

# ВИМІРЮВАННЯ НЕЕЛЕКТРИЧНИХ ВЕЛИЧИН

УДК 536.532

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОЇ ПОХИБКИ КОРІОЛІСОВОГО ВИТРАТОМІРА ТА МЕТОДІВ ЇЇ ЗМЕНШЕННЯ

О Яцишин Святослав<sup>1</sup>, Яцишин Богдан<sup>2</sup>, 2011

<sup>1</sup>Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційно-вимірювальних технологій, вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

<sup>2</sup>Львівська комерційна академія, кафедра хімії і фізики,  
вул. Туган-Барановського, 10, 79008, Львів, Україна

*На підставі вивчення функції перетворення коріолісового витратоміра з температурною корекцією показів розглянуто можливість застосування термоелектричних перетворювачів як сенсорів температури цього витратоміра; оцінено інструментальну похибку і визначено її складові.*

*На основе исследования функции преобразования кориолисового расходомера с температурной коррекцией показаний рассмотрена возможность применения термоэлектрических преобразователей как сенсоров температуры; произведено оценку инструментальной погрешности измерения и определены ее составляющие.*

*Basing on the investigations of transformation function for coriolis flow meters with temperature correction and analysis of the metrological characteristics divergence, it was discussed the possibility of thermoelectric sensors applying. It was estimated the instrumental error and defined its basic components.*

**Вступ.** Завдяки покращенню програмно-технічних засобів обробки результатів вимірювань проблеми точності витратомірів (далі – ВМ) набувають дедалі більшого значення. У випадку конструювання на основі ефекту Коріоліса досить поширених ВМ [1], оснащених мікропроцесором для оброблення сигналів інформаційних сенсорів, ці проблеми особливо актуалізувались. Їх функція перетворення (ФП) являє собою залежність маси або об'єму рідини від її швидкості протікання через заданий переріз і залежить від гідродинамічного режиму протікання паливно-мастильних матеріалів крізь ВМ, їхньої в'язкості тощо. Вона визначається зіставленням часових (зсув фази) характеристик двох ідентичних сенсорів на вході і на виході ВМ; швидшому протіканню рідини відповідає більша часово-фазна розбіжність згаданих характеристик. Похибка вимірювання визначається пердовсім похибкою визначення фазового зсуву характеристик і становить, до прикладу,  $\pm 0,5\%$  у ВМ загального застосування серії L фірми “EMERSON”. Це і є в'язкісна складова інструментальної похибки.

\*У метрологічному розумінні коріолісовий витратомір складається із перетворювачів з відповідними сенсорами та периферійних пристроїв, а також мікропроцесорного блока оброблення отриманих сигналів. Перетворювачі за допомогою сенсорів визначають витрату (швидкість потоку), щільність і температуру, та подають інформацію у вигляді вихідних сигналів до мікропроцесорного блока, що виконує роль мозку вимірюваного засобу і всієї системи, забезпечуючи доступ до дисплею, основного меню і пристроїв виведення інформації для взаємодії з іншими системами, до прикладу, заправки. Периферійні пристрої забезпечують моніторинг, попереджувальну сигналізацію і додаткові функції, наприклад, управління періодичними процесами і функції точнішого визначення густини рідини.\*

**Досягнення метрології та їхній аналіз.** Важливим фактором неточності та непевності функції перетворення ВМ вважається температурний режим протікання рідини, що істотно залежить від температури самої рідини або резервуара, де вона зберігається, від температури засобу вимірювання, від гідродинамічного режиму протікання рідини крізь ВМ.

До прикладу, бензин вважається однією із фракцій нафти з певним розкидом хімічного складу, а значить і в'язкості. Під час його відстоювання легші фракції збираються на поверхні, звідки захоплюються під час перекачування. Крім того, процес переливання рідини з однієї ємкості у іншу — це перехідний процес у гідродинамічному й теплотехнічному розуміннях.

Проблеми підвищення точності ВМ на основі ефекту Коріоліса, на наш погляд, полягають у такому:

- не до кінця вивчено гідродинамічні, теплові, електричні та інші процеси у ВМ, що зумовлюють незадовільну відтворюваність ФП. Вони формують в'язкісну й температурну складові інструментальної похибки ВМ [2];

- вмонтовані у ВМ для максимального зниження інструментальної похибки виготовлені із платинового дроту чотири термометри опору, як найточніші у стаціонарному режимі вимірювань перетворювачі, характеризуються істотною сталою тепловою інерцією  $\sim 60$  секунд (плівковим платиновим термометрам опору притаманна значно менша інерційність  $\sim 0,5$  с, проте значно гірша відтворюваність ФП). Крім того, термометрам опору потрібне незалежне живлення у процесі вимірювання. Як наслідок, виникають питання щодо доцільності застосування таких ВМ, до прикладу, під час заправки легкових автомашин;

- взагалі не поставлено проблеми стабільності показів ВМ у часі, залежно від умов експлуатації;

- за одиничного вимірювання, а таким можна вважати процес наповнення бака легкової автомашини 20 літрами палива, класичний підхід похибок не завжди адекватний [3]. Концепція оцінювання результату вимірювань може і повинна ґрунтуватись на підході непевності.

**Метою праці** є дослідження винятково температурної складової інструментальної похибки витратоміра, зокрема генезису, характеру виникнення і змін.

**Проблеми точності вимірювання температури у ВМ.** Унаслідок особливостей виготовлення функція перетворення ВМ однієї партії характеризується певним розкидом. Своєю чергою, виробник ВМ враховує, що в разі встановлення двох сенсорів у тракті визначення кількості палива та чотирьох сенсорів температури у тракті введення температурної поправки не можна досягти максимальної ідентичності ФП ВМ. Це призводить до необхідності індивідуального каліб-

рування (градування) кожного ВМ, завдяки чому можна мінімізувати їхню інструментальну похибку до  $\pm 0,1$  % у найточніших типах ВМ за даними [1].

Калібрування, швидше за все, здійснюється в одній точці ФП за зафіксованих факторів впливу, кількість яких доволі значна. Окрім того, вітчизняне паливо істотно відрізняється за характеристиками, зокрема в'язкості, від імпортного. Тому ВМ з інструментальною похибкою, що під час калібрування має гарантований виробником розкид (інтервал охоплення) (рис. 1), у процесі експлуатації розширює власний інтервал охоплення. Окрім того, у практиці використання виникає значна динамічна похибка [4], зумовлена істотною інерційністю термометрів опору, а також методична похибка внаслідок нагрівання сенсора від джерела живлення [5].

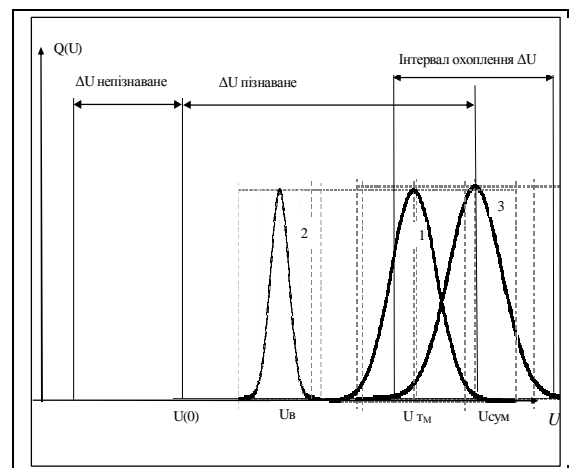


Рис. 1. Інструментальна похибка витратоміра (3) як сума двох її складових: в'язкісної (1) й температурної (2) — з установленою непевністю кожної з них, що виражається інтервалом охоплення

Для усунення негативних наслідків використання платинових термометрів опору запропоновано застосувати добре досліджені [6] платинородієві чутливі елементи термоелектричних перетворювачів температури, а саме термопари типу ПР-30/6. На перший погляд, їм притаманна значно гірша відтворюваність градувальних характеристик:  $\pm 0,7$  % проти  $\pm 0,1$  % у платинових термометрів опору, проте відсутня вищезгадана методична похибка від нагрівання вимірвальним струмом та на декілька порядків менша динамічна похибка, оскільки стала теплової інерції оголених чутливих елементів приблизно 0,1 с, що

особливо актуально під час переливання і контролювання невеликої кількості рідини на заправках.

Розглянемо детальніше конструкцію коріолісового ВМ із прямою трубкою (рис. 2), складеною з витратомірної та опорної трубок. Спеціальний генератор опорної частоти створює коливання однієї трубки відносно іншої. За умови руху крізь ВМ рідини їхнє взаємне положення змінюється. Виникає “биття” трубок, пропорційно до швидкості руху (кількості) рідини, що проходить крізь ВМ.

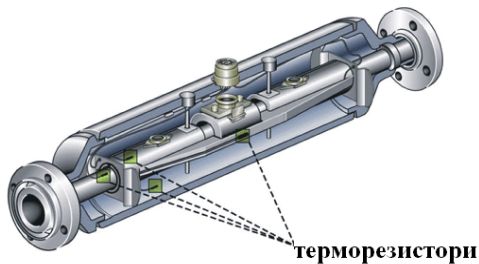


Рис.2. Конструкція коріолісового витратоміра

ВМ має два окремі контури для вимірювання температури. Перший контур — у вигляді термометра опору (терморезистора), що має тепловий контакт з витратомірною трубкою — вимірює температуру рідини, що проходить крізь витратомірну трубку ВМ.

Другий контур — для вимірювання температури — складається з трьох терморезисторів: два на опорній трубці й один на корпусі. Ці терморезистори використовують для коректування різниці температур між корпусом, опорною трубкою і витратомірною трубкою. Такий ВМ забезпечує високоточне вимірювання значення потоку і густини рідини в умовах змінної довколишньої температури, переважно відмінної від температури зберігання рідини у резервуарі.

Під час аналізу чинників з'ясовано, від чого залежить похибка вимірювання витрати. По-перше, існує розкид значень в'язкості контрольованого потоку за номінальної температури вимірювання, а в'язкість потоку змінюється під час вимірювання за рахунок його відбору переважно з приповерхневих шарів сховища, де значення в'язкості є мінімальним внаслідок тривалої дії земного тяжіння. Тому виникає в'язкісна складова інструментальної похибки вимірювання ВМ, зумовлена самою контрольованою рідиною. Вона визначає зміни ФП, що виникають, до прикладу, під час опорожнення об'ємного резервуара і потрапляння змінної у часі в'язкості контрольованої

рідини, що проходить крізь ВМ. Непевність цієї складової може бути зумовлена умовами відбору контрольованого середовища і її розробник ВМ не зарахував до факторів впливу.

Існує друга досліджувана складова похибки — температурна складова похибки вимірювання ВМ, зумовлена відхиленням значень температури контрольованої рідини від номінального значення, прийнятого під час градування; тому зафіксована ВМ витрата залежить від температури. Крім того, температура зберігання рідини у закопаному резервуарі або ж у нагрітій сонцем цистерні суттєво відрізняється від температури довкілля.

Саме для врахування наслідків такої відмінності у ВМ використано чотири термометри опору, покази яких у вигляді поправок у результат вимірювання послідовно вводяться у мікропроцесор. Ми намагаємося мінімізувати саме цю складову похибки, досліджуючи можливості заміни чотирьох згаданих термометрів опору термоелектричними термоперетворювачами. Найкращими із них вважаються термоперетворювачі з платиноводієвими термопарами. Для діапазону температур 243...373 К такими є термопари градування ПР-30/6.

Зрештою, з метрологічного погляду найважливішим є розуміння корельованості чи некорельованості зазначених складових інструментальної похибки ВМ, які розглядатимемо у майбутньому. Тут приймемо, посилаючись на [2], що в'язкісна та температурна складові інструментальної похибки ВМ є некорельованими.

**Дослідження метрологічних характеристик ВМ в разі використання термоелектричних перетворювачів у його конструкції.** Неоднорідність термоелектродного дроту оцінюють як різницю між максимальним і мінімальним значеннями термо-ЕРС відносно зразків порівняння на кожні 5 м довжини при температурі  $1173 \pm 20 \text{ К} \dots 1573 \pm 20 \text{ К}$ . Термоелектричну неоднорідність стопу ПР-30 оцінено у  $\leq \pm 20 \text{ мкВ}$ , а стопу ПР-6 — у  $\leq \pm 10 \text{ мкВ}$ . У бухті термоелектродного дроту існують співмірні за впливом локальні та протяжні неоднорідності, їхню дію можна практично усунути, суттєво зменшуючи довжини термоелектродів. Особливо це стосується випадків: а) використання малих і дуже малих ділянок термоелектродних дротів, до прикладу, завдовжки до 0,05 м, що менше за 1 % довжини, за якої вивчають

термоелектричну неоднорідність; б) використання у двох і більше термоперетворювачах термоелектродних дротів із сусідніх ділянок бухти дроту. У результаті вихідне значення сумарної термоелектричної неоднорідності термопари ПР-30/6, визначене як середньоквадратичне відхилення двох некорельованих величин, що становить:  $\Delta E = \pm 22,4$  мкВ, можна зменшити до  $\Delta E' = \pm 11,2$  мкВ.

З цією метою у ВМ встановлюють чотири дві пари (по два) термоелектричні перетворювачі, кожна пара яких ввімкнена зустрічно, формуючи диференціальні ввімкнені пари. Із них перша пара термоперетворювачів – це два перетворювачі, що вимірюють температуру на вході в опорну трубку ВМ і на виході із неї. Якщо термоелектрична неоднорідність кожного з них становить  $\pm 11,2$  мкВ, то термоелектрична неоднорідність двох диференційно ввімкнених термоперетворювачів визначається як сума двох некорельованих однакових за значенням величин і становить  $\pm 11,2\sqrt{2} = \pm 15,8$  мкВ. У другій парі диференційно вмикаємо термоперетворювачі — для вимірювання температури на витратомірній трубці ВМ і на корпусі. Тим самим визначається різниця температур між вказаними точками ВМ або відмінність температури контрольованого середовища на вході ВМ, що відповідає температурі його у резервуарі, від температури корпусу ВМ, яка дорівнює температурі повітря, що оточує ВМ. Їхня термоелектрична неоднорідність так само становить  $\pm 15,8$  мкВ. Таке виконання парами дає змогу ввести температурні поправки: для першої пари термоперетворювачів — на зміну температури контрольованої рідини в межах трубки через зміни гідродинамічно-теплогового режиму протікання; для другої пари термоперетворювачів — на зміну температури контрольованої рідини внаслідок пропускання крізь ВМ.

У результаті використання запропонованої і дослідженої конструкції температурного вузла показано, що вимірювання за допомогою ВМ можна виконувати

у режимі реального часу, тоді як у разі застосування ВМ з термометрами опору методична похибка внаслідок нагрівання сенсора від джерела живлення оцінена у  $\pm 0,27$  %, а динамічна похибка — при переливанні 20 л бензину за 5 с – у  $\pm 0,83$  %.

### Висновки

1. Досліджено інструментальну похибку коріолосового витратоміра, до складу якого входять два сенсори кількості контрольованого середовища й чотири перетворювачі температури для введення температурних поправок.

2. Показано, що ефективність роботи й метрологічні характеристики можна покращити, ввівши термоелектричні перетворювачі у конструкцію витратоміра. Проаналізовано відтворюваність показів перетворювачів і генезис температурної складової інструментальної похибки.

1. *www.micromotion.com*. 2. *Войтов В.А., Шевченко С.А. Діагностика гідроприводу ходової частини машини // Збірник науково-технічних праць – Львів: Науковий вісник НЛТУ України. — Вип. 20 (3). – 2010. – С. 74–77.* 3. *Дорожовець М.М. Обробка результатів вимірювань. – Львів: Вид-во НУ “Львівська політехніка”, 2007. – 621 с.* 4. *Яришев Н.А. Теоретические основы измерения нестационарной температуры. – Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 256 с.* 5. *Вимірювання температури: теорія і практика / [Луцик Я.Т. та ін.]. – Львів : Бескид Біт, 2006. – 559 с.* 6. *Температурные измерения: справочник / Геращенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А. К. и др.; отв. ред. Геращенко О.А., АН УССР. Ин-т проблем энергосбережения. – К. : Наукова думка, 1986. – 704 с.* 7. *Стадник Б.І. Термоелектричні перетворювачі. Дослідження інструментальної похибки / Стадник Б.І., Яцишин С.П. // Системи обробки інформації. – Харків, 2009. – Вип. 5 (79). – С.106–109.*