



Національний університет
водного господарства та природокористування

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Навчально-науковий інститут водного господарства та природооблаштування
Кафедра водогосподарського будівництва та експлуатації гідромеліоративних систем

01-02-50

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення лабораторних робіт
з дисципліни: **“Облік води на водогосподарських об’єктах”**
студентами напряму 6.060103 «Гідротехніка (водні ресурси)»
денної форми навчання

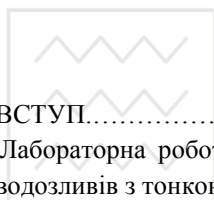
Рекомендовано методичною
комісією за напрямом
підготовки 6.060103
«Гідротехніка (водні
ресурси)»
Протокол № 4
від 24 грудня 2013 р.



Методичні вказівки до проведення лабораторних робіт з дисципліни «Облік води на водогосподарських об'єктах» студентами напряму підготовки 6.060103 «Гідротехніка» (водні ресурси) денної форми навчання / Є.Г. Герасімов, І.В. Романюк, О.Л. Пінчук. – Рівне: НУВГП, 2014. – 27 с.

Упорядники: Є.Г. Герасімов, к.т.н., доцент
І.В. Романюк, к.т.н., доцент
О.Л. Пінчук, к.т.н., старший викладач

Відповідальний за випуск: В.М. Кір'янов, д.т.н., професор, завідувач кафедри водогосподарського будівництва та експлуатації гідромеліоративних систем.



ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
Лабораторна робота №1 «Вимірювання витрат води за допомогою водозливів з тонкою стінкою».....	4
Лабораторна робота №2 «Вимірювання витрат води за допомогою водозливів з широким порогом (ВПС, ВПС-в)».....	8
Лабораторна робота №3 «Вимірювання витрат води за допомогою збіжних водомірних насадок».....	11
Лабораторна робота №4 «Вимірювання витрат води за допомогою пристроїв з місцевими опорами води (приставки, насадки)».....	14
Лабораторна робота №5 «Вимірювання витрат води за допомогою ультразвукових витратомірів».....	18
ЛІТЕРАТУРА.....	27

© Герасімов Є.Г.
Романюк І.В.
Пінчук О.Л., 2014
© НУВГП, 2014



ВСТУП

Сучасний стан розвитку економіки України вимагає від водогосподарських організацій докорінної зміни управління водними ресурсами, що безпосередньо пов'язано із основним питанням у взаємовідносинах між державними управліннями з водних ресурсів та водокористувачами – обліком відповідно поданої та використаної води.

Поставлена задача вимагає вирішення з використанням сучасних методів, приладів та пристроїв водообліку на відкритих та закритих водотоках. Прилади водообліку повинні відповідати таким вимогам: точність проведення вимірювань, надійність, автоматизація водообліку.

Робочою програмою з дисципліни передбачається виконання циклу лабораторних робіт. При цьому загальні питання курсу узгоджуються з тематикою лабораторних робіт.

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт відповідають робочій програмі дисципліни “Облік води на водогосподарських об’єктах”, призначені для студентів денної форми навчання напрямку підготовки 6.060103 «Гідротехніка (водні ресурси)», мають на меті надати їм допомогу в набутті практичних навиків при розрахунку параметрів водомірних споруд відповідно до вимог Державного агентства водних ресурсів України.

Основні уміння, які набувають студенти при проходженні циклу лабораторних робіт:

- ✓ розрахунку водомірних споруд на водогосподарських об’єктах;
- ✓ визначення потреби у засобах автоматизації водообліку на водомірних спорудах;
- ✓ уміння користуватися водомірними пристроями та водовимірювальними приладами на відкритих каналах гідромеліоративних систем;
- ✓ уміння користуватися водомірними пристроями та водовимірювальними приладами на закритій мережі гідромеліоративних систем;
- ✓ організація експлуатаційної гідрометрії на гідромеліоративних системах;
- ✓ складання фактичних гідрометричних розрахункових матеріалів для подальшого їх використання при експлуатації гідромеліоративних систем.



Лабораторна робота №1 «Вимірювання витрат води за допомогою водозливів з тонкою стілкою»

Мета роботи: вивчити конструкцію, умови застосування і набути навички вимірювання витрат води за допомогою водозливів з тонкою стінкою.

Основні теоретичні відомості

1. Принцип дії та розрахунку водозливів з тонкою стінкою

На відкритих каналах, де дозволяє похил дна і умови командування горизонтів каналів старшого порядку над каналами молодшого, для обліку води використовуються водозливи з тонкою стінкою.

Принцип дії полягає у визначенні напору води з верхнього б'єфа (при вільному витіканні) і напорів з верхнього та нижнього б'єфів (при затопленому режимі) з подальшим розрахунком витрати води при відомих гідравлічних показниках та розмірах (типорозмірах) водозливів.

Залежно від форми вирізу водозливи з тонкою стінкою поділяють на трапецеївидні, трикутні, прямокутні з боковим стисненням, прямокутні без бокового стиснення, пропорційні, параболічні, радіальні з вільним і деякі з них із затопленим витіканням.

У гідромеліоративній практиці найбільшого поширення набули трапецеїдальні (Чіполетті та Іванова) та трикутні (Томпсона) водозливи.

Витрата води за допомогою трапецеїдальних водозливів у загальному вигляді визначається за формулою

$$Q = \mu \cdot b \cdot \sigma_n \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{3/2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.1)$$

де μ – коефіцієнт витрати ($\mu = 0,42$), b – ширина водозливу, м;

σ_n – коефіцієнт підтоплення (при вільному витіканні $\sigma_n = 1$);

H – напір води над порогом водозливу, м.

Витрата води через трапецеїдальний водозлив Чіполетті при вільному витіканні визначається за формулою

$$Q = 1,86 \cdot b \cdot H^{3/2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.2)$$

де 1,86 – коефіцієнт витрати.

Для водозливу Іванова при роботі його в затопленому режимі загальна формула витрати води має вигляд:

$$Q_s = Q - Q_s', \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.3)$$

При цьому, витрата при вільному витіканні визначається за формулою

$$Q = 1,86 \cdot \frac{b + H}{b + 0,25 \cdot H} \cdot b \cdot H^{3/2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.4)$$



Национальний університет
водного господарства
та природокористування

де $1,86 \cdot \frac{b+H}{b+0,25 \cdot H}$ – коефіцієнт витрати.

Величина зменшення витрати Q_3' за рахунок затоплення водозливу визначається за формулою

$$Q_3' = 0,67 \cdot h^{1,6} \cdot b, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.5)$$

де h – напір води над порогом зі сторони нижнього б'єфа.

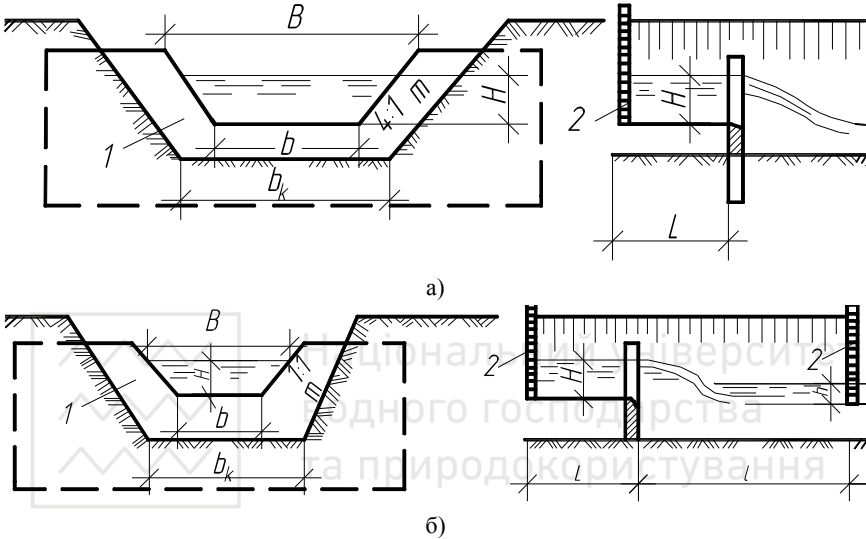


Рис. 1.1.1. Схема встановлення водомірного поста з водозливом з тонкою стінкою:
а) водозлив Чіполетті; б) водозлив Іванова;
1 – водозлив; 2 – мірна рейка.

Витрата води трикутного водозливу Томпсона визначається за формулою загального вигляду:

$$Q = 0,316 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{3/2}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.6)$$

де α – кут у вершині водозливу; H – напір над його порогом, м.

У практиці експлуатації ГМС найбільшого розповсюдження набули водозливи з кутом $\alpha=90^\circ$, які отримали назву водозливів Томпсона.

Пропускна здатність водозливу Томпсона ($\alpha=90^\circ$) визначається за формулою

$$Q = 1,4 \cdot H^2 \cdot \sqrt{H}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (1.7)$$

2. Умови застосування водозливів з тонкою стінкою

Умови встановлення водозливу в руслі каналу:

а) швидкість течії води в каналі при підході до водозливу –



$0,2 \dots 0,75$ м/с при $b = 0,25 \dots 3$ м;

б) водозлив встановлюється на прямолінійній ділянці каналу з стійким руслом;

в) водозлив встановлюється перпендикулярно до осі каналу;

г) вісь каналу повинна співпадати з серединою отвору водозливу;

д) висота водозливу більше H_{max} на 2-3 см.

Трапецеїдальні водозливи встановлюються для обліку води на каналах з витратою води до 2 м³/с. На невеликих каналах з витратою до $0,4$ м³/с використовують трикутні водозливи Томпсона з вільним витіканням води.

Для забезпечення точності вимірювання води водозливами з тонкою стінкою необхідно, щоб висота порога (p) була не меншою H_{max} , напір над порогом – $0,1b < H < 0,3b$. Вимоги щодо виготовлення ребра водозлива: кромка ребра водозлива повинна мати горизонтальну ділянку шириною 1 мм, а скіс ребра порогу виконано під кутом 45° з боку нижнього б'єфа. Відстань від похилого бокового ребра водозливу до відкосу має бути не менше H_{max} . Напір вимірюється на відстані $L = (3 \dots 4)H_{max}$ від створу встановлення водозливу.

Умовами вимірювання напору є те, що вимірювальний створ у верхньому б'єфі встановлюється на відстані $L = (3 \dots 4)H_{max}$ від порогу водозливу, а в нижньому б'єфі на відстані $l = (5 \dots 6)H_{max}$.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити будову та технологію вимірювання витрат за допомогою водозливів з тонкою стінкою (Чіполетті, Іванова та Томпсона).
2. Визначити, залежно від конструктивних особливостей лабораторної установки, параметри водозливів (ширину порогу, нахил бокових ребер, кут у вершині тощо) та намалювати його схему.
3. Виміряти за допомогою лінійки напір над порогом зі сторони верхнього б'єфа H і нижнього б'єфа h при вільному та підтопленому витіканні.
4. Обчислити витрату води, що проходить через водозлив при різних напорах.
5. Усі дані занести у відповідний журнал обліку води (табл. 1.1).
6. Побудувати графік залежності $Q = f(H)$.
7. За отриманими результатами сформулювати висновок.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка конструктивно виконана у формі моделі ділянки каналу з встановленими водозливами Чіполетті, Іванова та Томпсона. Поперечний переріз каналу трапецеїдальний. Вода в канал подається за допомогою насосної установки. У верхньому і нижньому б'єфах позначено вимірювальні створи, які оснащені водомірними рейками.



водного господарства та природокористування
На рис. 1.2 представлена лабораторна установка, яка обладнана водозливом з тонкою стінкою.



Рис. 1.2. Лабораторна установка, яка обладнана водозливом з тонкою стінкою.



Таблиця 1.1

ЖУРНАЛ

обліку води за допомогою водозливів з тонкою стінкою

Дата проведення замірів _____

Тип водозливу	Характерні параметри	Режим роботи	Напір, м		Витрати, м ³ /с		
			H	h	$Q_{вільн.}$	$Q_{затопл.}$	$Q_{заг.}$
Іванова							
Чіполетті							
Томсона							

Контрольні запитання

1. Які ви знаєте форми вирізу водозливів з тонкою стінкою?
2. За допомогою яких формул визначають пропускну здатність водозливів з тонкою стінкою?
3. Назвіть вимоги до встановлення водозливів?
4. Які умови вимірювання води на водозливах з тонкою стінкою?
5. Що включає в себе експлуатація водомірних постів, які обладнані водозливами з тонкою стінкою?
6. Наведіть недоліки в роботі водозливів з тонкою стінкою?



Лабораторна робота №2 «Вимірювання витрат води за допомогою водозливів з широким порогом (ВПС, ВПС-В)»

Мета роботи: вивчити конструкцію, будову та особливості водомірних порогів САНДІПРІ (ВПС) та набуття навичок визначення витрат води.

Основні теоретичні положення

1. Типи та будова водомірних порогів САНДІПРІ

На каналах зрошувальних систем з витратою 1,5...20,0 м³/с вимірювання витрати води часто здійснюється водомірними порогами.

Водомірні порogi діляться на два типи: ВПС – водомірний поріг САНДІПРІ та ВПС-в – водомірний поріг САНДІПРІ з вирізною частиною трапецеїдального перерізу, яка дозволяє вимірювати витрати води малих значень з достатньо високою точністю.

Водомірний пост ВПС складається із бетонної ділянки каналу, водозливного порогу, що розміщений в каналі та контрольних рейок у верхньому та нижньому б'єфах споруди.

2. Умови застосування та експлуатації ВПС

ВПС влаштовуються на транзитних та головних ділянках каналів за умови, що:

- підпір від ВПС не повинен зменшувати витрату головної споруди;
- максимальна глибина води в каналі не повинна бути більшою $1/3 \cdot b_{\kappa}$;
- швидкість течії води в каналі не повинна перевищувати 1,5...2,0 м/с;
- відносне затоплення гребня порога $h/H < 0,8$, що забезпечує вимірювання витрат з точністю $100 \pm 5\%$, де h – напір на порозі водозливу із сторони нижнього б'єфа, H – напір на порозі водозливу із сторони верхнього б'єфа.

Розміри водомірного порога призначаються конструктивно залежно від розмірів каналу і повинні задовольняти наступним умовам:

$$\begin{aligned} 0,3 \text{ м} < b_n \leq 3,0 \text{ м} & \qquad h_{\min} = 0,08 \text{ м}; \\ p > 0,15 \text{ м}; & \qquad H/p \leq 2; b_n/p \geq 2. \end{aligned}$$

Пропускна здатність водозливу визначається за формулою

$$Q = \left(0,37 + 0,04 \cdot \frac{H}{p} \right) \cdot (b_n + m_1 \cdot H) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{3/2} \quad (2.1)$$

де $(0,37 + 0,04 \cdot H/p)$ – емпіричний коефіцієнт витрати порога;

$(b_n + m_1 \cdot H)$ – середня ширина потоку на порозі, м; p – висота порога, м;

m_1, b_{κ} – коефіцієнт закладання укосів та ширина дна каналу, м;

$b_n = b_{\kappa} + 2 \cdot m_1 \cdot p$ – ширина порога на рівні його гребеня, м;



ВПС дозволяє виконувати вимірювання витрат при змінному режимі рівня води у нижньому б'єфі від підпірно-регулюючих споруд, що розташовані нижче.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити будову та технологію вимірювання витрат за допомогою водозливів з широким порогом (ВПС та ВПС-в).
2. Визначити залежно від конструктивних особливостей лабораторної установки параметри водозливів та намалювати його схему.
3. Виміряти за допомогою лінійки напір над порогом зі сторони верхнього б'єфа H .
4. Обчислити витрату води, що проходить через водозлив при різних напорах.
5. Усі дані занести у відповідний журнал обліку води (табл. 2.1).
6. Побудувати графік залежності $Q=f(H)$.
7. За отриманими результатами сформулювати висновок.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка конструктивно виконана у формі моделі ділянки каналу з встановленим водозливом з широким порогом САНДПІРІ. Поперечний переріз каналу трапедеїдальний. Вода в канал подається за допомогою насосної установки. У верхньому і нижньому б'єфах позначено вимірювальні створи, які оснащено водомірними рейками.

На рис. 2.2. представлена лабораторна установка, яка обладнана водозливом з широким порогом.

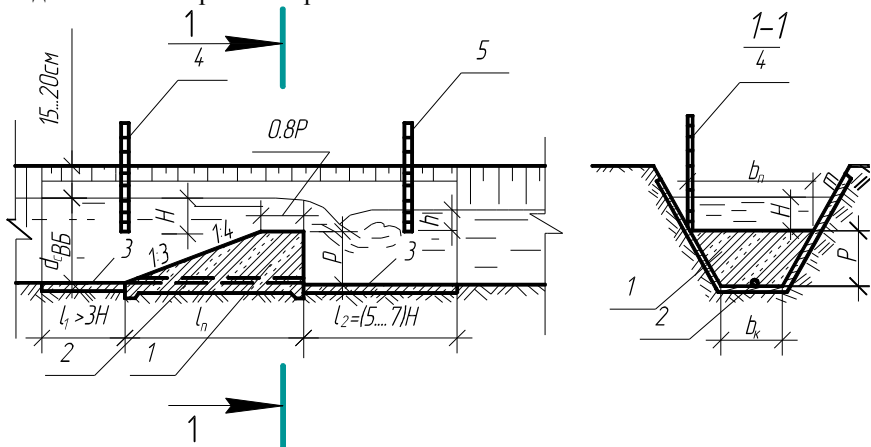


Рис. 2.1. Схема установки водомірного порогу САНДПІРІ:

- 1 – водозливний поріг; 2 – отвір для промиву замулу; 3 – бетонвані ділянки каналу; 4, 5 – контрольні рейки.



Рис. 2.2. Лабораторна установка, яка обладнана водозливом з широким порогом.



Таблиця 2.1

ЖУРНАЛ
вимірювання витрат води за допомогою ВПС

Дата проведення вимірювань _____

Тип водоміру, розміри каналу та водозливу: _____

№ з/п	H, м	Витрати води Q , м ³ /с
1		
3		
3		
4		
5		

Контрольні запитання

1. Назвіть типи водозливів з широким порогом?
2. В якому діапазоні вимірювання витрат води застосовується ВПС?
3. Які конструктивні особливості ВПС?
4. Розкрийте суть поняття «відносне затоплення водозливу»?
5. В якому гідравлічному режимі працює ВПС?
6. За якою формулою визначається витрата води?



Лабораторна робота №3 «Вимірювання витрат води за допомогою збіжних водомірних насадок»

Мета роботи: вивчити конструкцію збіжних водомірних насадок та набути навички визначення витрат води на водомірних постах, що обладнані водомірними насадками.

Основні теоретичні положення

Насадки працюють за принципом збільшення гідравлічного опору шляхом влаштуванням перешкоди, яка утворює перепад рівнів води. За перепадом визначається витрата води при постійному значенні коефіцієнта витрати (водомірності). Гідравлічний перепад вимірюється плаваючою лінійкою, вимірювальною вилкою чи рейками, які встановлені у верхньому і нижньому б'єсах насадка.

Збіжні насадки можуть бути круглого, квадратного та прямокутного перерізу. При визначенні витрат води проводять заміри гідравлічного перепаду рівнів верхнього і нижнього б'єсів – Z .

Витрати води визначаються за формулами:

а) для круглого перерізу:

$$Q = 3,3 \cdot d^2 \cdot \sqrt{Z}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.1)$$

б) для прямокутного перерізу:

$$Q = 4,1 \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{Z}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.2)$$

в) для квадратного перерізу:

$$Q = 4,1 \cdot a^2 \cdot \sqrt{Z}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (3.3)$$

де d , a , b - діаметр, висота та ширина насадка у вихідному перерізі, м.

1. Будова водомірного поста з насадком

Водомірний пост складається з перегороджуючої стінки 2 з насадком 1 (рис. 3.1) та контрольних рейок 3. Форма насадка залежить від розмірів і умов роботи каналу. При незначних підпорах на каналах встановлюються насадки прямокутного перерізу.

2. Умови застосування та експлуатації

Водомірні насадки використовуються для автоматизованого та механізованого визначення витрат води у відкритих каналах з малими похилами дна (менше критичного) при максимальній витраті води до 1 м³/с за формулою

$$Q_{\max}/Q_{\min} = 4 \quad (3.4)$$

Водомірні насадки забезпечують високу точність вимірювання витрати за дотримання таких умов:

– верхнє ребро вхідного та вихідного отворів має бути затоплено не менше ніж на 5 см;



– перегороджуюча стінка, де встановлюється насадок, розташовується перпендикулярно до осі потоку, а вісь насадка в плані має співпадати з віссю потоку;

– пониження дна каналу в місці влаштування насадка при заглибленні необхідно виконати плавним (див. рис.3.1);

– при мінімальній витраті величина гідравлічного перепаду має становити не менше 3-4 см, а при максимальній витраті – не більше 40 см.

Водомірні насадки виконуються з металу або бетону, перегороджуюча стінка – з цегли або бетону. До недоліків відносимо те, що працюють тільки в затопленому режимі та створюють підпір у верхньому б'єфі.

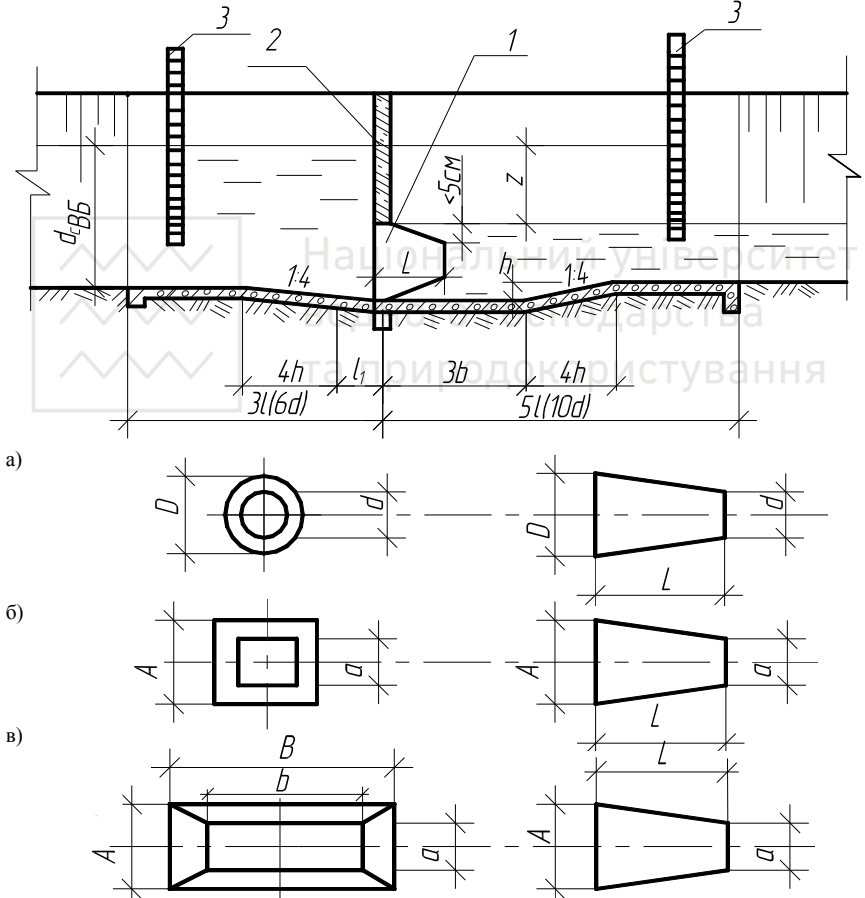


Рис. 3.1. Схема установки водомірної насадки та їх типи:

а) круглі; б) квадратні; в) прямокутні.

1 – водомірна насадка; 2 – перегороджуюча стінка; 3 – водомірні рейки.



Гранична відносна похибка вимірювання витрат води складає $\pm 4,8 \%$, приведена – 3% , імовірна – $3,2 \%$.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити будову та технологію вимірювання витрат за допомогою збіжних водомірних насадок.
2. Визначити залежно від конструктивних особливостей лабораторної установки розміри водомірного насадка та намалювати його схему.
3. Розрахувати перепад рівнів Z між б'єфами виходячи з даних водомірних рейок.
4. Обчислити витрату води, що проходить через водомірний насадок при різних напорах і перепадах.
5. Усі дані занести у відповідний журнал обліку води (табл. 3.1).
6. Побудувати графік залежності $Q=f(Z)$.
7. За отриманими результатами сформулювати висновок.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка представляє собою модель ділянки каналу з встановленою перегороджуючою стінкою, що є прямолінійною з кріпленням укосів і дна на відстані $3l$ ($6d$) вище перегороджуючої стінки і $5l$ ($10d$) нижче її (l – довжина насадка; d – діаметр насадка). Перегороджуюча стінка виконується більшою за поперечний переріз каналу з метою не допуску розмиву і фільтрації. Уся ділянка каналу, до і після споруди, повинна бути виконана з похибкою не більше $0,5\%$.

Таблиця 3.1

ЖУРНАЛ

вимірювання витрат води за допомогою водомірного насадка

Дата проведення вимірювань _____

Тип насадка	Розміри	Перепад рівнів Z , м	Витрати води Q , м ³ /с

Контрольні запитання

1. Назвіть галузь використання водомірних насадок?
2. Назвіть типи та в якому режимі працюють водомірні насадки?
3. За якою формулою визначається витрата води?
4. Які дані необхідні для визначення витрат водомірними насадками?



«Вимірювання витрат води за допомогою пристроїв з місцевими опорами води (приставки, насадки)»

Мета роботи: вивчити конструкцію водомірних пристроїв з приставками, умови їх застосування і набути навички та технології вимірювання витрат води.

Основні теоретичні положення

1. Принцип дії і конструкція водомірних постів з місцевими опорами води – трубчастими водомірами

Суть вимірювання витрати води трубчастим водоміром з місцевим опором (ТРВ) полягає в тому, що використовуючи місцеві опори води у вигляді типових водомірних пристроїв для трубчастих водовипусків створюють додатковий перепад напору води з подальшим визначенням витрати води.

Загальна схема споруди трубчастого водовипуску з облаштуванням додаткового пристрою опору у формі конічного насадку показана на рис. 4.1. На виході труби можуть також встановлюватися: конічний пристрій з циліндричним кільцем (рис. 4.2 а), звуження типу Вентурі (рис. 4.2 б), сегментне звуження - напівциліндром (рис. 4.2 в).

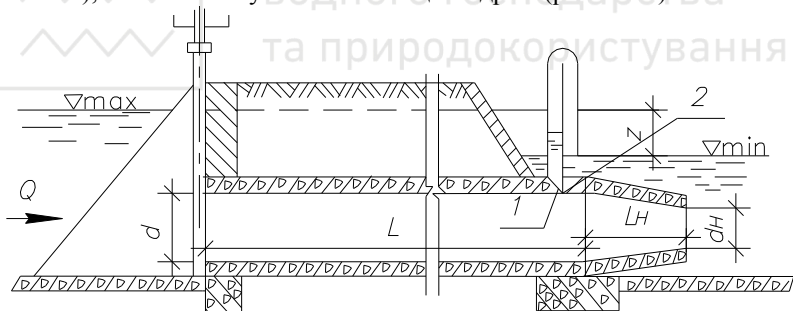


Рис. 4.1. Схема трубчастого водоміра з конічним насадком:

1, 2 – отвори для вимірювання перепаду напору води на місцевому звуженні.

Для визначення витрати води водомірним пристроєм з місцевим опором води використовується формула загального виду:

$$Q = \mu \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Z}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.1)$$

де μ – коефіцієнт витрати, z – перепад тиску в місці звуження;

S – площа живого перерізу додаткового опору в місці звуження.

Коефіцієнт витрати води для ТРВ з насадком і кільцем дорівнює 0,98, з напівциліндром – 0,71, зі звуженням типу Вентурі – 0,63.



2. Умови застосування водомірних пристроїв з місцевим опором:

- обов'язкове затоплення виходу труби при мінімальному рівні води в нижньому б'єфі і забезпечення напірного режиму витoku;
- довжина прямолінійної ділянки труби від щита до звуження – $6d$;
- перепад води між нижнім і верхнім б'єфом – $0,02-0,6$ м;
- діапазон максимальної і мінімальної зміни витрати - $3:1...5:1$.

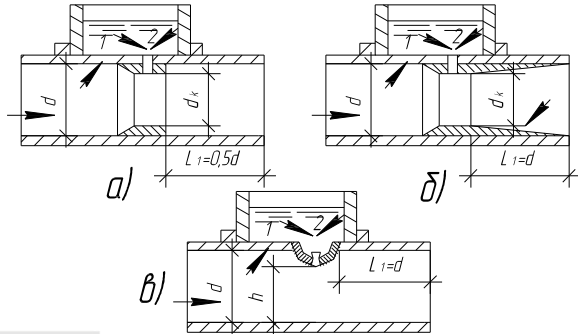


Рис. 4.2. Схема звужень з місцевим опором води водомірних пристроїв:
а – з кільцем, б – зі звуженням типу Вентурі, в – з напівциліндром
1,2 – отвори для вимірювання перепаду напору води на місцевому звуженні.

На гідромеліоративних системах найбільш розповсюджені трубчасті водоміри з насадком конічної форми з параметрами $l_n = d_n$; діаметр вихідного перетину звуження $d_n = 0,74d$.

Основні розміри водомірів з конічним насадком для встановленого діапазону витрат наведені в табл. 4.1.

Точність вимірювання витрат за допомогою трубчатих водомірів (ТРВ) становить $\pm 4...6$ %. Використовують водоміри, в основному, на внутрішньогосподарській мережі.

3. Умови установки та експлуатація споруд з трубчастими водомірами

Перепад води вимірюють при установці водоміра з насадком, як різницю п'єзометричного тиску перед насадкою і рівнем води в нижньому б'єфі безпосередньо за насадком; для водоміра з кільцем та із звуженням типу Вентурі – як різницю тиску в перетині вище конічної частини кільця на відстані $0,1d$ і в перетині труби; для водоміра з напівциліндром – як різницю тиску перед звуженням і в звуженні.

При експлуатації водомірних споруд потрібно своєчасно проводити ремонтні роботи (очистка від наносів, фарбування тощо), а також нівелювання водомірних постів. Автоматизацію обліку води проводять за допомогою водовимірювальних приладів, які працюють за принципом вимірювання перепаду рівнів або тиску води (ВДП, СВН, ДРС).



Діапазони зміни витрат та розміри конічних насадок

Витрата води, м ³ /с		Перепад тиску, Z , при Q_{\max} , см	Розміри насадок, см	
максимальна	мінімальна		D	$d_n = l_n$
0,08	0,02	16	30	22,6
0,10	0,02	25	30	22,6
0,16	0,04	25	40	28,6
0,20	0,05	16	50	36,0
0,25	0,06	25	50	36,0
0,40	0,08	16	70	51,0
0,80	0,20	25	90	64,0
1,00	0,25	25	100	72,0

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити будову та технологію вимірювання витрат за допомогою пристроїв з місцевими опорами води.
2. Визначити залежно від конструктивних особливостей лабораторної установки розміри місцевого опору та намалювати його схему.
3. Розрахувати перепад рівнів Z між б'єфами виходячи з даних водомірних рейок.
4. Обчислити витрату води, що проходить через водомірний пристрій при різних напорах.
5. Усі дані занести у відповідний журнал обліку води (табл. 4.2).
6. Побудувати графік залежності $Q=f(Z)$.
7. За отриманими результатами сформулювати висновок.

Опис лабораторної установки

Лабораторна установка представляє собою модель ділянки каналу з встановленою моделлю трубчастого водовипуску з набором водомірних пристроїв на виході у вигляді конічного насадка, циліндричного кільця, звуження типу Вентурі, з напівциліндром. На водовипуску встановлено водовимірювальний прилад.

Таблиця 4.2

Журнал

обліку води трубчастим водоміром з конічним насадком

Дата проведення вимірювань _____

Тип місцевого опору	Характерні розміри	Перепад рівнів Z , м	Витрати води Q , м ³ /с



Контрольні запитання

1. Якими типами пристроїв місцевого опору обладнуються трубчасті водовипуски для визначення витрати води?
2. Яка конструкція трубчастого водоміра?
3. Які умови застосування трубчастого водоміра?
4. Як визначається Z на водомірі?
5. За якою формулою визначається витрата води на водомірних пристроях з місцевим опором води?
6. В якому режимі має працювати пристрій місцевого опору в споруді?
7. В якому діапазоні можуть змінюватися максимальна і мінімальна витрати без зміни точності вимірювання?
8. Яка точність вимірювання трубчастих водомірів з місцевим опором?





«Вимірювання витрат води за допомогою ультразвукових витратомірів»

Мета роботи: вивчити конструкцію, умови застосування і набути навички вимірювання витрат води ультразвуковими витратомірами.

Основні теоретичні положення

1. Принцип дії ультразвукових витратомірів

Витратомір УЗР-В є складним електроакустичним приладом, який забезпечує зручність і високу точність безконтактного виміру витрат і об'єму стоку води в напірних трубопроводах та перетворення витрат води в електричний сигнал, що дозволяє включати прилад в автоматизовані системи управління водорозподілом води на закритих зрошувальних системах.

Принцип дії витратомірів базується на зміні швидкості розповсюдження ультразвукового сигналу в середовищі, що рухається залежно від значення складової швидкості цього середовища (води) в напрямку розповсюдження ультразвукового сигналу. Структурна схема витратоміра з лічильником, що реалізує цей принцип, наведена на рис. 5.1.

З двох сторін трубопроводу діаметром d , по якому перекачують воду зі швидкістю v , встановлені п'єзоелектричні перетворювачі ПП1 і ПП2 під кутом α до осі трубопроводу. За допомогою високочастотних кабелів 1 і 2 ПП1 і ПП2 з'єднані з вимірювальним приладом. ПП1 і ПП2, які перетворюють електричні імпульси в акустичні і навпаки, виконують роль давачів і приймачів ультразвукових сигналів.

Вимірювання осередненої швидкості течії води з трубопроводу здійснюється таким чином. Електричні імпульси з формувача Ф1 надходять до ПП1, який перетворює його в акустичний сигнал. Цей сигнал проходить через воду і приймається ПП2 через час t_1 :

$$t_1 = l / (c + v_1) \quad (5.1)$$

де l – відстань між ПП1 і ПП2, м;

c – швидкість ультразвуку у воді, м/с;

v_1 – проекція вектора швидкості води на напрямок розповсюдження ультразвукового сигналу, м/с.

Прийнятий ПП2 акустичний імпульс перетворюється в електричний і надходить до вимірювально-управляючого блоку (ВУБ), підсилюється і знову через формувач Ф1 надходить до датчика ПП1.

Процес проходження сигналу повторюється. Таким чином, виникає автоциркуляція імпульсів по контуру, показаному на рис. 5.1 суцільними стрілками, з частотою:



$$F_1 = 1/t_1 = (c + v_1)/l \quad (5.2)$$

де F_1 – частота автоциркуляції імпульсів, Гц.

Аналогічно проходить автоциркуляція імпульсів і по контуру, що показаний пунктирними стрілками. При цьому електричний імпульс з формувача Ф2 надходить на датчик ПП2, який перетворює його в акустичний сигнал. Він переходить через воду і приймається ПП1 через час t_2 :

$$t_2 = l/(c - v_1) \quad (5.3)$$

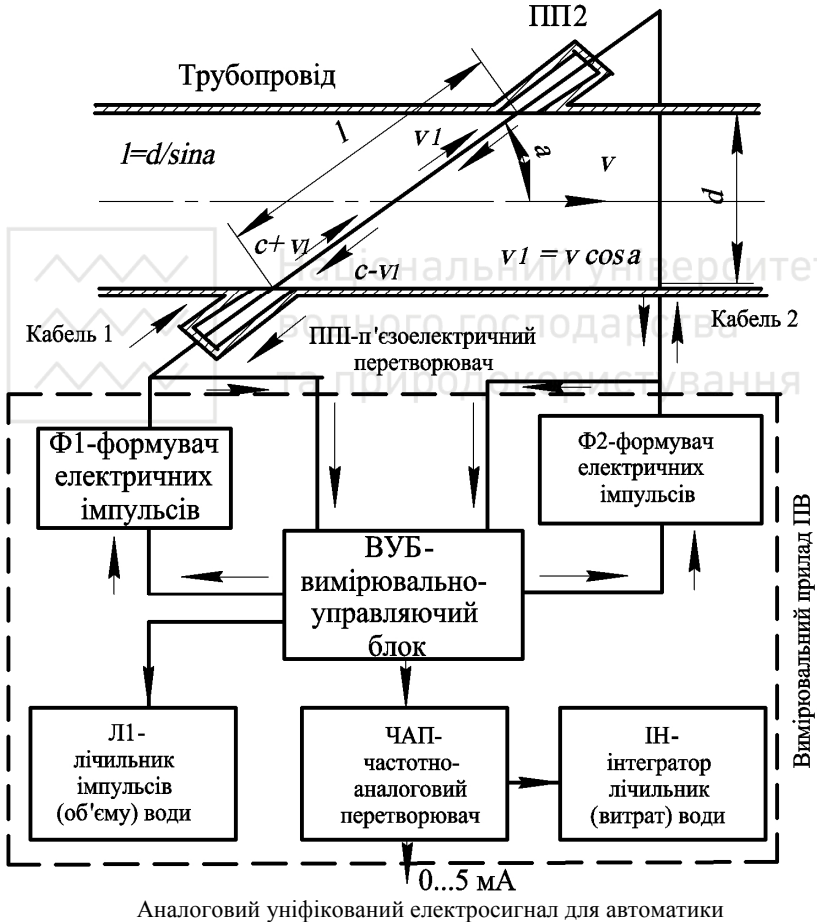


Рис. 5.1. Структурна схема ультразвукового витратоміра УЗР-В з лічильником «Акустрон»



Потім перетворюється в електричний імпульс і надходить до ВУБ, підсилюється і знову через Ф2 надходить до ПП2. Процес повторюється. У другому синхрокільці автоциркуляція проходить з частотою F_2 :

$$F_2 = 1/t_2 = (c - v_1)/l \quad (5.4)$$

Обидва синхрокільця одночасно роблять в одному електронно-акустичному каналі. Роботою синхрокільця керує пристрій управління ВУБ, який забезпечує їх синхронізацію та з допомогою системи автопідстройки – жорстку прив'язку частот генераторів імпульсів до частот синхроколець.

Вимірювально-управляючий блок виділяє збільшену в 100 разів різницеву частоту:

$$\Delta F = 100 \cdot (F_1 - F_2), \text{ Гц} \quad (5.5)$$

Підставляючи у вираз 5.5 формули 5.2 і 5.4, $v_1 = v \cos \alpha$ та $l = d/\sin \alpha$, одержуємо:

$$\Delta F = 100 \cdot [(c + v_1)/l - (c - v_1)/l] = 100 \cdot 2v_1/l = 100 \cdot v \cdot 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha / d.$$

Оскільки $2 \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \sin 2\alpha$, а при $\alpha = 45^\circ \sin 2\alpha = 1$, то:

$$\Delta F = \frac{100 \cdot v}{d} \quad (5.6)$$

Звідси видно, що різницєва частота лінійно залежить від швидкості води в трубопроводі і не залежить від швидкості ультразвуку в воді і зміни властивостей води. Таким чином, швидкість води в трубопроводі із формули 5.6: $v = \Delta F \cdot d/100$, а витрати води:

$$Q = v S = \Delta F d \pi d^2 / 400 = 0,00025 \cdot \pi \cdot d^3 \cdot \Delta F, \quad (5.7)$$

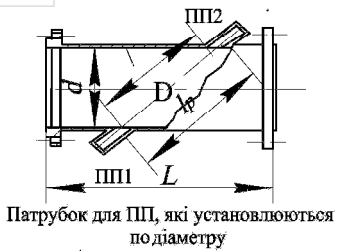
де $S = \pi d^2/4$ - площа поперечного перетину трубопроводу, м^2 .

Послідовність імпульсів різницевої частоти ΔF від ВУБ надходить на частотноаналоговий перетворювач ЧАП, який лінійно перетворює її в аналоговий сигнал, що подається на інтегратор ІН, проградуїований в одиницях витрат води, що пройшла за певний час. Сигнал, що подається з ВУБ на лічильник імпульсів ЛІ, проградуїований в одиницях об'єму води, яка пройшла по трубопроводу за час роботи витратоміра.

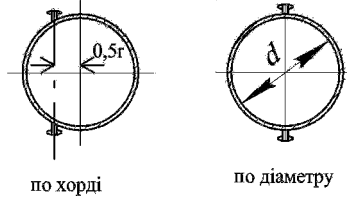
2. Застосування та монтаж витратомірів в трубопроводах

До складу витратоміра з лічильником входять: два п'єзOMETричних перетворювача ПП, вимірювальний прилад ПВ, водомірний патрубок, високочастотний кабель довжиною 75 або 150м, установочний комплект.

П'єзOMETричні перетворювачі для трубопроводів діаметром 400, 600, 800 і 1000 мм встановлюються на відповідних патрубках заводського виготовлення в напрямних втулках, розташованих з двох боків патрубка по хорді його перерізу, зміщеній на 0,5 радіуса від внутрішньої стінки до центру під кутом 45° до осі трубопроводу. Допускається установка ПП і по діаметру (рис. 5.2). На діючих трубопроводах діаметром більше 1000 мм ПП встановлюють в напрямних втулках, приварених безпосередньо до трубопроводу в пункті обліку води.



Патрубок для ПП, які встановлюються по діаметру



по хорді

по діаметру

Схема установки ПП

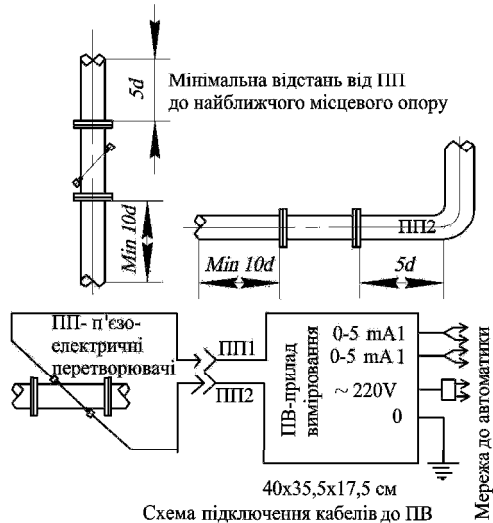


Схема підключення кабелів до ПВ

Рис. 5.2. Витратомір ультразвуковий з лічильником «Акустрон» модуль УЗР-В.

Під час монтажу на трубопроводі вимірний патрубок з ПП іноді утворюється уступ між внутрішніми поверхнями трубопроводу і патрубком внаслідок незбіжності їх внутрішніх діаметрів або ж овальності поперечного перерізу. Утворений таким чином уступ призводить до похибок вимірювання витрат води. Допустима висота уступу, яка не впливає на метрологічну характеристику витратоміра, $h \leq 0,005 \cdot d$, де d - внутрішній діаметр трубопроводу і патрубка.

Значення мінімальної довжини прямолінійної ділянки трубопроводу від місцевого опору до ПП, вираженої в діаметрах трубопроводу, наведено в табл. 5.1. Якщо значення місцевого опору або взаємодіючої комбінації їх не наведено в таблиці, то довжина прямолінійної ділянки до ПП повинна бути не меншою 80 діаметрів трубопроводу. Відстань від ПП до найближчого місцевого опору нижче за течією води повинна бути не менше 5 діаметрів трубопроводу.

ПП можуть встановлюватися на горизонтальних, вертикальних або похилих ділянках трубопроводу за умови, що весь об'єм патрубка заповнений водою. Вертикальне положення трубопроводу при подачі води вверх щонайкраще забезпечує заповнення всього перерізу патрубка навіть при малій витраті (див. рис. 5.2).

ПП підключається до вимірного приладу ПВ за допомогою кабелю, що є в комплекті витратоміра. Прокладка кабелю здійснюється повітряним або наземним способом. При повітряному способі кабель закріплюється на

стальному дроті, який захищає його від механічних навантажень. При наземному способі кабель від місця установки ПП до місця розташування ПВ прокладається в заземленій сталій трубі діаметром не менше 40 мм.

Таблиця 5.1

Мінімальна довжина прямолінійної ділянки трубопроводу від місцевого опору до ПП

Місцевий опір	В діаметрах при установці ПП	
	по діаметру	по хорді
Коліно, трійник або хрестовина	25	55
Взаємодіючі коліна, трійники, хрестовини в різних площинах	50	80
Дифузор	22	55
Повністю відкрита засувка	15	30
Повністю відкритий клапан	25	45

Примітка: місцеві опори вважаються взаємодіючими, якщо віддаль між ними не перевищує 15 діаметрів труби.

Вимірювальний прилад встановлюється в горизонтальному положенні на столі в закритому приміщенні. До місця установки ПВ підводиться електрична мережа з напругою 220 В, частотою 50 Гц, а також заземлююча шина.

При відстані ПП до місця установки менше 75 м (150 м) лишок кабелю укладається в бухту поблизу ПВ. Укорочування кабелю, заміна на другий тип або збільшення його довжини без погодження з підприємством-виробником забороняється.

Підприємство-виробник випускає ультразвукові витратоміри з лічильником «Акустрон» чотирьох моделей: УЗР-В-0,4; УЗР-В-0,6; УЗР-В-0,8; УЗР-В-1,0, основні характеристики яких: d - умовний діаметр трубопроводу (патрубка для ПП); L - довжина патрубка; l - відстань між ПП1 і ПП2, розміщених по діаметру або по хорді; Q_e - верхні границі вимірювання витрат води і K_l - коефіцієнт ділення субпанелі масштабування. Допустимий тиск води < 6 МПа, поріг чутливості по швидкості 0,003 м/с, похибка вимірювань $\pm 0,3...0,5\%$, габаритні розміри реєструючого приладу 400x355x175 мм, маса 12 кг.

Витратоміри з лічильниками треба зберігати на механічно стійких стелажах в сухому складському приміщенні з відносною вологістю повітря не вище 95%, температурою від -40° до +60°С. У такому приміщенні не допускається наявності різних лугів, кислот і інших подібних речовин.

Перевозять витратоміри в пакувальних ящиках, укріплених так, щоб не було їх зміщення і ударів один об одного. Перевезення автомобільним транспортом допускається шосейними дорогами зі швидкістю до 60 км/год, ґрунтовими - до 20...40 км/год.



3. Порядок експлуатації витратомірів

Вимірювальний прилад включають після заповнення патрубку водою, перевірки наявності заземлення і відповідності зовнішньої електричної мережі характеристикам, які потрібні для живлення приладу. При цьому на індикаторі «Режим» повинен світитися знак «З», який сигналізує про роботу ПВ в режимі вимірювання. За наявності витрати води в трубопроводі стрілка індикатора «Расход» відхиляється від нульового положення, працює лічильник «Объем», точка індикатора «Режим» мерехтить з частотою, пропорційною витраті. За відсутності води або неповному заповненні патрубку на індикаторі «Режим» світиться знак «П».

За допомогою засувки перекривається подача води в трубопроводі і показів водоміра; стрілка індикатора «Расход» повинна знаходитися в нульовому положенні, а лічильник «Объем» не повинен працювати. При закритих засувках і наявності показання індикатора «Расход» можна зробити висновок про якість герметизації трубопроводу, заглушки і кількості витрат внаслідок витікання води.

Витрати води визначаються за формулою

$$Q_{st} = n_1 y, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.8)$$

де Q_{st} - витрати води в трубопроводі, $\text{м}^3/\text{с}$;

n_1 - покази стрілки в поділках шкали індикатора «Расход»;

y - коефіцієнт градування шкали індикатора «Расход»:

$$y = Q_e / 100, \quad (5.9)$$

де Q_e - верхня границя вимірювання витрати води, $\text{м}^3/\text{с}$.

Значення коефіцієнта y знаходиться на панелі «X $\text{м}^3/\text{с}$ » під стрілочним показником «Расход» на передній панелі. Визначення витрат води за допомогою частотоміра, підключеного до роз'єму «Импульсный выход» на задній панелі витратоміра, здійснюється за формулою

$$Q = \varphi F, \text{ м}^3/\text{с} \quad (5.10)$$

де F - показання частотоміра, Гц;

φ - коефіцієнт перетворення, м^3 , визначається за формулою

$$\varphi = S \cdot l \cdot (l + 2ct) / (200 \cdot K_v \cdot l_p \cdot \cos \alpha), \quad (5.11)$$

де S - площа поперечного перерізу труби (патрубку), в якій розміщені ПП, м^2 ;

l - відстань між ПП1 і ПП2, м;

l_p - довжина активної частини акустичного каналу, м;

α - кут нахилу осі акустичного каналу до напрямку течії води (твірної труби), град.;

t - час затримки в спільних елементах синхроколець, сек;

c - швидкість ультразвуку у воді, 1430 м/с;

K_v - гідродинамічний коефіцієнт.

Зазначені параметри визначаються відповідно методичним вказівкам "Государственная система обеспечения единства измерений. Расходомеры



ультразвукові со счетчиком «Акустрон», модель УЗР-В. Методика проверки. МИ 1652-87».- Казань: КФ ВНИИФТРИ, 1986.

Об'єм води, яка пройшла по трубі (патрубку), визначається за формулою

$$V = n_2 \beta, \quad (5.12)$$

де V - об'єм води, яка пройшла по патрубку до моменту вимірювання, м³;

n_2 - покази лічильника «Объем»;

β - коефіцієнт градування лічильника «Объем», м³:

$$\beta = 1000 K_i \varphi, \quad (5.13)$$

де K_i - коефіцієнт ділення субпанелі.

Коефіцієнт P заноситься на планку «х - т³» під лічильником "Объем".

Пусконаладжувальні роботи з витратомірами і лічильниками, настроювання і регулювання їх виконується підприємством-виробником або спеціалістами монтажних бригад. Щоб уникнути порушення метрологічних характеристик, категорично забороняється робити розкриття і які-небудь регулювання неспеціалістами як всередині, так і назовні ПВі ПП. До роботи з витратомірами допускаються особи, що мають спеціальну підготовку в обсязі технічного опису та інструкції з їх експлуатації. У витратомірі є напруга, небезпечна для життя, тому категорично забороняється працювати без захисного кожуха, з незаземленим корпусом, з пошкодженими ПП і кабелями. Забороняється монтаж витратоміра на діючому трубопроводі до повного його спорожнення.

Таблиця 5.2

Можливі несправності ультразвукових витратомірів

<i>Назва несправності, зовнішні прояви і додаткові ознаки</i>	<i>Імовірна причина</i>	<i>Способи усунення</i>
При включенні витратомір не працює.	Відсутня напруга в мережі.	Перевірити мережу. Замінити запобіжник. Замінити кабель живлення.
За наявності води в трубопроводі на індикаторі «Режим» світиться знак «П».	Патрубок не заповнений водою. Обрив кабелю в т.ч. забруднені робочі поверхні ПП.	Забезпечити заповнення патрубку. Замінити кабель в т.ч. протерти ПП.
Покази витратоміра невірні.	Не забезпечене заповнення патрубку. Повітряні (газові) бульки в воді. Несправний витратомір.	Забезпечити заповнення патрубку. Усунути повітряні (газові) бульки. Замінити витратомір.

Технічне обслуговування витратомірів з лічильниками проводиться при первісній і періодичних перевірках, а також після тривалого зберігання їх.



Рекомендовані види і строки технічного обслуговування:

- візуальний огляд - кожні 6 місяців;
- зовнішня частина - кожні 6 місяців;
- перевірка і градування - не рідше одного разу на рік.

Перевірка витратомірів з лічильниками проводиться в умовах спеціалізованої радіовиміральної лабораторії тільки особами, що пройшли спеціальну підготовку.

Перелік можливих несправностей і способів їх усунення наводиться в таблиці 5.2, яка наведена вище.

Порядок виконання лабораторної роботи

1. Вивчити будову та технологію вимірювання витрат за допомогою ультразвукових витратомірів.
2. Визначити тип ультразвукового витратоміру, його конструктивні особливості та будову водомірного вузла.
3. Зафіксувати дані щодо витрат води у трубопроводі з інтервалом у 2 хв та занести дані у відповідний журнал обліку води (табл. 5.3).
4. Побудувати графік залежності $Q=f(t)$.
5. За отриманими результатами сформулювати висновок.

Опис лабораторної установки

Лабораторна робота проводиться в навчальному корпусі №6 в тепловому пункті університету. З метою здійснення комерційного обліку спожитої гарячої води в системі опалення навчальних корпусів встановлені ультразвукові витратоміри на вхідному та вихідному трубопроводах. Для контролю за температурою води яка надходить та скидається з системи опалення додатково встановлені температурні датчики. На рис. 5.3 показані встановлені п'єзометричні перетворювачі на трубопроводі з датчиком температури.

Для автоматизації вимірювання витрати застосований вторинний прилад вітчизняного виробництва, фірми «Семпал», який дозволяє в автоматичному режимі фіксувати витрату, об'єм та температуру води, яка надходить та скидається з системи тепlopостачання. Зовнішній вигляд приладу «Семпал» представлений на рис. 5.4.

Крім цього, вторинний прилад в автоматичному режимі здійснює обчислення кількості спожитої теплоти в Г кал. Цей прилад, температурні датчики та п'єзометричні перетворювачі підлягають обов'язковій повірці в Держметрології України. Конструкція приладу дозволяє зберігати отриману інформацію протягом всього опалювального періоду, та можливість роздрукувати шляхом підключення принтера до пристрою, або передати до комп'ютера через модемний або провідний зв'язок.



Рис. 5.3. П'єзометричні перетворювачі на трубопроводі з датчиком температури.



Рис. 5.4. Зовнішній вигляд приладу «Семпал».

Таблиця 5.3

Журнал обліку води ультразвуковим витратоміром

Дата	Час	Витрата води Q , м ³ /с

Контрольні запитання

1. Яка конструкція ультразвукового витратоміра?
2. В чому полягає принцип дії витратоміра?
3. Які умови застосування і монтажу витратоміра?
4. Які вимоги техніки безпеки при експлуатації витратоміра?
5. Які можуть бути несправності в роботі витратоміра?
6. Як здійснюється налагоджування та контроль правильності роботи витратоміра?



1. Водомерные устройства для гидромелиоративных систем /М.В. Бутырин, А.Ф. Киенчук и др. – М., Колос, 1982.
2. Хамадов И.Б., Бутырин М.В. Гидрометрия в ирригации. – М., 1975.
3. Овчаров Е.Е., Захаровская Н.Н. Гидрология и гидрометрия. – Л., Гидрометеиздат, 1986.
4. Лобачев П.В., Шевелев Ф.А. Водомеры для водопроводов и канализации. – М., Изд-во литературы по строительству, 1964.
5. Эксплуатация гидромелиоративных систем / Под. ред. Н.А. Орловой. – К., Вища школа. Головное издательство, 1985.
6. Алтунин В.С., Белявцева Г.М.. Приборы и устройства в гидромелиорация. – М., Агропромиздат, 1989.
7. Государственная система обеспечения единства измерений. Расходомеры ультразвуковые со счетчиком «Акустрон», модель УЗР-В. Методика поверки. – Казань : КФ ВНИИФТРИ, 1986.
8. Рекомендации по применению водомерных устройств на мелиоративных системах. – К., УкрНДИГиМ, 1978.
9. Науково-виробниче об'єднання «Водомер». Ультразвукові витратоміри. – Режим доступу: <http://www.vodomer.com.ua/page-production.html>.
10. Товариство з обмеженою відповідальністю «Взлет-Україна». Ультразвукові витратоміри. – Режим доступу: <http://vzljot.in.ua/production/>.
11. Товариство з обмеженою відповідальністю «Семпал Ко Лтд». Ультразвукові витратоміри. – Режим доступу: <http://www.sempal.com/navigate.html>.
12. Товариство з обмеженою відповідальністю «Уж - автоматизація». Засоби автоматизації вимірювання рівнів води. – Режим доступу: <http://automation.uz.ua/catalog.php?id=18&>.