

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. Справочник. Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. – 701 с. 2. Цейтлин В.Г. Расходоизмерительная техника. М.: Издательство стандартов, 1977. – 240 с. 3. Киясбейли А. Ш. и др. Частото-временные ультразвуковые расходомеры

и счетчики. М.: Машиностроение. 1984. – 128 с. 4. Нетесин С.Г. Ультразвуковые счетчики газа “Гобой-1” // Методи та прилади контролю якості, 2001. – №7. – 157 с. 5. Л. Рабинер, Б. Гоулд. Теория и применение цифровой обработки сигналов. М.: Мир, 1978, – 835 с.

УДК 681.121

МЕТРОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І АТЕСТАЦІЯ ДЗВОНОВОЇ УСТАНОВКИ ВДДУ-0,44М

© Бродин Ю.І., Бродин З.М., 2003

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Наведено методику проведення метрологічних досліджень, обробки їх результатів та державної метрологічної атестації робочого еталону об'єму газу з границями сумарної відносної похибки $\pm 0.25\%$ в діапазоні витрат від 3 до 1600 м³/год на базі дзвонивої установки ВДДУ-0,44М, спорудженої в АТ “Кримтеплокомуненерго” (м. Сімферополь)

Метрологічні дослідження та державна метрологічна атестація дзвонивої установки ВДДУ-0,44М (далі по тексті – установка), спорудженої в АТ “Кримтеплокомуненерго” (м. Сімферополь), проведені нами спільно з органами Держстандарту України (Івано-Франківським та Кримським ДЦСМС) згідно розробленої програми і методики державної метрологічної атестації.

При відтворенні об'єму похибка установки визначалась за результатами розрахунків середньоквадратичних відхилень (СКВ) та невиключених систематичних похибок (НСП) результатів вимірювання контрольного об'єму газу.

Первинна метрологічна атестація контрольного об'єму дзвона мірника проводилась розрахунково-геометричним методом [1] шляхом вимірювання внутрішнього діаметра дзвону перед його монтажем. Визначення об'єму дзвону при його подальших періодичних звіряннях не вимагає демонтажу і може проводитись за експериментально-розрахунковим методом шляхом вимірювання периметрів його перетинів та товщини стінки.

Атестація контрольного об'єму шляхом вимірювання внутрішнього діаметра дзвону полягає в наступному. Весь об'єм дзвону розбивають на фіксовані об'єми. Для цього вибирають декілька перетинів дзвону по його висоті, починаючи від нижнього краю дзвону. Причому, деяка нижня ділянка дзвону не використовується з метою використання її об'єму для розгону приладів.

Засобами атестації є спеціальний мікрометричний нутромір, виготовлений Сімферопольським машинобудівним заводом та атестований Кримським ДЦСМС,

стрічка зразкова, динамометр, мікроскоп МПБ.

Кількість точок вимірювання внутрішнього діаметра в кожному перетині дорівнювала шести (вимірювання проводять через кожні $(30 \pm 2)^\circ$ дуги). Вимірювання кожного окремого діаметра проводилося по 13 разів. Для проведення вимірювань внутрішнього діаметра дзвін перевертали днищем донизу. На внутрішній поверхні стінки дзвона наносили відмітки на вибраних висотах (по кілька відміток однієї висоти на кожному периметрі). Через отримані відмітки проводили лінії периметрів дзвона. На цих лініях за допомогою зразкової стрічки визначали 12 точок по довжині периметру, що відповідали місцям контакту розсувних упорів мікрометричного нутроміра для вимірювання внутрішніх діаметрів з кроком $(30 \pm 2)^\circ$. Довжина дуги, що відповідає куту $(30 \pm 2)^\circ$, визначалась за формулою $l_{30^\circ} = \pi \bar{d} / 12$, де \bar{d} – середнє значення внутрішнього діаметра дзвону. Для дзвону з внутрішнім діаметром 1800 мм довжина дуги, що відповідає куту 30° , складає (471 ± 2) мм. У відмічених точках за допомогою мікрометричного нутроміра проводили вимірювання внутрішнього діаметра дзвону. Порядок проведення вимірювань у решті перетинах аналогічний. Таким чином одержували інформації у вигляді декількох масивів для 6 значень діаметра по 13 вимірювань в кожному перетині дзвону. Далі отримані результати обробляли за допомогою ПЕОМ за допомогою програми, розробленої на основі розрахунково-геометричного методу. За одержаними результатами вимірювання внутрішнього діаметра дзвону обчислювали його СКВ.

Поділки шкали мірника у м³ наносили під час

калібрування дзвону шляхом гравіювання за допомогою верстату з числовим програмним управлінням, після чого шкалу мірника повіряли в органах Держстандарту України.

Довжина H контрольної ділянки шкали мірника, а також проміжних інтервалів шкали визначали за допомогою ПЕОМ та наведеного вище методу. Залежно від необхідних значень контрольного об'єму при метрологічній атестації навпроти відповідних поділок шкали мірника встановлювали переривачі світлового потоку. Місця встановлення переривачів пломбували.

СКВ результату відтворення контрольного об'єму установкою визначали в залежності від вибраного методу з урахуванням випадкових похибок, обумовлених зміною температури і тиску повітря під дзвоном. При атестації контрольного об'єму дзвону шляхом вимірювання його внутрішнього діаметра СКВ S_o результату відтворення контрольного об'єму визначали за формулою:

$$S_o = \sqrt{\left(\frac{S_v \cdot 100}{V_o}\right)^2 + \delta_T^2 + \delta_P^2 + \delta_{P_0}^2}, \quad (1)$$

де S_v – СКВ визначення об'єму за геометричними розмірами; V_o – заданий об'єм контрольної дози газу; δ_T , δ_P та δ_{P_0} – випадкові похибки від нестабільності температури, тиску повітря під дзвоном та атмосферного тиску відповідно.

СКВ S_v знаходили за формулою:

$$S_v = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial d}\right)^2 \cdot S_d^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial H}\right)^2 \cdot S_H^2}. \quad (2)$$

Коефіцієнти впливу вимірювальних величин – часткові похідні $\frac{\partial V}{\partial d}$ та $\frac{\partial V}{\partial H}$ – визначали за формулами:

$$\frac{\partial V}{\partial d} = \frac{1}{2} H \pi \bar{d}, \quad \frac{\partial V}{\partial H} = \frac{\pi \bar{d}^2}{4}, \quad (3)$$

де H – висота ділянки дзвону, значення якої відповідає контрольному об'ємові і виставлене на шкалі його мірника в ході ДМА; \bar{d} – середнє значення внутрішнього діаметра дзвону на поділці висоти H .

СКВ вимірювання внутрішнього діаметра S_d та висоти S_H контрольної ділянки дзвону знаходили за формулами:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad S_H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - \bar{H})^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (4)$$

де $n = 13$ – кількість вимірювань в масиві; d_i , H_i – виміряні значення відповідно внутрішнього діаметра та висоти контрольної ділянки дзвона; \bar{d} , \bar{H} – середні значення внутрішнього діаметра та висоти контрольної ділянки дзвону.

Випадкову похибку δ_T від нестабільності температури під дзвоном визначали як зміну контрольного об'єму від заданого значення V_0 до значення V_{T1} , зміненого під впливом температури, за формулами:

$$\delta_T = \frac{V_{T1} - V_0}{V_0} \cdot 100, \quad V_{T1} = V_0 \cdot \frac{T_1}{T_0 - T_1} \cdot \ln\left(\frac{T_0}{T_1}\right), \quad (5)$$

де T_0 , T_1 – відповідно мінімальне та максимальне значення температури повітря під дзвоном, зафіксоване за час тривання вимірювального експерименту.

Випадкову похибку δ_P , обумовлену непостійністю тиску повітря під дзвоном, визначали за формулами:

$$\delta_P = \frac{V_{P1} - V_0}{V_0} \cdot 100, \quad V_{P1} = \frac{V_0 \cdot P_0}{P_0 + \Delta P}, \quad (6)$$

де V_0 та V_{P1} – відповідно заданий контрольний об'єм та об'єм, змінений під впливом зміни тиску; P_0 – номінальне значення тиску під дзвоном; ΔP – максимальна різниця тисків під дзвоном, зафіксована за час тривання вимірювального експерименту.

Випадкова похибка δ_{P_0} , обумовлена непостійністю атмосферного тиску, виникає лише в тому випадку, коли фіксується його зміна протягом одного вимірювального циклу. Похибку δ_{P_0} визначали за наведеними вище формулами для визначення δ_P .

НСП результату відтворення контрольного об'єму залежить від інструментальних похибок засобів вимірювань, що застосовуються при метрологічній атестації. НСП визначення контрольного об'єму шляхом вимірювання внутрішнього діаметра дзвону розраховували за формулою:

$$I_{V_0} = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial d}\right)^2 \cdot \Delta d^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial H}\right)^2 \cdot \Delta H^2}, \quad (7)$$

де Δd , ΔH – відповідно НСП вимірювання діаметра і висоти контрольної ділянки дзвону.

НСП Δd вимірювання діаметра визначається ціною поділки спеціального мікрометричного нутроміра (ціна поділки 0,01 мм), а НСП ΔH вимірювання висоти контрольної ділянки дзвону – похибкою нанесення поділок шкали мірника пристроєм для вимірювання довжини (ціна поділки 0,01 мм). Похибка вказана в документі про її атестацію Кримським ЦСМС.

НСП системи збору інформації про покази ДП визначалася як похибка дискретності цієї системи з

виразу:

$$I_{III} = \left(\frac{1}{N_{\min}} \right) \cdot 100, \quad (8)$$

де N_{\min} – мінімальна кількість імпульсів, що надходить з ДП при пропусканні через нього контрольного об'єму, відтвореного дзвоном мірником установки.

Сумарна похибка установки в режимі вимірювання одиниці об'єму газу складається із НСП I_{V_0} визначення контрольного об'єму дзвона, НСП I_{III} системи збору інформації з ДП та НСП I_H , обумовленої зміною рівня замкової рідини у витіснювачі мірника, і обчислювалася за формулою:

$$I_0 = \pm k \cdot \sqrt{\frac{I_{V_0}^2 \cdot 100}{V_0} + I_{III}^2}, \quad (9)$$

де k – коефіцієнт залежності НСП від прийнятого значення довірчої імовірності (для $P=0.95$ коефіцієнт $k=1.1$).

Похибка передачі розміру контрольного об'єму газу, що витісняється з-під дзвону до ДП, має систематичну та випадкову складові.

Згідно закону газового стану, об'єм, що подається на вхід ДП, визначали за формулою:

$$V_1 = \frac{V_0 \cdot P_0 \cdot T_1}{P_1 \cdot T_0}, \quad (10)$$

де V_0 – задане значення контрольного об'єму, витісненого дзвоном мірником; V_1 – об'єм, що пройшов через ДП; P_0, P_1 – абсолютні значення тиску під дзвоном та перед ДП; T_0, T_1 – значення температури під дзвоном та перед приладом.

Оскільки об'єм V_1 визначається шляхом опосередкованих вимірювань, то НСП передачі розміру контрольного об'єму визначали за формулою:

$$I_{Vn} = \pm k \sqrt{\left(\frac{\partial V_1}{\partial V_0} \right)^2 \Delta V_0^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial P_0} \right)^2 \Delta P_0^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial T_1} \right)^2 \Delta T_1^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial P_1} \right)^2 \Delta P_1^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial T_0} \right)^2 \Delta T_0^2}, \quad (11)$$

де $\Delta V_0, \Delta P_0, \Delta T_1, \Delta P_1, \Delta T_0$ – інструментальні похибки вимірювання даних параметрів. Часткові похідні визначали за формулами:

$$\frac{\partial V_1}{\partial V_0} = \frac{P_0 T_1}{P_1 T_0}, \quad \frac{\partial V_1}{\partial P_0} = \frac{V_0 T_1}{P_1 T_0}, \quad \frac{\partial V_1}{\partial T_1} = \frac{V_0 P_0}{P_1 T_0}, \quad (12)$$

$$\frac{\partial V_1}{\partial P_1} = -\frac{V_0 P_0 T_0 T_1}{(P_1 T_0)^2}, \quad \frac{\partial V_1}{\partial T_0} = -\frac{V_0 P_0 T_1 P_1}{(P_1 T_0)^2}. \quad (13)$$

Похибка вимірювання об'єму ΔV_0 є НСП відтворення контрольного об'єму, тобто $\Delta V_0 = \Theta_0$.

Похибки вимірювання тисків ΔP_0 та ΔP_1 приймаються рівними ціні останнього розряду вторинного приладу даного вимірювального каналу інформаційно-вимірювальної системи (ІВС). Похибки вимірювання температур ΔT_0 та ΔT_1 визначаються останнім розрядом вторинного приладу відповідного вимірювального каналу ІВС.

СКВ передачі розміру контрольного об'єму до ДП визначали за формулою:

$$S_{Vn} = \sqrt{\left(\frac{\partial V_1}{\partial V_0} \right)^2 S_{V_0}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial P_0} \right)^2 S_{P_0}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial T_1} \right)^2 S_{T_1}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial P_1} \right)^2 S_{P_1}^2 + \left(\frac{\partial V_1}{\partial T_0} \right)^2 S_{T_0}^2}, \quad (15)$$

де S_{V_0} – СКВ відтворення контрольного об'єму (%),

звідси $S_{V_0} = S_0$; $S_{P_0}, S_{T_1}, S_{P_1}, S_{T_0}$ – СКВ вимірювання тисків та температур відповідних каналів ІВС (%), беруться із результатів МА каналів ІВС).

Похибку передачі розміру контрольного об'єму до ДП визначали за формулою:

$$S_{IO} = \sqrt{S_{Vn}^2 + \frac{1}{3} I_{Vn}^2}. \quad (16)$$

За результатами атестації установку ВДДУ-0,44М №01 атестовано як робочий еталон об'єму газу і допущено до застосування з границями сумарної відносної похибки $\pm 0.25\%$ в діапазоні витрат від 3 до 1600 м³/год.

1. Пат. 33448А Україна, МКІ G01F 25/00. Спосіб точного оцінювання об'єму дзвона еталона витрати газу / Бродин Ю.І. - №99021041; Заявл. 23.02.1999; Опубл. 15.02.2001, бюл. №1.