001 \cdot 500 \cdot 0,75 \cdot 380}{15} = 9,50 \text{ м}^3/\text{зм.};$$

$$Q_{душ.}^{IIIзм} = \frac{0,001 \cdot 500 \cdot 0,75 \cdot 350}{15} = 8,75 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

$$\sum Q_{душ.} = 29,00 \text{ м}^3/\text{зм.}$$



### Приклад 7.

Визначити максимальну секундну витрату води для виробничих цілей тракторного заводу, добова продукція якого складає 100 тракторів, робота в 3 зміни, питома витрата води для виробництва одного трактора  $45 \text{ м}^3$ .

#### Рішення.

Так як середня питома витрата води для виробництва одного трактора  $45 \text{ м}^3$ , отже, добова витрата буде:

$$Q_{\text{макс.доб}} = 100 \cdot 45 = 4500 \text{ м}^3/\text{доб.}$$

Беручи витрата води на виробничі потреби рівномірним протягом доби, максимальна годинна витрата визначається за формулою

$$Q_{\text{макс.год}} = \frac{4500}{24} = 187,5 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Максимальна секундна витрата

$$Q_{\text{макс.сек}} = \frac{187,5}{3,6} = 52,1 \text{ л/с.}$$

### Приклад 8.

Визначити розрахункову витрата води для гасіння пожежі в населеному пункті при 160 тисячах жителів і 5-ти поверховій забудові.

#### Рішення.

Розрахункова витрата води на гасіння пожежі в населеному пункті:

$$Q_{\text{макс.сек}} = 40 \cdot 3 + 10 = 130 \text{ л/с.}$$

Витрата води, витрачену на пожежу визначаємо:  $10,8 \cdot 130 = 1404 \text{ м}^3$ .

### Задачі з теми «Водопостачання міста»

#### Задача 1.

Визначити максимальну секундну витрату для житлового мікрорайону міста в добу найбільшого і найменшого водоспоживання.

Вихідні дані	Номера варіантів									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площа житлової забудови мікрорайона $F$ , га	180	160	130	200	170	165	145	185	190	165
Норма водоспоживання, $q$ л/доб·чол	195	210	215	180	235	190	270	220	185	230
Щільність населення $P$ , чол/га	400	330	380	450	200	250	320	410	290	99

### Задача 2.

Визначити витрату води на комунальні потреби міста.

Вихідні дані	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Площа вулиць і майданів, $F_n$ , м <sup>2</sup>	1500	3500	6000	5320	7485
Площа зелених насаджень, $F_z$ , м <sup>2</sup>	5000	10500	20000	50500	95000
Норма витрати води для поливу $q_n$ , л/м <sup>2</sup> на 1 м <sup>2</sup>	1,2	1,5	0,3	0,35	0,4
Норма витрати води для поливу $q_z$ , л/м <sup>2</sup> на 1 м <sup>2</sup>	3,5	3	4	5	6
Число поливань на добу, $n$	2	1	2	1	2

### Задача 3.

Визначити витрату води на господарсько-питні потреби працівників на промисловому підприємстві.

Вихідні дані	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість робочих на підприємстві, чол.	1000	6000	2000	5340	7800
Працюють в гарячих цехах:	600	1500	1280	3500	4900
на I зміні, чол.	480	500	640	2400	2690
на II зміні, чол.	120	500	360	800	1310
на III зміні, чол.	-	500	280	300	900
Працюють в холодних цехах:	400	4500	720	1840	2900
на I зміні, чол.	300	2800	450	1000	1680
на II зміні, чол.	100	1000	150	600	880
на III зміні, чол.	-	700	120	240	340

### Задача 4.

Визначити витрату води на душ.

Вихідні дані	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Кількість робочих на підприємстві, чол.	2000	5000	1500	7200	5580
Працюють в гарячих цехах, %	15	40	80	60	70
Працюють в холодних цехах, %	10	25	70	40	20
Група виробничих процесів, санітарні характеристики виробничих процесів	I, а	I, б	II, г	II, в	I, а

### Задача 5.

Визначити максимальну секундну витрату води для виробничих цілей:

Вихідні дані	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Підприємство	Взуттєва фабрика	Автозавод	Молокозавод	М'ясо-комбінат	Броварня
Продукція	взуття	машина	молоко	ковбаса	пиво
Добова продукція підприємства	5000 пар	240 шт.	30 т.	8 т.	25 т.
Питома витрата на одиницю товару, $q_{нит}, м^3$	30	45	20	15	15

### Задача 6.

Визначити розрахункову витрату води для гасіння пожежі в населеному пункті при наступних вихідних даних:

Вихідні дані	Номера варіантів				
	1	2	3	4	5
Чисельність населення міста, тис. чол.	110	230	560	470	0,5
Кількість поверхів у будівлях	5	9	12	5	2

### 1.2 Вільні напори у водопровідній мережі

У будь-якій точці зовнішньої водопровідної мережі напір повинен бути достатнім для того, щоб вода під його дією могла надходити із зовнішньої водопровідної мережі по внутрішній до верхнього і найвіддаленішого водозабірною пристрою.

Необхідний мінімальний вільний напір ( $H_{вільн.}$ ) у водопровідній мережі в точці приєднання введення в будівлю визначається як сума геометричної висоти підйому води ( $H_g$ ), запасу напору для нормальної роботи водорозбірних приладів ( $H_{зап}$ ) і втрат напору по довжині трубопроводу від введення до найбільш віддаленого водорозборного приладу ( $h_{дов.}$ ):

$$H_{вільн.} = H_g + H_{зап} + h_{дов.} \quad (1.3)$$

При одноповерховій забудові необхідний мінімальний вільний напір становить не менше 10 метрів. При багатоповерховій – на перший поверх приймається 10 метрів, а на кожний наступний за годину максимального водоспоживання – по 4 метри, в інші години – по 3,5 метра.

$$H_{вільн.} = 10 + h_1 \cdot (n - 1), \quad (1.4)$$

де  $h_1$  – приймається напір на один поверх, м;  
 $n$  – кількість поверхів у будівлі.

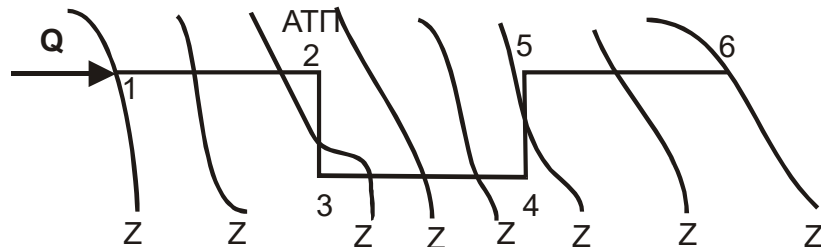
Під п'єзометричною відміткою вузла водопровідної мережі мається на увазі сума позначки землі і вільного напору в цьому вузлі.

$$P_i = H_{\text{вільн.}}^i + Z_i, \quad (1.20)$$

де  $P_i$  – п'єзометрична відмітка, м;  
 $H_{\text{вільн.}}^i$  – вільний напір в  $i$ -й точці, м;  
 $Z_i$  – відмітка землі в  $i$ -й точці, м.

### Приклади розв'язання задач за темою «Вільні напори у водопровідній мережі»

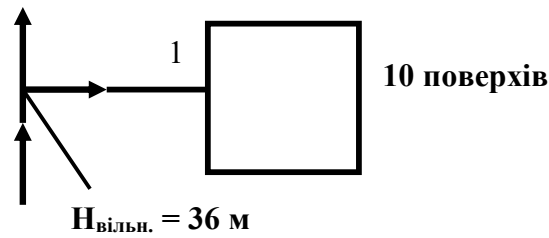
**Приклад 1.** Визначити  $H_{\text{вільн.}}$  та п'єзометричні позначки вузлових точок тупикової мережі. Поверховість – 5 поверхів,  $h_{1-2} = 0,8$  м,  $h_{2-3} = 1,2$  м,  $h_{3-4} = 1,1$  м,  $h_{4-5} = 0,9$  м,  $h_{5-6} = 0,7$  м. Відмітки поверхні землі у вузлових точках дорівнюють:  $Z_1 = 94$  м,  $Z_2 = 96,2$  м,  $Z_3 = 95,8$  м,  $Z_4 = 98,4$  м,  $Z_5 = 99,2$  м,  $Z_6 = 101$  м.



#### Рішення.

1. Визначаємо вільний напір в точці 6.  $H_{\text{вільн.}}^6 = 10 + 4 \cdot (5 - 1) = 26$  м.
2. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 6.  $P^6 = 26 + 101 = 127$  м.
3. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 5.  $P^5 = 127 + 0,7 = 127,7$  м.
4. Визначаємо вільний напір в точці 5.  $H_{\text{вільн.}}^5 = 127,7 - 99,2 = 28,5$  м.
5. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 4.  $P^4 = 127,7 + 0,9 = 128,6$  м.
6. Визначаємо вільний напір в точці 4.  $H_{\text{вільн.}}^4 = 128,6 - 98,4 = 30,2$  м.
7. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 3.  $P^3 = 128,6 + 1,1 = 129,7$  м.
8. Визначаємо вільний напір в точці 3.  $H_{\text{вільн.}}^3 = 129,7 - 95,8 = 33,9$  м.
9. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 2.  $P^2 = 129,7 + 1,2 = 130,9$  м.
10. Визначаємо вільний напір в точці 2.  $H_{\text{вільн.}}^2 = 130,9 - 96,2 = 34,7$  м.
11. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 1.  $P^1 = 130,9 + 0,8 = 131,7$  м.
12. Визначаємо вільний напір в точці 1.  $H_{\text{вільн.}}^1 = 131,7 - 94 = 37,7$  м.

**Приклад 2.** Чи можливе підключення будівлі до водопровідної мережі?

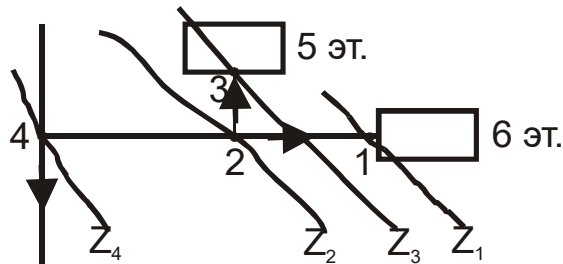


**Рішення.** Визначаємо вільний напір в т. 1.

$$H_{\text{вільн.}}^1 = 10 + 4 \cdot (10 - 1) = 46 \text{ м.}$$

Підключення будівлі до водопровідної мережі не можливо, тому що необхідний напір на вході в будівлю 46 м, а вільний напір в мережі – 36 м.

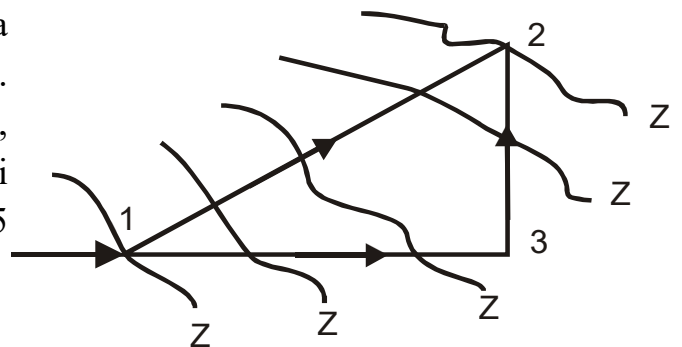
**Приклад 3.** Визначити  $H_{\text{вільн.}}$  та п'єзометричні позначки вузлових точок 1, 2, 3, 4.  $h_{1-2}=1,1$  м;  $h_{2-3}=0,6$  м;  $h_{2-4}=0,8$  м. Позначки поверхні землі у вузлових точках:  $Z_1=90$  м,  $Z_2=80$  м,  $Z_3=85$  м,  $Z_4=75$  м.



**Рішення.**

1. Визначаємо вільний напір в точці 1.  $H_{\text{вільн.}}^1 = 10 + 4 \cdot (6 - 1) = 30$  м.
2. Визначаємо вільний напір в точці 3.  $H_{\text{вільн.}}^3 = 10 + 4 \cdot (5 - 1) = 26$  м.
3. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 3.  $\Pi^3 = 26 + 85 = 111$  м.
4. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 1.  $\Pi^1 = 30 + 90 = 120$  м.
5. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 2.  $\Pi^2 = 120 + 1,1 = 121,1$  м.
6. Визначаємо вільний напір в точці 2.  $H_{\text{вільн.}}^2 = 121,1 - 80 = 41,1$  м.
7. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 4.  $\Pi^4 = 121,1 + 0,8 = 121,9$  м.
8. Визначаємо вільний напір в точці 4.  $H_{\text{вільн.}}^4 = 121,9 - 75 = 46,9$  м.

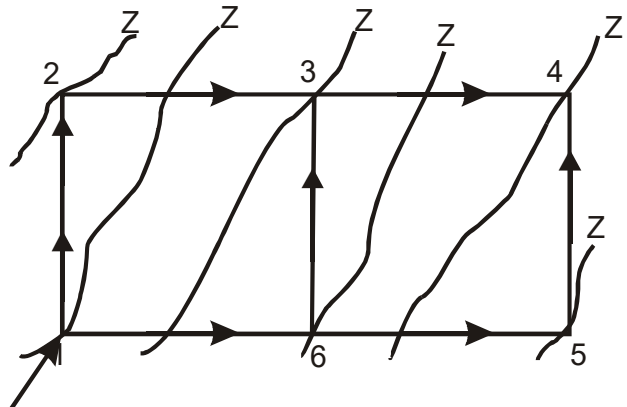
**Приклад 4.** Визначити  $H_{\text{вільн.}}$  та п'єзометричні позначки вузлових точок. Поверховість – 5 поверхів.  $h_{1-2}=0,8$  м,  $h_{2-3}=0,6$  м,  $h_{3-1}=1,4$  м. Позначки поверхні землі у вузлових точках:  $Z_1=41$  м,  $Z_2=45$  м,  $Z_3=43,4$  м.



### Рішення.

1. Визначаємо вільний напір в точці 2.  $H_{вільн.}^2 = 10 + 4 \cdot (5 - 1) = 26$  м.
2. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 2.  $\Pi^2 = 45 + 26 = 71$  м.
3. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 3.  $\Pi^3 = 71 + 0,6 = 71,6$  м.
4. Визначаємо вільний напір в точці 3.  $H_{вільн.}^3 = 71,6 - 43,4 = 28,2$  м.
5. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 1.  $\Pi^1 = 71,6 + 0,8 = 72,4$  м.
6. Визначаємо вільний напір в точці 1.  $H_{вільн.}^1 = 72,4 - 41 = 31,4$  м.
7. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 1.  $\Pi^1 = 71 + 1,4 = 72,4$  м.
8. Визначаємо вільний напір в точці 1.  $H_{вільн.}^1 = 72,4 - 41 = 31,4$  м.

**Приклад 5.** Визначити  $H_{вільн.}$  та п'єзометричні позначки вузлових точок. Поверховість – 8 поверхів.  $h_{1-2}=1,5$  м,  $h_{2-3}=0,5$  м,  $h_{3-4}=1,2$  м,  $h_{4-5}=1,3$  м,  $h_{5-6}=2,0$  м,  $h_{6-1}=0,6$  м. Позначки поверхні землі у вузлових точках:  $Z_1=144,6$  м,  $Z_2=144$  м,  $Z_3=146$  м,  $Z_4=148$  м,  $Z_5=149$  м,  $Z_6=147$  м.



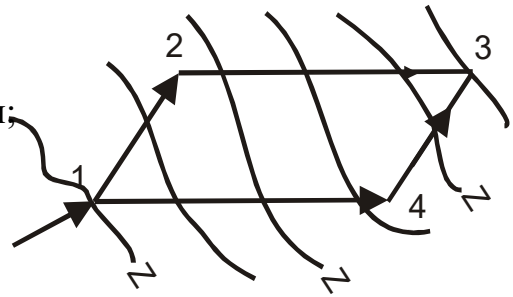
### Рішення.

1. Визначаємо вільний напір в точці 4.  $H_{вільн.}^4 = 10 + 4 \cdot (8 - 1) = 38$  м.
2. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 4.  $\Pi^4 = 38 + 148 = 186$  м.
3. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 3.  $\Pi^3 = 186 + 1,2 = 187,2$  м.
4. Визначаємо вільний напір в точці 3.  $H_{вільн.}^3 = 187,2 - 146 = 41,2$  м.
5. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 2.  $\Pi^2 = 187,2 + 0,5 = 187,7$  м.
6. Визначаємо вільний напір в точці 2.  $H_{вільн.}^2 = 187,7 - 144 = 43,7$  м.
7. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 1.  $\Pi^1 = 187,7 + 1,5 = 189,2$  м.
8. Визначаємо вільний напір в точці 1.  $H_{вільн.}^1 = 189,2 - 144,6 = 44,6$  м.
9. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 5.  $\Pi^5 = 186 + 2,0 = 188$  м.
10. Визначаємо вільний напір в точці 5.  $H_{вільн.}^5 = 188 - 149 = 39$  м.
11. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 6.  $\Pi^6 = 188 + 0,6 = 188,6$  м.
12. Визначаємо вільний напір в точці 6.  $H_{вільн.}^6 = 188,6 - 147 = 41,6$  м.
13. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 1.  $\Pi^1 = 188,6 + 0,6 = 189,2$  м.
14. Визначаємо вільний напір в точці 1.  $H_{вільн.}^1 = 189,2 - 144,6 = 44,6$  м.

**Приклад 6.** Визначити  $H_{\text{вільн}}$  та

п'єзометричні позначки вузлових точок.

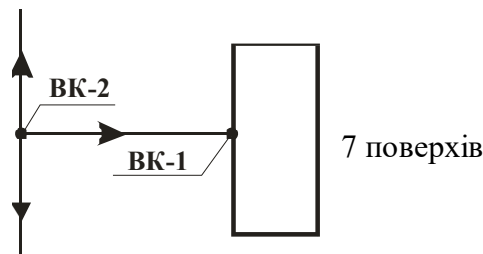
Поверховість – 6 поверхів.  $h_{1-2}=1,8$  м;  $h_{2-3}=1,4$  м;  
 $h_{3-4}=0,5$  м;  $h_{4-1}=3,6$  м. Позначки поверхні  
землі у вузлових точках:  $Z_1=194$  м,  $Z_2=195,5$  м,  
 $Z_3=199$  м,  $Z_4=197,2$  м.



**Рішення.**

1. Визначаємо вільний напір в точці 3.  $H_{\text{вільн}}^3 = 10 + 4 \cdot (6 - 1) = 30$  м.
2. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 3.  $\Pi^3 = 30 + 199 = 229$  м.
3. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 2.  $\Pi^2 = 229 + 2,3 = 231,3$  м.
5. Визначаємо вільний напір в точці 2.  $H_{\text{вільн}}^2 = 231,3 - 195,5 = 35,8$  м.
6. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 1.  $\Pi^1 = 231,3 + 1,8 = 233,1$  м.
7. Визначаємо вільний напір в точці 1.  $H_{\text{вільн}}^1 = 233,1 - 194 = 39,1$  м.
8. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 4.  $\Pi^4 = 229 + 0,5 = 229,5$  м.
9. Визначаємо вільний напір в точці 4.  $H_{\text{вільн}}^4 = 229,5 - 197,2 = 32,1$  м.
10. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці 1.  $\Pi^1 = 229,5 + 3,6 = 233,1$  м.
11. Визначаємо вільний напір в точці 1.  $H_{\text{вільн}}^1 = 233,1 - 194 = 39,1$  м.

**Приклад 7.** Визначити п'єзометричні позначки вузлових точок. ВК-1, ВК-2 та вільні напори, якщо  $Z_1=85,0$  м,  $Z_2=84,5$  м,  $h_{1-2} = 1,9$  м.



**Рішення.**

1. Визначаємо вільний напір в точці ВК-1.  
 $H_{\text{вільн}}^{\text{ВК-1}} = 10 + 4 \cdot (7 - 1) = 34$  м.
2. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці ВК-1.  
 $\Pi^{\text{ВК-1}} = 34 + 85 = 119$  м.
3. Визначаємо п'єзометричну позначку в точці ВК-2.  
 $\Pi^{\text{ВК-2}} = 119 + 1,9 = 120,9$  м.
4. Визначаємо вільний напір в точці ВК-2.  
 $H_{\text{вільн}}^{\text{ВК-2}} = 120,9 - 84,5 = 36,4$  м.

### Задачі з теми «Вільні напори у водопровідній мережі»

**Задача 1.** Визначити  $H_{\text{вільн.}}$  і п'єзометричні позначки вузлових точок тупикової мережі. Вихідні дані для вирішення завдання наведені в таблиці. Рисунок до задачі (див. Приклад 1).

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Поверховість забудови	12	14	16	9	12
Втрати напору на ділянках, м: $h_{1-2}$	0,7	1,0	1,3	0,5	1,1
$h_{2-3}$	1,0	1,4	1,7	0,7	1,5
$h_{3-4}$	1,3	1,3	1,5	0,9	1,4
$h_{4-5}$	0,6	1,1	1,4	1,0	1,2
$h_{5-6}$	1,1	0,9	1,2	0,6	0,9
Позначки поверхні землі у вузлових точках, м: $Z_1$	75	52	100	224	137
$Z_2$	77,5	54,5	102,6	226,4	139,4
$Z_3$	76,7	53,9	101,8	225,6	138,9
$Z_4$	79,8	56,8	104,9	228,8	141,8
$Z_5$	80,2	57,1	105,3	229,1	142,0
$Z_6$	84	59	107	231	144

**Задача 2.** Чи можливе підключення будівлі до водопровідної мережі? Рисунок до задачі (див. Приклад 2).

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Поверховість забудови	12	14	16	9	12
Вільний напір в точці підключення.	38	46	34	27	34

**Задача 3.** Визначити  $H_{\text{вільн.}}$  та п'єзометричні позначки вузлових точок 1, 2, 3, 4. Вихідні дані для вирішення завдання наведені в таблиці. Рисунок до задачі (див. Приклад 3).

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
Поверховість забудови в т. 3.	7	6	8	9	12
Поверховість забудови в т. 1.	9	10	11	14	15
Втрати напора на ділянках, м: $h_{1-2}$	1,5	0,8	1,3	0,9	1,6
$h_{2-3}$	1,0	0,3	0,8	1,7	1,2
$h_{3-4}$	1,2	0,5	1,4	1,9	1,3



<i>l</i>	2	3	4	5	6	
Позначки поверхні землі у вузлових точках, м:	$Z_1$	70	40	45	20	100
	$Z_2$	75	41	50	25	105
	$Z_3$	80	42	55	30	110
	$Z_4$	85	43	60	35	115

**Задача 4.** Визначити  $H_{\text{вільн.}}$  та п'езометричні позначки вузлових точок. Вихідні дані для вирішення завдання наведені в таблиці. Рисунок до задачі (див. Приклад 4).

Вихідні дані		Номери варіантів				
		1	2	3	4	5
Поверховість забудови		16	12	14	10	8
Втрати напора на ділянках, м:	$h_{1-2}$	0,7	1,0	1,2	0,5	1,1
	$h_{2-3}$	0,5	0,8	1,0	0,3	0,9
	$h_{3-1}$	0,6	0,9	1,1	0,4	1,0
Позначки поверхні землі у вузлових точках, м:	$Z_1$	78	60	95	214	147
	$Z_2$	82	64	115	225	151
	$Z_3$	80,3	62,2	105	218	149

**Задача 5.** Визначити  $H_{\text{вільн.}}$  та п'езометричні позначки вузлових точок. Вихідні дані для вирішення завдання наведені в таблиці. Рисунок до задачі (див. Приклад 5).

Вихідні дані		Номери варіантів				
		1	2	3	4	5
Поверховість забудови		9	10	12	13	15
Втрати напора на ділянках, м:	$h_{1-2}$	1,7	1,9	1,3	1,1	1,8
	$h_{2-3}$	0,7	0,9	0,2	0,1	0,8
	$h_{3-4}$	1,4	1,6	1,0	0,8	1,5
	$h_{4-5}$	1,5	1,7	1,1	0,9	1,6
	$h_{5-6}$	2,2	2,4	1,8	1,6	2,3
	$h_{6-1}$	0,8	1,0	0,4	0,2	0,9
Позначки поверхні землі у вузлових точках, м:	$Z_1$	42	105	69	53	20
	$Z_2$	41	100	68	52	15
	$Z_3$	43	110	70	54	25

Z4	45	120	72	56	35
Z5	46	125	73	57	40
Z6	44	115	71	55	30

**Задача 6.** Визначити  $H_{\text{вільн.}}$  та п'єзометричні позначки вузлових точок. Вихідні дані для вирішення завдання наведені в таблиці. Рисунок до задачі (див. Приклад 6).

Вихідні дані		Номери варіантів				
		1	2	3	4	5
Поверховість забудови		5	12	15	16	10
Втрати напора на ділянках, м:	$h_{1-2}$	2,0	2,2	1,5	1,1	2,8
	$h_{2-3}$	1,6	1,8	1,1	0,7	2,4
	$h_{3-4}$	2,7	2,9	2,2	1,8	4,5
	$h_{4-1}$	1,8	2,0	1,3	0,9	3,6
Позначки поверхні землі у вузлових точках, м:	$Z_1$	145	805	29	63	120
	$Z_2$	146,5	85,6	30,7	64,4	125,5
	$Z_3$	148,1	95,2	32,3	66,1	135,2
	$Z_4$	150	105	34	68	145

**Задача 7.** Визначити п'єзометричні позначки вузлових точок. ВК-1, ВК-2 і вільні напори. Вихідні дані для вирішення завдання наведені в таблиці. Рисунок до задачі (див. Приклад 7).

Вихідні дані		Номери варіантів				
		1	2	3	4	5
Поверховість забудови		6	10	9	8	11
Втрати напора на ділянках, м:	$h_{1-2}$	2,0	2,1	2,5	1,4	2,3
Позначки поверхні землі у вузлових точках, м:	$Z_{\text{ВК-1}}$	154	80	19	63	124
	$Z_{\text{ВК-2}}$	156	85	19,7	65,4	125,5

### 1.3 Основи гідравлічного розрахунку та схеми трасування зовнішніх водопровідних мереж

Для визначення діаметрів труб і втрат напору на всіх ділянках мережі при пропуску розрахункових витрат води виконують гідравлічні розрахунки водоводів та водопровідної мережі. Втрати напору потрібні для визначення висоти водонапірної башти і напору насосів. Гідравлічний розрахунок виконують тільки для магістральних ліній і водоводів. Залежно від схеми живлення мережу розраховують на такі характерні випадки: максимальне

водоспоживання; максимальне водоспоживання і пропуск додаткових протипожежних витрат; транзит в напірний бак. Розрахунок на перші два випадки потрібен для всіх схем мережі, а на третій – для схеми з контррезервуаром.

Підготовка мережі для розрахунку полягає в складанні умовної розрахункової схеми. При гідравлічному розрахунку мережі неможливо врахувати всі реальні точки відбору води споживачами, тому реальна схема замінюється умовною з вузловими точками відбору води, розташованих, як правило, на перетинах магістральних ліній. Вузлові точки поділяють мережу на розрахункові ділянки. Порядок визначення витрат води на ділянках такий:

1. За графіком водоспоживання для призначеного режиму визначають розрахункові витрати,  $q_{max}$  л/с.

2. Визначають питомі витрати в л/с на 1 м мережі, виключаючи при цьому зосереджених водоспоживачів:

$$q_{пит} = \frac{q_{max} - \sum q_{зосер}}{\sum L}, \quad (1.5)$$

де  $\sum q_{зосер}$  – сума витрат, які зосереджені споживачами, л/с;

$\sum L$  – сумарна довжина ділянок мережі, які віддають воду, м (в неї не включаються ділянки, призначені тільки для транспортування води).

При різному характері забудови (багатопверхова, малоповерхова, індивідуальна) питомі витрати визначають для кожного району окремо.

3. Вважаючи, що відбір води з мереж рівномірний, визначають шляхові витрати для кожної ділянки:

$$q_{шл} = q_{пит} \cdot l. \quad (1.6)$$

4. Для спрощення розрахунків замінюють шляхові витрати вузловими (умовно зосередженими у вузлах) і визначають їх як напівсуму шляхових витрат ділянок, приєднаних до даного вузла:

$$q_{вузл} = 0,5 \sum q_{шл}. \quad (1.7)$$

Якщо є зосереджена витрата у вузлі, то

$$q_{вузл} = 0,5 \sum q_{шл} + q_{зосер}. \quad (1.8)$$

Сума витрат, що приходять до вузла, повинна бути рівною сумі витрат, що впливають із нього.

5. З огляду на те, що крім шляхових витрат проходить також транзитна витрата  $q_{тран}$  для живлення наступних ділянок мережі, визначають розрахункові витрати для кожної ділянки:

$$q_i = q_{тран} + 0,5 \cdot q_{шл}, \quad (1.9)$$

де 0,5 – коефіцієнт, що враховує, що на початку ділянки  $q_i = q_{тран} + 0,5 \cdot q_{шл}$ , а

наприкінці  $-q_i = q_{тран}$ .

Знаючи розрахункові витрати на ділянках мережі і прийнявши матеріал труб, визначають діаметри магістральних трубопроводів

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}}, \quad (1.10)$$

де  $Q$  – розрахункові витрати ділянки, м<sup>3</sup>/с;

$V$  – швидкість руху води в трубі, м/с.

Визначаючи величину швидкості руху, слід враховувати, що малі швидкості руху води ведуть до збільшення діаметра, а великі – до його зменшення. Перше призводить до збільшення будівельної вартості, а друге – до збільшення втрат напору в трубах, і таким чином – до витрат електроенергії на їх подолання, тобто збільшення експлуатаційних витрат. Економічно вигідна швидкість становить: для труб малого діаметра 0,6–0,9 м/с; для труб великого діаметра – 0,9 – 1,5 м/с.

За формулами гідравліки при відомих діаметрах і витратах ділянок мережі визначають втрати напору. Для спрощення розрахунків по цих формулах складені таблиці, користуючись якими, загальні втрати напору визначають, як:

$$h_l = i \cdot l, \text{ м} \quad (1.11)$$

де  $i$  – гідравлічний ухил трубопроводу;  $l$  – довжина трубопроводу, м.

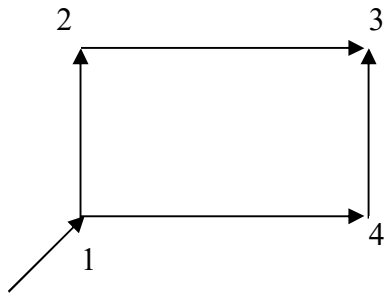
При розрахунку магістральних ліній втрати напору на місцеві опори не враховують як порівняно незначні.

При розрахунку складних кільцевих мереж може бути багато різних рішень розподілу води ділянками. У цих випадках проводять «ув'язку» мережі, щоб сума втрат напору на ділянках кільця з рухом води за годинниковою стрілкою дорівнювала сумі втрат напору на ділянках з рухом води проти годинникової стрілки ( $\sum h = 0$ ).

Оскільки витрати на ділянках мережі беруться орієнтовно, а діаметри підбираються, виходячи з економічних міркувань, то сума втрат напору не дорівнює нулю, а становить певну позитивну або негативну величину, звану нев'язкою. Щоб пов'язати мережу, треба частину взятої на початку розрахункової витрати перекинути з більш навантаженого півкільця на менш навантажене. Після виправлення витрат повторно визначають втрати напору. Розрахунок продовжують до тих пір, поки величина нев'язки не стане допустимою ( $\Delta h = 0,3 - 0,5$  м).

**Приклади розв'язання задач за темою «Основи гідравлічного розрахунку і схеми трасування зовнішніх водопровідних мереж»**

**Приклад 1.** Визначити питомі, шляхові та вузлові витрати.



Довжина ділянок:  
 $l_{1-2} = l_{3-4} = 500$  м,  $l_{2-3} = l_{1-4} = 800$  м

$Q = 500$  л/с

**Рішення.** Визначаємо питому витрату води за формулою (1.5):

$$q_{пит} = \frac{500}{2600} = 0,1923, \text{ л/с.}$$

Для кожної ділянки магістральної мережі визначаємо шляхові витрати за формулою (1.6).

У відповідності до рисунку:

$$l_{1-2} = 500 \text{ м} \quad q_{шл}^{1-2} = 0,1923 \cdot 500 = 96,15 \text{ л/с;}$$

$$l_{2-3} = 800 \text{ м} \quad q_{шл}^{2-3} = 0,1923 \cdot 800 = 153,85 \text{ л/с;}$$

$$l_{3-4} = 500 \text{ м} \quad q_{шл}^{3-4} = 0,1923 \cdot 500 = 96,15 \text{ л/с;}$$

$$l_{4-1} = 800 \text{ м} \quad q_{шл}^{4-1} = 0,1923 \cdot 800 = 153,85 \text{ л/с;}$$

$$\sum q_{шл} = 500 \text{ л/с, що дорівнює } Q = 500 \text{ л/с}$$

Замінюємо шляхові витрати вузловими (умовно зосередженими у вузлах) і визначаємо їх як напівсуму дорожніх витрат ділянок, приєднуються до даного вузла за формулою 1.8

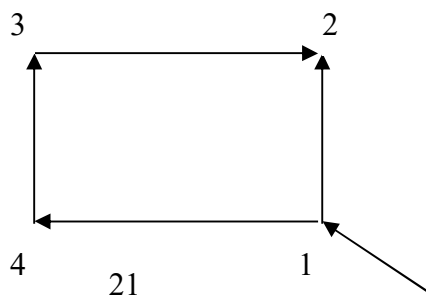
$$q_{вузл}^2 = \frac{96,15 + 153,85}{2} = 125 \text{ л/с;} \quad q_{вузл}^3 = \frac{96,15 + 153,85}{2} = 125 \text{ л/с;}$$

$$q_{вузл}^4 = \frac{96,15 + 153,85}{2} = 125 \text{ л/с;} \quad q_{вузл}^1 = \frac{96,15 + 153,85}{2} = 125 \text{ л/с.}$$

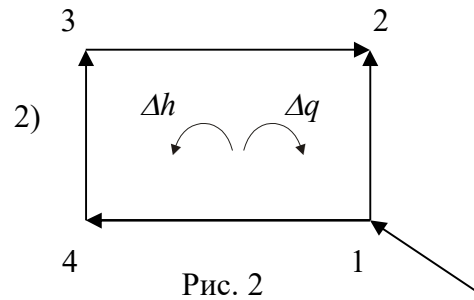
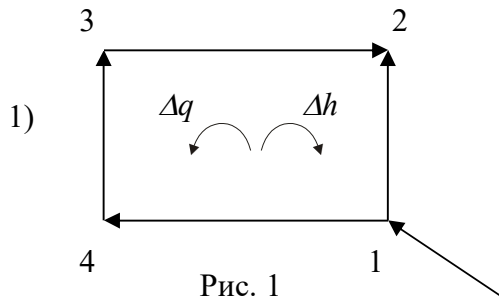
$$\sum q_{вузл} = 500 \text{ л/с.}$$

**Приклад 2.** Визначте, які лінії перевантажені, а які недовантажені, чому?

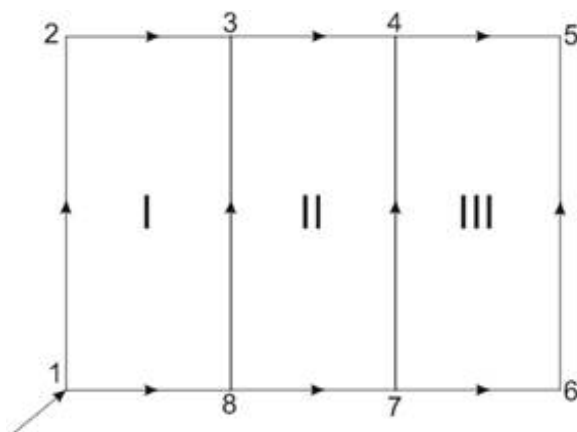
При таких умовах: в одному випадку  $\Delta h > 0$ , а в іншому –  $\Delta h < 0$ . Розглянути обидва випадки.



**Рішення.** У першому випадку (рис. 1) знак втрат напору «+», збігається з шляхом годинникової стрілки, таким чином поправочна витрата буде зі знаком «-» і збігається з ділянкою 1–2, а це говорить, що ця ділянка недовантажена. У другому випадку (рис. 2) знак втрат напору «-», спрямований проти шляху годинникової стрілки, таким чином поправочна витрата буде зі знаком «+» і збігається з ділянками 1–4, 4–3, 3–2, а це значить, що ці ділянки перевантажені.



**Приклад 3.** Визначити уточнену витрату на ділянках 3–8 та 4–7, якщо:

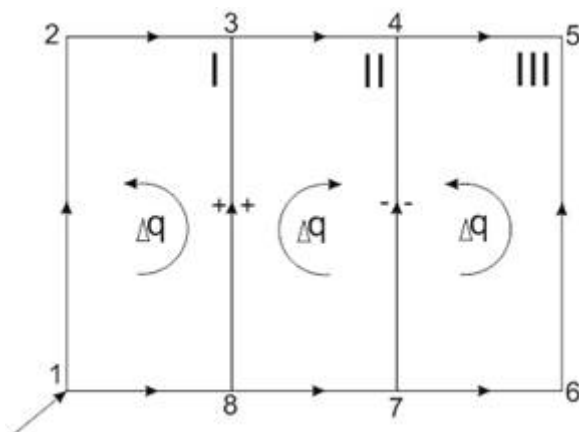


$$\Delta h_I > 0, \Delta q_I = 5,5 \text{ л/с};$$

$$\Delta h_{II} < 0, \Delta q_{II} = 2,5 \text{ л/с};$$

$$\Delta h_{III} > 0, \Delta q_{III} = -3 \text{ л/с}.$$

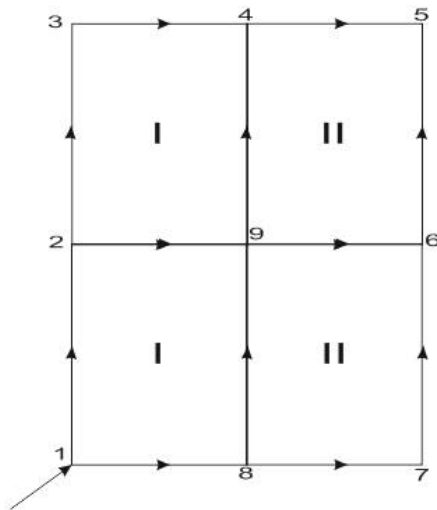
**Рішення.**



$$\Delta q_{3-8} = \Delta q_I + \Delta q_{II} = 5,5 + 2,5 = 8 \text{ л/с};$$

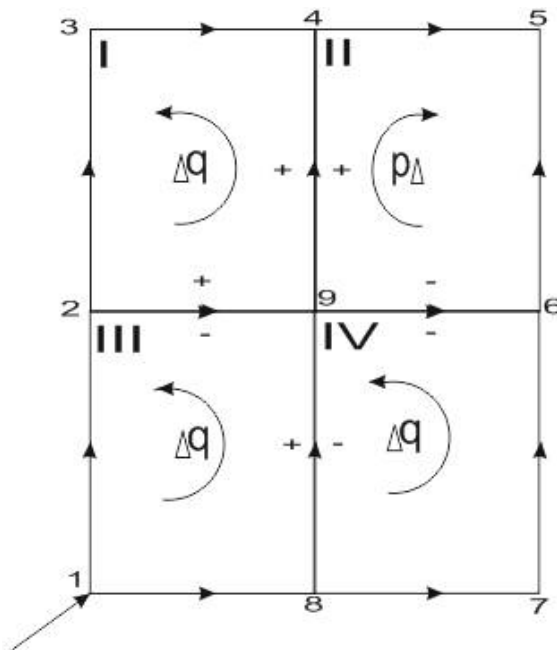
$$\Delta q_{4-7} = -\Delta q_{II} - \Delta q_{III} = -2,5 - (-3) = 0,5 \text{ л/с}.$$

**Приклад 4.** Визначити уточнену витрату на ділянках 4–9 та 9–8, якщо:



$$\begin{aligned} \Delta h_I &> 0, \quad \Delta q_I = 1,5 \text{ л/с}; \\ \Delta h_{II} &< 0, \quad \Delta q_{II} = -2,5 \text{ л/с}; \\ \Delta h_{III} &> 0, \quad \Delta q_{III} = 3,5 \text{ л/с}; \\ \Delta h_{IV} &> 0, \quad \Delta q_{IV} = -2 \text{ л/с}; \\ \Delta q_{2-9} &= 40 \text{ л/с}; \\ \Delta q_{4-9} &= 50 \text{ л/с}; \\ \Delta q_{6-9} &= 45 \text{ л/с}; \\ \Delta q_{8-9} &= 55 \text{ л/с}. \end{aligned}$$

**Рішення.**



$$\begin{aligned} q'_{4-9} &= q_{4-9} + \Delta q_I + \Delta q_{II} = \\ &= 50 + 1,5 + (-2,5) = 49 \text{ л/с}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q'_{9-8} &= q_{8-9} + \Delta q_{III} - \Delta q_{IV} = \\ &= 55 + 3,5 - (-2) = 60,5 \text{ л/с}. \end{aligned}$$

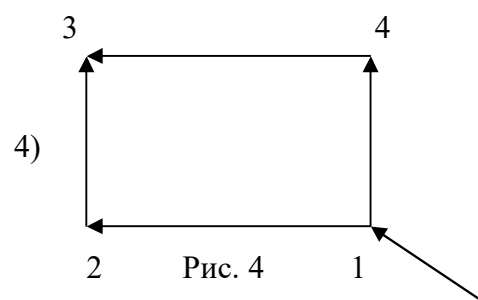
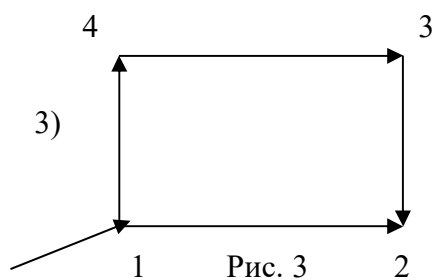
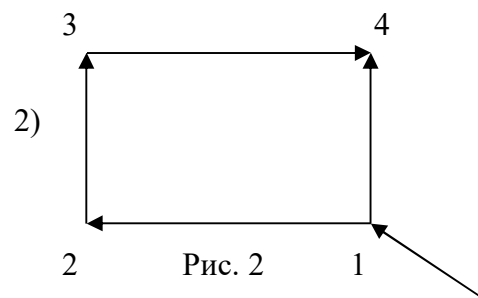
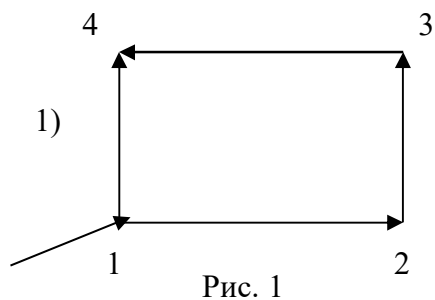
**Завдання з теми «Основи гідравлічного розрахунку і схеми трасування зовнішніх водопровідних мереж»**

**Задача 1.** Визначити питомі, шляхові та вузлові витрати (див. рисунок прикладу 1).

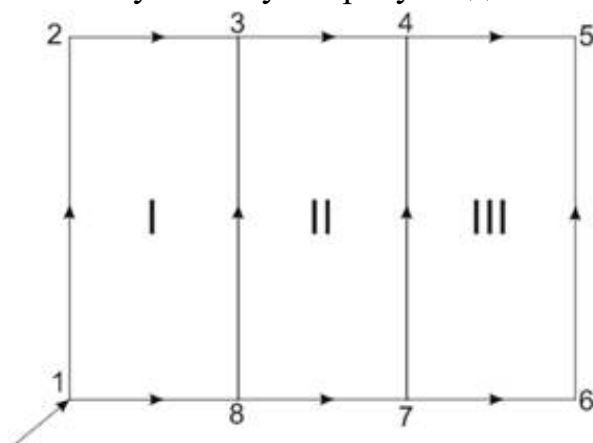
Вихідні дані	Номери варіантів					
	1	2	3	4	5	
Витрата води, що надходить до мережі, л/с	400	500	600	800	1000	
Довжина ділянок:	$l_{1-2}$ , м	2000	1500	1000	2500	1000
	$l_{2-3}$ , м	1700	1200	1800	1000	700
	$l_{3-4}$ , м	600	500	900	800	800
	$l_{4-1}$ , м	800	400	450	600	1100

**Задача 2.** Визначте, які лінії перевантажені, а які недовантажені, чому? При вирішенні завдання обов'язково показувати напрямок руху витрати води і втрат напору.

Вихідні дані	Номери варіантів				
	1	2	3	4	5
Втрати напору	$\Delta h > 0$	$\Delta h < 0$	$\Delta h > 0$	$\Delta h < 0$	$\Delta h > 0$
Рисунок для рішення задачі	рис. 1	рис. 2	рис. 3	рис. 4	рис. 2



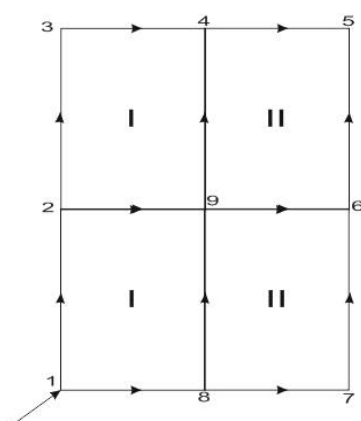
**Задача 3.** Визначити уточнену витрату на ділянках 3–8 та 4–7, якщо:



Варіант 1		Варіант 2		Варіант 3		Варіант 4	
$\Delta h_I < 0$	$\Delta q_I = 1,5 \text{ л/с};$	$\Delta h_I < 0$	$\Delta q_I = 2,5 \text{ л/с};$	$\Delta h_I < 0$	$\Delta q_I = 4,5 \text{ л/с};$	$\Delta h_I > 0$	$\Delta q_I = -5 \text{ л/с};$
$\Delta h_{II} > 0$	$\Delta q_{II} = 2,5 \text{ л/с};$	$\Delta h_{II} < 0$	$\Delta q_{II} = -5 \text{ л/с};$	$\Delta h_{II} > 0$	$\Delta q_{II} = 2,5 \text{ л/с};$	$\Delta h_{II} > 0$	$\Delta q_{II} = 2,5 \text{ л/с};$
$\Delta h_{III} < 0$	$\Delta q_{III} = -2 \text{ л/с};$	$\Delta h_{III} < 0$	$\Delta q_{III} = 3 \text{ л/с};$	$\Delta h_{III} > 0$	$\Delta q_{III} = -3 \text{ л/с};$	$\Delta h_{III} > 0$	$\Delta q_{III} = -2 \text{ л/с};$



**Задача 4.** Визначити уточнену витрату на ділянках:



- Варіант 1) 4–9 та 9–8;  
 Варіант 2) 2–9 та 9–6;  
 Варіант 3) 4–9 та 9–6;  
 Варіант 4) 9–6 та 9–8.

якщо:

Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
$\Delta h_I > 0;$	$\Delta h_I > 0;$	$\Delta h_I > 0;$	$\Delta h_I < 0;$
$\Delta q_I = 2,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_I = 1,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_I = 2,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_I = 2,5 \text{ л/с};$
$\Delta h_{II} < 0;$	$\Delta h_{II} > 0;$	$\Delta h_{II} < 0;$	$\Delta h_{II} < 0;$
$\Delta q_{II} = -2,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_{II} = -3,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_{II} = -1,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_{II} = -1,5 \text{ л/с};$
$\Delta h_{III} > 0;$	$\Delta h_{III} > 0;$	$\Delta h_{III} > 0;$	$\Delta h_{III} < 0;$
$\Delta q_{III} = 3,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_{III} = 2,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_{III} = 2,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_{III} = -2,5 \text{ л/с};$
$\Delta h_{IV} > 0;$	$\Delta h_{IV} > 0;$	$\Delta h_{IV} > 0;$	$\Delta h_{IV} < 0;$
$\Delta q_{IV} = -2 \text{ л/с};$	$\Delta q_{IV} = -3 \text{ л/с};$	$\Delta q_{IV} = 2,5 \text{ л/с};$	$\Delta q_{IV} = -1,2 \text{ л/с};$
$\Delta q_{2-9} = 45 \text{ л/с};$	$\Delta q_{2-9} = 40 \text{ л/с};$	$\Delta q_{2-9} = 42 \text{ л/с};$	$\Delta q_{2-9} = 45 \text{ л/с};$
$\Delta q_{4-9} = 50 \text{ л/с};$	$\Delta q_{4-9} = 50 \text{ л/с};$	$\Delta q_{4-9} = 53 \text{ л/с};$	$\Delta q_{4-9} = 55 \text{ л/с};$
$\Delta q_{6-9} = 65 \text{ л/с};$	$\Delta q_{6-9} = 45 \text{ л/с};$	$\Delta q_{6-9} = 41 \text{ л/с};$	$\Delta q_{6-9} = 50 \text{ л/с};$
$\Delta q_{8-9} = 55 \text{ л/с};$	$\Delta q_{8-9} = 55 \text{ л/с};$	$\Delta q_{8-9} = 58 \text{ л/с};$	$\Delta q_{8-9} = 40 \text{ л/с};$

#### 1.4 Знаходження витoku і визначення його розміру за допомогою приладу інженера Панкевича

Принцип дії приладу (рис. 1.1) заснований на чергуванні падіння тиску в балоні при наявності витoku на ділянці мережі (засувки, які відключають досліджуваний відрізок, обов'язково повинні бути справними).

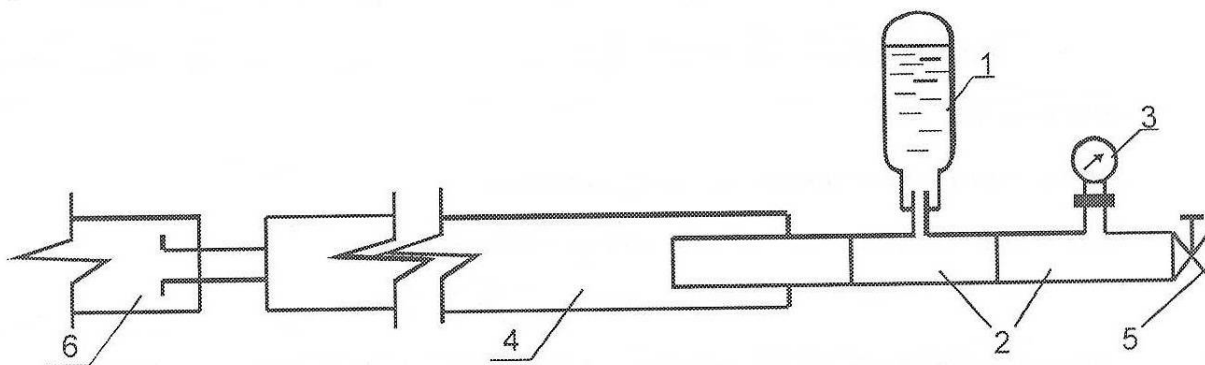


Рисунок 1.1 – Схема приладу інженера Панкевича:

- 1 – балон; 2 – трійники; 3 – манометр; 4 – гнучкий шланг;  
 5 – кран; 6 – накидна гайка підключення

Принцип дії приладу заснований на чергуванні падіння тиску в балоні при наявності витоку на ділянці мережі (засувки, які відключають досліджуваний відрізок, обов'язково повинні бути справними).

Послідовність роботи приладу:

1. Перевіряють щільність перекриття засувками ділянки мережі, яку перевіряють, а в процесі роботи на домовому введенні одночасно знімають водолічильник.

2. Прилад підключають до випробувальної ділянки, при цьому на вводах використовують штуцери для приєднання водолічильників, а на вуличній мережі – наявну арматуру.

3. Ділянку мережі з приладом ставлять під тиск, фіксуючи останній манометр, шляхом відкривання однією з засувок і випуску повітря з шланга через краник.

4. Засувки закривають. Манометром вимірюють падіння тиску, а секундоміром – час, протягом якого тиск падає на 0,5 ... 1 атм.

5. Вітік води визначають за рівнянням:

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 = P_3 V_3 = \text{const} \quad (1.12)$$

де  $P_1$  – атмосферний тиск,  $P_1 = 1$  атм;

$P_2$  – манометричний (надлишковий) тиск, що відповідає тиску в мережі і вимірюється манометром, атм;

$P_3$  – надлишковий тиск, який відповідає зниженню тиску в мережі, атм;

$V_1, V_2, V_3$  – обсяг повітря в балоні при тиску, який відповідає атмосферному, граничному та зниженому, м<sup>3</sup>.

Необхідно пам'ятати, що рівняння Бойля-Маріотта, яке використовуємо в розрахунках, висловлює тиск в абсолютних атмосферах (ата), який дорівнює атм +1. Тому показники тиску, виміряні манометром, слід збільшувати на одиницю.

Для трубопроводів діаметром до 200–300 мм слід брати балон місткістю 12 л. Для виявлення витоку використовуємо балон від пінистого вогнегасника місткістю 12 л.

Вимірюємо початковий тиск в балоні, який відповідає тиску в мережі  $P_2$ . За 10 с тиск знижується до  $P_3$ . Виконуємо обчислення:

1. Обсяг повітря в балоні при початковому тиску:

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2 + 1}, \text{ м}^3 \quad (1.13)$$

2. Об'єм повітря в разі зниження тиску до  $P_3$  при використанні значень  $V_2$  і  $P_2$

$$V_3 = \frac{P_2 V_2}{P_3 + 1}, \text{ м}^3 \quad (1.14)$$

3. Розмір витоку води, що дорівнює різниці об'ємів води в балоні, розділеної на час, зафіксований секундоміром:

$$q = \frac{V_2 - V_1}{10}, \text{ м}^3/\text{добу}. \quad (1.15)$$

Залежно від діаметра випробуваної мережі ємність балона може дорівнювати 6–100 л.

Довжина гнучкого шланга повинна бути рівною 3–4 м.

Зазначеним способом можна виявити не тільки наявність витоку води з трубопроводу, а й визначити її розмір в умовах, наближених до робочого стану трубопроводу.

Щоб точніше визначити розмір витоку, падіння тиску і час, протягом якого відбувається випробування, слід вимірювати на ділянці якомога менших розмірів, тобто не допускати падіння тиску в порівнянні з початковим падінням.

Цей спосіб застосовується при планових виявленнях пошкоджених ділянок мережі і витоків.

### ***Приклад розрахунку розміру витоку***

Для виявлення витоку використовуємо балон 12 л. Припустимо, що початковий тиск в балоні по манометру, що відповідає тиску в мережі  $P_2$ , був 3 атм. За 10 с тиск знизився до  $P_2 = 1$  атм. знаходимо:

1. Обсяг повітря в балоні при початковому тиску

$$V_2 = \frac{P_1 V_1}{P_2 + 1} = \frac{1 \cdot 12}{3 + 1} = 3, \text{ л}$$

Отже, початковий об'єм води в балоні  $12 - 3 = 9$  л.

2. Об'єм повітря у випадку зниження тиску до  $P_3$  при використанні значень  $V_2$  і  $P_2$

$$V_3 = \frac{P_2 V_2}{P_3 + 1} = \frac{(3 + 1) \cdot 3}{1 + 1} = 6, \text{ л.}$$

Отже, об'єм води, який залишився в балоні  $12 - 6 = 6$  л.

3. Розмір витоку води, що дорівнює різниці об'ємів води в балоні, розділеного на час, зафіксований секундоміром:

$$q = \frac{V_2 - V_1}{10} = \frac{9 - 6}{10} = 0,3 \text{ л/с} = 1,08 \text{ м}^3/\text{год.} = 23 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

### **Питання для самоконтролю**

1. Що таке система водопостачання, її основні елементи?
2. Основні схеми водопостачання населеного пункту, коротка

характеристика їх.

3. Основні схеми водопостачання промпідприємства, коротка характеристика їх.

4. Назвіть основні напрямки в класифікації систем водопостачання.

5. Розкажіть про централізовану і децентралізовану системи водопостачання.

6. Охарактеризуйте системи водопостачання за категоріями надійності подачі води.

7. Розкажіть про водопроводи, призначені для гасіння пожеж.

8. Види витоків в системах водопостачання.

9. Що таке манометричне знімання тисків?

10. Виявлення витоків за допомогою контрольного водоміра.

11. Особливості роботи приладу для визначення витоків інженера Панкевича В.Ф.

12. Методи визначення місць прихованого витoku.

13. Боротьба з витокami і втратами води.

14. Безводомірний облік води.

15. Заходи боротьби з витокami на водопровідній мережі.

16. Заходи боротьби з розкраданнями води.

17. Заходи зменшення неврахованих витрат води.

18. Гідравлічні випробування водопровідних мереж.

## ТЕМА 2 Ресурсозберігаючі технології при експлуатації систем водопостачання

### 2.1 Реагентне господарство

Для попередніх розрахунків дозу неорганічного коагулянту в перерахунку на безводний продукт допускається приймати відповідно до таблиці 17 ДБН В.2.5-74 - за каламутністю, за формулою 2.1 – за кольоровістю

$$D_k = 4\sqrt{C}, \text{ мг/дм}^3 \quad (2.1)$$

При використанні процесу контактної коагуляції безпосередньо в товщі фільтруючого завантаження фільтрів орієнтовні дози коагулянтів приймаються на 10–15% менше.

Загальна добова витрата коагулянту

$$G_K = \frac{D_p \cdot Q_{\text{сум}}}{10^6}, \text{ т/добу.} \quad (2.2)$$

Доза флокулянту  $D_f$  приймається у відповідності до п. 10.4.3 ДБН.

Дози реагентів окислювачів приймають відповідно до п.10.19.2 та 10.19.3.

Доза вапна для підлугування визначається за формулою:

$$D_u = K_u \left( \frac{D_k}{e_k} - \text{Щ}_0 \right) + 1, \text{ мг/дм}^3, \quad (2.3)$$

де  $D_k$  – максимальна доза безводного коагулянту, мг/дм<sup>3</sup>;

$e_k$  – еквівалентна маса коагулянту, мг/мг-екв;

$K_u$  – коефіцієнт, який дорівнює для вапна 28;

$\text{Щ}_0$  – мінімальна лужність води, моль/дм<sup>3</sup>.

#### Застосування активованих розчинів реагентів

Досягнення ресурсозбереження можливе за рахунок активування реагентів. Встановлено, що при використанні активатора реагентів (коагулянту, флокулянта) відбувається збільшення продуктивності очисних споруд водопроводу, зниження розрахункових доз коагулянту.

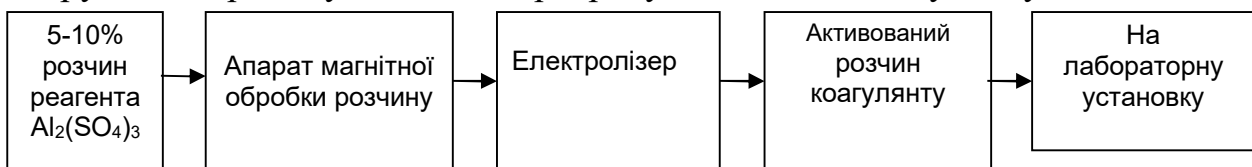


Рисунок 2.1 – Схема ланцюга апаратів для активації розчинів коагулянту

Для активування розчинів реагентів розроблені спеціальні установки, що передбачають послідовну і одночасну активацію вихідного розчину коагулянту магнітним полем і насичення його анодно-розчинним залізом – активатори реагентів.

Основним технологічним критерієм ефективності використання

активованого розчину коагулянту сульфату алюмінію прийнято залишковий вміст завислих речовин в освітленій воді, тому що саме він і є одним з основних факторів, що характеризують роботу очисних споруд водопроводу як в цілому, так і їх окремих споруд, наприклад, відстійників, фільтрів та ін. Отриманий ефект активації розчину коагулянту магнітним полем визначається за відношенням:

$$\mathcal{E} = \frac{D_0}{D_m} \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

де  $\mathcal{E}$  – ефект активації, %;

$D_0$  – залишковий вміст завислих речовин в освітленій воді (оптична щільність суспензії в пробі);

$D_m$  – те ж при обробці води активованим коагулянтом.

Ефективність впливу активованого розчину коагулянту визначають за відношенням:

$$E = \frac{E_M}{E_0} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

де  $E$  – ефективність дії активованого розчину коагулянта, %;

$E_M$  – процент зависі, яка випала у воді, що оброблена активованим розчином;

$E_0$  – те ж у воді при звичайній коагуляції.

Ефективність обробки (прояснення води) визначається за формулою

$$\mathcal{E} = \frac{C}{C_{акт}} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

де  $\mathcal{E}$  – ефективність активації, %;

$C$  – остаточний вміст завислих речовин в проясненій воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$C_{акт}$  – те ж, але при обробці води активованим розчином коагулянту, мг/дм<sup>3</sup>.

Порівняння експериментальних і розрахункових значень величини кольоровості в освітленій воді виконано за формулою:

$$E(C_{осв.}) = \frac{(C_{осв.})_{экс} - (C_{осв.})_{расч}}{(C_{осв.})_{экс}} \cdot 100\%. \quad (2.7)$$

Ефективність впливу розчину сульфату алюмінію на зниження величини  $\xi$ -потенціалу золя гідроксиду алюмінію визначалась рівнянням:

$$\mathcal{E}_\xi = \frac{\xi_0 - \xi_1}{\xi_0} \cdot 100\%, \quad (2.8)$$

де  $\mathcal{E}_\xi$  – ефективність магнітно-електричної обробки  $Al_3(SO_4)_3$  на зниження дзета-потенціалу золя  $Al(OH)_3$ , %;

$\xi_0$  – електрокінетичний (дзета) потенціал золя  $Al(OH)_3$  в умовах звичайної коагуляції, мВ;

$\xi_1$  – те ж в умовах коагуляції з розчином  $Al_2(SO_4)_3$ , який буд підданий магнітно-електричній обробці, мВ.

Питому адсорбцію гумінів на гідроксиді алюмінію визначали за наступним рівнянням:

$$\Gamma = \frac{\Gamma' - \Gamma''}{M}, \text{ мг/г}, \quad (2.9)$$

де  $\Gamma$  – питома адсорбція гумінів мг/л;

$\Gamma'$  – вміст гумінових речовин у вихідній воді, мг;

$\Gamma''$  – те ж, після знебарвлення, мг;

$M$  – кількість гідроксиду алюмінію, яка утворилася після гідролізу, г.

Ступінь структурно-механічної гідратації осаду

$$\Gamma_0 = \frac{\gamma_T - \gamma_0}{\gamma_0} \approx \frac{\gamma_T}{\gamma_0}, \quad (2.10)$$

де  $\gamma_T$  – питома вага твердої речовини, яка утворює каркас пластівців осаду, г/мл;

$\gamma_0$  – ваговий вміст твердої фази в одиниці об'єму осаду, г/мл.

Зміна напруженості магнітного поля в робочому зазорі активатора залежить від сили струму, що подається на котушку.

Напруженість магнітного поля визначалася за формулою:

$$H = \frac{8C_\phi \alpha_0}{S_M}, \quad (2.11)$$

де  $H$  – напруженість магнітного поля, кА/м;

$\alpha$  – відхилення стрілки мілівеберметра (за шкалою);

$C_\phi$  – постійна прилада;

$S_M$  – постійна котушки.

Потребляемая мощность активатора:

$$P = m \cdot I \cdot U_n, \text{ Вт} \quad (2.12)$$

де  $m$  – кількість котушок, що намагнічують;

$I$  – сила розрахункового струму, А.

## 2.2 Технологічні методи ресурсозберігаючих технологій систем водопостачання

У практиці водопідготовки має бути забезпечений швидкий і рівномірний розподіл реагентів в оброблюваній воді. Особливо важливо збільшення швидкості розподілу при введенні коагулянтів (розчинів солей алюмінію і заліза) для створення умов їх ефективного і раціонального використання.

### Розрахунок перфорованого розподільника

Перфорований розподільник призначений для введення розчинів коагулянту або флокулянта і може бути встановлений в трубі перед змішувачем, при надходженні води в змішувач або в одному з відділень вхідної

камери перед контактними освітлювачами. В останньому випадку рекомендується встановлювати розподільник в отворі перегородки, що створює звуження потоку і збільшення його турбулентності.

Втрати напору при обтіканні розподільника водою складають 10–15 см. Розподільники з перфорованих трубок не рекомендується застосовувати при обробці води розчином коагулянту, що містить нерозчинні домішки.

Для введення розчинів мінеральних коагулянтів слід застосовувати розподільники з вінілпластових труб або з нержавіючої сталі.

Число отворів в розподільнику слід визначати по витраті розчину коагулянту і величиною втрати напору в розподільнику 30–50 см.

#### Порядок розрахунку

1. Витрата розчину коагулянту  $q_K$ , см<sup>3</sup>/с, розраховується за формулою:

$$q_K = \frac{D_K \cdot q_B \cdot 100}{C_K \cdot \rho}, \text{ см}^3/\text{с}, \quad (2.13)$$

де  $q_B$  – витрата води, яка проходить через розподільник, м<sup>3</sup>/с;

$C_K$  – концентрація розчину коагулянту, % по масі;

$\rho$  – щільність розчину коагулянту концентрації  $C_K$ , г/см<sup>3</sup> (табл. 2.1).

Щільність розчину коагулянту при заданій концентрації слід приймати за таблицею 2.1.

Таблиця 2.1 – Щільність розчину коагулянту залежно від його концентрації

Концентрація розчину $Al_2(SO_4)_3$ , % по масі	Щільність розчину, $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
1	1,009
2	1,019
4	1,040
6	1,060
8	1,083
10	1,105
20	1,226

2. Витрата розчину коагулянту  $q_0$ , см<sup>3</sup>/с, що проходить через один отвір визначається за формулою:

$$q_0 = \mu \omega \sqrt{2gh} \quad (2.14)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати, приблизно дорівнює 0,75;

$\omega$  – площа отвору, см<sup>2</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$h$  – задана втрата напору у розподільнику.

У таблиці 2.2 наведені витрати розчину коагулянту, що проходять через один отвір, при втраті напору в розподільнику, що дорівнює 30 см; вказані



рекомендовані діаметри променів залежно від діаметра отворів.

Таблиця 2.2 - Витрати розчину коагулянту

Діаметр отвору, мм	Витрата розчину коагулянту, яка проходить через один отвір при $h = 30$ см, $\text{см}^3/\text{с}$	Діаметр променю, мм
3	12,8	15
4	22,8	20
5	35,6	25
6	51,3	32

3. Число отворів  $n_0$  в розподільнику (при обраному діаметрі отворів) необхідно визначати за формулою:

$$n_o = \frac{q_k}{q_o}, \text{ шт.} \quad (2.14)$$

При  $n_0 > 32$  слід збільшити діаметр отворів і повторити розрахунок.

З метою зменшення ймовірності засмічення отвори повинні бути розташовані так, щоб їх діаметр збільшувався від внутрішньої поверхні променю до зовнішньої (після свердління отворів на променях свердлом розрахункового діаметра).

4. Число променів в розподільнику слід вибирати так, щоб на кожному промені було не більше 3–4 отворів (число променів має бути не більше 8).

Отвори на променях розподільника повинні бути розташовані симетрично щодо осі труби, по якій надходить оброблювана вода, а на кожному промені – симетрично відносно точки, віддаленої від стінки труби на 0,25 діаметра труби  $D$ .

Розташування отворів на променях розподільника слід вибирати відповідно до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Розташування отворів на променях розподільника

Число отворів на промені розподільника	Відстань від внутрішньої стінки труби до отвору, доля від $D$
1	0,25
2	0,2; 0,3
3	0,2; 0,25; 0,3
4	0,16; 0,22; 0,28; 0,34

### Застосування тонкошарових елементів в відстійниках і освітлювачах

Тонкошарові елементи або блоки можуть виконуватися з м'яких або напівжорстких полімерних плівок, з'єднаних в мобільну конструкцію, або з жорстких листових матеріалів у вигляді окремих полиць (рис. 2.1).

Розміри в плані окремих блоків для зручності їх монтажу і експлуатації слід приймати  $1 \times 1$  –  $1,5 \times 1,5$  м з урахуванням фактичних розмірів споруди.

Висоту поперечного перерізу тонкошарового пористого елемента рекомендується приймати на рівні 0,03–0,05 м. Осередки можуть бути прийняті будь-якої форми, що виключає накопичення в них осаду. Кут нахилу елементів необхідно приймати 50–60° (менші значення – для більш каламутних вод, великі – для малокаламутних кольорових вод). Довжину тонкошарових елементів слід визначати спеціальним розрахунком і приймати 0,9–1,5 м.

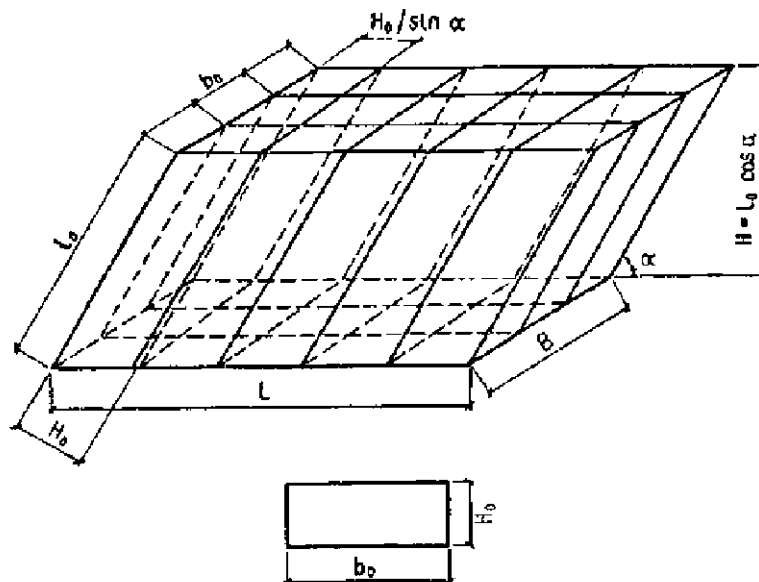


Рисунок 2.1 – Конструктивні параметри тонкошарових елементів у блоці:

$l_0$  – довжина тонкошарового елемента;  $b_0$  – ширина тонкошарового елемента;  
 $H$  – висота тонкошарового елемента;  $L$  – довжина тонкошарового сотоблока;  
 $B$  – ширина тонкошарового сотоблока

Збір проясненої води з тонкошарових споруд слід здійснювати жолобами з затопленими отворами чи відкритими водозливами, наприклад, трикутного профілю, розташованими на відстані не більше 2 м один від іншого.

### **Порядок розрахунку тонкошарових відстійників і освітлювачів**

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

$$l_0 = \varphi K_{\Phi} H_0 \left[ \frac{v_0}{u_0 \cos \alpha K_{\text{ар}} \beta} - K_{\text{ст}} (\text{tg} \alpha + \text{ctg} \alpha) \right]. \quad (2.16)$$

Для зручності розрахунку формула (2.16) приведена до виду

$$q_{\text{уд}} = \frac{U_0 \beta K_{\text{аз}}}{K_1} \left( \frac{l_0}{K_2 H_0} + 1 \right) \quad (2.17)$$

$$l_0 = K_2 \cdot H_0 \left( \frac{q_{\text{уд}} \cdot K_1}{u_0 \cdot \beta \cdot K_{\text{аз}}} - 1 \right) \quad (2.18)$$

де  $K_1$  і  $K_2$  – узагальнені розрахункові коефіцієнти:

$$K_1 = \frac{1}{K_{cm} \times K_{o.u} \times K_{\kappa}}; \quad (2.19)$$

$$K_2 = \frac{\varphi \times K_{\phi} \times K_{cm}}{\sin \alpha \times \cos \alpha}; \quad (2.20)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт, що враховує вплив гідродинамічних умов потоку в тонкошарових елементах;

Коефіцієнт  $\varphi$  слід визначати за даними таблиці 2.4, в якій  $b_0$  – ширина тонкошарового елемента,

$H_0$  – висота тонкошарового елемента.

$K_{\phi}$  – коефіцієнт, що враховує форму поперечного перерізу тонкошарових елементів (для перетину прямокутної форми  $K_{\phi} = 1,0$ ; круглої – 0,785; трикутної – 0,5; шестикутної – 0,65–0,75; при використанні труб і міжтрубному простору – 0,5).

$H_o$  – висота тонкошарового елемента;

$u_o$  – розрахункова швидкість осадження зависі, м/год;

$\alpha$  – кут нахилу тонкошарових елементів до горизонту, град. (приймається 50–60°);

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

$K_{ae}$  – коефіцієнт агломерації, що враховує вплив осаду, що виділяється з тонкошарових елементів на інтенсифікацію утворення пластівців, значення твору  $\beta \times K_{ae}$  слід приймати рівним 1,15–1,3.

$K_{cm}$  – коефіцієнт, що враховує стиснення перетину потоку в тонкошаровому елементі сповзаючим осадом. Значення  $K_{cm}$  рекомендується приймати в середньому 0,7–0,8.

$K_{o.u.}$  – коефіцієнт, що враховує гідравлічну досконалість тонкошарової споруди і ступінь її об'ємного використання – відношення фактичного до розрахункового часу перебування води ( $K_{o.u.} = 0,6–0,75$ ).

$K_{\kappa}$  – конструктивний коефіцієнт, що дорівнює відношенню фактичної відкритої для руху води площі тонкошарових елементів до загальної площі дзеркала води відстійної споруди (0,7–0,95). Значення коефіцієнта  $K_{\kappa}$  слід визначати за фактичними даними з урахуванням товщини матеріалу для тонкошарових елементів.

Таблиця 2.4 - Характеристика тонкошарового елемента

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

Розрахункова швидкість осадження суспензії повинна прийматися відповідно до досвіду експлуатації споруд, що працюють в аналогічних умовах. При відсутності такого досвіду слід проводити технологічне моделювання процесів утворення пластівців і тонкошарового осадження з метою визначення необхідного значення  $l_0$ .

Отримані з розрахунку розміри тонкошарових елементів і тонкошарових споруд в цілому, а також значення питомих навантажень слід перевірити і скоригувати з урахуванням забезпечення мінімального часу між випусками осаду 6–8 год. При цьому висоту захисної зони для вертикального відстійника слід прийняти рівною 1,5 м, для горизонтального – 1 м. Висоту зони збору освітленої води рекомендується приймати не менше 0,4–0,5 м.

### **Фільтри з плаваючим пінополістирольним завантаженням. Дренажі швидких фільтрів з пористого полімербетону**

Розрахунок розподільчих труб і колектора слід проводити виходячи з сумарної площі отворів (для труб) або сумарної площі відгалужень (для колектора), тобто величини  $f$ , м<sup>2</sup>, визначається за формулами:

$$f \leq \frac{aF}{\mu\sqrt{1-\zeta}} \quad \text{при } \zeta < 1 \quad (2.21)$$

$$f \leq \frac{aF}{\mu\sqrt{\zeta-1}} \quad \text{при } \zeta > 1 \quad (2.22)$$

де  $a$  – характеристика трубопроводу, визначається з рисунку 2.3, залежно від допустимої ступеня нерівномірності розподілу повітря по площі споруди, маючи на увазі, що загальна нерівномірність  $\Delta_{\text{заг}}$  представляє собою суму нерівномірностей розподілу у відгалуженнях  $\Delta_0$  та в колекторі  $\Delta_{\text{кол}}$ , причому  $\Delta_{\text{заг}} = \Delta_0 + \Delta_{\text{кол}} \leq 0,02$ ;

$F$  – площа поперечного перерізу розглянутого трубопроводу (відгалуження або колектора);

$$F_{\text{кол}} = \frac{\mu_{\text{кол}} \sum f_0 \sqrt{1-\zeta_{\text{кол}}}}{a_{\text{кол}}} \quad (2.23)$$

$\mu$  – коефіцієнт витрати; для відгалужень визначається залежно від діаметра зерна завантаження фільтрувальної споруди за рисунком 2.4; при застосуванні гравійного завантаження слід приймати рівним 0,54;

$\zeta$  – коефіцієнт опору трубопроводу, який залежить від його довжини  $l$  та діаметра  $d$ .

Коефіцієнт опору  $\zeta$  слід визначати за формулою:

$$\zeta = 0,0044 \frac{l}{d} \quad (2.24)$$

а величину  $\mu_{\text{кол}}$  – за формулою:

$$\mu_{кол} = \sqrt{\frac{1}{5 + \psi_{общ}}} \quad (2.25)$$

де  $\psi_{общ}$  – загальний коефіцієнт опору за формулою:

$$\psi_{общ} = \frac{1 - \zeta_0}{\sin^2\left(\frac{a_0 \cdot 180^\circ}{\pi}\right)} + \zeta_0 \quad (2.26)$$

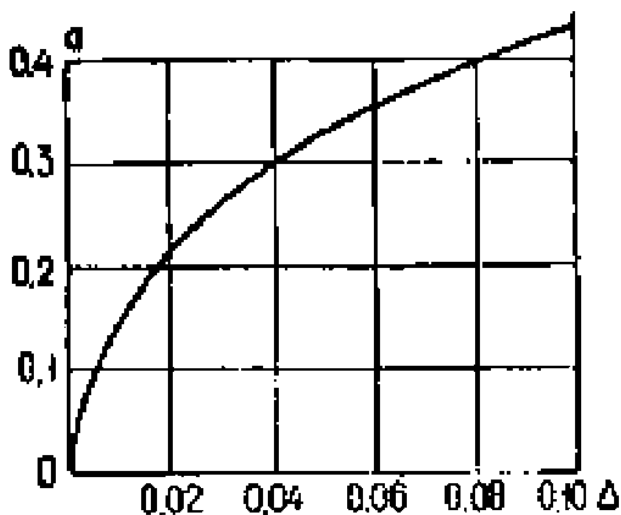


Рисунок 2.3 – Номограма залежності між нерівномірністю розподілу повітря  $\Delta$  і характеристикою трубопроводу  $a$

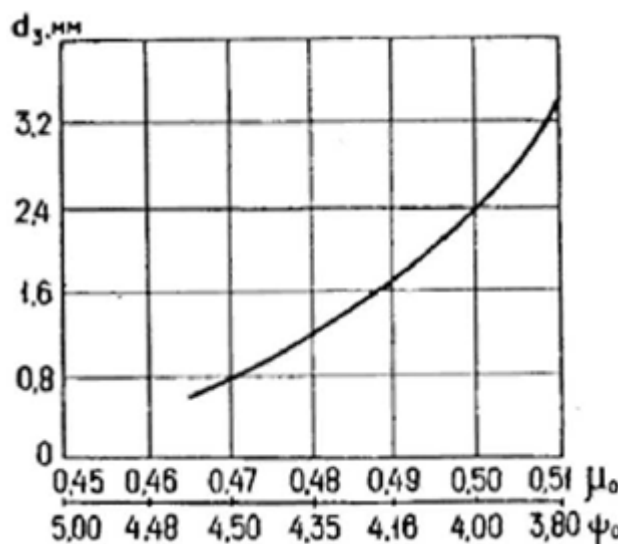


Рисунок 2.4 – Номограма залежності між коефіцієнтом  $\mu_0$  (або коефіцієнтом  $\psi_0$ ) та крупністю піщаного завантаження  $d_3$

### 2.3 Фізичні методи ресурсозберігаючих технологій систем водопостачання

#### Розрахунок пластинчастого електролізера з алюмінієвими електродами

В результаті технологічного та конструктивного розрахунку електролізера за заданою якістю вихідної та очищеної води і її витратою визначити дозу алюмінію, силу струму і товщину алюмінієвих електродів, визначить розміри електролізера, а також необхідні електричні параметри для вибору електрообладнання.

Необхідна доза алюмінію визначається за його питомими витратами на видалення окремих забруднень і уточнюється пробним коагулюванням.

Годинна витрата алюмінію,  $G$ , г/год, яку необхідно ввести в воду визначається за формулою

$$G_{Al} = D_{Al} Q, \quad (2.27)$$

де  $D_{Al}$  – доза алюмінію, г/м<sup>3</sup>,  $Q$  – м<sup>3</sup>/ч.

Сила току  $I$ , яка забезпечує розчинення алюмінію

$$I = \frac{G_{Al}}{K} \cdot \frac{100}{\eta n}, \quad (2.28)$$

де  $K$  – електрохімічний еквівалент алюмінію, який дорівнює 0,3356 г/а·год;  
 $\eta$  – вихід алюмінію по струму.

Робоча поверхня анода  $S$ , м<sup>2</sup>, визначається виходячи з оптимальної щільності струму  $i$ , а/м

$$S = I/i \quad (2.29)$$

Необхідна товщина анодів  $\delta$  визначається з врахуванням їх зносу на 80 % та строку експлуатації, м

$$\delta = \frac{W_{ан}}{S \cdot 0.8 \cdot 0.5} = \frac{G}{\gamma \cdot S \cdot 0.4} = \frac{Q_{сут} \cdot D_{Al} \cdot n_{сут}}{0.4 \cdot \gamma \cdot S \cdot 10^6} \quad (2.30)$$

де  $W_{ан}$  – об'єм аноду, м<sup>3</sup>;

$G$  – вага анода, т;

$Q_{сут}$  – продуктивність установки, м<sup>3</sup>/добу;

$n$  – розрахункова продуктивність роботи пакета електродів, діб.

Таблиця 2.5 – Питомі витрати алюмінію і електроенергії на питомі забруднення води

Забруднення	Вимірювач	Попередня очистка		Глибока очистка	
		Al <sup>3+</sup> , мг	Електроенергія, вт·год/м <sup>3</sup>	Al <sup>3+</sup> , мг	Електроенергія, вт·год/м <sup>3</sup>
Каламутність	1 мг/дм <sup>3</sup>	0,04–0,06	5–10	0,15–0,2	20–40
Забарвленість	1 град	0,04–0,1	10–40	0,1–0,2	40–80
Сполуки кремнію	1 мг SiO <sub>2</sub>	0,2–0,3	20–60	1,0–2,0	100–200
Сполуки заліза	1 мг Fe	0,3–0,4	30–80	1,0–1,5	100–200
Кисень	1 мг O <sub>2</sub>	0,5–1,0	40–200	2,0–5,0	80–800
Водорості	1000 кл	0,006–0,025	5–10	0,02–0,03	10–20
Бактерії	1000 кл	0,01–0,04	5–20	0,15–0,20	40–80

Товщина електроду приймається за конструктивними міркувань.

Ширину електроду  $b$  (м) та його площу  $S$ , визначають враховуючи конструктивні особливості, задаючи визначену швидкість  $v$  (м/год), відстань між електродами  $l$  (м) і кількість пластин  $N$ .

Висоту електроду  $h$  (м) знаходять виходячи з його площі  $S$  і ширини  $b$ :

$$h = S/b \quad (2.31)$$

Напругу ( $U$ , В) в електролізері визначається виходячи з системи з'єднання електродів і напруги на комірці, бажано щоб було 35–50 В, тобто безпечно для обслуговуючого персоналу.

Для визначення геометричних розмірів обсягу електролізера необхідно знайти його ширину ( $B$ ), товщину ( $L$ ) і висоту ( $H$ ), м:

$$B = b + 2a; \quad H = h + a_1; \quad L = N \delta + (N - 1) + 2a. \quad (2.32)$$

Об'єм води в електролізері  $W_B$  дорівнює різниці між внутрішнім об'ємом електролізера  $W_{BH}$  і об'ємом електродів  $W_3$ :  $W_B = W_{BH} - W_3$ .

Час перебування води в електролізері  $\tau$ , год. визначається виходячи з об'єму води в електролізері  $W_B$  та його продуктивності  $q$ , м<sup>3</sup>/год.

$$\tau = W_B / q \quad (2.33)$$

Споживану потужність  $E$  (Вт) і витрату електроенергії  $W$  (Вт·год/м<sup>3</sup>) знаходять за формулами:  $E = I/U$  (4.9);  $W = IU/q$ .

### Задачі для рішення

**Задача 1.** Визначити дозу коагулянту і флокулянта за безводною складовою для очищення води з каламутністю ( $M = 50$  мг/дм<sup>3</sup>) і забарвленістю ( $\Pi = 100$  град).

**Задача 2.** Визначити необхідну дозу вапна, необхідну для поліпшення процесу утворення пластівців, у якості коагулянту використовується сульфат алюмінію, при вихідній каламутності води ( $M$ ) 200 мг/дм<sup>3</sup>, забарвленістю ( $\Pi$ ) 100 град, мінімальна лужність 4 мг-екв/л.

**Задача 4.** Знайти добову потребу товарного продукту (коагулянт сульфат алюмінію) для очисних споруд продуктивністю 30 тис. кубометрів води на добу при її каламутності 120 мг/дм<sup>3</sup> і забарвленості 90 град. Активна частина коагулянту 28%.

**Задача 5.** Визначте кількість води, необхідну для приготування 5% активованого розчину коагулянту сульфату алюмінію для води, що прояснюється, з забарвленістю 130 град, і каламутністю 150 мг/дм<sup>3</sup>. Активна частина коагулянту 33,5%, продуктивність очисних споруд 15500 м<sup>3</sup>/добу.

**Задача 6.** Визначте питому адсорбційну здатність гумінів на гідроксиді алюмінію при масі гумінових речовин у вихідній воді  $\Gamma^I = 55$  мг і після знебарвлення  $\Gamma^{II} = 15$  мг, масі гідроксида алюмінію, який утворився після гідроліза  $M = 23$  мг.

**Задача 7.** Визначте ефективність магнітної обробки води з метою зниження накипоутворення при кількості накипу, що утворився з необробленої води  $A_n = 115$  мг і кількості накипу, що утворився з омагніченої води  $A_m = 82$  мг.

**Задача 8.** Визначте споживану потужність активатора реагенту при розрахунковому струмі  $I = 8,5$  А, номінальній напрузі джерела живлення  $E = 24$  В і кількості намагнічуючих котушок  $n_k = 2$ .

**Задача 9.** Визначити напругу магнітного поля в робочому проміжку активатора реагенту при постійній приладу, мілівебери на ділення  $C_{\phi}=10^3$ , відхиленні стрілки мілівеберметра в діленнях шкали і постійною вимірювальною котушки-датчика, визначуваною за допомогою зразків приладів  $\mu_0 = 455$ .

**Задача 10.** Визначити ступінь структурно-механічної гідратації осаду, що осідає з гідравлічною крупністю 0,2 мм/с і більше при щільності твердої речовини, що утворює каркас пластівців осаду  $\gamma_T = 0,81$  г/см<sup>3</sup> та масі твердої фази в одиниці об'єму осаду  $\gamma_0 = 0,015$  г/см<sup>3</sup>.

**Задача 11.** Визначте скільки коагулянту необхідно завантажити в розчинний бак для отримання 20% -вого розчину коагулянту ( $Al_2(SO_4)_3$ ), якщо обсяг бака  $W = 8$  м<sup>3</sup>, вміст чистої речовини в технологічному продукті  $p = 33,5\%$ , щільність розчину коагулянту  $\gamma=1,1$  т/м<sup>3</sup>?

**Задача 12.** Визначте ефект активації розчину коагулянту магнітним полем при залишковому вмісті завислих речовин в освітленій воді (оптична щільність в пробі)  $D_0 = 3610$  мг/л і залишковому вмісті завислих речовин при обробці води активованим коагулянтом  $D_M=1850$  мг/л.

**Задача 13.** Визначити ефективність магнітно-електричної обробки розчину сульфату алюмінію на зниження  $\xi$ -потенціалу золю гідроксиду алюмінію при електрокінетичному потенціалі золю  $Al(OH)_3$  в умовах звичайної коагуляції  $\xi_0 = 124$  мВ і електрокінетичному потенціалі золю  $Al(OH)_3$  коагуляції з розчином  $Al_2(SO_4)_3$   $\xi_0=124$  мВ.

**Задача 14.** Проведіть розрахунок перфорованого розподільника коагулянту, якщо через змішувач проходить витрата води  $Q = 6\,700$  м<sup>3</sup>/год, каламутність води становить 200 мг/дм<sup>3</sup>, забарвленість 55 град, концентрація розчину коагулянту 10% (по масі) при цьому щільність розчину  $\rho=1,105$  г/см<sup>3</sup>.

**Задача 15.** Проведіть розрахунок тонкошарового відстійника. Якість вихідної води: забарвленість 130 град, каламутність 90 мг/дм<sup>3</sup>, доза коагулянту 45 мг/дм<sup>3</sup> за безводним продуктом, розрахункова швидкість осадження суспензії 0,32 мм/с. Тонкошарові елементи прямокутного перетину, розміри в плані 0,05×0,5 м и кут нахилу  $\alpha = 60^\circ$  при значеннях коефіцієнтів  $K_k = 0,8$ ;  $K_{o.и.} = 0,75$ ; навантаження на споруду становить 3,9 м/год.

**Задача 16.** Проведіть розрахунок тонкошарового освітлювача. Якість вихідної води: забарвленість 50 град, каламутність 750 мг/дм<sup>3</sup>, доза коагулянту 60 мг/дм<sup>3</sup> за безводним продуктом, розрахункова швидкість осадження суспензії 0,44 мм/с. Тонкошарові елементи прямокутного перетину розміри в плані 0,05×0,5 м і кут нахилу  $\alpha = 50^\circ$  при значеннях коефіцієнтів  $K_k = 0,75$ ;  $K_{o.и.} = 0,65$ ; навантаження на споруду становить 5,8 м/год.



**Задача 17.** Визначте добову потребу в реагентах по товарному продукту в схемі горизонтальний відстійник – швидкий фільтр з урахуванням повторного використання промивної води. Корисна продуктивність станції  $Q_{\text{п}} = 95\,750$  м<sup>3</sup>/добу; доза безводного коагулянту прийнята рівною 65 мг/дм<sup>3</sup> (за каламутністю і забарвленістю), доза поліакриламіда прийнята 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Вміст активного продукту безводної солі  $Al_2(SO_4)_3$  – 33,5%; ПАА – 8 % гель.

**Задача 18.** Виконайте розрахунок розподільчої системи для подачі повітря в фільтрувальних спорудах з водоповітряним промиванням (розподільних труб). Фільтр має відділення в плані 6×4,8 м. Інтенсивність подачі повітря 18 л/(с · м<sup>2</sup>). Розподільна система знаходиться в гравійному шарі. Відстань між трубами в осях 300 мм. Діаметр відгалужень приймається 50 мм, площа перерізу труби 0,0019 м<sup>2</sup>, розподіл в відгалуженнях  $\Delta_o = 0,018$ , характеристика трубопроводу  $a = 0,2$ , коефіцієнт витрати  $\mu_o = 0,54$ .

**Задача 19.** Виконайте розрахунок колектора розподільчої системи для подачі повітря в фільтрувальних спорудах з водоповітряним промиванням колектора. Фільтр має відділення в плані 6×8 м. Інтенсивність подачі повітря 20 л/(с · м<sup>2</sup>). Розподільна система знаходиться в гравійному шарі. Відстань між трубами в осях 300 мм. Діаметр відгалужень приймається 50 мм, площа перерізу труби 0,0019 м<sup>2</sup>, розподіл в відгалуженнях  $\Delta_o = 0,018$ , характеристика трубопроводу  $a = 0,2$ , коефіцієнт витрати  $\mu_{\text{кол}} = 0,54$ . Площа перерізу труби 0,0707 м<sup>2</sup>, число відгалужень 20,  $\sum f_o = 0,038$  м<sup>2</sup>.

**Задача 20.** розрахувати пластинчастий електролизер з алюмінієвими електродами при температурі води 20 °С, рН = 7,2, солемісті 2,5 мг-екв/дм<sup>3</sup>, каламутності 40 мг/дм<sup>3</sup>, забарвленості 120 град., SiO<sub>2</sub> – 40 мг/дм<sup>3</sup>, O<sub>2</sub> – 5,9 мг/дм<sup>3</sup>, фітопланктон 5900 кл.

### Питання для самоконтролю

1. Назвіть існуючі реагенти.
2. Як визначається доза коагулянту?
3. Як визначається доза флокулянта?
4. Як визначається доза луку для підлугування?
5. Назвіть відомі методи активації реагентів, в чому їх відмінності?
6. Опишіть схему процесу магнітно-електричної активації розчину реагенту.
7. Критерії ефективності активації розчину реагенту.
8. Основні параметри роботи активатора реагентів.
9. Класифікація технологічних методів, їх характеристика.
10. Регулювання величини рН води з метою зменшення дози реагентів.

11. Область застосування та переваги мінеральних замутиувачів.
12. Перемішування води з реагентами – ресурсозберігаючий фактор.
13. Характеристика факторів, що поліпшують процес коагуляції при очищенні природних вод.
14. Фракційне коагулювання, область застосування.
15. Концентроване коагулювання, область застосування.
16. Переривчасте (періодичне) коагулювання, область застосування.
17. Рециркуляція осаду коагульованої суспензії, область застосування.
18. Класифікація фізичних методів очищення води.
19. Накладення на воду, що прояснюється, електричного і магнітного полів.
20. Вплив на воду, що прояснюється, ультразвуком, іонізуюче опромінення.
21. Електрохімічне коагулювання, використання його в технології очищення води.
22. Електролізер для анодного розчинення алюмінію та заліза.
23. Електрокоагулятор реагенту.
24. Апарати з постійними магнітами.
25. Конструктивні особливості апаратів з електромагнітами конструкції ХНУМГ ім. О. М. Бекетова.
26. Конструктивні особливості активаторів реагентів.
27. Дренажно-розподільна система НПФ «Екополімер» і «Екотон».
28. Дренажно-розподільна система напірного фільтра фірми «Екотон».
29. Пористі дренажі водоочисних фільтрів.
30. Автономні системи питного водопостачання.
31. Використання біопоглиначів при очищенні природних вод.
32. Використання прикріпленої мікрофлори для очистки стічних вод.
33. Аерування як засіб інтенсифікації процесу коагуляції природних вод.
34. Трубчасті аератори.
35. Вертикальний відстійник з контактною камерою пластівцеутворення.
36. Горизонтальний відстійник з контактною камерою пластівцеутворення.
37. Освітлювач з контактною камерою пластівцеутворення.
38. Горизонтальний відстійник, обладнаний тонкошаровими блоками.
39. Освітлювач, обладнаний тонкошаровими блоками.
40. Біоплато для очищення природних вод, ефективність роботи «Біоплато».
41. Схема комплексу очищення природних вод «Біоплато», ефективність роботи його.

### ТЕМА 3 Аварійні ситуації в системах водовідведення

#### Визначення витрати стічних вод в самопливних лотках

При експлуатації каналізаційних мереж і очисних споруд часто виникає необхідність вимірювати витрату стічних вод. Вибір того чи іншого методу вимірювання витрати стічних вод повинен відбуватися з урахуванням особливостей місцевих умов і потрібної точності вимірювання. Витрати стічних вод можуть бути поділені на дві групи:

- 1) з безпосереднім вимірюванням витрати за допомогою вимірювальних лотків і водомірів;
- 2) з вимірюванням площі живого перетину і середньої швидкості течії води в ньому за допомогою поплавців, вертушок.

*Витрати води через водозлив з широким порогом*

Витрата води через водозлив з широким порогом (рис. 3.1) визначають за формулою:

$$Q = m \varepsilon b_2 \sqrt{2g} H_0^{3/2}, \quad (3.1)$$

де  $m$  – коефіцієнт витрати;

$\varepsilon$  – коефіцієнт бокового стиснення;

$b_2$  – ширина водозлива;

$H_0$  – повний напір на водозливі

$$H_0 = H + \frac{V_0^2}{2g}, \quad (3.2)$$

$V_0$  – швидкість підходу;

$H$  – геометричний напір на водозливі.

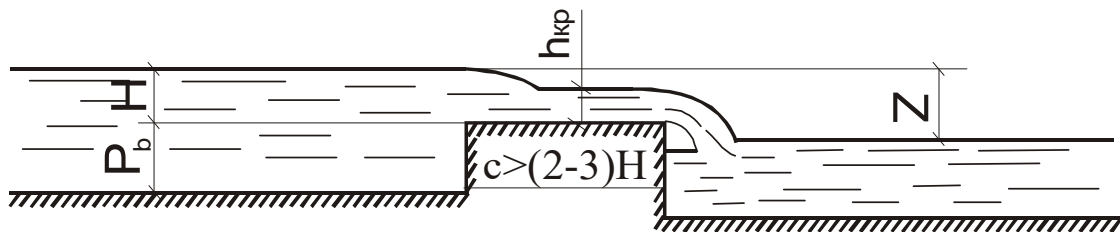


Рисунок 3.1 – Водозлив з широким порогом (продольний розріз)

Якщо  $2,5 < \frac{C}{H} \leq 10$  і  $0 \leq \frac{P_b}{H} \leq 3$ , коефіцієнт витрати  $m$  можна визначити за формулами А.Р. Березинського при вхідному ребрі:

закругленому

$$m = 0,36 + 0,01 \frac{3 - \frac{P_b}{H}}{1,2 + 1,5 \frac{P_b}{H}}, \quad (3.3)$$

де  $P_b$  – ширина гребеня від вертикальної напірної грані до низової грані;

прямокутному

$$m = 0,32 + 0,01 \frac{3 - \frac{P_b}{H}}{0,46 + 0,75 \frac{P_b}{H}}. \quad (3.4)$$

Якщо співвідношення  $\frac{P_b}{H} > 3$ , то величина  $m$  при закругленому ребрі складає 0,36 і при острому ребрі 0,32.

Коефіцієнт бокового стиснення

$$\varepsilon = 1 - 0,1 \cdot n \cdot \zeta \frac{H_0}{b_2}, \quad (3.5)$$

де  $n$  – число бокових стиснень,  $n = 2$ ;

$\zeta$  – коефіцієнт форми бокових стінок (рис. 3.2).

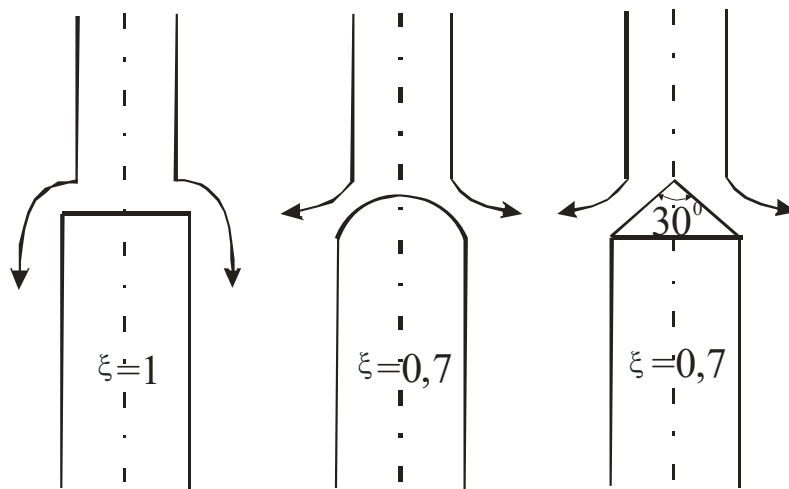


Рисунок 3.2 – Форма берегових оголовків

Підтоплення водозливу розраховується за формулою (3.1) коефіцієнта затоплення. При вимірюванні витрати підтоплених водозливів різко знижується точність виміру.

За допомогою поверхневих поплавців виробляються приблизні вимірювання витрат.

На обраній для вимірювання ділянці визначають площу живого перетину  $F$ . Швидкість течії рідини на поверхні  $V_{\text{пов.}}$  визначається за результатами вимірів поплавками швидкостей поверхні під стінами каналу  $V_1$  і  $V_3$  посередині його  $V_2$ , обчислюється за формулою:

$$V = \frac{V_1 + 2 \cdot V_2 + V_3}{4} \quad (3.6)$$

Витрата води визначається за формулою:

$$Q = K \cdot V_{\text{пов.}} \cdot F, \quad (3.7)$$

де  $K$  – коефіцієнт, який представляє собою співвідношення середньої швидкості на поверхні і визначається за формулою:

$$K = \frac{C}{C + 14}, \quad (3.8)$$

де  $C$  – коефіцієнт Шезі.

Для вимірювання витрати стічних вод застосовують гідрометричні вертушки Владіченського-Жестовського з горизонтальною віссю і лопатевим гвинтом. Вертушка цього типу в меншій мірі піддається обволіканню ганчірками і папером, які містяться в стічній воді.

На прямолінійній ділянці каналу вибирають перетин для виміру витрати. Намічають на ньому кілька вертикалей і точок на вертикалі для вимірювання швидкостей. При вимірюванні витрати в трубах і прямокутних каналах число вертикалей має бути не менше трьох (у стінок і в середині), а відстані між ними слід приймати рівними.

Замір швидкості по вертикалі залежно від глибини каналу і точності вимірювання витрати, яка потрібна, може визначатися:

1) в чотирьох точках (у поверхні води, на глибині 0,2Н, 0,4Н, 0,6Н, 0,8Н від поверхні води);

- 2) в трьох точках (на глибині 0,2Н, 0,6Н і 0,8Н від поверхні води);
- 3) в двох точках (на глибині 0,2Н і 0,8Н від поверхні води);
- 4) в одній точці (у поверхні води, при вимірюванні швидкості під стінами).

За результатами вимірювань обчислюють середні швидкості по вертикалі:

$$V = 0,1 \cdot (V_{нов.} + 2 \cdot V_{0,2} + 2 \cdot V_{0,4} + 2 \cdot V_{0,6} + 2 \cdot V_{0,8} + V_g), \quad (3.9)$$

$$V = \frac{V_{0,2} + 2 \cdot V_{0,6} + V_{0,8}}{4}, \quad (3.10)$$

$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2}, \quad (3.11)$$

$$V = K \cdot V_{нов.} \quad (3.12)$$

де  $V_{нов.}$ ,  $V_{0,2}$ ,  $V_{0,4}$ ,  $V_{0,6}$ ,  $V_{0,8}$ ,  $V_g$  – швидкості в точках, відповідно біля поверхні на глибині 0,2Н; 0,4Н; 0,6Н; 0,8Н; від поверхні води і біля дна (Н – глибина води);

Загальна витрата визначається як сума витрат між обраними вертикалями для виміру швидкостей, кожен з яких дорівнює добутку напівсуми швидкостей двох суміжних вертикалей на площу живого перетину між цими ж вертикалями.

#### Опис лабораторної установки

Установка для проведення лабораторної роботи складається з гідравлічного лотка 3 (водозлив з широким порогом 2) змінного тиску, бака 4 і циркуляційного насоса 1 (рис. 3.3). Вся установка являє собою циркуляційну систем, у витрата води в ній регулюється засувками до і після насоса.

На виконання лабораторної роботи необхідно 2 години і 1 година на захист.

Методика проведення лабораторної роботи і обробка результатів дослідів

Перед початком роботи вимірюють розміри водозливу. Вимірювання ширини водозливу слід виконувати за допомогою двох металевих лінійок в розпірку, кожна з яких повинна мати довжину меншу, ніж вся вимірювальна ширина, але більше половини її. За висотою кожного пристрою необхідно виконувати кілька вимірів.

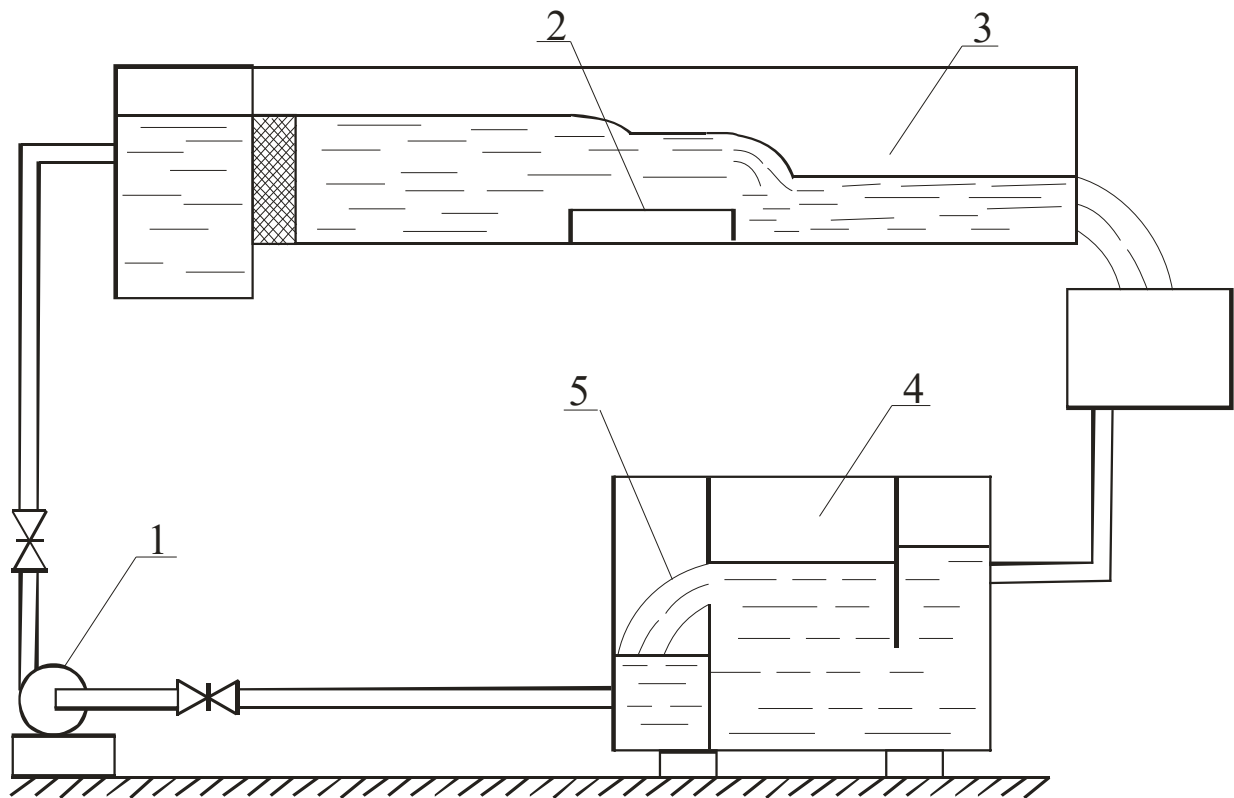


Рисунок 3.3 – Схема експериментальної установки з гідравлічним лотком:

- 1 – циркуляційний насос; 2 – водозлив з широким порогом;  
3 – гідравлічний лоток; 4 – бак

Розрахункова ширина повинна розраховуватися як середнє арифметичне значення з декількох результатів вимірювань.

Наповнення води, напір на порогах водозливу вимірюють за допомогою мірних сил (шпітценмасштабів), які встановлюються над мірним перетином. Глибина потоку або натиск на порозі водозливу розраховують як різницю двох відліків по шпітценмасштабу, який встановлений на дно лотка (або поріг водозливу) і на поверхню води.

З огляду на те, що перед водозливом вільна поверхня води має криву спаду, мірний перетин для вимірювань величини  $H$  має розташовуватися перед водозливом на відстані не менше  $3H$ . Дані вимірювань заносяться в таблицю 3.1. Витрати визначають за наведеними вище формулами.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювань при визначенні витрати водозливу з широким порогом

№ досліду	Вимірювання величини								
	до і після досліду			Під час досліду					
	В <sub>2</sub>	Р <sub>В</sub>	С	напор и глубина			глубина подтопления		
				відлік на (порог), дно	відлік на поверхню води	Н	відлік на (порог)	відлік на поверхню води	Р <sub>П</sub>
1									
2									
3									

Для вимірювання витрати поплавками вибирають вимірювальну ділянку. Початок і кінець його фіксують на стінках лотка. Запуск поплавців слід виконувати до початку вимірювальної ділянки. Час руху поплавця має визначатися за допомогою секундоміра, який слід включати в момент проходження поплавця на початку вимірювальної ділянки. Поверхневі швидкості під стінами і в середині слід визначати за результатами запуску не менше трьох поплавців.

У якості поплавців використовують дерев'яні брусочки. З одного боку слід збільшити їх вагу металевими деталями для забезпечення занурення частини поплавця в воду.

Дані вимірювання заносять в таблицю 3.2. За поверхневою швидкістю, яка розрахована за формулою 3.6, визначається витрата.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювань при визначенні витрати з допомогою поплавців

Місце вимірювання швидкості	Довжина вимірювальної ділянки	Час руху поплавця на вимірювальній ділянці					Вимірювана швидкість на поверхні, м/с	$V_{пов.}$ – за формулою
		№ заміру				середнє		
		1	2	3	4			
Біля лівої стінки								
В середині лотка								
Біля правої стінки								



## Питання для самоконтролю

1. Розміщення водовідвідних мереж в плані міста.
2. Міцність каналізаційних мереж.
3. Вплив глибини промерзання ґрунту на глибину закладення каналізаційних мереж.
4. Санітарні вимоги до влаштування міських водовідвідних мереж.
5. Довговічність і надійність роботи міських водовідвідних мереж.
6. Вентиляція каналізаційної мережі.
7. Діагностика каналізаційних мереж.
8. Підвищення терміну служби каналізаційних мереж.
9. Основні положення планово-попереджувальних робіт на каналізаційній мережі.
10. Організація диспетчерської служби.
11. Надійність роботи каналізаційної мережі міста.
12. Характеристика нерозчинних домішок побутових стічних вод.
13. Характеристика відмов при експлуатації каналізаційної мережі.
14. Засмічень на каналізаційній мережі, усунення їх.
15. Основні фактори, що впливають на надійність і довговічність водовідвідних мереж.
16. Значимість основних факторів, що впливають на довговічність каналізаційних колекторів.
17. Інтенсивність відмов при експлуатації каналізаційної мережі.
18. Оцінка корозійної активності стічних вод.
19. Заходи, що підвищують надійність відвідних каналізаційних мереж.
20. Аварії на каналізаційних мережах внаслідок корозійних явищ.
21. Зовнішній огляд водовідвідної мережі.
22. Технічний огляд водовідвідної мережі.
23. Профілактична очищення каналізаційної мережі, призначення їх.
24. Основні способи промивання каналізаційної мережі.
25. Гідравлічне і гідромеханічне прочищення водовідвідної мережі.
26. Прочищення каналізаційної мережі спареними дисками.
27. Прочищення каналізаційної мережі спеціальними снарядами.
28. Ліквідація засмічень на водовідвідній мережі.
29. Ліквідація засмічень на каналізаційній мережі способом зворотного тиску води.
30. Основні причини аварій на водовідвідних мережах.
31. Особливості експлуатації каналізаційних колекторів глибокого закладення.
32. Поточний ремонт водовідвідної мережі.

33. Капітальний ремонт водовідвідної мережі.
34. Визначення нормативної чисельності робітників при експлуатації каналізаційної мережі.
35. Оснащення аварійних бригад.
36. Розслідування аварій на міській водопровідній мережі.
37. Характерні помилки при проектуванні каналізаційної мережі.
38. Характеристика будівельних дефектів відвідної мережі.
39. Основні причини порушення роботи каналізаційної мережі.
40. Аварійні випуски на каналізаційній мережі.
41. Організація аварійного ремонту.
42. Оснащення аварійних бригад.
43. Облік аварійності робіт
44. Аналіз причин аварійності та основні шляхи її зниження.
45. Розслідування аварій і браку.
46. Назвіть пошкодження неаварійного характеру.
47. Визначення причин аварій і браку.
48. Порядок розслідування аварій та браку.

## **ТЕМА 4 Шляхи ресурсозбереження в системах водовідведення, санація систем водовідведення**

Більшість існуючих об'єктів водопостачання та водовідведення не відповідають сучасним стандартам якості і тому не можуть гарантувати безперебійну і безпечну роботу, а також з часом перестають відповідати екологічним вимогам. Виходом зі сформованої ситуації є ретехнологізація споруд очистки стічних вод, яка передбачає комплексну зміну технологічних рішень з урахуванням збереження основних споруд і устаткування для підвищення якості очищення.

Зазвичай ретехнологізація стає необхідною при підвищенні вимог до якості очищення води. Якщо при цьому знижується продуктивність існуючої станції, або підвищуються енерговитрати, то одночасно проводиться реконструкція споруд та модернізація обладнання.

Метою ретехнологізації очисних споруд є поліпшення якості очищення за окремими інгредієнтами рідини, що очищається; засобом досягнення цієї мети є перерозподіл технологічних потоків і зміна призначення або функціонування окремих споруд (первинних або вторинних відстійників, аеротенків тощо).

Метою реконструкції є підвищення продуктивності очисної станції без якісної зміни показників очищення, або зниження енерговитрат при незмінній продуктивності; засобом зазвичай є заміна обладнання, конструктивні поліпшення окремих споруд без зміни їх функціонального призначення, модернізація обладнання з заміною на нове, більш ефективне.

### **Питання для самоконтролю**

1. У чому відмінність ретехнологізації від реконструкції, які переваги?
2. Робота по ретехнологізації відбувається в 4 етапи, чим характерний

кожен етап, заповніть таблицю:

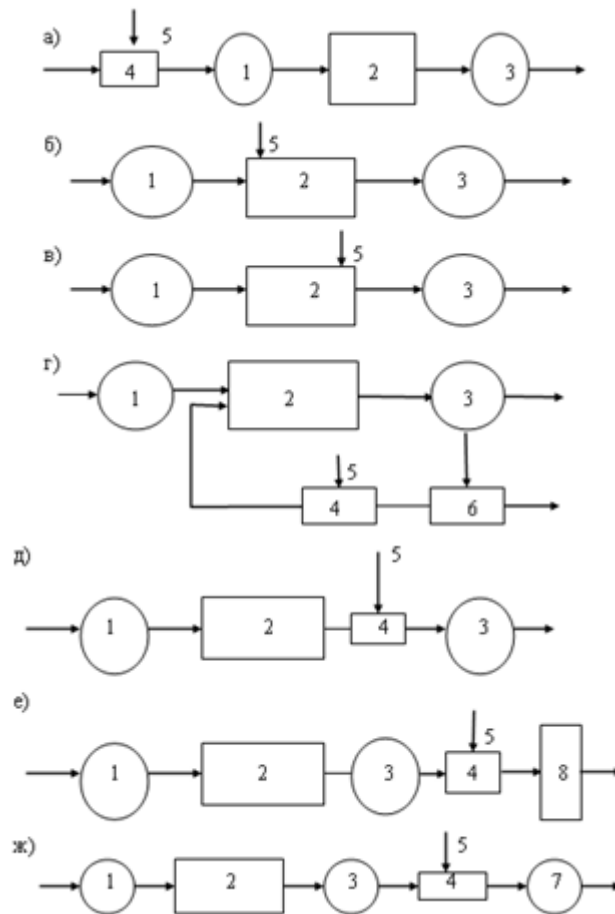
Етапи ретехнологізації	Зміст етапу, інструменти і методи, що застосовуються
Кабінетне обстеження	
Польове обстеження	
Поглиблене обстеження	
Виявлення граничних можливостей реконструкції та ретехнологізації діючих споруд.	

3. З яких елементів складається ретехнологізація?

4. Наведіть порядок складання матеріального балансу очищення стічних вод.

5. Назвіть фізико-хімічні методи видалення фосфору.

6. На рисунку наведені основні технологічні схеми видалення біогенних елементів, вкажіть назви їх, приведіть коротку характеристику та очисні споруди, які входять до технологічних схем.



7. У чому полягають комбіновані методи видалення азоту і фосфору, їх переваги та недоліки?
8. Як впливають параметри активації розчину коагулянту на ефективність дефосфотизації стічних вод?
9. Визначення ретехнологізації, передумови її.
10. Фактори, що впливають на реконструкцію очисних споруд.
11. Характеристика показників стічних вод, від якої залежить ретехнологізація.
12. Етапи робіт по ретехнологізації очисних споруд.
13. Основні елементи програми ретехнологізації.
14. Характеристика технологічної схеми очисних споруд стічних вод.
15. Причини неефективної очистки стічних вод на спорудах.
16. Складання балансової схеми очищення стічних вод.
17. Номенклатура балансів, призначення їх.
18. Основні недоліки існуючих технологічних схем очищення стічних вод.
19. Основні заходи, необхідні для ретехнологізації, аналіз їх.

20. Аналіз основних вузлів очистки стічних вод на ОС.
21. Класифікація методів дефосфатації стічної рідини.
22. Фізико-хімічні методи видалення фосфору з стічної рідини.
23. Біологічні методи видалення фосфору з стічної рідини.
24. Комбіновані методи видалення фосфору з стічної рідини.
25. Основні технологічні схеми дефосфатації стічної рідини з використанням реагентів.
26. Принцип роботи пілотної установки для видалення біогенних елементів.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-74:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 287 с.
2. Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування : ДБН В.2.5-75:2013 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Київ, 2013. – 134 с.
3. Пособие по проектированию сооружений для очистки и подготовки воды (к СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения) / НИИ КВОВ АКХ им. К. Д. Памфилова. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 128 с.
4. Душкин С. С. Разработка научных основ ресурсосберегающих технологий подготовки экологически чистой питьевой воды : монография / С. С. Душкин, Г. И. Благодарная ; Харьков. нац. акад. городск. хоз-ва. – Харьков : ХНАГХ, 2009. – 95 с.
5. Душкин С. С. Физические методы водоподготовки : учеб. пособие / С. С. Душкин. – Киев : УМК ВО, 1989. – 151 с.
6. Повышение эффективности работы сооружений при очистке питьевой воды : монография / С. М. Эпоян, Г. И. Благодарная, С. С. Душкин, В. А. Сташук ; Харьков. нац. акад. город. хоз-ва. – Харьков : ХНАГХ, 2013. – 190 с.
7. Реконструкция и интенсификация работы канализационных очистных сооружений / Ю. В. Воронов, В. П. Саламеев, А. Л. Ивчатов и др.; Под ред. С. В. Яковлева. – М. : Стройиздат, 1990. – 224 с.

*Виробничо-практичне видання*

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

**«ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СПОРУД ТА ОБЛАДНАННЯ  
СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ»**

*(для аспірантів усіх форм навчання освітньо-наукової програми підготовки  
доктора філософії зі спеціальності 192 – Будівництво та цивільна інженерія)*

**Укладачі** ДУШКІН Станіслав Станіславович,  
ДУШКІН Станіслав Сергійович

Відповідальний за випуск *Г. І. Благодарна*  
*За авторською редакцією*  
Комп'ютерне верстання *С. С. Душкін*

План 2018, поз. 155 М

---

Підп. до друку 04.02.2019. Формат 60 × 84/16

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 2,0

Тираж 50 пр. Зам № .

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.