

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТ НАФТОПРОДУКТІВ ПРИ ЇХ ТРАНСПОРТУВАННІ МАГІСТРАЛЬНИМИ ТРУБОПРОВОДАМИ

© Любомир Буняк, Андрій Кузій, Богдан Стадник, Арсен Семенистий, 2001

Національний університет "Львівська політехніка", кафедра "Інформаційно-вимірювальна техніка",
вул. С.Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Розглядається можливість застосування методів та засобів вимірювання витрат нафти з метою підвищення точності оперативного та комерційного обліку при транспортуванні нафти магістральними трубопроводами.

Рассматривается возможность применения существующих методов и приборов измерения расхода нефти с целью увеличения точности оперативного и коммерческого учета при транспортировании нефти по магистральным трубопроводам.

The possibility of application of existing methods and instruments of flow measurement of naphtha with the purpose of increase of accuracy of the operating and commercial registration at transportation of naphtha on long distance pipe lines is considered.

Одним з основних параметрів, контроль за яким здійснюється при транспортуванні нафти та нафтопродуктів магістральними нафтопроводами, є витрата. Різноманітність технологічних умов, у яких працюють витратоміри, підвищення вимог до їх точності та надійності зумовили розроблення численних методів вимірювання. Ці методи дають змогу успішно використовувати витратоміри для переважної більшості промислових (для оперативного та комерційного обліку) та науково-дослідних сфер застосування. Тому сьогодні більша увага приділяється вдосконаленню та модифікації наявних методів.

До найпоширеніших методів, які застосовуються для вимірювання витрати нафти в нафтопромисловому комплексі [1], можна віднести: тахометричні, постійного та змінного перепаду тиску; силові; електромагнітні; акустичні.

Якщо розглядати кожен з виділених груп щодо можливості застосування цих методів та засобів для вимірювання витрат нафти з перспективою підвищення точності технологічного і комерційного обліку при транспортуванні нафти в магістральних трубопроводах, то передовсім слід звернути увагу на складні умови, в яких виконується вимірювання:

- широкий діапазон зміни тиску аж до 8МПа,
- широкий діапазон зміни температури нафти 0-30⁰С (іноді за рахунок підігріву нафти до 70⁰С);

- якщо необхідний оперативний облік витрати, вимірювання проводяться в складних кліматичних умовах;
- температура довкілля змінюється від –30 до 80⁰С;
- нерівномірне налипання парафінів та твердих частинок, які виділяються з нафти, на стінках трубопроводу;
- великий розкид фізичних властивостей нафти з різних родовищ;
- неперервність технологічного процесу транспортування.

Витратоміри постійного перепаду тиску бувають трьох конструктивних різновидів: ротаметри, поршневі та поплавкові витратоміри. Вони досить широко використовуються в системах автоматичного контролю і регулювання в нафтохімічній промисловості завдяки таким перевагам [2]: конструктивна простота; висока чутливість; можливість вимірювання досить малих витрат; простота автоматизації вимірювань; можливість вимірювання витрат агресивних рідин та газів; постійність відносної похибки; діапазон вимірювань ($Q_{\max}/Q_{\min} = 10/1$). Проте ці прилади мають істотні недоліки [2], один з яких, – значний вплив властивостей вимірювального середовища на точність вимірювання робить такі витратоміри практично непридатними для використання на магістральних нафтопроводах.

Механічні витратоміри завдяки простоті виготовлення і експлуатації, малій вазі та габаритам широко застосовуються в багатьох галузях промисловості. Ме-

ханічні витратоміри, як правило, не потребують додаткової енергії, а використовують енергію вимірювального потоку. Значення незворотних втрат потоку незначне і не перевищує $0,25 \text{ кг/см}^2$. Діапазон вимірювання витрати механічного витратоміра лежить в межах від $(0 \div 0,03) \text{ л/год}$ до $(0 \div 6000) \text{ м}^3/\text{год}$. Статичний тиск в трубопроводах, в яких вимірюють витрату механічні витратоміри, може сягати 2500 кг/см^2 і більше. Механічні витратоміри є найдешевшими витратомірами (від 50 до 15000 грн. залежно від калібру) [4]. Хоча такі витратоміри мають низьку ціну продажу, але, разом з тим, вимагають певних затрат під час експлуатації й можуть виявитися дорожчими у довгостроковій перспективі, порівняно з витратомірами, які не мають у своїй конструкції рухомих елементів. Витратоміри цього типу не часто використовуються на нових вузлах оперативного обліку, як правило, в зв'язку з високими затратами на їх експлуатацію, невисокою точністю вимірювань і високою вартістю для великих діаметрів.

Витратоміри з овальними шестернями, з плаваючою шайбою та поршневі витратоміри, як і попередні, належать до об'ємних витратомірів, і мають подібні недоліки:

- велика похибка при малих витратах (прийнятною похибкою можна досягти лише після 10% максимальної витрати рідини);

- неможливість вимірювання витрат рідин, які містять тверді абразивні включення через небезпеку забити щілини і заклинити витратомір, а тим самим перекрити трубопровід;

- спрацювання рухомих деталей витратоміра призводить до збільшення щілин і зниження точності;

- необхідність встановлення фільтрів.

Турбінні (або як їх часто називають, тахометричні) витратоміри складаються з трьох частин: приймального турбінного перетворювача (турбіни – тіла з прямими або з гвинтовими лопатями), тахометричного пристрою та відлікового пристрою. Принцип роботи турбінного витратоміра такий: турбінка обертається з кутовою швидкістю, пропорційною до лінійної швидкості потоку (або витрати) у фіксованому перерізі трубопроводу. Швидкість турбіни вимірює тахометричний пристрій.

Такі витратоміри порівняно з іншими мають ряд істотних переваг [3], через які вони успішно використовуються для комерційного обліку:

- мала інерційність (стала часу $0,001 \text{ с}$) [2], тому їх можна застосовувати для вимірювання миттєвих значень витрати в пульсуючих потоках;

- простота і технологічність конструкції;
- лінійність характеристики;
- малі габарити і металоємність;
- можливість встановлення в різних положеннях в трубопроводі і при різних напрямках потоку;
- безпосереднє отримання частотно-модельованого сигналу;
- досягнення високої точності, – похибка не перевищує 0,2%.

Недоліками [2], що перешкоджають ширшому використанню турбінних витратомірів існуючих модифікацій для технологічного обліку, є:

- необхідність індивідуального градування і внаслідок цього необхідність наявності дорогих градувальних установок високої точності;

- вплив зміни в'язкості вимірювального середовища і гідродинамічних параметрів потоку (закрутка потоку і нерівномірність розподілу швидкостей, викликані наявністю близько розташованих місцевих опор) на покази приладів;

- наявність швидкозношуваних опор, що різко скорочує термін служби приладів (особливо при вимірюванні витрати абразивних середовищ), знижує їх точність в процесі експлуатації і призводить до необхідності їх частого переградування і заміни;

- високі втрати тиску (25 кПа при $Q_{\text{ном}}$);

- налипання осаду на рухомий елемент, що збільшує його вагу і значно погіршує вихідні характеристики, зокрема збільшує похибку, а з часом призводить до необхідності його заміни.

Переваги кулькових тахометричних витратомірів (можливість використання в забруднених рідинах, відсутність зношуваних частин, простота конструкції) не є вирішальними, а недоліки (малий діапазон вимірювання, велика залежність результатів від в'язкості рідини) є критичними з точки зору застосування їх для нафтопродуктів.

Силові витратоміри, які працюють на принципі вимірювання коріолісової сили, вимірюють масову витрату. Це є їх головною перевагою. Іншими перевагами є придатність для витрати змінних і пульсуючих витрат, мала залежність від профілю швидкостей, відсутність жорстких вимог щодо прямих ділянок трубопроводу перед витратоміром, як в інших витратомірах. Наістотнішим недоліком таких витратомірів поки що є їх висока вартість.

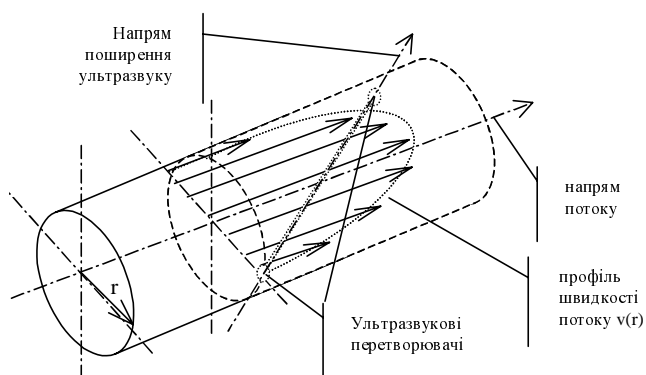
В основу електромагнітних (індукційних) витратомірів покладено взаємодію рухомої електропровідної рідини з магнітним полем, яка визначається законом електромагнітної індукції.

Перевагами електромагнітних витратомірів є :

- незалежність показів від в'язкості і густини вимірювальної речовини;
- незалежність сигналу від характеру потоку рідини;
- висока швидкодія і миттєве вимірювання витрати;
- відсутність втрати тиску;
- лінійність шкали;
- можливість застосування в трубах будь-якого діаметра.

Все це забезпечило досить широке застосування електромагнітних витратомірів, незважаючи на те, що вони придатні для вимірювання витрат рідин з питомою електропровідністю не менше за 10^{-3} - 10^{-7} сІм/м (10^{-5} - 10^{-7} Ом $^{-1}$ *см $^{-1}$) [2], тобто не використовуються для вимірювання витрати газу та пари, а також рідин-діелектриків, таких, як спирти та нафтопродукти.

Акустичні витратоміри, що застосовуються на практиці, переважно працюють в ультразвуковому діапазоні частот і тому називаються ультразвуковими. Вони поділяються на витратоміри, що базуються на переміщенні акустичних коливань рухомим середовищем, і витратоміри, в основі яких лежить ефект Доплера. Найчастіше застосовуються прилади, в основі яких покладено принцип вимірювання різниці часу проходження акустичних коливань за потоком рідини і проти нього. Значно рідше використовуються прилади, в яких акустичні коливання скеровуються перпендикулярно до потоку і вимірюється ступінь відхилення цих коливань від початкового напрямку. Прилади, в основу яких покладено явище Доплера, призначені в основному для вимірювання місцевої швидкості, але вони знаходять застосування і для вимірювання витрат завдяки простоті вимірювальних схем.



Швидкість потоку вздовж напрямку поширення ультразвуку не є сталою

Зведена похибка ультразвукових витратомірів лежить в широких межах від 0,1 до 2,5%, але в середньому може бути оцінена цифрами 0,5-1%. Ультразвукові витратоміри придатні для вимірювання витрат в трубах будь-якого діаметра, починаючи від 10 мм і більше [3].

Основні труднощі практичного застосування ультразвукових витратомірів пов'язані з тим, що, по-перше, швидкість поширення звуку залежить від фізико-хімічних властивостей вимірювального середовища (його тиску, концентрації тощо) і, по-друге, вона значно більша за швидкість руху цього середовища. Чутливість ультразвукових витратомірів залежить від співвідношення v/c (швидкість потоку до швидкості звуку в середовищі). Чим більше це співвідношення, тим більша чутливість приладу і тим меншою може бути похибка вимірювання.

Вибираючи ультразвуковий метод для витратоміра, слід звертати увагу на вплив гідродинамічної в'язкості рухомого середовища на результат вимірювання, потік нафти в магістральному трубопроводі є більшою мірою турбулентний, ніж ламінарний. А при вимірюванні таким методом найчастіше вимірюється середня швидкість потоку, але не в усьому перерізі, а тільки вздовж ділянок на шляху ультразвукового променя (див. рисунок).

Розподіл швидкості в усьому перерізі визначається не тільки гідродинамічними властивостями середовища, а й умовами перед вимірювальною ділянкою і конструкцією самої вимірювальної ділянки. Середня швидкість потоку при вимірюванні за допомогою пари акустичних перетворювачів в радіальному напрямі r може бути описаною виразом:

$$V := \frac{2}{D} \cdot \int_0^{\frac{D}{2}} v(r) dr \quad (1)$$

Хоч насправді, навіть якщо вважати, що профіль швидкості є концентричним, вона становить:

$$V := \frac{4}{D} \cdot \int_0^{\frac{D}{2}} v(r) r dr \quad (2)$$

Тобто середнє значення V значною мірою залежить від профілю швидкості $v(r)$, що є дуже важливим при його зміні, яка є нелінійною і температурозалежною. Ця складова похибки вимірювання може ся-

гати аж до 2% [4]. Отже, для зменшення похибки ультразвукових витратомірів необхідне врахування цього фактора. А це означає ускладнення конструкції та алгоритму роботи витратоміра, зменшення швидкодії. Але, якщо зменшення похибки є критичним, ці недоліки можуть бути не важливими.

Перспективним щодо методичної похибки вимірювання є розроблення ультразвукових кореляційних витратомірів. Метод передбачає вимірювання відбитих ультразвукових сигналів u_1 і u_2 , що мають стохастичний характер в двох послідовних ділянках трубопроводу і подальше обчислення максимуму кореляційної функції

$$R(t) := \int_0^t u_1(t - \tau) \cdot u_2(\tau) d\tau, \quad (3)$$

або у числовій формі

$$r_k := \sum_{i=k}^N u_{1i-k} \cdot u_{2i}. \quad (4)$$

Значення t , при якому $R(t)$ (або r_k) є максимумом, і є часом, за який потік переноситься від одного перетворювача до іншого, тобто на відому відстань.

Основні труднощі практичного застосування ультразвукових витратомірів пов'язані з тим, що, по-перше, швидкість поширення звуку залежить від фізико-хімічних властивостей вимірювального середовища (його тиску, концентрації тощо) і, по-друге, вона значно більша за швидкість руху цього середовища. Однак, як бачимо, для кореляційного витратоміра це не має ніякого значення.

Незважаючи на це, ультразвукові витратоміри все ширше застосовують в нафтохімічній, харчовій та інших галузях промисловості, при гідравлічних дослідженнях та випробуваннях гідромашин.

Їх перевагами є [2]:

– можливість безконтактного вимірювання будь-яких середовищ, зокрема і неелектропровідних;

– достатньо висока точність приладів при їх індивідуальному градуванні та використанні спеціальних засобів автокомпенсації найістотніших завод (відомі ультразвукові витратоміри, основна похибка яких не перевищує 0,3% верхньої межі вимірювань);

– висока надійність чутливих елементів (передавачів та приймачів ультразвукових коливань), які являють собою круглі пластинки, наприклад, кварцу або титанату барію. Ці пластинки встановлюються ззовні трубопроводу або захищаються від безпосереднього контакту з вимірюваним середовищем металевим (пластмасовим) звукопроводом;

– висока швидкодія, що дає змогу вимірювати пульсуючі витрати з частотою пульсації до 10000 Гц.

Кожен з методів має свої переваги і недоліки. Найперспективнішими є ультразвукові методи вимірювання витрат. Завдяки достатньо високій точності (менше за 2%), надійності чутливих елементів, на які не впливає досліджуване середовище, високій швидкодії та можливості безконтактного вимірювання витрат, ультразвукові витратоміри будуть, найімовірніше, домінувати на ринку у майбутньому.

Крім того, ультразвукові витратоміри не містять рухомих елементів, які швидко зношуються, що вимагає часті їх заміни, тобто не мають елементів, що вимагають затрат при їх експлуатації і в довгостроковій перспективі є дешевшими і надійнішими. Оскільки ультразвукові витратоміри не ставлять особливих вимог (прозорості, електропровідності тощо) до вимірювального середовища, то їх можна використовувати, змінюючи програму в процесорі, для вимірювання витрат нафтопродуктів, що є надзвичайно актуальним сьогодні.

1. Измерения в промышленности. Кн 2. Способы измерения и аппаратура // Под ред. Профоса П. – М., 1990. – 384 с. 2. Цейтлин В.Г. Техника измерения расхода и количества жидкостей, газов и паров. – М., 1981. 3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. – Л., 1989. 4. Киясбейлі А.Ш. та ін. Частотно-временные ультразвуковые расходомеры и счетчики. – М., 1984.