

А.М. Кирчун

МЕТОДИ ВІДТВОРЕННЯ ТИСКУ

Розглянуті вантажопоршневі, гідростатичний і термодинамічний методи відтворення тиску. Наведені похибки цих методів.

До основних методів відтворення тиску відносяться вантажопоршневі, гідростатичний та термодинамічний.

1. Вантажопоршневий метод

При використанні вантажопоршневого методу відтворення тиску відбувається відповідно до його визначення: тиск є сила, ділена на площу. Даний метод дозволяє забезпечити високу точність і тому широко використовується в метрологічній практиці [3–5, 7, 9, 20].

Вантажопоршневі манометри являють собою циліндр з неущільненим поршнем, який несе тарілку з вантажами. Якщо на тарілку покласти вантажі відомої ваги, то під поршнем манометра автоматично встановиться заданий тиск.

Поршень та циліндр взаємно приганяють так, щоб між ними утворився досить малий зазор – порядку декілька мікрометрів на сторону [3, 4]. Завдяки малій величині зазора та використанню в'язкої рідини перепад тиску по довжині зазора витрачається, головним чином, на подолання в'язких сил тертя, внаслідок чого виникає своєрідне гідравлічне ущільнення. Слід відзначити, що сили рідинного тертя в зазорі поршневих систем малі, у більшості випадків вони зростають пропорційно тиску і не залежать від в'язкості рідини. Останні дві умови приводять до того, що вплив сил тертя визначається тільки геометричними параметрами поршневої системи і, відповідно, відтворення тиску зводиться, по суті, до задання сили і площі поршня.

Просочування рідини в зазорі неущільненого поршня призводить до порушення герметичності системи. Однак шляхом правильного вибору параметрів поршневої системи і в'язкості робочої рідини протікання вдається зробити таким малим, що воно практично не відображається на властивостях приладу і процесі відтворення.

Якщо задання тиску ведуть тривалий час, то протікання компенсують підкачуванням рідини, що трохи ускладнює конструкцію приладу, однак при дотриманні відомих умов не погіршує його властивостей.

Теорія вантажопоршневих манометрів, розроблена Жоховським [4] і Кроссом [12], передбачає введення всіх необхідних поправок, які забезпечують дійсні значення контрольованого тиску. Суттєве значення має осьове тертя поршня, яке може бути зменшене безперервним обертанням або крутильними коливаннями. Крім сил тертя, на точність задання тиску впливають пружні зміни поперечного перерізу поршня [13]. Додаткові похибки виникають також при несиметричному положенні вантажів, при цьому повинно бути також враховано несиметричне тертя [17].

Для вантажопоршневих манометрів, які входять до складу національних еталонів провідних країн світу, при абсолютному та надлишковому тиску порядку 100 кПа отримані похибки 0,0015–0,003 %. Похибки відтворення одиниці тиску вантажопоршневих еталонів визначаються можливостями точного встановлення значень приведеної площі поршневої пари шляхом лінійних вимірювань розмірів поршня та циліндра. При цьому мінімальне значення похибки приведеної площі поршневої пари, яке дорівнює 0,0015 %, отримано в Німеччині [2].

В даний час проходить подальше вдосконалення вантажопоршневих манометрів. Так, в роботі [15] повідомляється, що вантажопоршневі манометри, які використовуються як еталони, відтворюють тиск з похибкою меншою ніж 0,005 % у всьому діапазоні тиску. При цьому час опускання поршня – не менше 30 хв., швидкість – 0,25 мм/хв при максимальному тиску 150 МПа. Як матеріал для поршнів та циліндрів був обраний карбід вольфраму. Це дозволило зменшити зношення циліндра та поршня, деформації від тиску і величину температурного розширення. Висока гомогенність карбіду вольфраму дозволяє притирати циліндр та поршень з високою точністю, відхилення від ідеальної форми склали не більше 0,1 мкм, зазор між циліндром та поршнем – 0,5 мкм. Вбудовані давачі температури дозволяють визначити величину температурної поправки.

В [11,16] розглянуто використання вантажопоршневих манометрів як еталонів тиску за даними метрологічних лабораторій різних країн. Відзначаються два фактори, які обмежують діапазон відтворюваного тиску вантажопоршневих манометрів: геометричні розміри поршневої пари і номенклатура вантажів. У зв'язку з цим розроблений ряд вантажопоршневих манометрів з ефективною площею 40 і 8 кв. мм для діапазонів від 0,07 до 28 МПа та від 0,35 до 140 МПа, де використовуються одні й ті ж вантажі. Зменшення впливу зміни геометричних розмірів

поршня та циліндра на характеристики вантажопоршневих манометрів забезпечено за рахунок їх виготовлення з карбиду вольфраму замість звичайних інструментальних сталей.

Вантажопоршневий метод відтворення одиниці тиску отримав широке поширення завдяки простоті конструкції поршневих пар, добрій збіжності та відтворюваності вимірювань, а також порівняній простоті передачі розміру одиниці тиску.

2. Гідростатичний метод

При використанні гідростатичного методу створюваний тиск врівноважується вагою стовпа рідини у відповідному вимірювальному пристрої.

Найбільше поширення серед гідростатичних вимірювальних пристроїв отримали U-подібні манометри, які складаються із двох вертикальних трубок однакового діаметра, заповнених до половини своєї висоти рідиною [8].

Аналіз метрологічних параметрів національних еталонів за даними [9, 14, 15, 18, 20] показав, що найвища точність досягнута при абсолютному тиску близькому до атмосферного за допомогою гідростатичних ртутних барометрів з прецизійним відліком різниці рівнів ртуті. У даний час точність кращих еталонів досягає 0,0005 % [2].

Похибки гідростатичного методу відтворення одиниці тиску обумовлюються, головним чином, неточностями визначення густини робочої рідини та системи відліку її рівнів. Аналіз сучасного стану національних еталонів, створених на базі цих методів, показав, що при відповідному виборі конструкції, спеціальних прецизійних вимірюваннях густини робочої рідини, а також з врахуванням її температурної залежності, вдається отримати при тиску порядку атмосферного похибки на порядок менші похибок вантажопоршневих манометрів [2].

Виходячи з того, що гідростатичний метод вважається більш точним, в ФРН, наприклад, за допомогою ртутного стовпа, змонтованого у вежі висотою 38 м, визначали приведену площу еталонної системи поршень-циліндр за вимірюваннями тиску до 5 МПа. В результаті похибка відтворення одиниці тиску еталонним вантажопоршневим манометром у діапазоні 1–10 МПа зменшилась до 0,002 % [2].

Нині в багатьох країнах використовуються інтерферометричні системи для відліку рівнів робочої рідини. Так, в Японії [14] сконструйований U-подібний барометр для області абсолютного тиску в діапазоні 0,1–120 кПа, в якому положення рівнів ртуті відліковується за допомогою інтерферометра.

Гідростатичний метод дозволяє відтворювати розмір одиниці тиску з більшою точністю, ніж вантажопоршневий в області абсолютного тиску близького до атмосферного. Однак цей метод вимагає громіздких стаціонарних пристроїв, складних систем відліку рівнів робочої рідини, термостатування, віброзахистених фундаментів.

У роботі [19], на основі аналізу побудованих метрологічних моделей, зроблений висновок про те, що при тиску до 170 кПа для відтворення тиску доцільно використовувати гідростатичний метод, а при тиску вище 170 кПа – вантажопоршневий метод.

3. Термодинамічний метод

Термодинамічний метод є порівняно новим методом відтворення одиниці тиску і базується на використанні стабільних фізичних явищ.

Англійським вченим П.В. Бріджменом вперше була запропонована та створена шкала тиску на основі реперних точок: тиску плавлення ртуті при фіксованій температурі, тиску поліморфних переходів у вісмуті та в інших речовинах при фіксованих температурах [6].

М.К. Жоховський як основу для відтворення високого тиску та побудови шкали запропонував термодинамічний принцип з використанням процесу плавлення. Практична реалізація цієї ідеї передбачала експериментальне визначення p , T -кривої вибраної речовини до граничного тиску поршневого манометра та екстраполяцію її в область більш високого тиску [6].

Як робоча речовина при створенні термодинамічної шкали тиску була взята ртуть.

Для практичної реалізації термодинамічної шкали високого тиску був створений пристрій для отримання експериментальної p , T -кривої плавлення ртуті в інтервалі тиску до 2,5 ГПа [6].

У роботі [10] описується комірка з аргонем, яка відтворює одиницю тиску в потрібній точці, розмір якої в подальшому дозволить відтворювати одиницю тиску у більш широкому діапазоні за допомогою ртутного манометра, покази якого пропорційні вимірюваному тиску.

Комірка для реалізації потрібної точки аргону 15 раз порівнювалась з ртутним манометром Міжнародного бюро мір та ваги. Для визначення положення рівня ртуті використовувався інтерферометр Майкельсона. В результаті вимірювань було отримано середнє значення у потрібній точці аргону – 68890 Па з середнім квадратичним відхиленням, рівним 0,7 Па [10].

В [1] описаний результат експериментальних оцінок методу побудови вторинних еталонів, відтворення тиску якими здійснювалось за допомогою реперних точок на основі фазових переходів чистих речовин.

Термодинамічний метод відтворення тиску є перспективним та потребує подальших теоретичних і експериментальних досліджень. В той же час можливості традиційних методів відтворення тиску, про які говорилось вище, ще повністю не вичерпані.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Афанасьев С.И., Степанов А.Ю., Супрунюк В.В.* Метод построения вторичных эталонов абсолютного давления на основе фиксированных точек фазовых переходов чистых веществ // Измерительная техника, 1987. – № 6. – С. 23–25.
2. *Горобей В.Н.* Анализ методов и средств воспроизведения давления // Современные проблемы совершенствования средств измерений массы, силы, давления. – Л., 1990. – С. 8–11.
3. *Граменицкий В.Н.* Грузопоршневые приборы. – М.: Издательство стандартов, 1973.
4. *Жоховский М.К.* Теория и расчет приборов с неуплотненным поршнем. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 312 с.
5. Измерения в промышленности. Справочное издание в 3-х книгах. Кн. 2. Способы измерения и аппаратура. – М.: Металлургия, 1990. – 334 с.
6. Исследования в области высоких давлений / Под ред. Е.В.Золотых. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 304 с.
7. Новые контрольно-измерительные приборы для испытания давления // Химическая технология. – Киев, 1989. – № 1. – С. 106–107.
8. *Трохан А.М.* Гидроаэрофизические измерения. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 336 с.
9. *Bean Vern E.* Pressure metrology: primary standard piston gauges // Physica, 1986. – BC 139–140. – P. 739–742.
10. *Bonhoure J. Pello R.* Cellule a Point Triple de L'Argon: Instrument de Transfert de Pression // Metrologia, 1983. – V. 19. – № 1.- P. 21–23.
11. *Budenberg G.F.* Minimierung von Messunsichertheiten bei Druckwaagen // Messen, prüfen, automatisieren, 1989. – № 5. – P. 223–226.
12. *Cross J.L.* Reduction of data for pistongage pressure measurements. Nat. Bur. Stand. Monograph. – 1963. – № 65.
13. *Dadson R.S., Greig R.-G.P., Horner A.* Developments in the accurate measurement of high pressure // Metrologia, 1965. – V. 1. – № 2. – P. 55–67.
14. *Hirata M.* Present status of pressure standards in vacuum region // Jour. of the vacuum society of Japan, 1984. – № 10. – P. 747–758.
15. *Ken W.* Current trends in pressure standards // Process Eng. News, 1987. – V. 15. – № 1. – P.10–12.
16. *Legras J.C. Huot A., Delajoud P.* La reference nationale de pression du BNM dans le domaine de 5 a 200 Mpa // Bull. inf. Bur. nat. Metrol, 1982. – V. 13. – № 48. – P. 9–33.
17. *Pistorius C.W., Rapoport E., Clark J.B.* Unsymmetrical friction and pressure calibration in internally heated piston-cylinder type high pressure devices // Rev. Sci. Instr, 1967. – V. 38. – № 12. – P. 1741–1743.
18. *Riety R.* Etalons Primaires de pression manometre a mercure on Balance Manometre // Bull. BNM, 1987. – V. 18. – № 70. – P. 8–16.
19. *Rogowski J.* Analizyczne metody doboru zakresow pomiarowych i podstawy konstrukcji wzorcow jednostki cisnienia // Pr. nauk. Warsz. Inz. Sanit. i Wod, 1986. – № 1. – P. 3–125.
20. *Stuart P.R.* Standars for the measurement of pressure // Measurement and control, 1987. – V. 20. – № 8. – P. 7–11.

КИРЧУН Анатолій Миколайович – кандидат технічних наук, заступник директора банку “Україна” по Житомирській області.

Наукові інтереси:

- методи та прилади вимірювання механічних величин;
- моделювання та оптимізація вимірювальних систем;
- автоматизація банківських технологій.