



УДК 532.57.08

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ЗАСТОСУВАННЯ КОРІОЛІСОВИХ ВИТРАТОМІРІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДИНИ І ГАЗУ

Н.І. Косач, доктор технічних наук, провідний науковий співробітник ННЦ "Інститут метрології", м. Харків



Розглянуто принципи та умови вибору, установки і застосування коріолісових витратомірів для вимірювання витрати рідин і газів у закритих трубопроводах.

The principles and choosing conditions, instal-

lation and use of Coriolis acceleration flowmeters for liquid and gas flow measurement in close conduits are considered.

В останній час в Україні все більшого застосування набувають коріолісові витратоміри. Це пов'язано з тим, що ці витратоміри, у першу чергу, забезпечують вимірювання саме масової витрати, що є дуже актуальним для вимірювання витрати та кількості нафти і нафтопродуктів, значення яких при розрахункових операціях визначають в одиницях маси. Поряд із цим, деякі із цих витратомірів додатково також можуть вимірювати густину і температуру рідин. За вимірами цих трьох параметрів одночасно можуть бути визначені як об'ємна витрата, так і інші параметри рідини, що дуже зручно.

Також коріолісові витратоміри можна застосовувати для вимірювання витрати газів, однак за дотриманням певних умов та спеціальних рекомендацій.

Як відомо, за своєю конструкцією коріолісовий витратомір являє собою пристрій, що складається з перетворювача витрати (первинний пристрій) і вимірювального пристрою (вторинний пристрій), що вимірює масову витрату на основі взаємозв'язку між рідиною, що протікає, і коливанням сенсорної трубки або трубок у полі дії коріолісової сили. Коріолісові витратоміри працюють за принципом генерації сили інерції (коріолісової сили) щоразу, коли частка вимірюваної рідини в обертовому тілі переміщується відповідно до тіла в напрямку до або від центра обертання [1]. Сила Коріоліса F_K прямо пропорційна масовій витраті рідини Q_m :

$$F_K = 2\omega L \cdot Q_m,$$

де ω – кутова швидкість обертання рідини; L – відрізок трубопроводу, на кінцях якого реєструється коріолісова сила F_K .

Таким чином, вимірюючи (прямо або опосередковано) силу Коріоліса, викликану течією рідини в сенсорній (коливній) трубці, можна забезпечити вимірювання саме масової витрати.

Враховуючи складну конструкцію коріолісових витратомірів і той факт, що вони, перш за все, призначені для високоточних вимірювань (границі відносних похибок таких витратомірів можуть становити $\pm 0,15\%$), їх застосування вимагає дотримання певних умов щодо вибору та монтажу. Це, насамперед, пов'язано із різноплановістю середовища, витрату якого необхідно вимірювати. Вибір коріолісового витратоміра обґрунтовується, по-перше, виміром параметрів у границях необхідного діапазону й точності, по-друге, умовами їх застосування.

Так, наприклад, для багатокомпонентних рідин: рідких сумішей, гомогенних сумішей твердих часток у рідинах або гомогенних сумішей рідин з низьким вмістом газу – густина цілком може бути виміряна. За деяких обставин застосування коріолісових витратомірів для багатофазних рідин (особливо за наявності бульбашок газу в рідинах) може викликати додаткові похибки вимірювання і навіть зупинку витратоміра. Ступінь, до якого може бути допущений вміст бульбашок або зважених твердих часток, не впливаючи на вимірювання густини, буде залежати від їхнього розподілу в рідині та з'єднання з рідиною-носієм. Наприклад, великі повітряні включення у воді створюють більше труднощів, ніж гомогенне розподілення бульбашок у дуже в'язкій рідині. Придатність коріолісового витратоміра для вимірювання густини багатофазної суміші буде залежати від її запланованого застосування. Вибір відповідного витратоміра повинен бути зроблений тільки після ретельного розгляду відповідних нормативних документів з метрології, умов застосування та консультації з виробником.

Особливої уваги заслуговує застосування коріолісових витратомірів для газових потоків. Наприклад, необхідно враховувати те, що під час застосування коріолісових витратомірів у газових потоках, у яких звичайно присутні високі швидкості потоку, які створюють певні перешкоди, значення масових витрат, що можуть досягатися, звичайно нижче, ніж для рідинних потоків. При застосуванні коріолісових витратомірів для вимірювання багатофазних газових потоків треба мати на увазі, що:

- витрата гомогенної суміші рідина/газ (вологий газ) з невисоким вмістом рідини може бути виміряна лише з меншою за звичайну точністю;

- при вимірюванні витрати негомогенної суміші рідина/газ можуть виникати додаткові похибки вимірювань і в деяких випадках може навіть відбуватися зупинка витратоміра;

- наявність у багатофазних потоках суміші тверді частки/газ при вимірюванні може призводити до ерозії стінки трубок первинного перетворювача витрати, зниження працездатності витратоміра і порушення його механічної цілісності.

Таким чином, вибираючи коріолісовий витратомір, необхідно керуватися такими критеріями (положеннями).

1. *Похибки вимірювань, вираження яких варіюються залежно від параметра, до якого їх застосовують.* Значення похибок установлює виробник, і вони повинні бути наведені для визначених умов експлуатації. Це пов'язано з тим, що якщо умови, за якими буде застосовуватися витратомір, будуть значно відрізнятися від умов калібрування, то метрологічні характеристики витратоміра можуть змінитися.

Термін “похибка, виражена як відсоток від показів”, часто використовується виробником і користувачем як засіб визначення кількості очікуваних границь похибки. Для масової витрати термін “похибка” включає об'єднані ефекти лінійності, відтворюваності, гістерезису та стабільності нуля.

Лінійність, відтворюваність і гістерезис об'єднані й виражені як відсоток від показів. Стабільність же нуля дається окремим параметром в одиницях маси за одиницю часу. Для визначення повної величини похибки вимірювання необхідно здійснити розрахунок стабільності нуля у відсотках від показів зазначеної витрати і додати цю величину до об'єднаних ефектів лінійності, відтворюваності й гістерезису.

Відтворюваність часто подають окремим параметром, вираженим у відсотках від показів. Її розраховують у той же спосіб, що й похибку.

Формулювання похибки й відтворюваності звичайно подають для нормальних умов, визначених виробником. До нормальних умов, зокрема, належать температура, тиск, діапазон густини та діапазон витрати.

2. *Умови встановлення витратоміра, які описує виробник із зазначенням будь-яких обмежень щодо його застосування.* Коріолісові витратоміри звичайно розташовують в основній течії потоку, але вони також можуть бути розміщені у зворотному пристрої для вимірювання густини. Однак існують загальні критерії щодо їх монтажу, які необхідно враховувати за будь-яких умов:

а) місце, необхідне для монтажу коріолісового витратоміра, яке повинне передбачати умову приєднання зовнішнього засобу контролю або еталон-

ного витратоміра, якщо необхідно здійснювати калібрування на місці;

б) клас і тип з'єднань трубопроводу й матеріалів, а також габарити устаткування, що буде застосовуватися;

в) класифікація небезпечної зони;

г) кліматичні та екологічні впливи на перетворювач, наприклад, температури, вологості, агресивності атмосфери, механічних ударів, вібрації та електромагнітного поля;

д) кріплення та вимоги до основи.

Разом із тим, треба враховувати той факт, що однією із основних вимог до встановлення коріолісових витратомірів є те, що первинний пристрій витратоміра повинен бути встановлений таким чином, щоб його сенсорні (коливні) трубки були повністю заповнені вимірюваною рідиною: це дозволить запобігти недостовірним вимірюванням.

Коріолісовий витратомір під час вимірювання потоку рідини реагує на падіння в трубках рівня рідини або, якщо рідина витісняється насиченою парою, покази густини знижуються до нуля. Якщо це відбувається в той час, коли покази наявності масової витрати невеликі, то похибка вимірювання та обчислення об'єму рідини буде дуже високою: вона буде перевищувати в декілька разів приписану витратоміру похибку. Також при неповністю заповнених сенсорних трубках витратомір може перейти в режим запуску і може спостерігатися лічнення витрати за її відсутності.

Цих проблем можна уникнути шляхом заборони виконання будь-яких вимірювань потоку, якщо витратомір не заповнений рідиною належним чином.

3. *Вплив робочих умов і властивостей вимірюваної рідини.* Це пов'язано з тим, що зміни властивостей рідини, таких як густина, в'язкість, і робочих умов, таких як тиск і температура, можуть впливати на роботу приладу. Ступінь впливу цих ефектів залежить від параметра, що нас цікавить.

Щоб визначити, який витратомір краще застосувати в конкретному випадку, важливо визначити і встановити умови, в яких буде застосовуватися коріолісовий витратомір, а саме:

- діапазон робочих витрат і характеристики потоку: односпрямований або реверсивний, усталений, неусталений або пульсуючий;

- діапазон робочих густин, температур, тисків, в'язкості;

- тиск у рідині, достатній, щоб запобігти кавітації й розрідженню;

- допустиме падіння тиску;

- властивості вимірюваних рідин, включаючи тиск насиченої пари, фазність потоку й агресивність;

- вплив агресивних домішок або забруднювачів на витратомір, а також кількість і розмір сторонніх речовин, включаючи абразивні частки, які можуть міститися в потоці рідини.

З урахуванням того, що коріолісові витратоміри – це різноманітні прилади, що забезпечують отримання широкого діапазону даних у єдиному пункті під час вимірювання, існують також вимоги щодо вибору вимірювального (вторинного) пристрою. Під час вибору найбільш придатного вимірювального пристрою необхідно враховувати таке:

- електричну, електронну, кліматичну відповідність і відповідність на надійність;
- вид монтажу (тобто монтується сукупно або дистанційно);
- необхідне число й тип вихідних сигналів;
- простоту й надійність програмування;
- вихідні сигнали, що демонструють достатню стабільність і прийнятну сталу часу у випадку аналогового вихідного сигналу, включаючи мінімальний і максимальний проміжки регулювання;
- похибку системи індикації вихідного сигналу;
- необхідні вхідні опції, наприклад, дистанційне регулювання нуля, загальне скидання, підтвердження сигналу тривоги;
- тип цифрової комунікації (передачі, зв'язку).

Також треба звертати увагу на те, що як тільки монтаж витратоміра закінчено, необхідно провести регулювання нуля щодо подолання всіх ефектів, що впливають, частину яких наведено вище. Для перевірки й установки нуля витрати витратомір повинен бути повністю заповненим, а сам потік повинен бути нерухливим. Регулювання нуля необхідно проводити за умов робочої температури, тиску й густини. Важливо, щоб рідина залишалася стабільною, щоб не було ніякого її руху, ніяких бульбашок або важкого осаду.

Рівень регулювання нуля може бути перевірений шляхом спостереження вихідного сигналу витратоміра за нульовим потоком. Однак, перш ніж розглядати вихідний сигнал, важливо, щоб пристрій відключення слабкого потоку у вимірювальному перетворювачі був встановлений на нуль або альтернативно, вихідний сигнал не піддавався регулюванню за допомогою пристрою відключення слабкого потоку. Відключення слабкого потоку – це налаштування вимірювального перетворювача, що встановлює вихідний сигнал витратоміра на нульову відмітку, якщо витрата падає нижче за-

даної величини. Якщо можливо, необхідно активувати двоспрямовану (реверсивну) функцію. Нуль витратоміра бажано періодично перевіряти. Періодичність регулювання нуля встановлює виробник.

Таким чином, застосування коріолісових витратомірів вимагає обов'язкового дотримання певних умов, які докладніше наведено в чинному в Україні стандарті ДСТУ ISO 10790:2009 [2], гармонізованому з ISO 10790:1999 (E) [3] та ISO 10790:1999 / Amd. 1:2003 (E) [4].

У цьому стандарті встановлено як принципи вибирання, монтажу, калібрування, так і характеристики й умови роботи коріолісових витратомірів під час визначення масової та об'ємної витрати, густини та інших, пов'язаних з ними параметрів рідин та газів.

Наприкінці можна констатувати, що із застосуванням коріолісових витратомірів дотримання наведених у стандарті вимог допоможе уникнути низки непередбачених проблем і зняти питання щодо визначеної точності вимірювань витрати цими приладами.

Список літератури

1. *Кремлевский П.П.* Расходомеры и счетчики количества веществ. Т. 2 / П.П. Кремлевский. – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
2. Вимірювання витрати рідини в закритих трубопроводах. Настанова щодо вибирання, монтажу та застосування коріолісових витратомірів: ДСТУ ISO 10790:2009. – [Чинний від 2012-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – (Державний стандарт України).
3. Measurement of fluid flow in closed conduits – Guidance to the selection, installation and use of Coriolis meters (mass flow, density and volume flow measurements): ISO 10790:1999 (E). – (Міжнародний стандарт).
4. Measurement of fluid flow in closed conduits – Guidance to the selection, installation and use of Coriolis meters (mass flow, density and volume flow measurements). AMENDMENT 1: Guidelines for gas measurement: ISO 10790:1999 / Amd. 1:2003 (E). – (Міжнародний стандарт).