

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

03-06-113

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторної роботи

«ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КІЛЬЦЕВОЇ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ»

з навчальної дисципліни «Водопостачання (СПРВ)»
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського)
рівня за освітньо-професійною програмою «Водопостачання та
водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна
інженерія» всіх форм навчання

Рекомендовано науково-
методичною радою з якості
Навчально-наукового інституту
будівництва та архітектури
Протокол № 5 від 05.05.2020 р.

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження роботи кільцевої водопровідної мережі» з навчальної дисципліни «Водопостачання (СПРВ)» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Водопостачання та водовідведення» спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання [Електронне видання] / Шадура В. О., Литвиненко Л. Л. – Рівне : НУВГП, 2020. – 15 с.

Укладачі:

Шадура В. О. кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи;

Литвиненко Л. Л., кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Відповідальний за випуск: Мартинов С. Ю., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри водопостачання, водовідведення та бурової справи.

Керівник групи забезпечення спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» – Бабич Є. М., доктор технічних наук, професор.

© Шадура В. О.,
Литвиненко Л. Л., 2020
© НУВГП, 2020

Зміст

Вступ	3
1. Мета роботи	4
2. Матеріальне забезпечення	4
3. Опис лабораторної установки	4
4. Гідравлічне моделювання елементів водопровідної мережі	6
5. Порядок виконання досліджень	9
5.1. Визначення напрямку руху потоків води на ділянках мережі	9
5.2. Визначення величини гідравлічного опору ділянок водопровідної мережі.	12
6. Питання до захисту лабораторної роботи	15
Література	15

ВСТУП

Лабораторна установка є гідравлічною моделлю кільцевої водопровідної мережі та споруд, що взаємодіють з нею: насосна станція другого підняття, водонапірна башта, водоводи та пристрої для забору води з мережі.

В лабораторній роботі студенти мають можливість корегувати подачу води в мережу, створюючи різні режими її роботи, і визначати напрями руху води по ділянках мережі. Крім того студенти на основі експериментальних даних отриманих при різних режимах роботи водопровідної мережі визначають величини опору по ділянках водопровідної мережі.

1. МЕТА РОБОТИ

1. Визначення напрямку руху потоків води по ділянках водопровідної мережі при односторонній схемі подачі води у мережу та двосторонній схемі у випадку максимального водоспоживання і випадку максимального транзиту в башту.
2. Визначення величини гідравлічного опору по ділянках водопровідної мережі.

2. МАТЕРІАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ:

- мірні циліндри (2шт.)
- секундомір (2шт.)
- ємкість для води (3 шт.)
- лабораторний стенд кільцевої водопровідної мережі (1шт.)
- бак імітуючий насосну станцію (1шт.)
- бак імітуючий водонапірну башту(1шт.)
- дошка з п'езометрами
- насос подачі води в мережу

3. ОПИС ЛАБОРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

Лабораторна установка виконана у вигляді гідравлічної моделі кільцевої мережі та споруд, що взаємодіють з нею: насосної станції, водонапірної башти, водоводів та пристроїв, що забезпечують водорозбір з мережі (рис.1).

Вода у водопровідну мережу надходить по водоводу 5 з напірного бака 3, що моделює насосну станцію другого підняття. Водопровідна мережа виконана зі сталевих трубок, на яких передбачені місцеві елементи для створення гідравлічного опору (діафрагми, штирі). Розбір води з мережі здійснюється у вузлах через спеціально передбачені пристрої відбору води 12. До вузла 5 до кільцевої мережі під'єднано напірний бак 11, який моделює водонапірну башту. Для вимірювання тиску у мережі кожен її вузол під'єднано до щита п'езометрів 9 гумовими трубками 10. Регулювання потоків води в мережі здійснюється запірно-регулюючою арматурою (пробковими кранами 8, що моделюють роботу засувки).

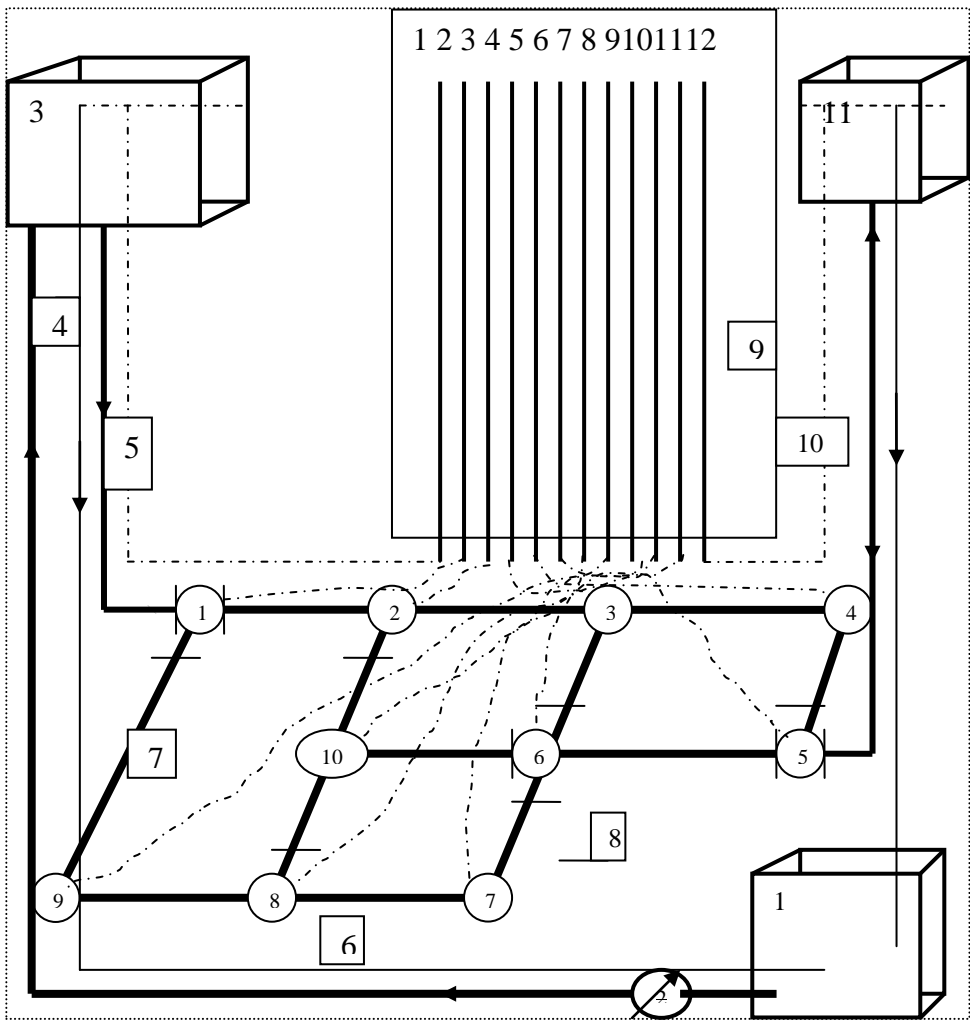


Рис.1. Схема лабораторної установки

1 - резервуар; 2 - насос; 3 - напірний бак-насосна станція; 4 - переливний трубопровід; 5 - напірний трубопровід-водовід; 6 - вузол мережі; 7 - ділянка мережі; 8 - запірно-регулювальний елемент-засувка; 9 - щит п'єзометрів; 10 - гумові п'єзометричні трубки; 11 - напірний бак-водонапірна башта; 12 - відбір води у вузлах.

Вода на установку подається з резервуара 1 насосом 2 в напірний бак 3, напірні баки 3 та 11 обладнані переливними

трубами 4, через які вода надходить до резервуару 5. При водорозборі у вузлах мережі через пристрої 12, вода надходить у резервуар 1. На щиті п'езометрів передбачено масштабну лінійку. П'езометрами є скляні трубки з'єднані з вузлами гумовими трубочками 10

4. ГІДРАВЛІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ВОДОПРОВІДНОЇ МЕРЕЖІ

Для проведення лабораторної роботи, в якій передбачено розглянути сумісну роботу споруд СПРВ складають її математичну модель. У загальному вигляді її потрібно розглядати як систему лінійних і нелінійних рівнянь, що описують залежності між робочими параметрами і конструктивними характеристиками окремих елементів СПРВ [1]. Вона включає такі основні підсистеми рівнянь:

- а) $b-1$ – лінійних рівнянь типу $\sum q_i = 0$;
- б) p – нелінійних рівнянь типу $h_i = f(q_i, d_i, l_i, mm_i, K_{Si})$;
- в) p – лінійних рівнянь типу $h_i = \Pi_j \pm \Pi_k$;
- г) b – лінійних рівнянь типу $H_{\text{вуз.}j} = \Pi_{\text{вуз.}j} - Z_{\text{вуз.}j}$;
- д) b – лінійних рівнянь типу $q_{\text{вуз.}j} = f(H_{\text{вуз.}j}, \chi)$;
- е) $k_{\text{НС}}$ – нелінійних рівнянь типу $\Pi_{\text{НС}} = f(Q_{\text{НС}}, S_{\text{НС}})$;
- ж) $k_{\text{НРС}}$ – лінійних рівнянь типу $\Pi_{\text{НРС}} = f(Q_{\text{НРС}}, S_{\text{НРС}})$;

де b і p – кількість вузлів і ділянок розрахункової схеми СПРВ (мережі, водоводів та тих, що моделюють окремі елементи СПРВ);

$k_{\text{НС}}$ і $k_{\text{НРС}}$ – кількість вузлів розрахункової схеми СПРВ, що моделюють насосні станції і напірно-регульовальні ємкості;

h_i , q_i , d_i , l_i , mm_i , K_{Si} – втрата напору, витрата води, діаметр, довжина, матеріал труб, коефіцієнт збільшення гідравлічного опору i -ї ділянки;

$\Pi_{\text{вуз.}j}$ і $\Pi_{\text{вуз.}k}$ – п'езометричні позначки в j -му і сусідньому (k -му) вузлі, що з'єднуються i -ю ділянкою із втратами напорів h_i ;

$H_{\text{вуз.}j}$, $Z_{\text{вуз.}j}$, $q_{\text{вуз.}j}$ і χ – вільний напір, позначка землі, витрата води у j -му вузлі та параметр, який характеризує витоки води;

$P_{НС}$ ($P_{НС}$), $Q_{НС}$ ($Q_{НС}$) і $S_{НС}$ ($S_{НС}$) – п'єзометричні позначки, витрати води і гідравлічні опори для насосних станцій (напірно-регулювальних споруд).

Відповідно до математичної моделі СПРВ кожен її елемент моделюється математичною залежністю, яка адекватно описує як співвідношення їх робочих параметрів, так і вплив на них конструктивних показників. Наприклад, на основні робочих показників водопровідних ліній, суттєвий вплив мають гідравлічні опори труб, які у свою чергу залежать від їх діаметрів, довжин, матеріалу тощо.

Водопровідні лінії моделюються як окремі ділянки (ребра графа мережі). Взаємозв'язки між параметрами ділянок задають таку модельну залежність $h=f(q)$ (рис. 2). У лабораторній роботі ділянки водопровідної мережі моделюють за допомогою сталевих трубок діаметром 10-20 мм, що мають місцеві гідравлічні опори, які створюються діафрагмами або штирями. Останні вставлені в шаховому порядку по всій довжині ділянки мережі.

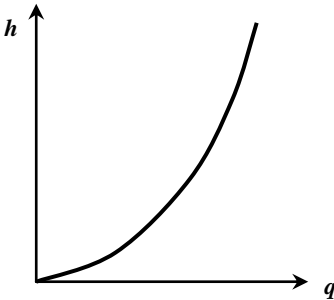


Рис.2. Залежність $h = f(q)$ для водопровідних ліній

Місцеві опори підібрані таким чином, щоб втрати напору на ділянках мережі визначалися як для довгих трубопроводів за формулою: $h = S q^\beta$, де S - гідравлічний опір ділянки; q - витрати води на ділянці; β - показник степені, який для сталевих труб може прийматися рівним :

$\beta = 2$ для ненових труб (по Ф.А.Шевельову);

$\beta = 1,9$ для нових труб (по М.М.Андріяшеву);

$\beta = 1,93$ для нових та ненових труб (рекомендації НУВГП)

Насосні станції, які живлять СПРВ (подають воду у систему із РЧВ), моделюються як окремі вузли з п'єзометричними позначками на виході, що визначають залежністю $P_n=f(Q_n)$ (рис. 3).

В лабораторній роботі насосна станція моделюється за допомогою напірного бака 3 та діафрагми, вставленої на початку

напірного трубопроводу 5. Напір на виході з насосної станції визначається за формулою:

$$H_n = H_\phi - S_\phi Q^2,$$

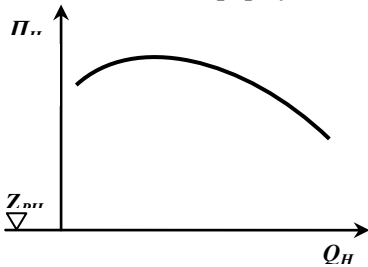


Рис. 3. Залежність між подачею води $Q_{НС}$ і п'єзометричними позначками $\Pi_{НС}$ на виході із насосної станції

де H_ϕ та S_ϕ параметри аналітичного виразу; $Q - H$ – характеристики насосів; H_n – напір насосу при подачі рівній 0, різниці позначок води у баці 3 і площини, в якій знаходиться водопровідна мережа; S_ϕ – опір насосу, який приймається рівним величині гідравлічного опору діафрагми, що

встановлена на виході з напірного бака 3 на початку водовода 5.

Рівень води у баці 3 не повинен змінюватись при будь-яких режимах роботи мережі та водоспоживання. Це досягається встановленням переливної труби 4 в баці 3 на позначці Z_n , подачею витрат води Q_n насосом 2, які перевищують витрати води, що подається у мережу Q_m . При цьому надлишок води проходить по переливній трубі у резервуар 1.

Напірно-регулювальні споруди (резервуари чистої води, водонапірні башти, колони тощо) моделюють окремі вузли, п'єзометричні позначки в яких мають відповідну залежність

$\Pi_{НС} = f(Q_{НС})$ (рис.4). Водонапірна башта в лабораторній роботі

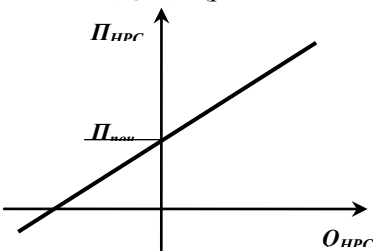


Рис. 4. Залежність п'єзометричних позначок $\Pi_{НС}$ від подачі води в НПС $Q_{НС}$

моделюється напірним баком 11, який обладнано напірним трубопроводом 5 і переливною трубою 4.

Рівень води в баці перемінний і залежить від режиму роботи башти: при надходженні води у бак – рівень збільшується; при відборі води з бака - рівень зменшується. Переливна труба запобігає переливанню води через краї бака.

Вузлові відбори здійснюються через патрубки, які обладнані гумовими трубками із затискачами та з'єднані із п'єзографами,

встановленими на дошці із шкалою ділень. Зміна режимів водоспоживання відбувається завдяки зміні вузлових відборів у заданих вузлах (наприклад: 5,7,8,9 чи 10) за допомогою затискачів.

Режим роботи водопровідної мережі регулюється зміною режимів водоспоживання та зміною живлення шляхом відключення або підключення до мережі водонапірної башти.

5. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1. Визначення напрямку руху потоків води на ділянках мережі.

Напрямок руху води визначають за величинами п'езометрів у вузлах мережі. Потік води завжди направлений від вузла з більшим значенням п'езометра до вузла з меншим значенням п'езометра. Різниця значень п'езометрів на початку та в кінці ділянки дорівнює втратам напору на цій ділянці.

Величини показників п'езометрів визначають по щиту п'езометрів при сталому режимі роботи мережі, який досягається встановленням постійних відборів води з мережі і постійних величин п'езометрів у всіх вузлах, а також у баці 3, що моделює насосну станцію. Для цього необхідно витримати декілька хвилин необхідних для встановлення рівнів у п'езометрах. Режим роботи водопровідної мережі встановлюють таким чином:

а) одностороннє живлення:

- відключають башту за допомогою крана на трубопроводі 5 до бака 11;
- відкривають всі інші крани на ділянках мережі і трубопроводі 5 від бака 3;
- включають насос 2, заповнюють бак 3, добиваючись встановлення постійного рівня води в ньому (позначка Zn);
- відбирають воду у вузлах 5,7 в кількості щоб п'езометр в 5 вузлі був нижче позначки рівня води у баці башти;
- визначають показники п'езометрів з точністю до 1см і заносять у таблицю 1.

б) двостороннє живлення: (година максимального водоспоживання)

- в доповнення до попередньої схеми відкривають кран на трубопроводі 5 до бака 11 (підключення башти);

- визначають показники п'езометрів з точністю до 1см і заносять у таблицю 1 (так як рівень у баці 11 знижується показники знімають швидко).

в) максимальний транзит у башту (година мінімального водоспоживання)

- залишають попередню схему, зменшуючи витрати з вузлів 5,7 до моменту поки значення п'езометра у вузлі 5 не стане вище значення п'езометра в баці 11, при цьому вода надходить у башту і рівень в ній буде підвищуватись;

- визначають показники п'езометрів з точністю до 1см і заносять у табл. 1.

Таблиця 1

Позначки п'езометричних ліній для різних режимів роботи водопровідної мережі

№ вузла	Величини п'езометрів, мм, для різних режимів		
	Одностороннє живлення	Двостороннє живлення	
		Максимальне водоспоживання	Максимальний транзит в башту
НС			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
ВБ			

За даними таблиці будують графіки п'єзометричних ліній (рис.5) і стрілками показують напрями руху води по ділянках мережі при різних режимах її роботи (рис.6).

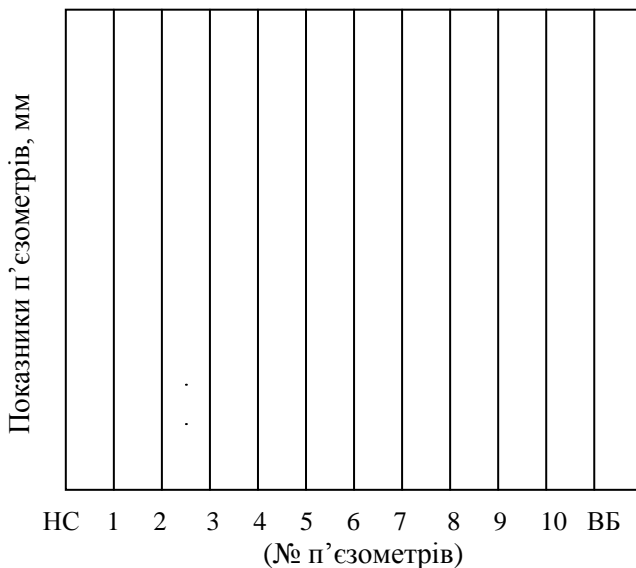


Рис.5. Графік п'єзометричних ліній

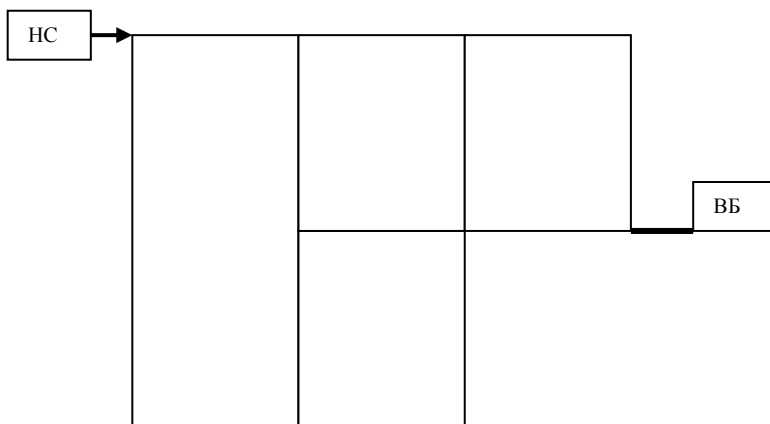


Рис.6. Схема напрямів руху води ділянками водопровідної мережі

5.2. Визначення величини гідравлічного опору ділянок водопровідної мережі. Величину гідравлічного опору ділянок S мережі розраховуємо за формулою:

$$S = h / q^\beta,$$

де h - втрати напору на ділянці, мм; q - витрати води на ділянці, мл/с; β - показник ступеня, який слід приймати рівним 1,9; 1,93; або 2 (див. с. 7).

Для проведення дослідження кільцеву мережу перетворюють на тупікову шляхом відключення окремих ділянок. Це необхідно для забезпечення постійних величин витрат води через виділену кількість ділянок і вимірювання цих витрат у кінцевому вузлі. Втрати напору визначають як різницю п'езометричних позначок на початку та наприкінці кожної ділянки. Витрати води визначають об'ємним методом і за формулою:

$$Q = W / t,$$

де W - об'єм води, мл, який проходить ділянкою за визначений час t , с.

Для охоплення розрахунком всіх ділянок мережі при експерименті створюють декілька тупікових ділянок завдяки певним переключенням.

Після виділення тупікової ділянки включають насос і проводять відбір води в кінцевому вузлі тупіка. Величину відбору регулюють таким чином, щоб величина п'езометра в кінцевому вузлі була мінімальною (50-200мм). Через кілька хвилин, після встановлення сталого руху води в трубопроводах вимірюють витрати води та показники п'езометрів у вузлах заданого напрямку. Результати вимірів заносять у таблицю 2, 3. Для одного режиму слід проводити не менше трьох вимірів. Якщо для буд-якого виміру величин q та Π будуть відхилятися від їх середнього значення більше ніж на 3%, то їх виключають, а вимірювання проводять повторно. Кількість дослідів має бути не менше 5 (бажано 7-12).

Таблиця 2

Результати вимірів вузлових відборів

№ досліду	№ виміру	Об'єм, W , мл	Час t , с	Витрати q , мл/с
1	Схема 1			

	1 2 3 Середнє значення			
2	Схема 2			
	1 2 3 Середнє значення			
3	Схема 3			
	1 2 3 Середнє значення			

Таблиця 3

Результати вимірів втрат напору

№ досліду	Параметри	№ виміру	Величини				
1	Схема 1						
	Номера вузлів		1	2	3	4	5
	П'єзометри, мм	1 2 3 Середнє					
	Номера ділянок		1-2	2-3	3-4	4-5	
	Втрати напору, мм						
2	Схема 2						
	Номера вузлів		1	2	3	4	5
	П'єзометри, мм	1 2 3 Середнє					

	Номера ділянок		1-2	2-3	3-4	4-5	
	Втрати напору, мм						

За результатами вимірів величин q і h визначають гідравлічні опори ділянок S , а результати обчислень заносять в таблицю 4. При цьому визначають відносні значення похибок δ за формулою:

$$\delta = (S - S_{cp}) / S_{cp} \cdot 100\%$$

де S - поточне значення гідравлічного опору; S_{cp} - середнє значення гідравлічного опору ділянок.

Таблиця 4

Результати обчислень гідравлічних опорів ділянок мережі

№ досліду	Витрати води, мл/с	Втрати напору, мм	Величини гідравлічних опорів і похибок для					
			$\beta = 1,9$		$\beta = 1,93$		$\beta = 2$	
			S	$\delta, \%$	S	$\delta, \%$	S	$\delta, \%$
Ділянка 1-2								
Схема 1								
1								
2								
3								
4								
5								
Схема 2								
1								
2								
3								
4								
5								
Середні значення								
Ділянка 2-3								
Схема 1								
1								
2								
3								
4								
5								

Визначені величини похибок не повинні перевищувати допустимого значення $\delta_{дон}$, яке визначають враховуючи, що

значення гідравлічного опору S отримані як результат не прямих вимірювань, а на основі розрахунків. Для визначення $\delta_{дон}$ потрібно врахувати похибки вимірювань прямих величин l , W і t , за якими визначають h і q . Вираз для визначення гідравлічного опору має вигляд:

$$S = h t^\beta W^\beta$$

6. Питання до захисту лабораторної роботи

1. Поясніть призначення водопровідної мережі.
2. Які схеми живлення існують при використанні водопровідної мережі?
3. Від чого залежить схема живлення водопровідної мережі?
4. Що таке кільцева мережі?
5. Що таке тупикова мережі?
6. Що означає напір в мережі?
7. Як визначається витрата об'ємним методом?
8. Що таке п'єзометр?
9. Як визначається напір у вузлі мережі?
10. Як визначити втрати напору на ділянці мережі?
11. Як визначити напрям руху води по ділянці мережі?
12. Як визначається опір по ділянці мережі експериментальним шляхом?

Література

1. Тачук О. А., Косінов В. П., Новицька О.С. Системи подачі та розподілення води населених пунктів : навчальний посібник. Рівне : НУВГП, 2011. 273 с.
2. ДБН В.2.5 - 74:2013. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 182 с.
3. Міські інженерні мережі та споруди : підручник / А. М. Тугай, В. О. Орлов, В. О. Шадура, Я. А. Тугай, С. Ю. Мартинов. К. : КНУБА, 2016. 288 с.