



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 78597

(13) C2

(51) МПК (2006)

G01F 1/66

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД(54) УЛЬТРАЗВУКОВИЙ СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ В ТРУБОПРОВОДІ ТА ПРИСТРІЙ
ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ

1

2

(21) а200503007

(22) 01.04.2005

(24) 10.04.2007

(46) 10.04.2007, Бюл. № 4, 2007 р.

(72) Гришанова Ірина Аркадіївна, Покрас Семен
Йосипович, Покрас Олександр Йосипович, Третяк
Ігор Володимирович, Османов Мунір Яшарович(73) ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДА-
ЛЬНІСТЮ ФІРМА "СЕМПАЛ КО ЛТД"(56) Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики
количества: Справочник.- Л.: Машиностроение,
1989.- С.440-447.Киясбейли А.Ш., Измайллов А.М., Гуревич В.М. Ча-
стотновременные ультразвуковые расходомеры и
счетчики.- М.: Машиностроение, 1984.- С.40-41.

US 5987997, G01F1/66, 23.11.1999

SU1272118, G01F1/66, 23.11.1986

US 4300400, G01F1/66, 17.11.1981

US 20040267464, G01F19/00, 30.12.2004

JP 7260532, G01F1/66, 13.10.1995

UA 50429, G01F1/66, 15.10.2002

(57) 1. Ультразвуковий спосіб вимірювання витрати рідини в трубопроводі, що полягає у визначенні різниці у часі розповсюдження акустичних коливань за потоком і проти потоку рідини, генерованих п'єзоелектричними перетворювачами, розташованими на витратомірній ділянці трубопроводу і створюючими відповідний канал зондування, встановленні швидкості течії рідини вздовж каналу зондування і наступному визначенні витрати рідини з урахуванням введеної корекції у відповідності із знайденим числом Рейнольдса, який **відрізняється** тим, що витрату рідини визначають з використанням вимірювань, проведених щонайменше в одному каналі зондування, а корекцію здійснюють шляхом поетапної оцінки поправкового коефіцієнта, яка дозволяє враховувати різницю між розподілом швидкостей по довжині каналу зондування і розподілом швидкостей по перерізу витратомірної ділянки в залежності від встановленого режиму течії рідини.

2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що при поетапній оцінці поправкового коефіцієнта спочатку в першому наближенні визначають поправковий коефіцієнт, що відповідає числу Рейнольдса, ви-

значеному за величиною швидкості течії рідини, усередненої по довжині каналу зондування, а потім поетапно обчислюють уточнений поправковий коефіцієнт, що відповідає уточненому числу Рейнольдса, визначеному за величиною швидкості течії рідини, усередненої по перерізу витратомірної ділянки, і порівнюють це значення щонайменше з одним значенням уточненого поправкового коефіцієнта, визначеного на попередньому етапі обчислення, при цьому за істинне значення поправкового коефіцієнта для оцінки витрати рідини приймають те уточнене значення поправкового коефіцієнта, для якого порівняння, здійснювані щонайменше в двох попередніх етапах, залишаються незмінними.

3. Пристрій для ультразвукового вимірювання витрати рідини в трубопроводі, який містить щонайменше одну пару п'єзоелектричних перетворювачів, що розташовані на витратомірній ділянці і утворюють відповідний канал зондування, зв'язаний через вузол визначення різниці у часі розповсюдження акустичних коливань за потоком та проти потоку з обчислювальним блоком, вихідний сигнал з якого несе інформацію щодо результату вимірюваної витрати рідини, який **відрізняється** тим, що п'єзоелектричні перетворювачі утворюють щонайменше один канал зондування, а вузол визначення різниці у часі розповсюдження акустичних коливань за потоком та проти потоку має генератор імпульсів, один вихід якого через комутатор, входами якого є виходи відповідних п'єзоелектричних перетворювачів, і підсилювач підключено до першого входу блока вимірювання часу, а інший вихід якого підключено безпосередньо до другого входу блока вимірювання часу, вихід якого, в свою чергу, приєднано до інформаційного входу обчислювального блока, що здійснює формування керуючих сигналів комутатора і генератора імпульсів, визначення в першому наближенні поправкового коефіцієнта, що відповідає числу Рейнольдса, з урахуванням отриманих результатів вимірювань різниці у часі, обчислення уточненого поправкового коефіцієнта і остаточне визначення витрати рідини з використанням уточненого поправкового коефіцієнта.

(13) C2

(11) 78597

(19) UA

Винахід стосується вимірювальної техніки і може бути використаний у комунальному господарстві, нафтовій, хімічній та інших галузях промисловості для контролю витрат рідин.

Відомий ультразвуковий спосіб вимірювання витрат рідин, що базується на визначенні різниці часів проходження акустичних коливань за потоком та проти нього, з наступним обчисленням за допомогою поправочного коефіцієнта середньої по перерізу трубопроводу швидкості і витрати потоку [Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1989. - С. 440 - 447]. Перевагами такого способу є порівняно мала похибка вимірювань в певному діапазоні витрат, що характеризується якимось одним режимом течії.

Недоліком способу є складність його використання в широкому діапазоні вимірювань, що охоплює різні режими течії. Причина полягає в тому, що поправочний коефіцієнт на розподіл швидкостей потоку, враховуючий різницю між швидкістю, осередненою по довжині каналу зондування потоку, і швидкістю, осередненою по площі поперечного перерізу витратомірної ділянки, не є однаковим для ламінарного, перехідного і турбулентного режимів. Навіть за умови симетричних відносно осі трубопроводу потоків у ультразвукових витратомірів в діапазоні витрат як мінімум 10:1 поправочний коефіцієнт змінюється більше, ніж на 1 %, а при переході від турбулентного режиму до ламінарного цей множник змінюється більше, ніж на 25 %. Якщо ж для ламінарного і турбулентного режимів такі коефіцієнти, хоча й різні, але практично мають сталі значення, то в перехідній області поправочний коефіцієнт змінюється в залежності від числа Рейнольдса.

Відомий ультразвуковий спосіб вимірювання витрат незалежно від режиму течії за рахунок застосування в рамках вимірювальних ділянок спеціально каліброваних конфузоров, вирівнюючих епюру потоку, разом із струмовипрямлячами, що усувають закручення потоку [Киясбейли А.Ш., Измайлов А.М., Гуревич В.М. Частотно-временные ультразвуковые расходомеры и счетчики. - М.: Машиностроение, 1984. - С. 40-41]. Перевагою такого способу є стабілізація поправочного коефіцієнта на розподіл швидкостей, а недоліком – недостатня ефективність використання на рідині, що має хоч малий зміст забруднень, оскільки забруднення струмовипрямляча призводить до викривлення епюри потоку.

Найбільш близьким до запропонованого винаходу за технічною суттю є ультразвуковий спосіб та пристрій для вимірювання витрат, описані в патенті США № 5987997, кл. G01F 1/66, 1999.

Такий відомий спосіб передбачає підвищення точності вимірювань за рахунок корекції отриманої епюри розподілу швидкостей, вимірюваних вздовж шляхів розповсюдження в рідині ультразвукових сигналів.

Спосіб включає зондування потоку щонайменше двома, а переважно п'ятьма парами п'єзоелектричних перетворювачів для визначення

швидкостей в певних точках поперечного перерізу вимірювальної ділянки труби, обчислення за цими швидкостями числа Рейнольдса, якому відповідає певний профіль потоку, що зберігається в пам'яті, порівняння цього профілю з вимірним, внесення за потреби необхідної корекції шляхом наближення ітераційним методом вимірюного профілю до дійсного і остаточне визначення витрати.

Пристрій, який здійснює такий спосіб, має декілька, переважно п'ять, пар п'єзоелектричних перетворювачів, що підключені до вузла визначення різниці часів розповсюдження акустичних коливань за потоком та проти потоку, вихідні сигнали з якого поступають на вимірювач числа Рейнольдса, що здійснює його постійний моніторинг. Одержана інформація надсилається до блоку корегування швидкості потоку, в якому здійснюється порівняння з калібрувальними профілем потоку і за результатами порівняння визначається відповідне число Рейнольдса, за яким відповідно визначається витрати рідин. Вимірювач числа Рейнольдса, блоки корегування та індикації результатів виміру утворюють обчислювальний блок.

Методика знаходження числа Рейнольдса не потребує знання швидкості, осередненої по площі поперечного перерізу труби, і кінематичного коефіцієнта в'язкості, що вважається перевагою, але є доволі складною по суті і до того ж базується на емпіричних дослідженнях. До недоліків відомих способів та пристроїв слід віднести і складність їх технічної реалізації, а саме необхідність задля отримання більш точної інформації про розподіл швидкостей вимірюваного середовища застосовувати якомога більшу кількість пар п'єзоелектричних перетворювачів (не менше двох). Реалізація ж первинних перетворювачів з більше, ніж одним каналом зондування потоку, ускладнює, а інколи навіть і робить неможливим їх використання для витратомірів з діаметрами умовного проходу менше 50 мм.

В основу винаходу поставлено задачу створити такі спосіб та пристрій для вимірювання витрат рідин в трубопроводі, які б дозволили завдяки застосуванню поетапної корекції гідродинамічного поправочного коефіцієнта (далі поправочного коефіцієнта) на розподіл швидкостей, вимірюваних вздовж одного каналу зондування, отримати високу точність вимірювання незалежно від кількості застосовуваних пар п'єзоелектричних перетворювачів, що надає можливості проведення вимірювання за будь-якого режиму, і, таким чином, розширяє діапазон вимірювань, особливо в бік малих витрат.

Поставлена задача вирішується тим, що в ультразвуковому способі вимірювання витрат рідин в трубопроводі, що полягає у визначенні різниці часів розповсюдження акустичних коливань за потоком і проти потоку рідини, генерованих п'єзоелектричними перетворювачами, розташованими на витратомірній ділянці трубопроводу і утворюючими відповідний канал зондування, встановленні швидкості течії рідини вздовж каналу зондування, і наступному визначенні витрати

рідини з урахуванням введеної корекції у відповідності із знайденим числом Рейнольдса, згідно винаходу, витрату рідини визначають з використанням вимірювань, проведених щонайменше в одному каналі зондування, а корекцію здійснюють шляхом поетапної оцінки поправочного коефіцієнта, яка дозволяє враховувати різницю розподілу швидкостей по довжині каналу зондування від розподілу швидкостей по перерізу витратомірної ділянки в залежності від встановленого режиму течії рідини.

Переважним є втілення винаходу, згідно з яким при поетапній оцінці поправочного коефіцієнта спочатку в першому наближенні визначають поправочний коефіцієнт, що відповідає числу Рейнольдса, за величиною швидкості течії рідини, осередненої по довжині каналу зондування, а потім поетапно обчислюють уточнений поправочний коефіцієнт, що відповідає уточненому числу Рейнольдса, визначеному за величиною швидкості, осередненої по перерізу витратомірної ділянки. Після чого порівнюють це значення щонайменше з одним значенням уточненого поправочного коефіцієнта, визначеного на попередньому етапі обчислення. За істинне значення поправочного коефіцієнта для оцінки витрати рідини приймають те уточнене значення поправочного коефіцієнта, для якого порівняння, здійснюване щонайменше в двох попередніх етапах, залишаються незмінними.

Поставлена задача вирішується також і тим, що в пристрої для здійснення заявленого способу, який містить щонайменше два п'єзоелектричних перетворювачів, що розташовані на витратомірній ділянці і утворюють відповідний канал зондування, пов'язаний через вузол визначення різниці часів розповсюдження акустичних коливань за потоком та проти потоку з обчислювальним блоком, вихідний сигнал з якого несе інформацію щодо результату вимірюваної витрати рідини, згідно винаходу, п'єзоелектричні перетворювачі утворюють щонайменше один канал зондування, а вузол визначення різниці часів розповсюдження акустичних коливань за потоком та проти потоку має генератор імпульсів, один вихід якого через комутатор, входами якого є виходи відповідних п'єзоелектричних перетворювачів, і підсилювач підключено до першого входу блоку вимірювання часу. Інший вихід вказаного генератора підключено безпосередньо до другого входу блоку вимірювання часу, вихід якого, в свою чергу, приєднано до інформаційного входу обчислювального блоку. Обчислювальний блок такого пристрою здійснює формування керуючих сигналів комутатора і генератора імпульсів, визначення в першому наближенні поправочного коефіцієнта, відповідаючого числу Рейнольдса, з урахуванням отриманих результатів вимірювань різниці часів, обчислення уточненого поправочного коефіцієнта і остаточне визначення витрати рідини з використанням уточненого поправочного коефіцієнта.

Далі суть винаходу пояснюється більш детально описом переважних прикладів здійснення з посиланням на креслення, на яких фіг. 1 представляє блок-схему алгоритму, який лежить в основі запропонованого способу; а фіг. 2 - структур-

ну схему вимірювального пристрою згідно винаходу.

Заявлений спосіб передбачає здійснення наступної послідовності операцій, яка у вигляді алгоритму зображена на фіг. 1

1. Початок.

На цій стадії формують періодичні імпульси, які по чергово передають на кожен з пари п'єзоелектричних перетворювачів, які відповідно перетворюють їх в акустичні сигнали. Перетворювачі розташовують на протилежних стінках трубопроводу так, щоб забезпечити зондування потоку під кутом α по відношенню до вісі трубопроводу.

2. Вимірювання часової затримки і визначення середньої швидкості V_l .

На базі вимірюваної різниці часу Δt розповсюдження ультразвукових сигналів в одному та іншому напрямках обчислюється середня швидкість V_l , осереднена по довжині шляху зондування каналу за формулою

$$V_l = \frac{\Delta t c^2 \operatorname{tg} \alpha}{4R}, (1)$$

де Δt - різниця часів розповсюдження акустичних коливань за потоком та проти потоку;

c - швидкість розповсюдження акустичних коливань в рідині;

α - кут випромінювання акустичних коливань;

R - внутрішній радіус витратомірної ділянки.

Для того, щоб визначити витрату Q вимірюваної рідини, необхідно перейти до середньої швидкості потоку V_{cp} , осередненої по площі поперечного перерізу витратомірної ділянки, завдяки поправочному коефіцієнту K :

$$Q = V_{cp} S, (2)$$

$$V_{cp} = V_l K, (3)$$

де S - площа поперечного перерізу витратомірної ділянки.

3. Визначення в першому наближенні $Re_l = f(V_l)$.

Для визначення поправочного коефіцієнта K , необхідно знати число Рейнольдса. Базуючись на виміряній швидкості V_l , визначається наближене значення числа Рейнольдса

$$Re_l = \frac{1V_l R}{\nu}, (4)$$

де ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості вимірюваної рідини.

4. Знаходження в першому наближенні поправочного коефіцієнта $K = f(Re_l)$. Для числа Рейнольдса, знайденого на попередньому етапі визначається поправочний коефіцієнт. Якщо режим течії ламінарний, значення коефіцієнта приймається рівним 0.75 (див. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. - Л.: Машиностроение, 1989. - С. 444), якщо режим течії турбулентний, значення коефіцієнта можна знаходити за формулою, виведеною на базі ступеневого закону розподілу швидкостей потоку за даними вимірів, проведених Нікурадзе (див. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. - М.: Наука, 1974)

$$K = \frac{2n}{1+2n},$$

$$\text{де } n = 11.269 - 3.0191gRe + 0.4321g^2Re. (5)$$

Для перехідної зони модель знаходження поправочного коефіцієнта представляється у вигляді поліному, отриманого на базі численних експериментів

$$K = a + b \operatorname{Re}^2 + c \operatorname{Re}^3 + d \operatorname{Re}^4, (6)$$

де a, b, c, d - коефіцієнти поліному, що знаходяться дослідним шляхом.

5. Остаточне визначення витрати з урахуванням уточненого значення K . Отриманий в першому наближенні поправочний коефіцієнт дає значення витрати, яке підлягає подальшому коректуванню. Обчислене значення осередненої по площі поперечного перерізу труби швидкості V_{cp} за формулою (3) використовується для визначення вже нового числа Рейнольдса

$$\operatorname{Re} = \frac{2V_{cp}R}{\nu}$$

Процес поетапної оцінки поправочного коефіцієнта K триватиме, доки різниці між його поточним і попереднім значеннями, отримані щонайменше в двох попередніх етапах, залишаються незмінними.

Отже, завдяки використанню запропонованого способу підвищується точність знаходження поправочного коефіцієнта і, відповідно, точність вимірювання витрати рідини.

В результаті, отримавши уточнене значення коефіцієнта K та маючи значення середньої швидкості V_i , осередненої по довжині каналу зондування потоку, можливо знайти остаточне значення витрати Q , використовуючи формули (2) і (3).

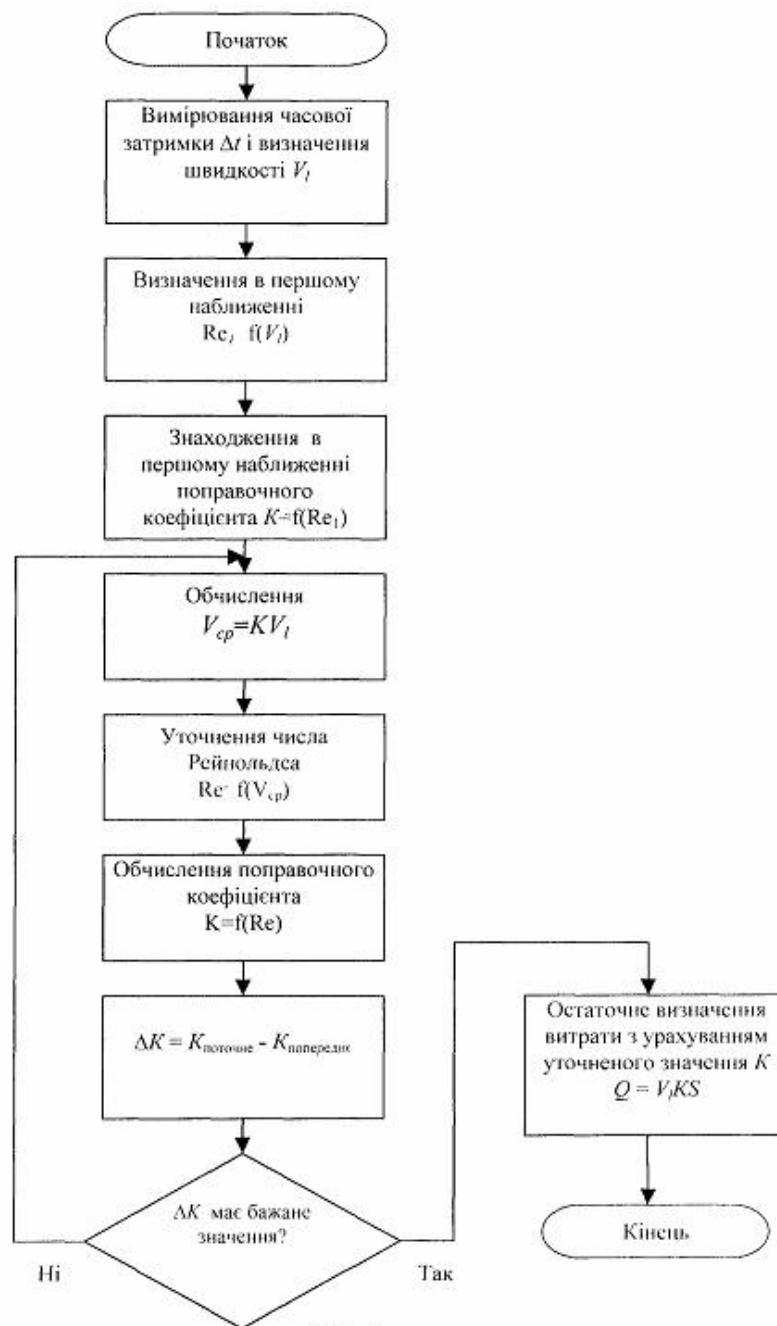
Згідно з ще одним із аспектів винаходу пропонується пристрій, що здійснює заявлений спосіб.

Як зображено на фіг. 2, такий пристрій має п'єзоелектричні перетворювачі 1 і 2, що розташовані на витратомірній ділянці і утворюють канал зондування, підключений до комутатора 3. Сигнальний вхід комутатора 3 підключений до виходу генератора 4 імпульсів. Вихід комутатора 3 з'єднаний з входом підсилювача 5, вихід якого, в свою чергу, підключений до першого входу блоку вимірювання часу 6, до другого входу якого підключено також вихід генератора 4, з'єднаний з сигнальним входом комутатора 3. Управляючи входи комутатора 3 та генератора 4 підключені до

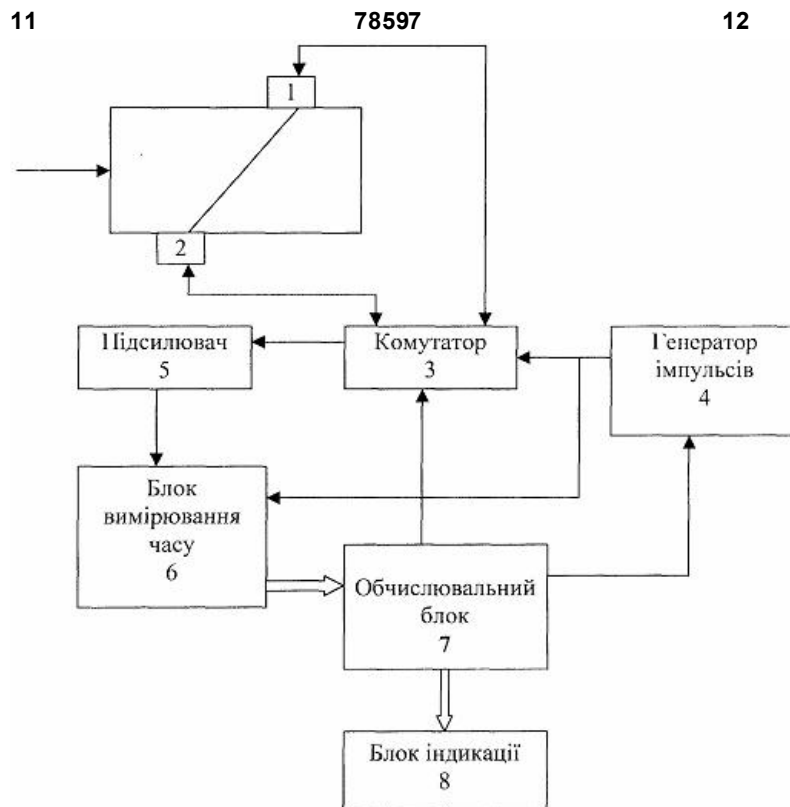
відповідних виходів обчислювального блоку 7. На інформаційний вхід обчислювального блоку 7, яким може бути, наприклад, мікроконтролер, поступає інформація з виходу блоку 6, а на його інформаційний вихід, підключений, наприклад, до блоку індикації 8, - інформація щодо результату вимірювальної витрати рідини.

Пристрій згідно винаходу працює наступним чином. Обчислювальний блок 7 ініціює випромінювання імпульсу генератором 4. За допомогою комутатора 3 імпульс випромінювання подається на один з пари п'єзоелектричних перетворювачів 1 або 2, а з другого п'єзоелектричного перетворювача знімається вхідний сигнал і передається на вхід підсилювача 5. Блок 6 вимірювання часу починає відлік часу з моменту випромінювання імпульсу генератором і закінчує в момент отримання імпульсу з виходу підсилювача. Інформація про затримку вхідного сигналу відносно випромінюваного імпульсу подається на інформаційний вхід обчислювального блоку 7. Останній на базі інформації про час проходження ультразвукових сигналів в одному та іншому напрямках обчислює за алгоритмом, описаним вище, середню швидкість V_i вздовж хорди за формулою (1), а далі проводиться визначення коефіцієнта K через число Рейнольдса за формулами (4), (5), (6) з наступним ітераційним уточненням, завдяки якому різницю між поточним і попереднім значеннями K зводять до бажаної. В результаті, уточнене значення коефіцієнта K вводиться в електронну схему обчислювального блоку 7 і знаходиться остаточне значення витрати Q з використанням формул (2) і (3), яке відображається в блоці індикації 8.

Таким чином, заявлені ультразвуковий спосіб вимірювання витрат рідин в трубопроводі та пристрій для його здійснення принципово відрізняється від існуючих, дозволяють значно спростити алгоритм обробки результатів вимірювання без втрат точності вимірювання, а також визначити уточнений поправочний коефіцієнт на розподіл швидкостей в потоці за будь-яким режимом останнього, що розширює діапазон вимірювання, особливо в бік малих витрат.



Фіг. 1



Фіг. 2