

Висновок. Отже, виконане моделювання теплового стану конструкції свердла з мідним прошарком показало, що в цій конструкції рівень температур та їх градієнтів в зоні різання інструмента значно знижується, що покращує робочі характеристики міцності інструмента.

1. Авторське свідоцтво 994153. Свердло. Н.Г. Ткачик, С.П. Капустян, В.Н. Гончаренко. Приоритет 23.10. 1980. Зареєстровано 8.10. 1982 г. 2. Резников А.И., Резников Л.А. *Тепловые процессы в технологических системах* — М., 1990. 3. Коздоба Л.А. *Электрическое моделирование явлений тепло- и массопереноса.* — М., 1972. 4. Мошнянский А.Ф., Мулько В.И. *Автоматизация и контроль режимов подогрева вязких грузов на танкерах.* — М., 1982.

УДК 531.787

Р. Дебрянська

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ МАЛИХ ТИСКІВ

© Дебрянська Р., 2004

The basic methods and modern means of low pressure measurement are analysed and the possibility of a laser mode of deriving of an information about low pressure is considered with the purpose of accuracy enhancement of a measurement.

1. Постановка проблеми. Вимірювання малих тисків необхідне практично в будь-якій галузі науки і техніки як для вивчення фізичних процесів, які відбуваються в природі, так і для контролю за функціонуванням технологічних процесів на різних виробництвах. За тиском контролюють стан робочих середовищ в різноманітних технологічних процесах нафтохімічної промисловості, енергетики тощо. Так, наприклад, термогазодинамічні процеси в топках теплогенеруючих агрегатів відбуваються при малих тисках (або при малому розрідженні, або при малому надлишковому тиску).

Наявність невеликого (до 20...30 Па) постійного розрідження у верхній частині топки котлоагрегату необхідна за умовами нормального топкового режиму. Це розрідження запобігає виходові газів і полум'я з топки, сприяє стійкості факела і є непрямим показником матеріального балансу між повітрям, яке нагнітають в топку, і димовими газами [1].

Розрідження в топці має великий вплив і на підсмоктування первинного повітря. Так, наприклад, зміна розрідження в топці з 1,6 до 2,6 мм вод. ст., тобто лише на 1 мм вод. ст. (10 Па), викликає (при незмінному тиску газу перед пальником у 20 мм вод. ст.) збільшення підсмоктування первинного повітря з 60 до 80 % від теоретично необхідного. Тому при експлуатації атмосферних пальників велике значення має точність підтримування тяги в топці котла [2, 3].

Отже, розрідження, як видно з наведеного, крім забезпечення нормального режиму роботи теплогенеруючих агрегатів, дуже сильно впливає на їх економічність.

2. Аналіз стану вимірювання малих тисків. Нині відомо декілька десятків методів вимірювання тиску [4—6]. Ці методи багато в чому визначають як принципи дії, так і конструктивні особливості засобів вимірювань.

Тиск, зважаючи на загальні позиції, може бути визначений двома способами, а саме: або за допомогою безпосереднього вимірювання тиску, або за допомогою вимірювання іншої фізичної величини, функціонально зв'язаної з вимірюваним тиском.

У першому випадку вимірюваний тиск діє безпосередньо на чутливий елемент (ЧЕ) вимірювального перетворювача, який передає інформацію про значення тиску наступним ланкам вимірювальної схеми для її перетворення в необхідну форму. Цей метод визначення тиску є методом прямих вимірювань і найширше застосовується в техніці вимірювань тиску. На ньому ґрунтуються принципи дії більшості манометрів і вимірювальних перетворювачів тиску.

У другому випадку безпосередньо вимірюють інші фізичні величини або параметри, які характеризують фізичні властивості контрольованого середовища, і закономірно зв'язані з вимірюваним тиском (температура кипіння рідини, швидкість поширення ультразвуку, теплопровідність газу тощо). Цей метод є методом непрямих вимірювань тиску. Його застосовують, як правило, тоді, коли з тих чи інших причин неможливо застосувати прямий метод, наприклад, при вимірюванні наднизького тиску (вакуумна техніка) або при вимірюванні високих і надвисоких тисків.

Тиск є похідною фізичною величиною, яка визначається трьома основними фізичними величинами — масою, довжиною і часом. Конкретна реалізація значення тиску залежить від способу відтворення одиниці тиску. Під час вимірювання відповідно до формули

$$P = F/S \quad (1)$$

тиск P визначається силою F і площею S , а відповідно до формули

$$P = H \cdot \rho \cdot g \quad (2)$$

висотою H стовпа рідини, її густиною ρ і прискоренням вільного падіння g .

Методи визначення тиску, основані на вимірюванні вказаних величин, є абсолютними (фундаментальними) і їх застосовують при відтворенні одиниці тиску еталонами вантажно-поршневого і рідинного типів. Ці методи також дають змогу виконувати атестацію еталонних засобів вимірювання тиску (ЗВТ).

Відносний метод вимірювань, на відміну від абсолютного, базується на попередньому дослідженні залежності від тиску фізичних властивостей і параметрів ЧЕ ЗВТ під час прямих вимірювань або інших фізичних величин і властивостей контрольованого середовища — під час непрямих вимірювань. Наприклад, деформаційні манометри перед їх застосуванням для вимірювання тиску повинні бути спочатку проградуйовані за допомогою еталонних засобів вимірювань відповідної точності.

Крім класифікації за основними методами вимірювань і видами тиску, засоби вимірювань малих тисків класифікують також за принципом дії, функціональним призначенням, діапазоном і точністю вимірювань. Найістотнішою класифікаційною ознакою є принцип дії ЗВТ.

Важливою ланкою будь-якого ЗВТ є його ЧЕ, який сприймає вимірюваний тиск і перетворює його в первинний сигнал, що надходить у вимірювальне коло приладу. За допомогою проміжних перетворювачів сигнал від ЧЕ перетворюється у покази манометра або реєструється ним, а у вимірювальних перетворювачах тиску (ВПТ) — в уніфікований вихідний сигнал, який надходить в системи вимірювання, контролю, регулювання та керування. Проміжні перетворювачі та вторинні прилади уніфіковані і можуть бути застосовані у поєднанні з ЧЕ різних типів. Тому принципів особливості манометрів і ВПТ залежать насамперед від типу ЧЕ.

За принципом дії ЧЕ ЗВТ поділяють на такі основні групи [5]:

1. ЗВТ, основані на прямих абсолютних методах: поршневі манометри і ВПТ, зокрема і вантажно-поршневі манометри, манометри з нециліндричним неущільненим поршнем, дзвовні, кільцеві і рідинні манометри.

2. ЗВТ, основані на прямих відносних методах: деформаційні манометри і ВПТ, зокрема з силовою компенсацією; напівпровідникові манометри і ВПТ; манометри інших типів, основані на зміні фізичних властивостей ЧЕ під дією тиску.

3. ЗВТ, основані на методах непрямих вимірювань: установки і прилади для визначення тиску за результатами вимірювання інших фізичних величин; установки і прилади для визначення тиску за результатами вимірювання параметрів фізичних властивостей контрольованого середовища (термопарні та іонізаційні вакуумметри, ультразвукові манометри, в'язкісні вакуумметри тощо).

Отже, для вимірювання різних тисків і в різних умовах з вищеописаних методів застосовують такі, які придатні для конкретного випадку вимірювання. Тому постало питання вивчення та аналізу цих методів і засобів, що їх реалізують, з погляду придатності для вимірювання малих надлишкових тисків і малих розріджень.

3. Мета роботи. Метою роботи є дослідження можливості застосування сучасних ЗВТ для вимірювання малих надлишкових тисків і розріджень, а також розробка заходів з підвищення точності цих засобів для потреб автоматизації теплогенеруючих агрегатів.

4. Виклад основного матеріалу. Прямі методи вимірювання тиску реалізують рідинні, поршневі та деформаційні манометри. В рідинних манометрах метод вимірювання реалізується згідно з рівнянням (2), що базується на зрівноваженні тиску стовпом рідини, а в поршневих та деформаційних манометрах — згідно з рівнянням (1), що ґрунтується на визначенні тиску за відношенням сили до площі.

Серед рідинних манометрів для вимірювання малих тисків застосовують U-подібні мановакуумметри, чашкові мікроманометри з нахиленою трубкою та двочашкові мікроманометри, заповнені двома незмішуваними рідинами.

Двотрубні U-подібні мановакуумметри типу МВ при їх заповненні водою випускаються на діапазони вимірювань від 0...1000 Па до 0...10 000 Па. Похибка вимірювань становить ± 20 Па. Ці манометри достатньо універсальні і дають змогу вимірювати як додатні та від'ємні надлишкові тиски, так і різницю тисків [5].

Найпоширенішим двочашковим манометром є компенсаційний рідинний мікроманометр типу МКВ-250. Його технічні характеристики такі: діапазон вимірювань 0...2500 Па; клас точності 0,02; похибка вимірювань 0,5 Па.

Як портативні переносні прилади застосовують двочашкові мановакуумметри типу ППР-2М, призначені для повірки дифманометрів—витратомірів, манометрів, вакуумметрів, тягомірів і напоромірів. Шкала приладу виконана розбірною, що дає змогу його транспортування в двох компактних футлярах. Прилад ППР-2М має такі технічні характеристики: діапазон вимірювань 0...133 000 Па для ртуті, 0...9800 Па для води або від 0 до 1000 мм стовпа рідини; відносна похибка вимірювань 0,3 % [5].

Рідинні манометри забезпечують високу точність вимірювання і високу стабільність показів. Тому їх, переважно, застосовують для високоточних вимірювань в діапазоні тисків, близьких до атмосферного тиску, тобто як еталонні засоби вимірювань. Проте для технічних вимірювань вони є непридатними, тут їх уже давно витіснили деформаційні манометри.

У поршневих манометрах вимірюваний тиск, що діє на поршень, перетворюється в силу і визначається за значенням сили, необхідної для її зрівноваження. Оскільки зусилля тиску в найпоширеніших поршневих манометрах зрівноважується вагою вантажу, то їх називають вантажно-поршневими манометрами. Серед них для вимірювання малих надлишкових тисків придатні еталонні вантажно-поршневі манометри типу МП-04. Їх випускають на діапазон вимірювання 6...40 кПа з класом точності 0,2. Для вимірювання малих надлишкових тисків і розріджень застосовують еталонні вантажно-поршневі мановакуумметри МВП-2,5 з класом точності 0,05. Ці прилади мають такі метрологічні характеристики: межі вимірювання від -100 до $+250$ кПа; допустима основна похибка ± 5 Па при тиску до 10 кПа і $\pm 0,05$ % від вимірюваного значення при тиску вище ніж 10 кПа [5]. Поршневі манометри переважно застосовують як еталонні ЗВТ завдяки високій точності та стабільності.

Найпоширенішим видом приладів для вимірювання тиску є деформаційні (пружинні) манометри. Простота та компактність деформаційних манометрів, можливість їх застосування в різних умовах експлуатації дуже швидко забезпечили їм перше місце в техніці вимірювань тиску практично у всіх галузях народного господарства. Вони забезпечують високу точність вимірювань, в окремих випадках похибка вимірювань не перевищує 0,02...0,05 %.

В деформаційних манометрах первинним вимірювальним перетворювачем тиску слугує пружний чутливий елемент (ПЧЕ). Вимірюваний тиск, який діє на пружну оболонку ПЧЕ, зрівноважується напруженнями, які виникають в матеріалі пружної оболонки. Отже, ПЧЕ перетворює тиск, який є його вхідною величиною, у вихідну величину, яка дає вимірювальну інформацію про значення тиску. Вибір того чи іншого вихідного сигналу ПЧЕ визначає принцип дії деформаційного манометра.

Для побудови деформаційних манометрів застосовують два основні методи: метод прямого і метод зрівноважувального перетворення.

У більшості деформаційних манометрів мірою тиску є деформація ПЧЕ (переміщення заданої точки його пружної оболонки). Такі манометри широко застосовують завдяки відносній простоті перетворення переміщення в інформацію про вимірюваний тиск. Разом з тим, дуже поширені деформаційні манометри, основані на безпосередньому перетворенні напружень в інформацію про вимірюваний тиск (методи прямого перетворення), а також на способі силової компенсації вимірюваного тиску (методи зрівноважування). У всіх випадках застосовують одні й ті самі типи ПЧЕ.

Залежно від конструктивного виконання ПЧЕ деформаційні манометри поділяють на трубчасті, мембранні та сильфонні.

Для перетворення переміщення ПЧЕ переважно застосовують методи, що ґрунтуються на вимірюванні електричних величин, і, насамперед, електромагнітні та електростатичні перетворювачі, а також резистивні перетворювачі тощо.

Серед деформаційних манометрів для вимірювання малих тисків здебільшого застосовують прилади мембранного і сильфонного типів.

Для вимірювання малих тисків серійно виготовляють мембранно-ємнісний перетворювач типу ПДД-1-10А, який комплектується показувальним вторинним приладом типу ВД-1 з цифровим відліком. Перетворювач дає змогу вимірювання в двох діапазонах: 1,3...173 Па і 173...1330 Па. Похибка вимірювань становить 5...10 % залежно від діапазону, що для області вакуумних вимірювань забезпечує велику точність [5].

Фірма "Rosemount Inc." (США) випускає ємнісний перетворювач типу 1151ДР, який ізолюється від контрольованого середовища розділюючими мембранами, що забезпечує постійність діелектричної проникності середовища між обкладками ємнісного перетворювача і підвищує точність вимірювання. Перетворювач має діапазони вимірювань різниці тисків від 0...1250 Па до 0...200 кПа при статичному тиску до 14 МПа. Похибка вимірювань не перевищує $\pm 0,2$ %, довготривала стабільність показів $\pm 0,2$ % за 6 місяців [5].

До переваг ємнісних перетворювачів можна зарахувати високу точність і чутливість, простоту конструкції, можливість застосування при високих температурах (до 350 °С) і малу інерційність. Проте для забезпечення високої точності необхідно застосовувати генератори високої частоти, захист від завад (спеціальні екрановані кабелі, розміщення електроніки поблизу перетворювача тощо). Слід зауважити, що ці заходи призводять до подорожчання апаратури, необхідної для застосування з ємнісними перетворювачами, порівняно з іншими методами перетворення переміщення.

Розробляючи системи автоматичного регулювання розрідження, в котлах широко застосовують мембранні диференційні тягоміри типу ДТ-2. Модель тягоміра ДТ-2-50 випускають з межами вимірювань 0...500 Па, модель ДТ-2-100 — з межами вимірювань 0...1000 Па. Вихідний сигнал перетворювача 0...10 мГн, межа допустимої основної похибки $\pm 2,5$ % [7, 8].

Із загальнопромислових серійно виготовлюваних ВПТ для вимірювання малих тисків придатні вимірювальні перетворювачі типу "Сапфір-22", в яких перетворення переміщення мембрани в електричний аналоговий стандартний сигнал 0...5 або 0...20, або 4...20 мА постійного струму здійснюється за допомогою напівпровідникового тензорезистивного перетворювача. Вимірювальний перетворювач розрідження типу "Сапфір-22ДВ" моделі 2210 має верхню межу вимірювань – 250 Па, а моделі 2210 — межі вимірювань від –400 до –1600 Па. Межі допустимої основної похибки цих перетворювачів становлять ± 1 % [7, 8].

Для вимірювання малих тисків також застосовують вимірювальний перетворювач тиску-розрідження типу "Сапфір-22ДІВ" моделі 2310 з такими межами вимірювань: від –125 до +125 Па, межа допустимої основної похибки ± 1 %; від –200 до +200 Па, межа допустимої основної похибки $\pm 0,5$ %; від –300 до +300 Па, межа допустимої основної похибки $\pm 0,5$ %; від –500 до +500 Па, межа допустимої основної похибки $\pm 0,25$ %; від –800 до +800 Па, межа допустимої основної похибки $\pm 0,5$ %, а також моделі 2320 з межами вимірювань від –1250 до +1250 Па, межа допустимої основної похибки $\pm 0,25$ % або $\pm 0,5$ % [7, 8].

Одна з провідних зарубіжних фірм “Druck Ltd” (Англія) випускає напівпровідникові перетворювачі в комплекті з вторинними показувальними приладами типу DPJ220 з цифровим відліком. Манометр відрізняється високою точністю. Сумарна похибка не перевищує 0,1 % верхньої межі вимірювань. Ці перетворювачі дають змогу вимірювати малі тиски в діапазонах від 0...7,5 кПа для надлишкового тиску, від 0...17,5 кПа для різниці тисків та від 0...35 кПа для абсолютного тиску [5].

Фірмою “Wallance & Tiernan” (Німеччина) розроблено цифровий сильфонний манометр “Dipton 2” з тензорезисторним перетворювачем. Він забезпечує вимірювання тиску з похибкою 0,05 %. Манометр виготовляється на діапазони вимірювань від 0...0,1 бар (0...10 кПа) і призначений для вимірювання надлишкового тиску та розрідження. Незважаючи на низку очевидних переваг (висока точність, довготривала стабільність, висока власна частота), фольгові тензорезистори мають також і недоліки: порівняно дорогі; невисока тензочутливість, властива всім металевим тензорезисторам; обмежений діапазон температур [5].

Отже, із наведеного огляду розглянутих промислових деформаційних приладів для вимірювання малих тисків впливає, що їх основна абсолютна допустима похибка коливається в межах від ± 2 до ± 60 Па. Точність вимірювання, яку забезпечують ці прилади, є недостатньою для контролю і керування ритмічними процесами, до яких, зокрема, належить аеродинамічний процес у топці котлоагрегату. Коливання (пульсації) тиску в топці котлоагрегату відбуваються біля середнього значення з амплітудою 30...50 Па (3...5 мм вод. ст.) і частотою до декількох герц, що ускладнює його стабілізацію.

Аналіз лазерних інформаційно-вимірювальних систем [9] показав, що вони в диференційному виконанні вимірювального перетворювача дають змогу вимірювати переміщення поверхні розділу фаз в межах від 0,001 до 1 мм з роздільною здатністю 0,01 мм. Лазерні вимірювальні перетворювачі не тільки мають велику чутливість, але їм властива також лінійність статичної характеристики перетворення та завадостійкість до наявних в промисловості електромагнітних полів. Застосування таких лазерних вимірювальних перетворювачів в поєднанні з мембранними манометрами на малі тиски для контролю переміщення мембрани як чутливого елемента манометра, дасть змогу досягти дуже високої чутливості таких вимірювачів малих тисків і, відповідно, значно підвищити точність вимірювання таких тисків.

Отже, підвищення точності вимірювання розрідження в топці котла, як показано вище, може забезпечити застосування лазерних інформаційно-вимірювальних систем [9], що, відповідно, дасть змогу здійснювати належний контроль за такими процесами і ефективно керування ними.

5. Висновки. На підставі аналізу технічних можливостей і метрологічних характеристик лазерних інформаційно-вимірювальних систем пропонується застосувати метод лазерного зондування для отримання інформації про значення контрольованих малих тисків в топках теплогенеруючих агрегатів, що дасть змогу підвищити точність вимірювання цих тисків та забезпечити високу їх стабілізацію в топках і ефективно керування аеродинамічними процесами, що відбуваються в таких агрегатах.

1. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций. — М., 1981. 2. Мурзаков В.В. Основы теории и практики сжигания газа в паровых котлах. — М., 1969. 3. Чепель В.М. Сжигание газа в топках котлов и печей. — М., 1964. 4. Гонек Н.Ф. Манометры. — Л., 1979. 5. Хансуваров К.И., Цейтлин В.Г. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара. — М., 1990. 6. Фернер В. Пневматические приборы низкого давления. — М., 1964. 7. Промышленные приборы и средства автоматизации: Справочник / Под ред. В.В. Черенкова. — Л., 1987. 8. Чистяков В.С. Краткий справочник по теплотехническим измерениям. — М., 1990. 9. Сікора Л.С. Лазерні інформаційно-вимірювальні системи для управління технологічними процесами. — Львів, 1998.