

**ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА СУЧАСНОГО ПРЕЦИЗІЙНОГО
ПРИЛАДОБУДУВАННЯ**

УДК 681.121.

**МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ СИЛОВОЇ ДІЇ НА ОПОРИ ЧУТЛИВИХ
ЕЛЕМЕНТІВ ТУРБІННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ РІДИН***Коробко І. В., Писарець А. В.**Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”,
м. Київ, Україна*

У роботі проаналізовано недоліки існуючих турбінних перетворювачів витрати рідин, що обмежують галузі застосування приладів на їх основі. Розглянуто методи зменшення силової дії вимірюваного середовища на опорні вузли вказаних перетворювачів. Розроблено класифікацію методів зменшення силової дії вимірюваного потоку на чутливий елемент турбінних перетворювачів витрати рідин. Проведена порівняльна оцінка вказаних методів. Напрямок подальших досліджень пов'язаний із створенням турбінних перетворювачів витрати з повною компенсацією силової дії, що дозволить значно підвищити ефективність застосування таких приладів для вимірювання витрати в широкому діапазоні, зокрема в області малих витрат, з високою повторюваністю.

***Ключові слова:** турбінний перетворювач витрати, методи компенсації осьового зусилля, врівноважування чутливого елемента.*

Вступ. Постановка проблеми

Для визначення кількісних показників потоків широкого застосування набули прилади та системи вимірювання витрати рідин з турбінними перетворювачами, завдяки їх перевагам перед існуючими приладами інших класів аналогічного призначення.

Поєднання високих метрологічних характеристик з простотою та технологічністю конструкції дозволяють ефективно застосовувати прилади з турбінними перетворювачами витрати (ТПВ) у житлово-комунальній, нафтохімічній, паливній, енергетичній, харчовій та інших галузях промисловості.

До основних недоліків існуючих ТПВ можна віднести: швидке зношування опор, що зумовлено тертям; складність вимірювальних систем малих витрат; вплив зміни в'язкості вимірюваної рідини на роботу перетворювачів витрати та інші менш суттєві чинники. Найбільш значимим є зношування опор чутливого елемента (ЧЕ) внаслідок тертя в них, що призводить до принципового погіршення метрологічних характеристик та виходу приладів з ладу.

Виходячи з цього, необхідно зменшити силову дію вимірюваного середовища на опорні вузли приладу.

Метою роботи є дослідження існуючих методів компенсації силової дії вимірюваного потоку на опори ЧЕ турбінних перетворювачів витрати.

Вивченню ступеня впливу зношення опор на метрологічні характеристики ТПВ були присвячені наукові дослідження відомих вчених Бошняка Л. Л., Бизова Л. М., Бобровникова Г. Н., Камишева Л. А. та інші [1-3]. Узагальнюючи

результати цих робіт, можна стверджувати, що найбільш ефективними напрямками вдосконалення метрологічних характеристик ТПВ є розвантажування опор ЧЕ, або його гідродинамічне врівноважування.

Постановка задачі

При роботі ТПВ найбільшого силового навантаження зазнають опори ЧЕ, а особливо упорний підшипник, який сприймає осьову складову сил дії потоку. Це призводить до збільшення інтенсивності його зношення що спричиняє погіршення метрологічних характеристик приладу. Виходячи з цього, основним напрямком стабілізації метрологічних характеристик ТПВ є вдосконалення роботи опорних вузлів: розвантажування опор ЧЕ (зменшення осьового тиску на упорний підшипник) або його врівноважування (повна компенсація силової дії потоку на опори) (рис. 1).

Методи зменшення силової дії на опорні вузли ЧЕ

Розвантажування опор ЧЕ. Розвантажити упорний підшипник ТПВ можна різними способами, які забезпечують часткову компенсацію осьового зусилля [1 – 4].

1. *Розташування аксіальної турбінки вертикально,* при підведенні рідини знизу. Вага турбінки буде частково компенсувати осьове зусилля.

2. *Магнітне поле.* Встановленням двох магнітів у ЧЕ і маточині вихідного напрямного апарату, спрямованих один до одного однойменними полюсами. Для збільшення відштовхуючого зусилля із зростанням витрати магніт в напрямному апараті переміщується назустріч ЧЕ за допомогою важеля [1].

3. *Встановлення допоміжних турбінок.* Під дією вимірюваного потоку, що проходить крізь корпус, разом з ЧЕ обертаються зовнішня та внутрішня допоміжні турбінки. Причому при обертанні внутрішня турбінка подає частину вимірюваного потоку на задній глухий торець маточини ЧЕ. Динамічний тиск цієї частини потоку створює на ЧЕ осьове зусилля, спрямоване проти дії основного потоку вимірюваного середовища. Значення зусилля пропорційне витраті вимірюваного середовища [2].

Отже, підбором геометричних параметрів ЧЕ та двох додаткових турбінок, забезпечується повна автоматична гідравлічна компенсація осьового зусилля на опори обертання ЧЕ від силової дії вимірюваної рідини.

4. *Профілювання обтікачів.* У вимірювальній камері ТПВ послідовно встановлені напівкульовий обтікач, циліндричний обтікач меншого діаметру з додатковими каналами та ЧЕ.

Для компенсації силової дії від вимірюваного потоку у додаткових каналах циліндричного обтікача створюється течія, напрям якої є протилежним вимірюваному потоку, що забезпечує гідравлічну компенсацію діючих на ЧЕ сил. При відриві потоку від задньої стінки напівкульового обтікача створюється область відривної течії зі зниженим тиском. Знижений тиск розповсюджується додатковими каналами циліндричного обтікача в область маточини ЧЕ та створює гідро-

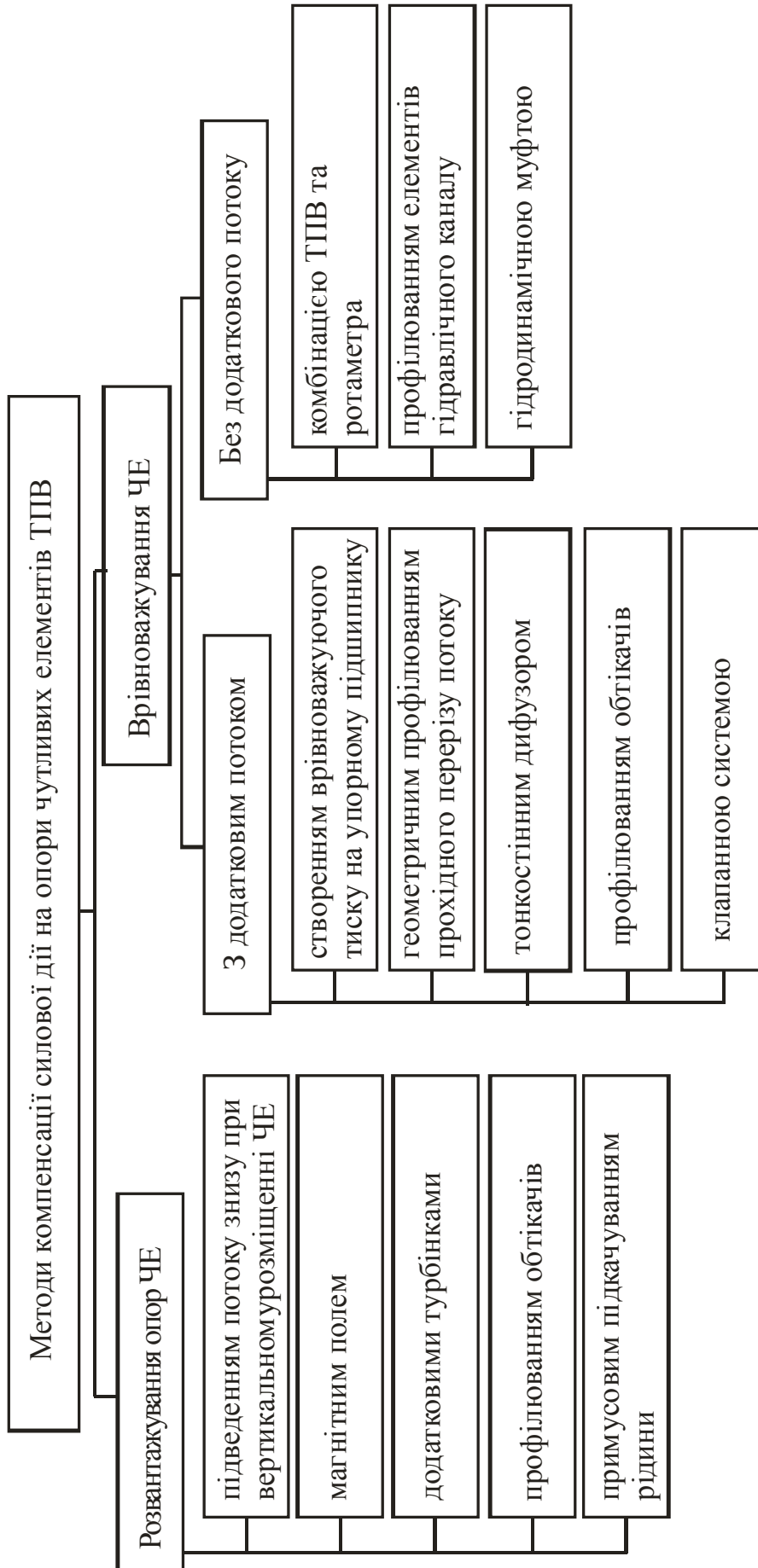


Рис. 1. Класифікація методів зменшення силової дії на опори ЧЕ ТПВ

динамічну силу, спрямовану протилежно напрямку потоку вимірюваного середовища, а також компенсує силу, що виникає на лопатях під його дією [4].

5. *Примусове підкачування рідини.* Підтримання ЧЕ у зваженому стані здійснюється за рахунок примусового підкачування рідини в зазор між підшипниками та віссю. Вхідний підшипник виконується у вигляді подвійного коноїда, опорний вузол якого обертається разом з ЧЕ у гнізді такої ж форми. Створеним тиском підкачування опорний вузол утримується у середньому положенні, забезпечуючи відсутність контактної тертя [1].

Розглянуті способи часткової компенсації осьового зусилля зменшують тертя в упорному підшипнику і подовжують терміни його експлуатації, але не запобігають його зношенню, тому розробляються різні варіанти безопорних ТПВ, ЧЕ яких врівноважені гідродинамічними силами.

Врівноважування ЧЕ. Гідродинамічне врівноважування ЧЕ ТПВ базується на штучному створенні в зоні ЧЕ градієнтної структури поля статичного тиску таким чином, щоб рівнодіюча сил тиску була спрямована назустріч потоку. У відповідності до рівняння Бернуллі статичний тиск можна змінювати, впливаючи на величину кінетичної енергії потоку. Зниження тиску перед ЧЕ (або спеціально для цього призначеним елементом) забезпечується звуженням потоку, чи наданням потоку обертального руху.

Нерівномірність поля статичного тиску є не єдиною умовою повного гідродинамічного розвантажування опор. Для забезпечення рівноваги ЧЕ в широкому діапазоні можливих режимів роботи ТПВ необхідно автоматично змінювати (регулювати) врівноважуючу силу у відповідності зі зміною решти сил, прикладених до ЧЕ з боку потоку. Такий регулятор повинен також компенсувати і зовнішні збурення, наприклад вібрацію [2].

Умовно конструкції ТПВ з врівноважуванням ЧЕ за складністю можна поділити на перетворювачі з використанням додаткових потоків та без них.

Врівноважування ЧЕ з використанням додаткових потоків [1, 2, 4 - 6].

1. *Створення протитиску на упорному підшипнику.* Упорний підшипник ЧЕ виконується у формі конуса, причому між зворотним конусом ЧЕ та підшипником підтримується шар рідини, що поступає сюди з входу перетворювача каналом, який проходить крізь вхідний струменеспрямляч, опорний підшипник та ЧЕ. Величина тиску рідини в упорному підшипнику залежить від положення ЧЕ відносно підшипників, який завжди встановлюється таким чином, що перепад тиску на ньому врівноважується протитиском в упорному підшипнику і забезпечує його вільне плавання в опорах, не дотикаючись до них [4].

Вузол осьового розвантаження іншого ТПВ виконується у вигляді спрямованого проти вимірюваного потоку дефлектора, зовнішній діаметр якого дещо більший діаметра втулки турбіни. Всередині дефлектора співвісно з ним встановлено порожнистий циліндр, відкритий по торцях.

Віджимання турбіни від упору обумовлено тиском потоку, поділеного за нею на дві частини, одна з яких змінює свій напрям на 180° , і діючи на торець турбіни, віджимає її від вихідного обтікача [1, 4].

2. *Геометричне профілювання прохідного перерізу потоку.* Для звуження потоку у циліндричному корпусі встановлюється полий обтікач. У вузькому місці між обтікачем та корпусом швидкість руху рідини значно підвищується, а статичний тиск відповідно знижується.

Нижче за потоком прохідний переріз знову збільшується, і статичний тиск перед ЧЕ відновлюється майже до початкової величини.

ЧЕ перетворювача складається з турбінки та диска, який знаходиться у внутрішній порожнині обтікача та поділяє її на дві частини. Ліва частина цієї порожнини сполучається з вузькою проточною частиною нахиленими каналами, і в ній встановлюється тиск, близький до тиску у потоці. У правій же частині тиск майже дорівнює статичному тиску в потоці перед ЧЕ. Різниця тисків праворуч та ліворуч від диска створює силу, що врівноважує осьове зусилля, прикладене до ЧЕ [1, 2, 4 - 6].

Для регулювання осьового положення ЧЕ у первинному перетворювачі створюється допоміжний потік. У процесі роботи приладу диск завжди розміщується таким чином, що частково перекриває канали, якими рухається допоміжний потік. При зміщенні ЧЕ з положення рівноваги змінюється ступінь перекриття каналів, величина допоміжного потоку, а отже, і різниця тисків по різних боки диску. Таким чином з'являється сила, що відновлює рівноважне положення ЧЕ.

3. *Тонкостінний дифузор.* ЧЕ виконано у вигляді тонкостінного дифузора, всередині якого закріплено набір пластин, що мають форму гвинтових лопатей. Зниження тиску перед ЧЕ досягається звуженням потоку у конфузори. Підвищення тиску за ЧЕ відбувається при гальмуванні потоку в дифузори. Центрування ЧЕ забезпечується тангенціальними каналами, крізь які до його поверхні підводиться частина потоку. При зміщенні ЧЕ від центрального положення до більш вузької частини кільцевого зазору тангенціальні потоки створюють підвищений тиск, що повертає ЧЕ до первинного положення [1, 2, 4 - 6].

4. *Профільовання обтікачів.* Перед прямолопатною турбінкою встановлено напрямний апарат у вигляді нерухомого гвинтового завихрювача. Після проходження завихрювача потік набуває обертального руху, на кінетичну енергію якого витрачається потенціальна енергія потоку. За ЧЕ розташовано випрямляч струменю, лопаті якого знаходяться на циліндричному хвостовик ЧЕ. Випрямляч струменю гасить обертальний рух потоку, відновлюючи тиск. Різниця тисків, що діє на торці втулки ЧЕ в зазорах між завихрювачем, ЧЕ та випрямлячем струменю, створює врівноважуючу силу. Регулювання її величини здійснюється дією на тиск у внутрішній порожнині завихрювача, якою протікає невеликий допоміжний потік. При невеликому зазорі між ЧЕ та завихрювачем вихід допоміжного потоку з внутрішньої порожнини перекритий, і в ній встановлюється тиск, близький до повного тиску в потоці перед завихрювачем. При зміщенні ЧЕ вниз за потоком величина допоміжного потоку зростає, збільшуються гідравлічні втрати в жиклері, крізь який протікає допоміжний потік, потрапляючи у внутрішню порожнину завихрювача, і тиск в ній знижується [1, 2, 4 - 6].

5. *Клапанна система.* Рухома система таких ТПВ складається з ЧЕ та пов'язаних з ним вхідного та вихідного конічних клапанів. Потік рідини обертає турбінку, яка приводить до обертання уся рухома система.

Потік рідини переміщує вхідний конус, відкриваючи вхідні канали. При відкриванні вхідних каналів, сили, що переміщують рухома систему у бік, протилежний потоку, зменшуються, в той час, як сили, діючі на вихідний конус, зростають. Рівновага двох протилежно спрямованих та рівних за величиною сил визначає зважений стан ЧЕ у потоці рідини. У підтриманні рівноважного положення ЧЕ бере участь весь вимірюваний потік, що призводить до неминучості високих перепадів тиску на ТПВ [1].

Врівноважування ЧЕ без використання додаткових потоків [1, 2, 4 – 7].

1. *Комбінація ТПВ та ротаметра.* В цих перетворювачах турбінка розташована вертикально і «плаває» у висхідному потоці. Оберти ЧЕ вимірюються магніто-індукційним перетворювачем, причому при вертикальних переміщеннях (у робочому діапазоні витрат) турбінка завжди знаходиться у циліндричній ділянці трубопроводу.

Конічне тіло ротаметра є вантажем, що врівноважує сили, прикладені до рухомої системи з боку потоку.

Недоліком таких ТВП є погіршення їх динамічних властивостей у порівнянні зі звичайними. Такі пристрої через збільшення маси ЧЕ і повільність його осьового переміщення за високої динаміки зміни швидкості потоку мало придатні для вимірювання витрат пульсуючих потоків, окрім того такі ТВП призначені для роботи тільки у вертикальному положенні [1, 4].

2. *Профілювання елементів гідравлічного каналу.* ЧЕ, що складається з турбінки та вихідного обтікача, приводиться до руху потоком вимірюваного середовища. Центрування ЧЕ в корпусі ТПВ відбувається гідродинамічним способом. Статична рівновага осьового положення ЧЕ забезпечується штучною нерівномірністю поля статичного тиску. Зниження тиску перед ЧЕ досягається профілюванням гідравлічного каналу при встановленні вхідного конусоподібного обтікача, що перетворює частину потенціальної енергії потоку в кінетичну енергію обертального руху рідини [7].

Ця схема забезпечує повне гідродинамічне врівноважування ЧЕ і в осьовому, і в радіальному напрямках.

3. *Гідродинамічна муфта.* Для забезпечення компенсації гідродинамічної сили, що діє на ЧЕ, використовується гідродинамічна муфта [4].

Висновки

Аналіз методів компенсації силової дії на опори ЧЕ ТПВ від потоку вимірюваного середовища та розглянутих конструкцій, що реалізують ці методи, дозволяє зробити такі висновки [1-7]:

- заходи по зменшенню осьового зусилля ускладнюють конструкцію ТПВ;
- розвантаження упорного підшипника зменшує тертя в ньому, подовжує термін його експлуатації, але не може цілком запобігти зношенню опор ЧЕ;

- єдиним засобом запобігання зношенню опор ЧЕ є його врівноважування, що дозволить: подовжити термін експлуатації ТПВ, покращити метрологічні характеристики ТПВ, розширити діапазон вимірюваних витрат турбінних ТПВ в область малих витрат;
- застосування схем з використанням додаткових потоків можливе лише для вимірювання малих витрат рідин ($3,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с} \div 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$);
- методи врівноважування ЧЕ без використання додаткових потоків характеризуються простотою конструкції та можливістю застосування для широкого діапазону вимірюваних витрат ($7,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с} \div 1,4 \text{ м}^3/\text{с}$ для діаметрів умовного проходу в діапазоні від 3,2 мм до 304 мм);
- врівноважування ЧЕ застосуванням комбінації ТПВ та ротаметра недоцільне через погіршення динамічних характеристик перетворювача та необхідність встановлення тільки у вертикальному положенні на трубопроводі;
- врівноважування ЧЕ застосуванням гідродинамічної муфти не забезпечує повного гідродинамічного врівноважування при динамічних процесах у широкому діапазоні витрат при значному ускладненні конструкції перетворювача;
- врівноважування ЧЕ профілюванням елементів гідравлічного каналу характеризується високими метрологічними характеристиками, великою кількістю можливих варіантів виконання, можливістю встановлення у будь-якому положенні на трубопроводі.

Методи компенсації силової дії на опори ЧЕ ТПВ потребують детальних наукових досліджень з визначенням оптимальних форм і параметрів елементів перетворювачів на підґрунті їх взаємодії з вимірюваним середовищем.

Створення ТПВ з повною компенсацією силової дії дозволить значно підвищити ефективність застосування таких приладів для вимірювання витрати в широкому діапазоні, зокрема в області малих витрат, з високою повторюваністю.

Література

1. Бошняк Л. Л. Измерения при теплотехнических исследованиях. – Л.: Машиностроение, 1974. – 448 с.
2. Тахометрические расходомеры / Л. Л. Бошняк, Л. Н. Бызов. – Л.: Машиностроение, 1968. – 212 с.
3. Теория и расчет турбинных расходомеров / Г. Н. Бобровников, Л. А. Камышев. – М.: Издательство стандартов, 1978. – 128 с.
4. Писарец А. В. Турбинные средства измерения расхода и количества энергоресурсов с разгруженным ротором / А. В. Писарец, И. В. Коробко // Сантехніка, опалення, кондиціювання. – 2006. – № 6. – С. 14 – 19.
5. Коробко І. В. Дослідження роботи швидкісних засобів вимірювання витрат рідин з розвантаженим ротором / І. В. Коробко, А. В. Писарець // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія Приладобудування, випуск 25. – 2003. – С. 89 – 94.
6. Коробко И. В. Турбинные преобразователи расхода с уравновешенным ротором / И. В. Коробко, А. В. Писарец // Промышленная теплотехника. – 2006. – № 4. – С. 84 – 89.

7. Пат. на корисну модель № 3416 Україна, МПК (2004) G 01 F 1/10. Турбінний витратомір / І. В. Коробко, А. В. Писарець, П. К. Кузьменко. - u2004021392. – Заявл. 26.02.04. – Опубл. 15.11.2004. – Бюл. № 11. – 3 с.

References

1. Boshnyak L. L. Measurements with thermal investigation. – L.: Mashinostroenie, 1974. – 448 p. [rus]
2. Tachometer flow meters / L. L. Boshnyak, L. N. Byzov – L.: Mashinostroenie, 1968. – 212 p. [rus]
3. Theory and design of turbine meters / G. N. Bobrovnikov, L. A. Kamyshev. – M.: Izdatelstvo standartov, 1978. – 128 c. [rus]
8. Pisarets A.V. Turbine type flow rate and quantity measuring instruments with relieve rotor / A. V. Pisarets, I. V. Korobko // Sanitary technician, heating, conditioning. – 2006. - № 6. – P. 14–19. [rus]
4. Korobko I. V. Turbine type flow rate measuring instruments with relieve rotor investigations / I. V. Korobko, A. V. Pisarets // BULLETIN of National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. Series INSTRUMENT MAKING. – 2003. – № 25. – P. 89 – 94. [ukr]
5. Korobko I. V. Turbine type flow rate transducers with balanced rotor / I. V. Korobko, A. V. Pisarets // INDUSTRIAL HEAT ENGINEERING. – 2006. – № 4. – P. 84 – 89. [rus]
6. Pat 3416 (Ukraine). МПК (2004) G 01 F 1/10. Turbine flowmeter / I. V. Korobko, A. V. Pisarets, P. K. Kuzmenko. - u2004021392. – claim. 26.02.04. – publish. 15.11.2004. – Bulletin № 11. – 3 p. [ukr]

І. В. Коробко, А. В. Писарець

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», г. Киев, Украина

МЕТОДИ КОМПЕНСАЦІЇ СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОПОРИ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТУРБИННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАСХОДА ЖИДКОСТЕЙ

В работе проанализированы недостатки существующих турбинных преобразователей расхода жидкостей, ограничивающие области применения приборов на их основе. Рассмотрены методы уменьшения силового воздействия измеряемой среды на опорные узлы указанных преобразователей. Разработана классификация методов уменьшения силового воздействия измеряемого потока на чувствительный элемент турбинных преобразователей расхода жидкостей. Проведена сравнительная оценка указанных методов. Направление дальнейших исследований связано с созданием турбинных преобразователей расхода с полной компенсацией силового воздействия, что позволит значительно повысить эффективность применения таких приборов для измерения расхода в широком диапазоне, особенно в области малых расходов, с высокой повторяемостью.

Ключевые слова: турбинный преобразователь расхода, методы компенсации осевого усилия, уравнивание чувствительного элемента.

I. V. Korobko, A. V. Pisarets

National Technical University of Ukraine "Kiev Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

COMPENSATION METHODS OF FORCES IMPACT ON SENSITIVE ELEMENT BEARING OF TURBINE FLUID FLOW TRANSDUCERS

Disadvantages of the existing turbine flow rate transducers for fluids which can limit using devices based on it were analyzed. Reviewed methods of medium's force action reducing to transducer's bearings. Developed methods classification for reducing force impact of measured flow to sensitive elements of turbine type flow rate transducers. A comparative analysis of these methods was done.

The direction for future research is related to creation of turbine type flow rate transducers with full force impact compensation which can enhance the effectiveness of such devices for wide range flow measurement, especially in the low flow rates with high repeatability.

Keywords: turbine flow transducer, compensation methods of forces, sensitive element balancing.

*Надійшла до редакції
4 вересня 2011 року*

УДК 681.121

МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ РАСХОДОМЕРОВ ВОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В КАЧЕСТВЕ КОМПАРАТОРОВ

Кузьменко Ю.В.

Государственное предприятие «Укрметрестандарт», г. Киев, Украина

В статье рассматривается необходимость обеспечения прослеживаемости средств измерений расхода воды до государственного первичного эталона. Выполнение этого требования позволяет обеспечить единство измерений в такой важной сфере как учёт потребления ресурсов. Рассмотрены методы экспериментальной и экспериментально-расчётной калибровки расходомеров, используемых в качестве компараторов при поверке проливных установок. Представлены методики калибровки расходомера-компаратора и анализ источников неопределённости измерений при калибровке.

Ключевые слова: *расход жидкостей, методики калибровки компараторов, неопределённость измерений при калибровке.*

Введение

Для поверки широко применяемых в народном хозяйстве расходомеров и счётчиков жидкости (далее – расходомеры) применяются рабочие эталоны – проливные установки [1]. Проливные установки представляют собой комплекс, состоящий из гидравлической системы для создания потока воды с определенным значением расхода, и средств измерений, с помощью которых определяется эталонное значение расхода.

Проливные установки, используемые для поверки расходомеров, имеют соответствующую точность, которая должна прослеживаться до государственного первичного эталона.

Метрологическая прослеживаемость – это свойство результата измерения, состоящее в том, что этот результат может быть связан с эталоном через подтверждённую документами неразрывную цепь калибровок или поверок, каждая из которых вносит свой вклад в неопределённость измерения [2].

Прослеживаемость до государственного эталона означает, что каждая проливная установка должна быть поверена по эталону более высокой точности до уровня, при котором эталоном более высокой точности является государственный первичный эталон [3].

При проведении поверки проливной установки необходимо определить её погрешность, т.е. определить разность двух физических величин: расхода воды, создаваемого в поверяемой установке, и расхода воды, создаваемого в эталон-