

**СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ**

УДК 531.383

<sup>1</sup>О. М. Безвесільна, д.т.н., професор<sup>2</sup>А. В. Ільченко, к.т.н., докторант<sup>3</sup>А. Г. Ткачук, асистент<sup>4</sup>С. О. Пархоменко, магістрант**МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ РІДИНИ ТА КОНСТРУКЦІЇ ВИТРАТОМІРІВ**<sup>1,4</sup> Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут",  
e-mail: [bezvesilna@mail.ru](mailto:bezvesilna@mail.ru)<sup>2,3</sup> Житомирський державний технологічний університет,  
e-mail: [andrew.tkachuk@i.ua](mailto:andrew.tkachuk@i.ua)  
e-mail: [avi\\_7@rambler.ru](mailto:avi_7@rambler.ru)

У статті розглянуто методи вимірювання витрат рідини та конструкції витратомірів.

Ключові слова: витратомір, витрати рідини.

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її актуальність.** Сьогодні відомі окремі описи конструкцій і технічні характеристики деяких витратомірів. Однак узагальненого порівняльного аналізу характеристик термоанемометричних витратомірів у літературі [2-4 та інш.] немає. Окремі розрізнені відомості стосуються деяких термоанемометричних витратомірів або їх окремих аспектів. У цілому ж, слід зауважити, що загального систематизованого аналізу робіт в області термоанемометрії немає. На кафедрі приладобудування Національного технічного університету України „КПІ” та на кафедрі автоматизації і комп’ютеризованих технологій Житомирського державного технологічного університету України проводяться наукові дослідження характеристик нових типів найбільш перспективних високоточних комп’ютеризованих термоанемометричних витратомірів. Встановлено, що один із найперспективніших є термоанемометричний витратомір [1]. Однак, в літературі також відсутні відомості, щодо опису функціональної схеми та принципу дії нового високоточного термоанемометричного витратоміру.

**Мета статті** – надати порівняльний аналіз видів витратомірів.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Вимірювання параметрів рідких та в’язких речовин широко застосовують у різних галузях народного господарства. Головними параметрами руху потоків рідини є такі витрати, як кількість речовини, що протікає через переріз трубопроводу за одиницю часу, та загальна кількість перенесеної речовини (повна витрата) [2].

Розрізняють такі види витрат: об’ємна витрата  $Q_v = V / t$ , де  $V$  - об’єм,  $t$  - час; масова витрата  $Q_m = M / t$ , де  $M$  - маса речовини. Співвідношення між масовою та об’ємною витратами визначається залежністю  $Q_m = \rho Q_v$ , де  $\rho$  - густина речовини. Об’ємна витрата вимірюється в м<sup>3</sup>/с (м<sup>3</sup>/год і т. д.), а масова — в кг/с (кг/год, т/год і т. д.).

Як відомо [2,4], витрата речовини — це маса або об’єм речовини, що проходить через даний перетин каналу засобу вимірювання витрати за одиницю часу.

Витрата речовини вимірюється за допомогою витратомірів, що представляють собою засоби вимірювань або вимірювальні прилади витрати. Багато витратомірів призначені не тільки для вимірювання витрати, але і для вимірювання маси або об’єму речовини, що проходить через засіб вимірювання в перебіг будь-якого, довільно узятим проміжку часу. В цьому випадку вони називаються витратомірами з лічильниками або просто лічильниками.

Різноманіття і складність вимог, що пред’являються сучасною наукою і технікою до характеристик, а також областей застосування витратомірів, зумовили появу численних і різноманітних методів вимірювання витрати: змінного перепаду тиску; обтікання — постійного перепаду тиску; тахометричні; електромагнітні; змінного рівня; теплові; вихрові; акустичні.

Крім того, відомі витратоміри, засновані на інших принципах дії: резонансні, оптичні, іонізаційні, міточні та інші. Проте багато з них знаходяться у стадії розробки і широкого застосування поки не одержали.

Витратоміри необхідні перш за все для управління виробництвом. Без них не можна забезпечити оптимальний режим технологічних процесів в енергетиці, металургії, в хімічній, нафтовій, целюлозно-паперовій і багатьох інших галузях промисловості. Ці прилади потрібні також для

автоматизації виробництва і досягнення при цьому максимальної його ефективності.

Розглянемо будову та принципи дії основних відомих витратомірів.

Одним з найбільш поширених засобів вимірювань витрати рідин, що протікають по трубопроводах, є витратоміри **змінного перепаду тиску**, що складаються з стандартного звужуючого пристрою, дифманометра, приладів для вимірювання параметрів середовища і сполучних ліній. У комплект витратомірного пристрою також входять прямі ділянки трубопроводів до і після звужуючого пристрою місцевими опорами.

Звужуючий пристрій витратоміру є первинним вимірювальним перетворювачем витрати, в якому в результаті звуження перетину потоку вимірюваного середовища утворюється перепад (різниця) тисків, залежних від витрати (рис. 1). В якості стандартних (нормалізованих) звужуючих пристроїв застосовуються вимірювальні діафрагми, сопла, сопла Вентурі і труби Вентурі. Як вимірювальні прилади, застосовуються різні диференціальні манометри, забезпечені показуючими, записуючими, інтегруючими, сигналізуючими та іншими пристроями, що забезпечують видачу вимірювальної інформації про витрати у відповідній формі і вигляді.

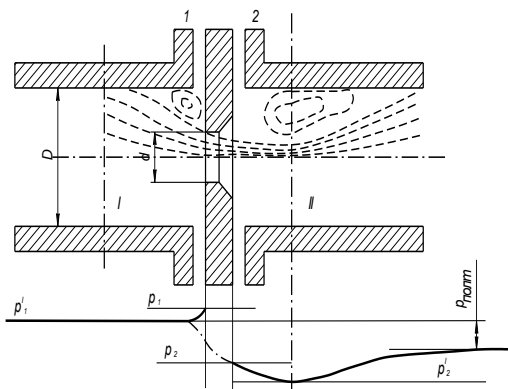


Рис. 1. Схема розподілу статичного тиску в потоці при встановленні в трубопровід звужуючого пристрою – діафрагми

Вимірювальна діафрагма є диском, встановленим так, що центр його лежить на осі трубопроводу. При протіканні потоку рідини або газу (пари) в трубопроводі з діафрагмою звуження його починається до діафрагми. На деякій відстані за нею під дією сил інерції потік звужується до мінімального перетину, а далі поступово розширюється до повного перерізу трубопроводу. Перед діафрагмою і після неї утворюються зони завихрення. Тиск струменя біля стінки спочатку зростає із-за підпора перед діафрагмою. За діафрагмою воно знижується до мінімуму, потім знову підвищується, але не досягає попереднього значення, оскільки внаслідок тертя і завихрень відбувається втрата тиску.

Таким чином, частина потенційної енергії тиску потоку переходить в кінетичну. В результаті середня швидкість потоку в звуженому перетині підвищується, а статичний тиск в цьому перетині стає меншим статичного тиску перед звужуючим пристроєм. Різниця цього перепаду тиску служить мірою витрати, що протікає через звужуючий пристрій рідини.

Вимірювання витрати за перепадом тиску є найпоширенішим методом для вимірювання рідких речовин в умовах високого тиску (до 100 МПа) та високих температур – до декількох сотень градусів за Цельсієм. Недоліком цього методу є порівняно не висока точність. Похибка витратомірів змінного перепаду тиску становить до 3,5 %, тобто не припустима величина.

Принцип дії **витратоміра обтікання** заснований на залежності переміщення тіла, що знаходиться в потоці і сприймає динамічний тиск оточуючого його потоку, від витрати речовини. Широко поширеними витратомірами обтікання є витратоміри постійного перепаду тиску — ротаметри поплавцеві і поршневі. Принцип дії витратомірів постійного перепаду тиску оснований на залежності від витрати речовини вертикального переміщення тіла — поплавця, що знаходиться в потоці і що змінює при цьому площу прохідного отвору приладу таким чином, що перепад тиску по обидві сторони поплавця залишається постійним.

У деяких витратомірах обтікання, званих витратомірами обтікання компенсаційного типу, переміщення тіла обтікання вимірюється по величині тиску, що створює зусилля, прикладене до тіла і врівноважуючи динамічний тиск потоку на нього.

Витратоміри **постійного перепаду тиску** — **ротаметри** — застосовуються для вимірювання витрат однорідних потоків чистих і слабо-забруднених рідин, що протікають по трубопроводах і не схильні до значних коливань. Ротаметр є довгою конічною трубкою (рис. 2), що розташовується вертикально, уздовж якої під дією рухомого від низу до верху потоку переміщається поплавець. Поплавець переміщається до тих пір, поки площа кільцевого отвору між поплавцем і внутрішньою поверхнею конусної трубки не досягне такого розміру, при якому перепад тиску по обидві сторони поплавця не стане рівним розрахунковому. При цьому діючі на поплавець сили врівноважуються, а поплавець встановлюється на висоті, відповідній визначеному значенню витрати.

Поплавцевий витратомір постійного перепаду тиску складається з поплавця і конічного сидла,

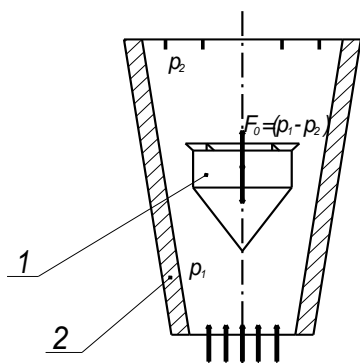


Рис. 2. Функціональна схема ротаметра

розташованих в корпусі приладу. Конічне сідло виконує ту ж роль, що і конічна трубка ротаметра. Відмінність полягає в тому, що довжина і діаметр сідла приблизно рівні, а у ротаметрів довжина конічної трубки значно більше її діаметру.

У поршневому витратомірі чутливим елементом є поршень, що переміщується усередині втулки.

Втулка має вхідний отвір і вихідний отвір, який є діафрагмою змінного перетину. Поршень за допомогою штока сполучений сердечником передавального перетворювача. Рідина що протікає через витратомір поступає під поршень і піднімає його. При цьому відкривається в більшій або меншій ступені отвір вихідної діафрагми.

Рідина, що протікає через діафрагму, одночасно заповнює також простір над поршнем, що створює протидіюче зусилля. Поплавковий витратомір постійного перепаду тиску (рис. 3) складається з поплавця 1 і конічного сідла 2, розташованих в корпусі приладу (відліковий пристрій на схемі не показаний). Конічне

сідло виконує ту ж роль, що і конічна трубка ротаметра.

Відмінність полягає в тому, що довжина і діаметр сідла приблизно рівні, а у ротаметрів довжина конічної трубки значно більше її діаметру.

Такі ротаметри звичайно мають диференціально-трансформаторні або пневматичні вторинні перетворювачі. Клас точності таких витратомірів 3,5 %, мають великий об'єм та вагу, тому для даного проекту не задовольняє вимоги вимірювання витрати рідини.

У **поршковому витратомірі** (рис. 3) чутливим елементом є поршень 1, що переміщується усередині втулки 2.

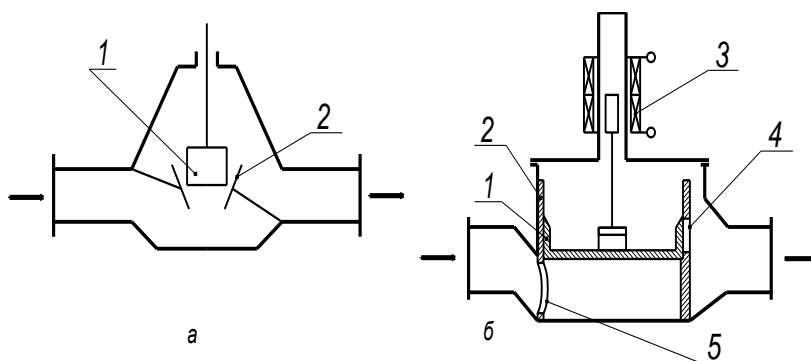


Рис. 3. Поршковий витратомір:  
а) структурна схема; б) структурна схема

Втулка має вхідний отвір 5 і вихідний отвір 4, який є діафрагмою змінного перетину. Поршень за допомогою штока сполучений з сердечником передавального перетворювача 3.

Протікаюча через витратомір рідина поступає під поршень і піднімає його. При цьому відкривається в більшій або меншій ступені отвір вихідної діафрагми. Рідина, що протікає через діафрагму, одночасно заповнює також простір над поршнем, що створює протидіюче зусилля.

**Тахометричні витратоміри** широко застосовуються практично у всіх галузях промисловості. Принцип їх дії заснований на використанні залежностей швидкості руху тіл - чутливих елементів, що поміщаються в потік, від витрати речовин, що протікають через ці витратоміри. Відоме велике число різновидів тахометричних витратомірів, проте в практиці для вимірювання витрати найрізноманітніших рідин і газів широко поширені турбінні, кулькові і камерні витратоміри.

Камерні тахометричні витратоміри мають один або декілька рухомих елементів, що відміряють або відсікають при своєму русі певні об'єми рідини.

Існує велике число конструкцій, камерних витратомірів рідин і газів. **Овально-шестерний лічильник рідин** (рис. 4) складається з двох однакових овальних шестерень, що обертаються під дією перепаду тиску рідини, що протікає через його корпус. У положенні I права шестерня відсікає деякий об'єм рідини 1; оскільки на цю шестерню діє момент, що крутить, вона повертається за годинниковою стрілкою, обертаючи при цьому ліву шестерню проти годинникової стрілки. У

положенні II ліва шестерня закінчує відсікання нової порції рідини 2, а права виштовхує раніше відсічений об'єм 1 у вихідний патрубок лічильника.

В цей час обертаючий момент діє на обидві шестерні. У положенні III ведучою є ліва шестерня, що відсікає об'єм 2. У положенні IV права шестерня закінчує відсікання об'єму 3, а ліва виштовхує об'єм 2. У положенні V повністю відсікається об'єм 3; обидві шестерні зробили по півоберта, і ведучою стала знову права шестерня. Друга половина обороту шестерень протікає аналогічно. Таким чином, за один повний оборот шестерень відсікається чотири дозуючі об'єми. Облік рідини заснований на відліку числа оборотів шестерень. Випускаються лічильники, що забезпечують вимірювання в діапазоні від 0,8 до 36 м<sup>3</sup>/год. Діаметри умовних проходів 15-30 мм; клас точності 3%.

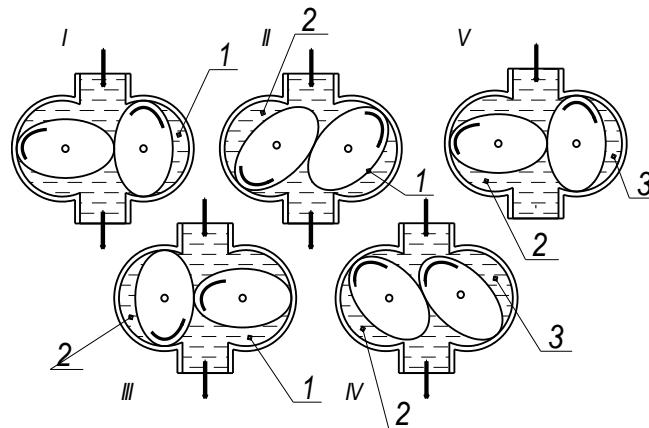


Рис. 4. Схема роботи лічильника рідини з овальними шестернями

**Електромагнітний (індукційний) витратомір** призначений для вимірювання витрати різних рідких середовищ з електричною провідністю не нижче 5-10 Ом/м, що протікають в закритих повністю заповнених трубопроводах. Витратоміри змінного рівня (рис. 6) застосовуються для вимірювання витрати забруднених рідин. Принцип дії приладів заснований на залежності рівня рідини в судині від витрати при вільному закінченні її через отвір (щілину), що калібрується, в дні або бічний стінці. Профіль і діаметр отвору розраховуються так, щоб вказана залежність була лінійною.

Витратоміри змінного рівня (рис. 5) застосовуються для вимірювання витрати забруднених рідин. Принцип дії приладів заснований на залежності рівня рідини в судині від витрати при вільному закінченні її через отвір (щілину), що калібрується, в дні або бічний стінці. Профіль і діаметр отвору розраховуються так, щоб вказана залежність була лінійною.

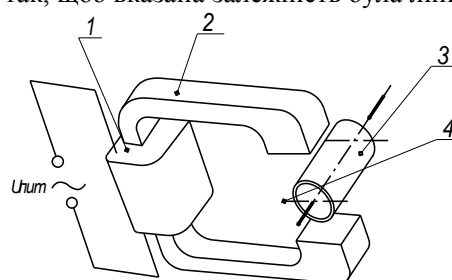


Рис. 5. Структурна схема вимірювального відтворювача електромагнітного витратоміру

Рівняння витрати через отвір в дні або стінці судини в загальному вигляді виражається наступною залежністю (1):

$$Q = C \int_0^H \sqrt{2g(H-y)} f(y) dy = F(H), \quad (1)$$

де:  $C$  – коефіцієнт витрати;  $H$  – рівень рідини над зливним отвором, м;  $f(y)$  – залежність координат (розмірів) зливного отвору від рівня, м.

Використовуючи рівняння (3), можна вивести залежність між  $Q$  і  $H$  для отвору будь-якої форми. Для отримання рівномірної шкали приладу ця залежність повинна бути лінійною (3):

$$Q = K \cdot H \quad (2)$$

де:  $K$  — коефіцієнт пропорційності.

$$K = Q_{max}/H_{max} \quad (3)$$

**Щілинний витратомір** з незатопленим отвором (щілиною), що калібрується, в стінці корпусу є місткістю — корпусом, що розділений перегородкою з профільованою щілиною (рис. 6). У лівій частині корпусу, куди подається вимірювана рідина через підведений патрубок, проводиться вимірювання її рівня за допомогою п'єзометричної рівномірної трубки вимірювального приладу — дифманометра.

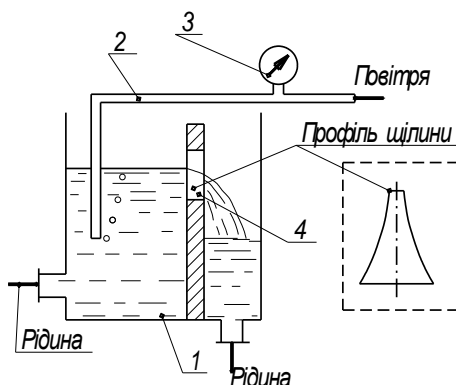


Рис. 6. Структурна схема щілинного витратоміру змінного рівня з отвором в стінці корпусу

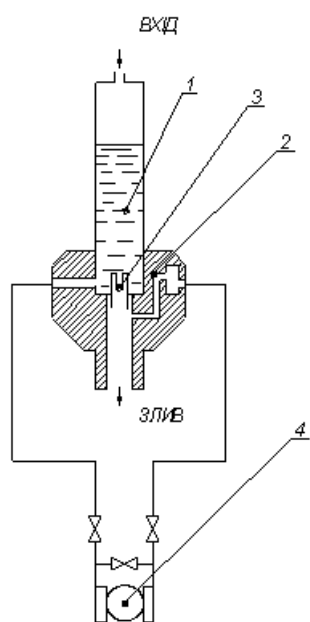


Рис. 7. Структурна схема витратоміра змінного рівня з отвором у дні судини

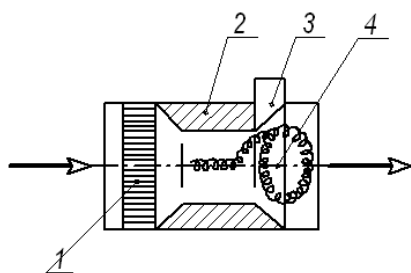


Рис. 8. Функціональна схема вимірювального перетворювача вихрового витратоміру

Для вимірювання рівня рідини можуть застосовуватися і інші типи рівнемірів (рис. 7).

Рідина, що поступає в лівий відсік корпусу, заповнює його, переливається через профільовану щілину і через злив йде до приймача і далі — за призначенням.

Інший тип витратоміру з отвором в дні судини складається з приймача — судини змінного рівня, корпусу, вихідного отвору з діафрагмою, що калібрується, або соплом. Висота стовпа рідини над отвором, що калібрується, вимірюється за допомогою рівнеміру -дифманометра.

Щілинні витратоміри добре зарекомендували себе при вимірюванні сильно забруднених рідин і розчинів, що швидко кристалізуються. Діапазон вимірювання 0,1—50 м<sup>3</sup>/год; основна погрішність пристрою в комплекті з вторинним приладом ±3,5%. Цей витратомір має велику складність виготовлення й велику погрішність.

В даний час розробляються і мають дуже широкі перспективи застосування **вихровий витратомір**, принцип дії якого заснований на залежності від витрати частоти коливань тиску середовища, що виникають в потоці в процесі вихороутворення.

Вимірювальний перетворювач вихрового витратоміру (рис. 8.) є завихорювачем 1, вмонтований в трубопровід, за допомогою якого потік, завихряється (закручується) і поступає в патрубок 2. На виході з патрубку в області, що розширюється, 4 встановлений електроакустичний перетворювач 3, що сприймає і що перетворює вихрові коливання потоку в електричний сигнал, який далі приводиться до нормалізованого вигляду, що відповідає вимогам ГСП.

Завихрення потоку формуються таким чином, що внутрішня область вихору - ядро, поступаючи в патрубок 2, здійснює тільки обертальний рух. На виході ж з патрубку в область, що розширюється 4, ядро втрачає стійкість і починає асиметрично обертатися навколо осі патрубку.

Для вимірювання витрат забруднених, агресивних і швидко-кристалізуючихся рідин, а також потоків, в яких можливі великі зміни (пульсації) витрат і навіть зміни напрямку руху, коли не можуть бути застосовані інші види витратомірів, використовуються витратоміри **акустичний, найчастіше ультразвуковий**. Перевагами акустичного витратоміра є безконтактність вимірювань, відсутність рухомих частин в потоці, відсутність витрат тиску в трубопроводах та інш.

Принцип дії **акустичного витратоміра**, заснований на залежності акустичного ефекту в потоці від витрати речовини. Відомо декілька методів використання звукових (ультразвукових) коливань для вимірювання витрат рідин і газів. Один з них, так званий фазовий, заснований на тому, що при розповсюдженні звукової хвилі в рухомому середовищі час її проходження від джерела до приймача визначається не тільки швидкістю розповсюдження звуку в даному середовищі, але і швидкістю руху самого середовища. Якщо звукова хвиля направлена по руху потоку, швидкості їх складаються, якщо проти потоку, - віднімаються. Різниця часу проходження звуку по напрямку потоками проти нього пропорційна швидкості потоку, а отже, витраті протікаючої рідини.

Акустичний витратомір, що працює за двоканальною фазовою схемою (рис. 9), складається з ультразвукового генератора УЗГ, живлення, що є джерелом, випромінюючих п'єзоперетворювачів ВП1 і ВП2; приймальних пьезовідтворювачів ПП1 і ПП2; фазообертаючих пристроїв ФЕ для усунення шляхом асиметрії каналів перетворювачів виникаючих фазових зрушень; електронного підсилювача В<sub>підс</sub> і вимірювального приладу ИП, який градується в одиницях витрати.

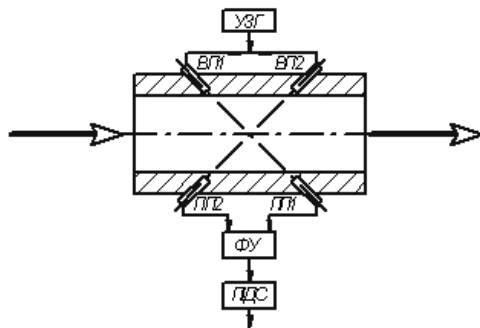


Рис. 9. Структурна схема акустичного (ультразвукового) витратоміру

Як п'єзоелементи, у перетворювачах найчастіше застосовуються пластини з титанату барію, можуть також використовуватися п'єзоелементи з кварцу, титанато-цирконієвої кераміки, а також магнітострикційні. Імпульси ультразвуку посилаються під кутом до осі трубопроводу так, що їх напрям в одному каналі співпадає з напрямом потоку, а в другому направлено проти потоку.

Останнім часом набувають поширення **ультразвуковий витратомір**, в якого

використовується ефект Доплера, що полягає в тому, що ультразвукові хвилі, що генеруються випромінювачами, відображаються від зважених частинок, завихрень, бульбашок газу і т.п. в потоці

вимірюваного середовища і сприймаються приймачами відбитих випромінювань. Різниця між частотами випромінюваних і відбитих акустичних хвиль дозволяє визначити швидкість потоку.

Вимірювальний перетворювач таких витратомірів є пристроєм, що складається з двох п'єзо-кристалів, один з яких є генератором ультразвукових коливань, що випромінюються під кутом до потоку вимірюваного середовища, а другий - приймачем відбитих коливань.

Випромінюваний і відбитий сигнали порівнюються за допомогою спеціальних електронних пристроїв. В даний час акустичні витратоміри інтенсивно розробляються, і найближчим часом, очевидно, має відбутися їх широке застосування в різних галузях харчової промисловості. Недоліком являється складність виготовлення, вплив зовнішніх факторів на точність зняття показників, не економічно спроможність для серійного виробництва і складність використання.

На основі відомих найбільш поширених витратомірів можна зробити висновок, що більш доцільно і перспективними являються теплові витратоміри для вимірювання витрати палива, адже на результат вимірювання не впливають більшість негативних умов руху автомобіля. Вони можуть застосовуватися при вимірюванні невеликих витрат практично будь-яких середовищ при різних їх параметрах. Принцип дії їх заснований на використанні залежності ефекту теплової дії на потік речовини від масової витрати цієї речовини.

Дія термоанемометричних масових витратомірів заснована на принципі теплової дисперсії, по якому співвідношення між швидкістю потоку і процесом охолодження безпосередньо залежить від масової витрати рідини. Таким чином, детектори забезпечують високоточні вимірювання швидкості потоку рідини з високою повторюваністю. Генератор імпульсів включається, коли температура терморезистора знижується до деякого заданого значення. Очевидно, частота включення імпульсів буде мірою витрати. Із збільшенням останнього частота зростає. На відстані 6 мм від терморезистора, що нагрівається, поміщений другий такий же терморезистор, що служить для компенсації температури потоку. Вимірюється витрата рідини від 0,03 до 0,3 см<sup>3</sup>/с. Крім того, для вимірювання дуже малих витрат запропоновані теплові витратоміри

спеціальних конструкцій, або такі що працюють в особливих теплових режимах.

У спеціальній конструкції термоанемометричного витратоміру [5], в якому дротяний нагрівач перетинає прямокутний водовід заввишки 1 мм і шириною 9,7 мм, а для вимірювання різниці температур є велике число мідно-константанових пластинок, встановлених до і після нагрівача; вимірювалася витрата води, від 0,04 см<sup>3</sup>/год.

**Тепловий витратомір** може застосовуватися при вимірюванні невеликих витрат практично будь-яких середовищ при різних їх параметрах. Крім того, вони дуже перспективні для вимірювання витрати дуже в'язких матеріалів. Принцип дії їх заснований на використанні залежності ефекту теплової дії на потік речовини від масової витрати цієї речовини.

Теплові витратоміри можуть виконуватися по трьох основних принципових схемах:

- калориметричні, засновані на нагріві або охолодженні потоку стороннім джерелом енергії, що створює в потоці різниця температур;
- теплового шару, засновані на створенні різниці температур з двох сторін;
- прикордонного шару;
- термоанемометричні, в яких використовується залежність між кількістю теплоти, що втрачається тілом, що безперервно нагрівається, поміщеним в потік, і масовою витратою речовини.

Вибір принципової схеми вимірювання залежить від вимірюваного середовища, необхідної точності, типу використовуваних термочутливих елементів і режиму нагріву. Для пружно-в'язких пластичних речовин переважним є вимірювання по схемі термоанемометра з постійною температурою підігріву потоку.

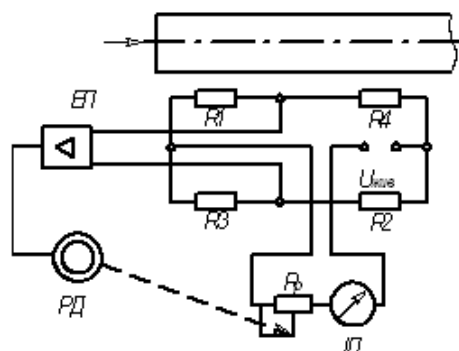


Рис. 10. Принципова електрична схема термоанемометричного теплового витратоміру

Чутливими елементами термоанемометричного теплового витратоміру (рис. 10) є резистори R1 і R2, що поміщаються (намотувані) на стінці трубопроводу на деякій відстані один від одного. Манганінові резистори R3 і R4 служать для створення мостової схеми, що живиться від джерела напруги  $U_{жив}$ . Сигнал розбалансу, пропорційний зміні витрати, подається на електронний підсилювач (ЕП), де посилюється і після цього керує обертанням реверсивного електродвигуна (РД), який, проводячи перестановку движка компенсуючого змінного резистора Rr, змінює напругу живлення, до тих пір, поки розбаланс у вимірювальній діагоналі моста не стане рівним заданому. Мірою витрати можуть служити свідчення амперметра, ватметра (на схемі не показаний) або положення движка Rr.

За допомогою теплових витратомірів може бути забезпечена точність вимірювання витрати в'язких продуктів 3% [1].

#### Висновки

У даній статті обґрунтовано доцільність застосовувати саме термоанемометричний витратомір, так як перевагами його є широкий температурний діапазон використання, висока чутливість, довгочасна стабільність, мала інерційність, лінійність вихідної характеристики, мала вартість.

#### Література:

1. Патент 90985 С2 Україна, МПК (2010) G 01. Калориметричний витратомір моторного палива з цифровою обробкою вимірювальної інформації / О.М. Безвесільна, Ю.О. Подчашинський, Ю.О. Шавурский, А.В. Ильченко. ; заявник і власник патенту Житомирський державний технологічний університет. – № 200910565 ; заявл. 19.10.2009 ; опубліковано 10.06.2010,
2. Безвесільна О.М. Витратометрія та витратоміри: монографія / О. М. Безвесільна – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 220 с.
3. Безвесільна О.М. Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів: підручник / О. М. Безвесільна, Г. С. Тимчик – Житомир : ЖДТУ, 2012. – 812 с.
4. Безвесільна О.М. Наукові дослідження в галузі вимірювання механічних величин / О. М. Безвесільна, Ю.О. Подчашинський, Г. С. Тимчик – Житомир : ЖДТУ, 2011. – 876 с.
5. Безвесільна О.М. Математическая модель температурного поля в потоке моторного топлива, проходящего через расходомер / О. М. Безвесільна // Журнал “Электронное моделирование”. – № 6, 2012. – С. 99-105.