

Наукові та практичні проблеми виробництва приладів та систем

підшипників в наслідок їх забиття дрібнодисперсною металевою окалиною, що являється продуктом стирання штовхачів.

Ресурсні дослідження проводилися в середньому до 2 мільйонів напрацьованих обертів. При цьому $M_{сам}$ у двигуна падав до 0,4 кг/см. На початковій стадії експерименту сягав 1,4-1,6кг/см.

Висновок

Результати експерименту дають можливість спрогнозувати час роботи п'єзоелектричного двигуна, побудувати математичну модель залежності ККД двигуна від моменту самогальмування та в результаті вдосконалити його ресурсні характеристики, забезпечивши цим самим надійність і раціональність використання таких двигунів.

Література

1. [Електронний ресурс] <http://www.piezomotor.com.ua/product/20>.
2. Петренко С.Ф. Пьезоэлектрический двигатель в приборостроении / С. Ф. Петренко — К. : Корнийчук, 2002. – 96 с.

*Надійшла до редакції
21 вересня 2012 року*

© Горбатюк О. О., Петренко С. Ф., 2012

УДК 681.121

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ РІДИН І ГАЗІВ

Коробко І. В.

*Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, Україна*

Розглядаються питання раціонального вибору вимірювальних перетворювачів витрати рідин та газів з врахуванням конкретних умов їх застосування, шляхом визначення ефективності роботи таких приладів. При виборі та оцінці вимірювальних приладів враховуються параметри вимірюваного середовища, методи вимірювання, зовнішні та внутрішні чинники впливу на вимірюваний процес, вимоги до метрологічних параметрів вимірювання. Ефективність вимірювальних перетворювачів витрати рідин та газів запропоновано оцінювати узагальненим критерієм ефективності, який базується на критеріях ефективності взаємодії потоку вимірюваного середовища із чутливим елементом перетворювача, що забезпечує високі чутливість системи та точність вимірювання за мінімального впливу на гідродинамічні характеристики вказаного середовища.

Ключові слова: *вимірювання витрати, рідина, газу, витратоміри, лічильники.*

Вступ. Постановка проблеми

Значення витратомірів та лічильників кількості (маси і об'єму) рідин, газу і пари у сучасному індустріальному суспільстві дуже велике. Їх роль значно виросла у зв'язку із необхідністю максимальної економії паливно-енергетичних ресурсів та води (ПЕРВ) країни. Для організації дієвої системи енергозбере-

ження необхідно реалізувати ефективну систему вимірювання і обліку витрати та кількості ПЕРВ.

При побудові сучасних ефективних систем вимірювання витрати та кількості рідин і газів постає задача раціонального вибору вимірювальних перетворювачів, які б забезпечили виконання вимірювання з високими метрологічними та експлуатаційними характеристиками. Окрім того, останнім часом виникає гостра необхідність у вимірюванні витрати і кількості ПЕРВ за різної динаміки їх протікання – від сталих потоків до потоків з тривалістю десяти та соті долі секунди. Це визначає необхідність перш за все, створення нових та вдосконалення існуючих приладів і систем вимірювання витрати ПЕРВ з високими метрологічними і експлуатаційними характеристиками та розробки критеріїв порівняльної оцінки перетворювачів з врахуванням умов експлуатації та вимог до вимірювання.

Постановка задачі

До сучасних вимірювальних перетворювачів витрати (ВПВ) ПЕРВ висувається багато різних вимог: підвищення точності вимірювання, досягнення максимальної незалежності результатів вимірювання від зміни параметрів вимірюваного середовища (густини, в'язкості, тиску, температури, профілю швидкостей та інших), мінімальна залежність метрологічних характеристик від умов експлуатації, підвищення надійності роботи та повторюваності, підвищення динамічних якостей, розширення діапазону вимірювальних витрат з його розширенням в бік малих витрат, лінійність шкали (вимоги до статичної характеристики), підвищення працездатності приладу не тільки за нормальних, а і за екстремальних умов (дуже низьких або високих температур і тиску, при вібраціях та ін.), забезпеченість метрологічною базою та інше. Різноманіття цих вимог спричинило розробку великої кількості різних методів вимірювання та приладів на їхній базі. Принципових схем ВПВ існує багато. Широкого розповсюдження для вимірювання витрати та кількості ПЕРВ набули ВПВ, які мають чутливі елементи (ЧЕ) у вигляді тіл обтікання, що знаходяться у потоці вимірюваного середовища, а саме: вихрові, гідродинамічні та тахометричні (крильчасті і турбінні).

Однією з головних проблем при організації системи ефективного вимірювання витрати та кількості ПЕРВ є те, що зі всього різноманіття конструкцій і типів приладів необхідно вибрати найбільш доцільний. Доцільність вибору того чи іншого типу ВПВ розглядається під кутом створення ефективних систем вимірювання. Сам технологічний процес постачання ПЕРВ вимагає регулювання. Автоматизація управління цим процесом є невід'ємною частиною підвищення ефективності його функціонування та зменшення нераціональних втрат ПЕРВ. Несвоєчасне виявлення та ліквідація аварійних ситуацій, що спричиняють витoki ПЕРВ, в наслідок недостатнього контролю за величинами енергетичних потоків призводить до значних їх втрат.

Задача вибору ВПВ, котра вирішується сьогодні переважно інтуїтивним шляхом, виникає при реконструкції абонентських вводів споживачів з оснащенням їх цими приладами, при проектуванні нових вводів, а також при проектуванні систем управління споживання енергоресурсів.

Не дивлячись на все більше розширення застосування методів і приладів вимірювання витрати та кількості ПЕРВ, методики вибору раціонального типу ВПВ для конкретних умов застосування, на сьогоднішній день не визначені, а значить і їх точні математичні моделі не створені.

Роботи в цій області (П. П. Кремльовський, Л. Л. Бошняк, Л. Н. Бызов, А. А. Тупіченков, А. Ш. Кіясбейлі, В. І. Монаков, Г. Н. Бобровніков, Л. А. Камишев, Б. В. Бірюков, С. С. Ківіліс, В. Г. Цейтлін, Г. П. Катис, Л. М. Шонін, О. М. Павловський, Є. О. Шорніков та інші.), в основному стосуються безпосередньо принципам вимірювання, мають наближені розв'язки взаємодії рідинних потоків з первинними вимірювальними перетворювачами, отримані для випадків визначених потоків (ламінарих та турбулентних) і не враховуючи гідродинамічні процеси, які проходять при взаємодії швидкоплинних і швидкозмінних потоків із елементами первинних вимірювальних перетворювачів, які знаходяться у русі. Такий досить спрощений опис процесів вимірювання витрат енергоносіїв не відображає всю різнобічність явищ, які виникають при роботі ВПВ.

Саме відсутність систем автоматизованого проектування управління споживання ПЕРВ з вибором ВПВ для систем постачання енергетичних ресурсів визначає актуальність розробки критеріїв оцінки ефективності ВПВ рідин та газів.

Визначення коефіцієнту ефективності взаємодії потоку вимірюваного середовища із чутливими елементами

Прилади вимірювання витрати та кількості ПЕРВ являють собою вимірювальну систему, на вхід котрої діє потік вимірюваного середовища, а на виході виводиться інформація про витрату та кількість енергоносіїв, що проходять крізь нього за певний проміжок часу. Серед різноманіття критеріїв оптимальності приладів, що визначають ефективність їх функціонування, є такі, кількісне значення котрих бажано максимізувати (надійність роботи, діапазон вимірювання витрати, швидкодія, повторюваність вимірювання тощо), та такі, котрі потрібно мінімізувати (похибку вимірювання, вплив на вимірюваний потік і на систему вимірювання ПЕРВ в цілому, вартість приладу та його експлуатації). Проте між цими характеристиками існує взаємна залежність, виграючи в одних характеристиках ми неодмінно прогаємо в інших.

При визначенні раціонального типу ВПВ для безпосередніх умов застосування необхідно враховувати параметри вимірюваного середовища, методи вимірювання, зовнішні та внутрішні чинники впливу на вимірювальний процес, вимоги до метрологічних параметрів вимірювання.

Серед одних з основних вимог до ВПВ є мінімальний їх вплив на енергетичні та динамічні характеристики плинного вимірюваного середовища. Одним із

показників впливу є втрата гідродинамічного натиску потоку вимірюваного середовища при проходженні його крізь сам прилад.

При проектуванні системи вимірювання витрати та кількості ПЕРВ необхідно розв'язувати багатопараметричну оптимізаційну задачу, як за мінімальної втрати натиску потоку отримати високу точність вимірювання та максимальний інформативний сигнал на виході приладу, тобто створити ВПВ з ефективною системою перетворення швидкості потоку, як функції витрати, на вихідний сигнал.

Для оцінки систем вимірювання витрати та кількості ПЕРВ пропонується застосовувати три критерії ефективності приладів, які входять до складу таких систем: а) ефективності взаємодії потоку вимірюваного середовища із ЧЕ ВПВ, що забезпечує високу чутливість системи вимірювання; б) ефективності взаємодії ЧЕ з потоком вимірюваного середовища, що забезпечує високу точність вимірювання; в) узагальнений критерій, який побудований на базі перших двох критеріїв.

Критерій ефективності взаємодії потоку вимірюваного середовища із ЧЕ ВПВ, що забезпечує високу чутливість системи вимірювання можна представити виразом:

$$K_{\text{еф1}} = \frac{A}{\Delta p}, \quad (1)$$

де A – величина корисного вихідного сигналу ВПВ; Δp – втрата тиску потоку вимірювального середовища на ВПВ.

Вид вихідного сигналу ВПВ залежить від методу вимірювання, на якому базується даний вимірювальний прилад. Наприклад, для турбінних ВПВ це кутова швидкість обертання ЧЕ, або кількість його обертів; для гідродинамічних – величина деформації чи відхилення ЧЕ; для вихорових – частота генерації вихорів на ЧЕ; для ультразвукових – різниця часу проходження ультразвукового сигналу за і проти потоку, або різниця частот цього сигналу; для електромагнітних – величина електричної індукції і таке інше.

Застосовуючи критерій (1) оцінка ефективності ВПВ здійснюється відповідно за його максимальним значенням.

Критерій ефективності взаємодії ЧЕ з потоком вимірюваного середовища, що забезпечує високу точність вимірювання і мінімальний вплив на гідродинамічні характеристики вимірюваного середовища можна представити залежністю

$$K_{\text{еф2}} = \frac{\Delta p}{1 - \delta}, \quad (2)$$

де δ - похибка вимірювання ВПВ.

Застосовуючи критерій (2), оцінка ефективності ВПВ здійснюється за його мінімальним значенням.

Для комплексної оцінки впливу приладу на вимірюване середовище при забезпеченні високих чутливості та точності вимірювання визначимо узагальнений

критерій оцінки ефективності ВПВ

$$K_{\text{еф}y} = \frac{K_{\text{еф}1}}{K_{\text{еф}2}}. \quad (3)$$

Враховуючи вирази (1) та (2), рівняння (3) набуде виду

$$K_{\text{еф}y} = \frac{A(1-\delta)}{\Delta p^2}. \quad (4)$$

Для оцінки ефективності ВПВ ПЕРВ розроблено їх математичні моделі [1-6], які дозволяють визначати втрати тиску на вимірювальному приладі, його похибки та величини вихідних корисних інформативних сигналів за конкретних умов вимірювання і експлуатації. Аналізуючи математичні моделі ВПВ та функціональні залежності їх вихідного сигналу від конструктивних параметрів ЧЕ, втрати натиску потоку вимірюваного середовища і точності вимірювання, за виразами (1), (2) та (4) можна отримати аналітичні залежності критеріїв ефективності для широкого класу вимірювальних перетворювачів витрати рідин та газів.

Отримані критерії оцінки ефективності ВПВ особливо доцільно використовувати при аналізі перетворювачів з ЧЕ у вигляді тіл обтікання, наприклад вихорового типу.

Для таких ВПВ величиною корисного вихідного сигналу (параметр A) є частота вихорових коливань f , що визначається за формулою [6]:

$$f = Sh \cdot \frac{v}{d}, \quad (5)$$

де Sh – безрозмірний коефіцієнт (число Струхалія); v – швидкість вимірюваного середовища; d – характерний розмір тіла, що обтікається.

Втрату тиску Δp на ВПВ можна описати виразом [7]

$$\Delta p = \frac{\xi \cdot \rho \cdot \omega_0^2}{2}, \quad (6)$$

де ρ – густина вимірюваного середовища, в якому знаходиться обтічне тіло; ω_0 – швидкість потоку в міделевому перетині; ξ – коефіцієнт місцевого опору при обтіканні тіла і визначається за формулою [8]:

$$\xi = k \frac{C_x \cdot \frac{S_m}{S_0} \left(1 - \frac{2y}{D_0}\right)^{3/m}}{\left(1 - \tau \cdot \frac{S_m}{S_0}\right)^3}, \quad (7)$$

де C_x – коефіцієнт лобового опору тіла; S_m – площа міделя тіла; S_0 – площа

живого перерізу потоку до встановлення тіла; y – відстань між віссю тіла і віссю потоку; τ – коефіцієнт, що враховує вплив форми тіла та зміну поперечного перерізу вимірювальної камери; m – показник ступеня; k – коефіцієнт нерівномірності розподілу швидкості течії за живим перерізом.

Коефіцієнт k визначається режимом руху вимірюваного середовища [8]:

- для ламінарного потоку

$$k = 2, \quad (8)$$

- для турбулентного потоку

$$k = \frac{(2m+1) \cdot (m+1)}{2m}. \quad (9)$$

Коректуючий коефіцієнт τ вибирається залежно від співвідношення площі міделя тіла, що обтікається, та площі трубопроводу, де його встановлено

$$\tau = f\left(S_m / S_0\right) [8]:$$

Відносна похибка перетворення вихорового ВПВ визначається за виразом [9]

$$\delta = \sqrt{(\Delta_1)^2 + (\Delta_2)^2 + (\Delta \bar{d}_1)^2 + (\Delta \bar{v})^2 + (\Delta \bar{t})^2 + (\Delta \bar{d}_2)^2 + (\Delta \bar{Sh})^2}, \quad (10)$$

де Δ – похибка, викликана некруглістю трубопроводу;

Δ_2 – похибка вимірювання та обчислення площі перетину труби;

$\Delta \bar{d}_1$ – похибка, викликана помилками орієнтації тіла обтікання відносно осі потоку води в трубопроводі;

$\Delta \bar{v}$ – похибка від не перпендикулярності між віссю тіла обтікання і віссю трубопроводу;

$\Delta \bar{t}$ – похибка від зміщення осі тіла обтікання відносно осі симетрії перерізу трубопроводу;

$\Delta \bar{d}_2$ – похибка виготовлення тіла обтікання;

$\Delta \bar{Sh}$ – похибка методу вимірювання, пов'язана з непостійністю значення числа Струхалія в діапазоні вимірювання швидкостей руху рідини в трубопроводі.

Враховуючи вирази (5), (6), (7) та (10), значення узагальненого коефіцієнту ефективності взаємодії потоку вимірюваного середовища із ЧЕ (4) для вихорового ВПВ набуде виду:

$$K_{\text{ефу}_{\text{вх}}} = \frac{4h\nu(1-\delta)S_0^2(1-\tau\frac{S_m}{S_0})^2}{dk^2C_x^2S_m^2(1-\frac{2y}{D_0})^{\frac{6}{m}}}. \quad (11)$$

Отримана математична модель узагальненого коефіцієнту ефективності взаємодії потоку вимірюваного середовища із ЧЕ (11) дозволяє здійснювати оці-

ночний аналіз однотипних ВПВ вихорового, які базуються на вихоровому методі вимірювання витрати та кількості рідин і газів. Проведений аналіз надає можливість визначити оптимальний засіб вимірювання з раціональними конструктивними параметрами та оптимальними метрологічними і експлуатаційними характеристиками.

Висновки

Аналіз основних характеристик ВПВ ПЕРВ показав, що важливими метрологічними та експлуатаційними характеристиками лічильників і витратомірів рідин та газів є: похибка вимірювання, величини: корисного вихідного сигналу та впливу приладу на потік вимірюваного середовища – втрата тиску на ньому. Виходячи з цього запропоновано критерії оцінки ефективності ВПВ рідин та газів, які дозволяють здійснювати вибір раціонального приладу для вимірювання витрати та кількості для конкретних вимірюваних середовищ та умов експлуатації. Отримана математична модель узагальненого критерію якості ВПВ вихорового типу дозволяє оцінювати прилади такого типу і визначати найбільш рейтинговий з них.

Подальші дослідження будуть направлені на визначення критеріїв ефективності конкретних типів ВПВ рідин та газів.

Література

1. Гришанова І.А. Основні аспекти створення математичної моделі засобів вимірювання витрат енергоносіїв / І.А. Гришанова, І.В. Коробко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2001. – № 3 (12). - С.38 - 44.
2. Коробко І.В. Дослідження рівняння руху первинного перетворювача швидкісних засобів вимірювання витрат енергоносіїв / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Приладобудування. - 2003. - Вип.25. - С.89 - 94.
3. Коробко І.В. Математична модель крильчастих лічильників рідини / І.В.Коробко, І.А. Гришанова // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2003. – № 4 (30). - С. 109 - 113.
4. Коробко І.В. Розробка математичної моделі кулькового тахометричного витратоміра / І.В.Коробко, Г.М.Дідковська // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2004. – № 5 (37). - С. 74 - 77.
5. Коробко І.В. Особливості проектування електромагнітних витратомірів та лічильників / І.В.Коробко, П.К. Кузьменко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2006. - №1. - С.43 - 47.
6. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества.– Л.: Машиностроение, 1989. – 701 с.
7. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям; под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
8. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям: [Справочник] / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 512 с.
9. Лурье М. С. Вихревые расходомеры и счетчики количества жидкости с контактно-кондуктометрическим приемником-преобразователем вихревых колебаний. – Красноярск: Сибирский государственный технологический университет, 1999. – 196 с.

*Надійшла до редакції
3 серпня 2012 року*

© Коробко І. В., 2012