



KAPITEL 9 / CHAPTER 9 ' 9

APPLICATION OF ULTRASONIC FLOW METER IN THE INFLUENCE ZONE OF INDIRECT SECTIONS OF THE WATER SUPPLY

DOI: 10.30890/2709-2313.2023-22-01-026

Вступ

В інженерній практиці ультразвукові витратоміри (УЗВ) застосовуються для вимірювання витрат води у напірних трубопроводах різних діаметрів. Основною перевагою такого методу є зручність використання УЗВ, адже вони не вимагають додаткових монтажних робіт на трубопроводі, на відміну від, наприклад, вимірювальних діафрагм. Також перевагою таких приладів є достатньо висока точність вимірювання витрати (до 1%), про що зазначається у їх технічних паспортах. Проте потрібно пам'ятати, що точність може залежати від умов і стану трубопроводу, а також терміну експлуатації приладу. Що стосується ультразвукового визначення витрати води, то цей метод не є безпосередньо тільки вимірювальним, а частково розрахунковим, зокрема, при визначенні швидкості потоку води та площі поперечного перерізу трубопроводу. Точність цих характеристик, а отже і витрати води, може становити 3...5%, що є прийнятним для практики і комерційного обліку.

9.1. Постановка задачі.

У практиці ультразвукового методу вимірювання швидкості руху води, передбачено використання ультразвукових вимірювачів часового типу, в яких різниця у часі розповсюдження звукового імпульсу від стінок труби вздовж потоку та проти потоку пропорційна швидкості руху води. Щодо установки УЗВ на водопровідну мережу, то у їх технічній документації зазначається, що для отримання достовірних результатів трубопровід повинен мати наявну пряму ділянку певної довжини. Однак часто буває так, що виміряти витрату води УЗВ доводиться в невеликих закритих приміщеннях, де немає прямої ділянки необхідної довжини. При цьому інформація щодо абсолютних чи відносних значень зниження точності вимірювань витрати води у разі розміщення УЗВ у зонах впливу непрямих ділянок водопроводу відсутня. Тому дослідження ступеня впливу непрямих ділянок водопроводу на точність

⁹*Authors: Bosak Mykola Panasovych, Matlai Ivan Ivanovych*



вимірювання витрати води УЗВ є актуальним завданням.

Основною метою дослідження є встановлення можливості використання УЗВ в зонах впливу непрямих ділянок водопроводу (повороти, звуження, відгалуження та ін.) шляхом вимірювання витрати води в двох площинах.

9.2. Огляд літературних джерел.

Серед відомих сучасних методів вимірювання витрати води, ультразвуковий відрізняється надійністю роботи, зручною діагностикою та широким діапазоном вимірювань. За принципом роботи УЗВ поділяються на: частотні, фазові, одноканальні та багатоканальні (1). Вважається, що використання УЗВ є перспективним для комерційного обліку споживання води (2), оскільки вони мають досить високу точність, однак такі прилади все ще досить дорогі. У науковій праці (3) представлено результати досліджень точності УЗВ при вимірюванні витрати води у річці. Розбіжність між витратами, отриманими за допомогою ультразвукового приладу та гідрометричного млинка, не перевищувала 5%. Ультразвукові витратоміри забезпечують достатню точність вимірювання витрати води при їх установці на прямій ділянці трубопроводу, де профіль швидкостей води у поперечному перерізі труби є симетричним (4, 5, 6).

Збільшенням кількості пар датчиків, можна досягти більш точного врахування профілю швидкості води у поперечному перерезі трубопроводу (7). Але не рекомендується використовувати більше ніж чотири акустичних канали (7), оскільки програмне оброблення інформації УЗВ стає складнішим, а помилка вимірювання зменшується незначно ($\pm 0,1\%$). Швидкість звукових сигналів між ультразвуковими датчиками збільшується у напрямку потоку води і зменшується у протилежному напрямку.

У науковій праці (8) досліджувалося розподіл швидкості газу у семи перерізах на ділянці згину трубопроводу. Під час дослідження датчики були встановлені під різними кутами відносно перерізів трубопроводу. Було встановлено, що похибка вимірювання однопроменевого УЗВ з діаметральними акустичними каналами під кутом 45° або 135° у меншій мірі залежить від впливу згину трубопроводу на відстані УЗВ від $30d$ до $100d$ після згину трубопроводу на 90° . Таке розташування датчиків дозволяє отримати помилку при вимірюванні витрати, яка не перевищує 1%. Автори стверджують, що однопроменеві УЗВ не забезпечують надійних та точних



вимірювань при умовах спотвореного профілю швидкостей потоку.

У роботі (9) також проведено оцінку впливу профілю швидкості потоку на похибки вимірювання УЗВ. Авторами виконано чисельне моделювання процесу роботи УЗВ для гідравлічного опору, розташованого на різних відстанях від витратоміра, що дозволило визначити необхідну довжину прямої ділянки до місця розташування УЗВ.

Наукова робота (10) присвячена дослідженню зменшення похибки вимірювання однопроменевих та багатопроменевих УЗВ шляхом їх удосконалення. Окремо досліджувалося питання підвищення точності вимірювань УЗВ, які оснащені спеціальним модулем, що фіксує різницю кількох імпульсів в одному пакеті даних (11).

У роботі (12) за допомогою лабораторних експериментів та чисельних гідродинамічних моделей досліджено характеристики роботи УЗВ в неідеальних умовах (після повороту трубопроводу) на трубопроводі радіусом 300 мм. Порівнюючи профілі швидкості з профілями ідеального потоку, було застосовано метод і формулу для корекції результату вимірювання. Похибка вимірювання, яка раніше становила 16%, зменшилася до 2%.

Деякі дослідники УЗВ (13) пропонують зменшити кількість електронних розрахунків у цих приладах. У результаті його необхідна потужність зменшиться, а додаткових похибок, які виникають у такому модифікованому наближеному методі, позбуваються математичними процедурами. Такі УЗВ найбільш підходять для вимірювання швидкостей і витрат газових потоків.

Переносні УЗВ вигідно використовувати на об'єктах водопостачання, де багато індивідуальних водозабірних свердловин (14), або промислових водокористувачів (15). На таких об'єктах, як правило, немає ідеальних умов для прямої ділянки трубопроводу, тому може бути корисним внести відповідну корекцію результатів УЗВ вимірювання.

У проаналізованих публікаціях недостатньо досліджень та інформації щодо застосування УЗВ у зоні впливу непрямих ділянок водопроводів. Тому обрана нами для дослідження тематика досить актуальною з точки зору практичного застосування УЗВ.

9.3. Методика досліджень.

При лабораторних дослідженнях було проведено серію експериментів з оцінки впливу різних типів непрямих ділянок трубопроводів на точність вимірювань витрат потоку ультразвуковим витратоміром «Дніпро-7У»: вплив



повороту трубопроводу на 90° (рис. 3); вплив раптового звуження трубопроводу від діаметра $d_y = 100$ мм до $d_y = 75$ мм (рис. 2); вплив відгалуження трубопроводу під кутом 90° (рис. 2).

Перед початком досліджень було проведено паралельний контроль точності вимірювань УЗВ з результатами вимірювань стандартизованого (90°) трикутного водозливу (рис. 1). Вимірювання витрати УЗВ проводили на водопроводі діаметром $d_y = 100$ мм в діапазоні витрат води $0,95 \dots 4,70$ $\text{дм}^3/\text{с}$.

Напір води H на трикутному водозливі вимірювали голчастим рівнеміром з точністю $0,5$ мм. Витрата води Q , яка протікала через трикутний водозлив визначалась за формулою (16):

$$Q = 1,4H^{2,5}. \quad (1)$$

де H – напір води на мірному трикутному водозливі, м.

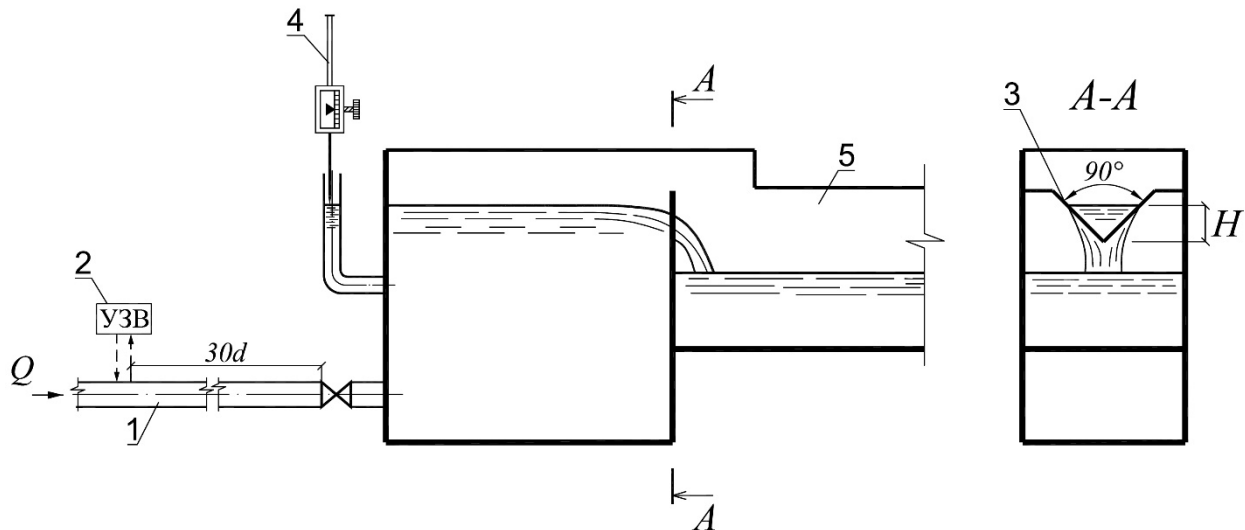


Рис. 1. Схема вимірювання витрати води в трубопроводі з використанням УЗВ «Дніпро-7У» та мірного водозливу: 1 – напірний водопровід; 2 – ультразвуковий витратомір; 3 – мірний трикутний водозлив; 4 – голчастий рівнемір; 5 – відвідний лоток

Методику вимірювання витрати води у напірному трубопроводі прийнято згідно з інструкцією по експлуатації УЗВ «Дніпро-7У». У кожному досліді після стабілізації витрати води знімали $6 \dots 8$ показів УЗВ, з яких брали середнє значення витрати води у трубопроводі.

Відхилення значень витрат води, виміряних двома методами, незначні, в межах $0 \dots 5,2\%$, що в абсолютних величинах складало $0 \dots 0,13$ $\text{дм}^3/\text{с}$. Слід також враховувати, що точність розрахунків при визначенні витрати води на мірному водозливі не є абсолютною і знаходиться в межах $1 \dots 5\%$. Таким чином, точність вимірювання витрати води УЗВ «Дніпро-7У» підтверджена і



відповідає його паспортним параметрам.

9.4. Результати вимірювань витрат води у водопроводі зі встановленням УЗВ на ділянках впливу поворотів, звужень тощо.

9.4.1. Ділянки перед раптовим звуженням та відгалуженням трубопроводу.

Вимірювання витрати води УЗВ «Дніпро-7У» проводили на відстані $1,5d$ (рис. 2) до раптового звуження трубопроводу від діаметра $d_y = 100$ мм до $d_y = 75$ мм. Перед 90° відгалуженням трубопроводу вимірювання проводились на відстані $4,5d$.

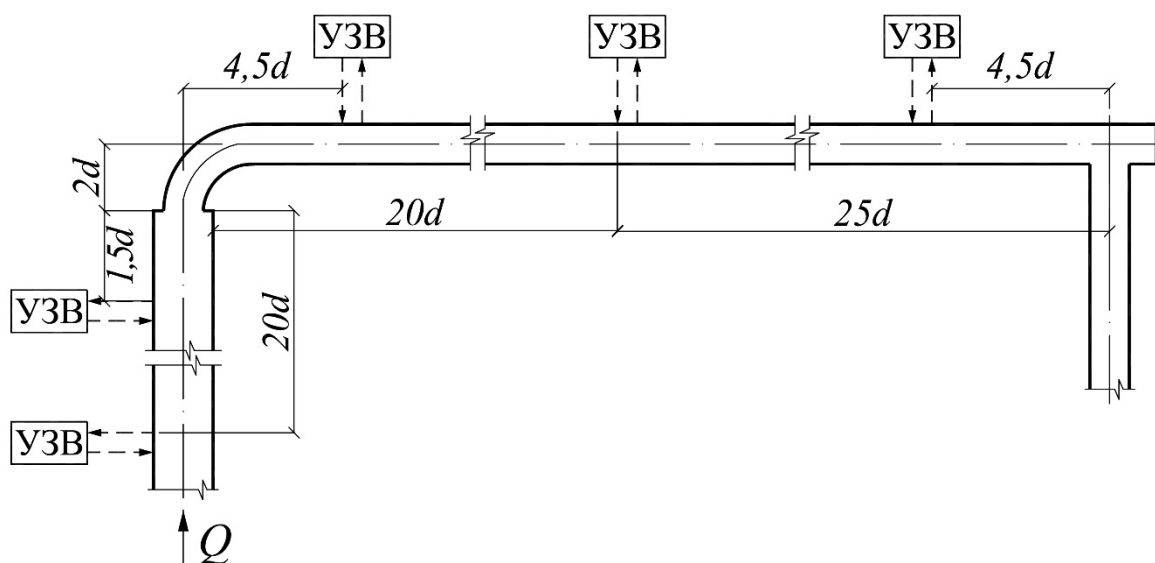


Рис. 2. Схема порівняльних ультразвукових вимірювань на прямих ділянках водопроводу і в зоні впливу непрямих ділянок (до раптового звуження трубопроводу, перед відгалуженням трубопроводу; після повороту 90°)

При вимірюванні витрати води УЗВ до раптового звуження трубопроводу були отримані прийнятні результати з похибкою в межах $1,2 \dots 4,1\%$. При малих і максимальних витратах води в трубопроводі значення похибки зростало до 6% . Здебільшого витрати води, виміряні УЗВ у зоні впливу непрямих ділянок трубопроводу, були нижчими, ніж виміряні на прямих ділянках. Згідно отриманих експериментальних результатів, концентричний перехід (звуження або розширення) на трубопроводі суттєво не змінює профіль швидкості в напірному трубопроводі, навіть на відстані $1,5d$. Тому, можна зробити висновок, що для практичного застосування УЗВ достатньо мати пряму ділянку трубопроводу довжиною в межах $5 \dots 8d$. У схемі експериментального



дослідження за концентричним переходом є поворот трубопроводу на 90° . Дана ділянка певним чином впливала на точність показів УЗВ, однак раптове звуження трубопроводу перед вигином значно зменшувало цей вплив. Тому можна сказати, що наявність концентричного звуження або розширення трубопроводу (перед його поворотом) є стабілізатором профілю швидкості течії води та забезпечує точність вимірювань УЗВ. Враховуючи профілі швидкості в напірних трубопроводах, можна спрогнозувати, що довжина непрямої ділянки впливу на точність вимірювання витрати за допомогою УЗВ, також залежить від величини тиску в даному водопроводі та зменшується для труб більшого діаметру.

Результати експерименту також показали, що в зоні впливу відгалуження трубопроводу точність вимірювань номінальних і максимальних витрат води досить висока, з відхиленням не більше 1...2%. При малих витратах води в трубопроводі похибка вимірювань зростає до 5%. Слід зазначити, що в зоні впливу відгалуження трубопроводу, покази УЗВ зазвичай трохи перевищують фактичні витрати води. Це може бути результатом зміни профілю швидкості - від округлого, характерного для стійкого турбулентного потоку, до витягнутого в зоні впливу відгалуження трубопроводу.

Результати точності експериментальних вимірювань витрати води УЗВ «Дніпро-7У» у зоні впливу раптового звуження трубопроводу та відгалуженням трубопроводу представлені на рис. 5.

9.4.2. Ділянка трубопроводу перед поворотом 90° .

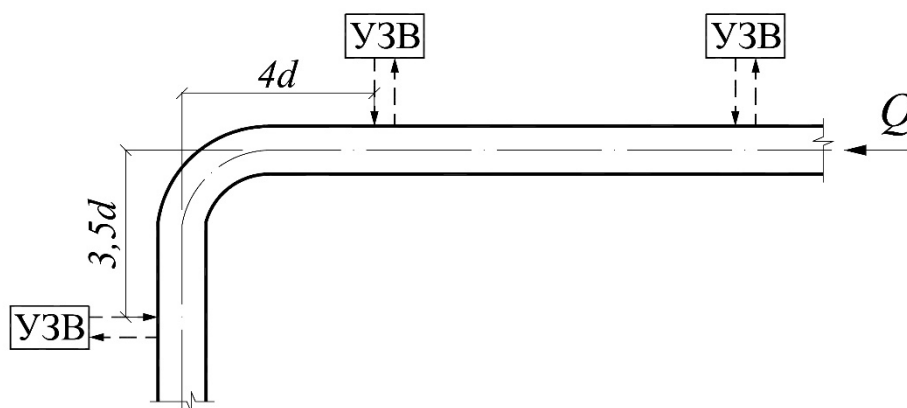
У роботі було також досліджено можливість застосування УЗВ в зоні впливу повороту 90° на трубопроводах діаметрами $d_y = 40$ та $d_y = 80$ мм. Вимірювання витрати води в трубопроводі УЗВ проводили на відстані: $4d$; $3,5d$; $7d$ до та після 90° поворотів (рис. 2-3).

У першому випадку (рис. 3, *a*) вимірювання витрати води за допомогою УЗВ проводили в зоні впливу 90° повороту трубопроводу на відстані $4d$ і $3,5d$.

Результати точності експериментальних вимірювань витрати води УЗВ «Дніпро-7У» у зоні впливу 90° повороту трубопроводу та представлені на рис. 4.



а)



б)

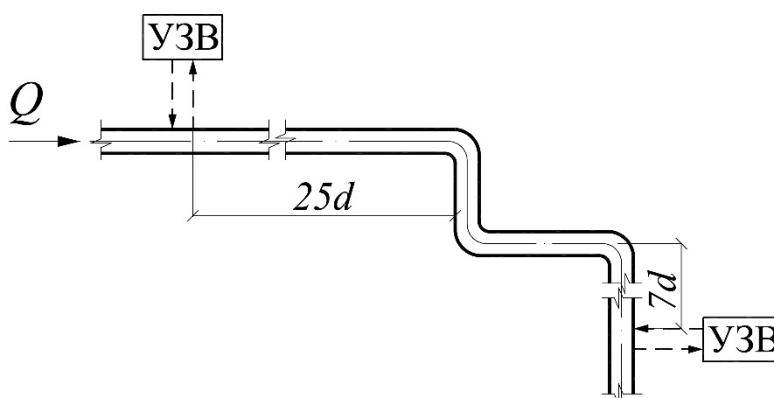


Рис. 3. Схема порівняльних ультразвукових вимірювань на прямих ділянках водопроводу та в зоні впливу непрямих ділянок: а) до і після 90° повороту трубопроводу діаметром $d_y = 80$ мм; б) за 90° поворотом на трубопроводі діаметром $d_y = 40$ мм.

9.4.3. Вертикальні і горизонтальні ділянки після повороту трубопроводу з вимірюванням витрати води у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Похибка вимірювання витрати води УЗВ «Дніпро-7У» після 90° повороту трубопроводу діаметром $d_y = 80$ мм на відстані $4d$ і труби діаметром $d_y = 40$ мм на відстані $7d$ знаходилася в межах $1,4 \dots 17,2\%$. При середніх витратах води похибка вимірювань була в межах $2,4 \dots 5,9\%$. При малих і максимальних витратах води точність вимірювання після повороту труби значно знижується. Вимірювання витрат води УЗВ після повороту трубопроводу та на прямій ділянці на трубі діаметром $d_y = 40$ мм показали близькі результати в діапазоні середніх експлуатаційних витрат води. Похибка вимірювання при малих витратах води становила 14% і більше.

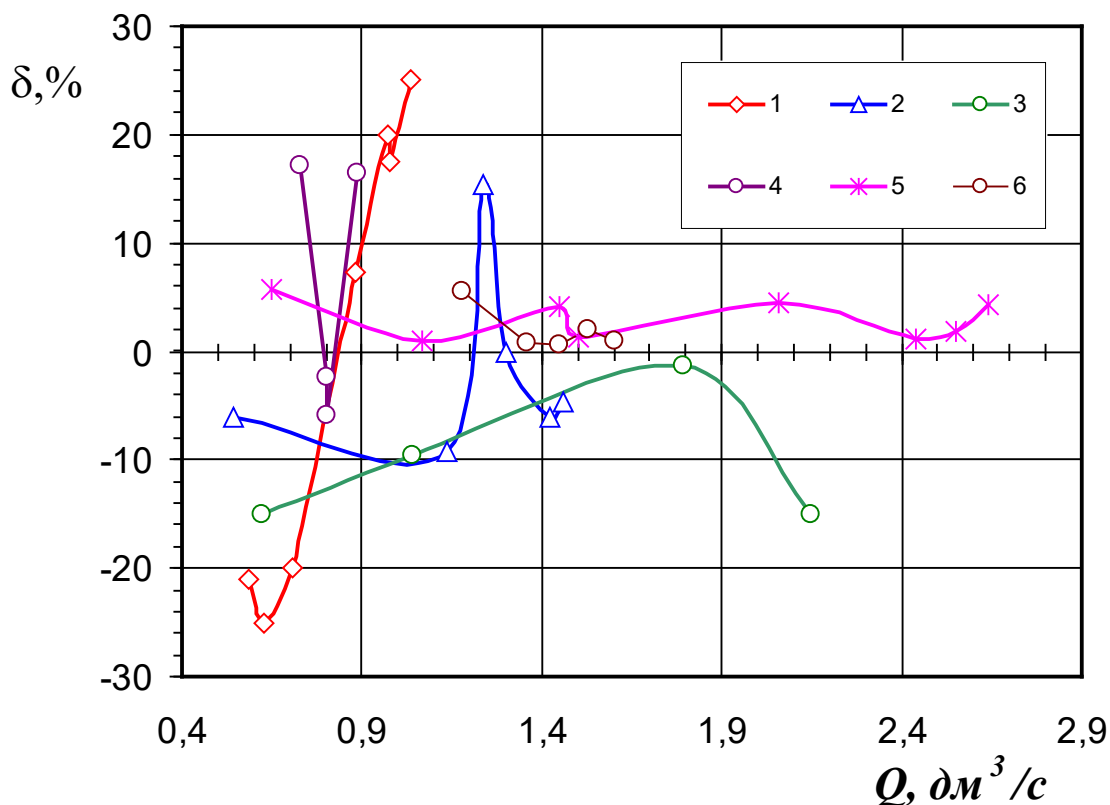


Рис. 4. Похибка вимірювання витрат води УЗВ в зонах впливу непрямих ділянок: 1 – перед 90° поворотом труби $d_y = 80$ мм (рис. 3, а); 2 – після 90° повороту труби $d_y = 65$ мм (рис. 2); 3 – після 90° повороту труби $d_y = 40$ мм (рис. 3, б); 4 – після 90° повороту труби $d_y = 80$ мм (рис. 3, а); 5 – перед раптовим звуженням труби від діаметра $d_y = 100$ мм до $d_y = 75$ мм (рис. 2); 6 – перед 90° відгалуженням труби від діаметра $d_y = 75$ мм (рис. 2)

Точність вимірювання витрати води після повороту на горизонтальній ділянці трубопроводу діаметром $d_y = 65$ мм методом двох взаємно перпендикулярних площин була задовільною і похибка знаходилася в межах 4,6...9,2%. Вища точність вимірювань витрати води на горизонтальній ділянці трубопроводу, ймовірно, зумовлена формою профілю швидкості в цьому напрямку.



Висновки

1. Недоліком ультразвукових витратомірів є те, що вони не здатні точно вимірювати витрату води в разі несиметричного профілю швидкостей потоку. Тому для точного вимірювання витрати води необхідна пряма ділянка трубопроводу певної довжини, яка часто відсутня в реальних умовах експлуатації систем водопостачання.

2. Наявність звуження або розширення водопроводу (перед поворотом трубопроводу) є стабілізатором профілю швидкості води та підвищує точність вимірювань УЗВ. Тому для можливості використання УЗВ перед ділянкою зі зміною діаметра трубопроводу достатньо прямої ділянки довжиною $5-7d$ або коротше з невеликим зниженням точності вимірювань.

3. У зоні впливу відгалуження трубопроводу для вимірювання витрати води допускається використовувати УЗВ методом вимірювання середнього значення витрати у двох взаємно перпендикулярних площинах трубопроводу. При середніх і максимальних витратах води похибка вимірювання становила 1-2%, а при малих – близько 5%.

4. Застосування УЗВ в зоні впливу повороту трубопроводу 90° методом вимірювання середнього значення витрати в двох взаємно перпендикулярних площинах трубопроводу допустимо тільки для малих і середніх витрат води. При великих і максимальних витратах води похибка вимірювань зростає до 20%.