

ВИБІР ВЕРХНЬОЇ ГРАНИЦІ ПЕРЕПАДУ ТИСКУ ДИФМАНОМЕТРА ПІД ЗАДАНІ ПАРАМЕТРИ ДІАФРАГМИ ТА ТРУБОПРОВОДУ

© Лесовой Л.В., Кузик В.А., 2013

Національний університет «Львівська політехніка», кафедра «Автоматизації теплових і хімічних процесів»
вул. Устияновича, 5, Львів, 79013, Україна

В статті наведено рівняння для визначення перепаду тиску на діафрагмі та розроблено алгоритм вибору верхньої границі перепаду тиску диференціального манометра.

В статье приведено уравнение для определения перепада давления на диафрагме и разработан алгоритм выбора верхней границы перепада давления дифференциального манометра.

The article describes the equation for determining the pressure drop across the orifice plate and algorithm selection upper limit differential pressure differential manometer.

Постановка проблеми. При проектуванні витратомірів змінного перепаду тиску та встановлених витратомірів на пунктах обліку природного газу виникає задача визначення верхньої границі перепаду тиску дифманометра під задані характеристики стандартного звужувального пристрою та вимірювального трубопроводу під задане максимальне значення витрати природного газу. Розробка залежності визначення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої та алгоритму визначення верхньої границі перепаду тиску дифманометра є актуальною задачею при проектуванні таких витратомірів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Із проведеного аналізу було встановлено, що Пістуном, Лесовим і Круком [1] було отримано аналітичне рівняння для визначення значення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої у вигляді

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \kappa \cdot p}{3 \cdot (0.41 + 0.35 \cdot m^2)} \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{1}{3} \cdot \arccos \left(1 - \frac{13.5 \cdot V_{РД} \cdot (0.41 + 0.35 \cdot m^2)}{\kappa \cdot (\alpha \cdot m)^2} \right) \right) \right), \quad (1)$$

де Δp – перепад тиску на стандартному звужувальному пристрої; p – абсолютний тиск газоподібного середовища; κ – показник адиабати газоподібного середовища; α – коефіцієнт витрати стандартного звужувального пристрою; m – відносна площа стандартного звужувального пристрою; $V_{РД}$ – безрозмірний комплекс, який залежить від одиниць вимірювання витрати і визначається за рівняннями наведеними в [1].

З рівняння (1) визначали перепад тиску на стандартному звужувальному пристрої. Рівняння (1) було отримане із застосуванням аналітичної залежності коефіцієнта розширення газоподібного середовища, яке наведене за старим нормативним документом РД 50-213-80 [2].

У 2010 році в Україні діють національні стандарти України з вимірювання витрати рідких та газоподібних середовищ ДСТУ ГОСТ 8.586.1,2:2009 [3,4], відповідно до яких змінені всі коефіцієнти та параметри рівняння витрати середовища. Тому для визначення верхньої границі перепаду тиску диференціального манометра необхідно розробити нове аналітичне рівняння для визначення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої.

Проведеними дослідженнями було встановлено, що відносне відхилення між значенням перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої визначеному з рівняння (1) та значенням перепаду тиску, яке було розраховане ітераційним шляхом за коефіцієнтами, що входять у рівняння витрати природного газу відповідно до ДСТУ ГОСТ 8.586.1,2:2009 [3,4], може становити 29 %. Таке відносне відхилення неможливе при визначенні перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої. Тому необхідно розробити нове аналітичне рівняння для розрахунку перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої.

Формулювання цілі. Отримати рівняння для визначення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої, як функцію параметрів діафрагми, вимірювального трубопроводу та витрати природного газу, а також на базі цього рівняння розробити алгоритм вибору верхньої границі вимірювання перепаду тиску дифманометра.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до національного стандарту України ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009[2] розрахунок значення об'ємної витрати q_c природного газу, приведеної до стандартних умов, здійснюють за рівнянням

$$q_c = \frac{\pi}{4} \cdot \beta^2 \cdot D^2 \cdot C \cdot E \cdot \varepsilon \cdot K_{ш} \cdot K_{п} \sqrt{2 \cdot \Delta p \frac{p \cdot T_c}{\rho_c \cdot p_c \cdot T \cdot K}}, \quad (2)$$

де D – внутрішній діаметр вимірювального трубопроводу за робочої температури; β – відносний діаметр діафрагми; C – коефіцієнт витікання діафрагми; E – коефіцієнт швидкості входу; ε – коефіцієнт розширення газоподібного середовища; $K_{ш}$ – поправковий коефіцієнт, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу; $K_{п}$ – поправковий коефіцієнт, який враховує притуплення вхідного канта діафрагми; ρ_c – густина газоподібного середовища за стандартних умов ($p_c = 101325 \text{ Па}$ і $T_c = 293.15 \text{ К}$); T – термодинамічна температура газоподібного середовища; K – коефіцієнт стискуваності газоподібного середовища.

Для того, щоб отримати рівняння розрахунку перепаду тиску Δp на діафрагмі необхідно виділити з рівняння (2) безрозмірний комплекс, який залежить від вхідних величин та відносного діаметру звужувального пристрою і не залежить від перепаду тиску на діафрагмі. З рівняння (2) отримаємо цей безрозмірний комплекс B

$$B = \frac{8 \cdot \rho_c \cdot p_c \cdot T \cdot K}{T_c} \cdot \left(\frac{q_c}{p \cdot C \cdot E \cdot K_{ш} \cdot K_{п} \cdot \beta^2 \cdot \pi \cdot D^2} \right)^2 \quad (3)$$

Запишемо коефіцієнти, які входять в рівняння (3), для визначення безрозмірного комплексу B .

Коефіцієнт витікання діафрагми C характеризує відношення дійсного значення витрати газоподібного середовища до його теоретичного значення і визначають за рівнянням Reader-Harris/Gallagher [4]

$$C = 0.5961 + 0.0261 \cdot \beta^2 - 0.216 \cdot \beta^8 + 0.000521 \cdot \left(\frac{10^6 \cdot \beta}{\text{Re}} \right)^{0.7} + (0.0188 + 0.0063 \cdot A) \cdot \beta^{3.5} \cdot \left(\frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{0.3} + (0.043 + 0.08 \cdot e^{-10 \cdot L_1} - 0.123 \cdot e^{-7 \cdot L_1}) \cdot (1 - 0.11 \cdot A) \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} - 0.031 \cdot (M_2' - 0.8 \cdot M_2'^{1.1}) \cdot \beta^{1.3} + M_3, \quad (4)$$

де

$$A = \left(\frac{19000 \cdot \beta}{\text{Re}} \right)^{0.8}; \quad M_2' = \frac{2 \cdot L_2'}{1 - \beta};$$

$$M_3 = \begin{cases} 0 & \text{для } D \geq 0.07112(2.8'') \\ 0.011 \cdot (0.75 - \beta) \cdot \left(2.8 - \frac{D}{0.0254} \right) & \text{для } D < 0.07112(2.8'') \end{cases};$$

Значення коефіцієнтів L_1 та L_2' залежать від способу відбору тиску на діафрагмі і розраховують відповідно за рівняннями:

– для діафрагм з кутовим способом відбору перепаду тиску

$$L_1 = L_2' = 0;$$

– для фланцевого способу відбору перепаду тиску

$$L_1 = L_2' = \frac{0.0254}{D};$$

– для діафрагм із трирадіусним способом відбору перепаду тиску

$$L_1 = 1; \quad L_2' = 0.47$$

Коефіцієнт швидкості входу E визначають за формулою [3]

$$E = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (5)$$

Рівняння для розрахунку значення поправкового коефіцієнта K_{Π} , який враховує притуплення вхідного канта діафрагми, представлено залежністю [4]

$$K_{\Pi} = \begin{cases} 1 & \text{для } r_k / \beta / D \leq 0.0004 \\ 0.9826 + (r_k / \beta / D + 0.0007773)^{0.6} & \text{для } r_k / \beta / D > 0.0004 \end{cases}, \quad (6)$$

де r_k – поточний радіус притуплення вхідного канта діафрагми, який розраховують за рівнянням [4]

$$r_k = a - (a - r_{\Pi}) \cdot e^{-\frac{\tau}{3}},$$

де a – коефіцієнт, який залежить від типу середовища і приймає значення такі, що дорівнюють: $a = 0.000195$ – для газу і $a = 0.00019$ – перегрітої пари; r_{Π} – початковий радіус вхідного канта діафрагми; τ – проміжок часу експлуатації діафрагми з моменту виміру початкового радіуса r_{Π} .

Рівняння для розрахунку значення поправкового коефіцієнта $K_{\text{ш}}$, який враховує шорсткість внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу, представлено залежністю [4]

$$K_{\text{ш}} = \begin{cases} 1 & \text{для } Ra_{\min} < Ra < Ra_{\max} \\ 1 + 5.22 \cdot \beta^{3.5} \cdot (\lambda - \lambda^*) & \text{для } Ra \leq Ra_{\min} \text{ і } Ra \geq Ra_{\max} \end{cases}, \quad (7)$$

де λ і λ^* – коефіцієнти тертя, значення яких розраховані при дійсному числі Re і еквівалентної шорсткості трубопроводу, що дорівнюють її дійсному значенню $R_{\text{ш}}$ і допустимому значенню $R_{\text{ш}}^*$, відповідно.

Значення λ і λ^* розраховують за формулою

$$\lambda = \left\{ 1.74 - 2 \cdot \lg \left[\frac{2 \cdot R_{\text{ш}}}{D} - \frac{37.36 \cdot \lg(k_D - k_R \cdot \lg(k_D + 3.3333 \cdot k_R))}{Re} \right] \right\}^{-2},$$

де

$$k_D = 0.26954 \cdot \frac{R_{\text{ш}}}{D}; \quad k_R = \frac{5.035}{Re}; \quad R_{\text{ш}}^* = \begin{cases} \pi \cdot Ra_{\max} & \text{для } Ra > Ra_{\max}, \\ \pi \cdot Ra_{\min} & \text{при } Ra < Ra_{\min} \end{cases}$$

де Ra_{\max} – максимальне допустиме значення середнього арифметичного відхилення профілю шорсткості внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу; Ra_{\min} – мінімальне допустиме значення середнього арифметичного відхилення профілю шорсткості внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу.

Значення Ra_{\max} обчислюють за рівнянням [4]

$$10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D} = \begin{cases} 0.718866 \cdot \beta^{-3.887} + 0.364 & \text{для } Re \leq 10^4 \text{ та } \beta < 0,65 \\ A_0 \cdot \beta^{A_1} + A_2 & \text{для } Re > 10^4 \text{ та } \beta < 0,65 \\ A_0 \cdot 0.65^{A_1} + A_2 & \text{для } Re > 10^4 \text{ та } \beta \geq 0,65 \end{cases},$$

де A_0, A_1, A_2 – коефіцієнти, які залежать від числа Re і розраховуються як

$$A_i = \sum_{k=0}^3 B_k \cdot [\lg(Re)]^k,$$

де B_k – постійні коефіцієнти, значення яких приведені в [4].

Значення Ra_{\min} обчислюють з рівняння [4]

$$10^4 \cdot \frac{Ra_{\min}}{D} = \begin{cases} 7.1592 - 12.387 \cdot \beta - (2.0118 - 3.469 \cdot \beta) \cdot \lg(Re) + \\ + (0.1382 - 0.23762 \cdot \beta) \cdot [\lg(Re)]^2 & \text{для } \beta < 0.65; \\ -0.892353 + 0.24308 \cdot \lg(Re) - 0.0162562 \cdot [\lg(Re)]^2 & \text{для } \beta \geq 0.65 \end{cases}$$

Якщо в результаті розрахунку, отримане значення $10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D} \geq 15$, то приймають $Ra_{\max} = 15 \cdot 10^{-4} \cdot D$.

Якщо в результаті розрахунку, отримане значення $10^4 \cdot \frac{Ra_{\min}}{D} \leq 0$, то приймають $Ra_{\min} = 0$.

Значення $10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D}$ заокруглюють до двох значущих цифр, якщо $1 < 10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D} < 15$, і до однієї цифри після коми, якщо $10^4 \cdot \frac{Ra_{\max}}{D} \leq 1$, а значення $10^4 \cdot \frac{Ra_{\min}}{D}$ заокруглюють до трьох цифр після коми.

Підставивши рівняння (3) у рівняння (2) і спростивши його, отримаємо рівняння, з якого можна визначити значення перепаду тиску на стандартному звукувальному пристрої,

$$\varepsilon^2 \cdot \frac{\Delta p}{p} = B \quad (8)$$

Відповідно до [4] запишемо рівняння коефіцієнта розширення ε природного газу, що враховує зміну питомого об'єму природного газу при протіканні його через діафрагму

$$\varepsilon = 1 - \left(0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8 \right) \cdot \left(1 - \tau^{\frac{1}{\kappa}} \right), \quad (9)$$

де

$$\tau = 1 - \frac{\Delta p}{p} \quad (10)$$

Підставляючи рівняння (9) для визначення коефіцієнта розширення ε газоподібного середовища у рівняння (8), отримаємо

$$\left[1 - \left(0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8 \right) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{\Delta p}{p} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \right) \right]^2 \cdot \frac{\Delta p}{p} = B \quad (11)$$

Як бачимо з рівняння (9) отримати аналітичний розв'язок для визначення перепаду тиску неможливо. Щоб отримати аналітичний розв'язок рівняння (9), розкладемо вираз $\left(1 - \frac{\Delta p}{p} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$ в ряд Маклорена [xx]:

$$f(x) = \sum_{n=0}^{\infty} f^{(n)}(0) \frac{x^n}{n!} = f(0) + f'(0)x + \frac{f''(0)x^2}{2!} + \dots + \frac{f^{(n)}(0)x^n}{n!} \quad (12)$$

де $f(x)$ – функція вигляду $\left(1 - \frac{\Delta p}{p}\right)^{\frac{1}{\kappa}}$; $x = \frac{\Delta p}{p}$; $f', f'', f^{(n)}$ – відповідні часткові похідні функції $f(x)$ по $\frac{\Delta p}{p}$.

Кінцевий вигляд ряду (12), матиме наступний вигляд

$$f\left(\frac{\Delta p}{p}\right) = 1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\Delta p}{p} + \frac{1}{2!} \cdot \left(\frac{1-\kappa}{\kappa^2}\right) \cdot \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + \dots + (-1)^n \cdot \frac{\left(\frac{1}{\kappa} - n + 1\right)!}{n!} \cdot \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^n \quad (13)$$

Виразимо з рівняння (13) ряд, який складатиметься з нульового та першого члена

$$f\left(\frac{\Delta p}{p}\right) = 1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\Delta p}{p} \quad (14)$$

Підставимо ряд (14) у рівняння (11)

$$\left[1 - \left(0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8\right) \cdot \left(1 - \left(1 - \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\Delta p}{p}\right)\right)\right]^2 \cdot \frac{\Delta p}{p} = B \quad (15)$$

Здійснивши спрощення, отримаємо рівняння

$$\left[1 - \left(0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8\right) \cdot \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{\Delta p}{p}\right]^2 \cdot \frac{\Delta p}{p} = B \quad (16)$$

Перетворивши рівняння (16), одержуємо кубічне рівняння відносно $\frac{\Delta p}{p}$ як

$$\left(\frac{\Delta p}{p}\right)^3 + A_1 \cdot \left(\frac{\Delta p}{p}\right)^2 + A_2 \cdot \left(\frac{\Delta p}{p}\right) + A_3 = 0; \quad (17)$$

$$A_0 = \frac{\kappa}{0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8}. \quad (18)$$

$$A_1 = -2 \cdot A_0; \quad (19)$$

$$A_2 = A_0^2; \quad (20)$$

$$A_3 = -B \cdot A_2; \quad (21)$$

Зробивши заміну відповідно до [7]

$$Z = \frac{\Delta p}{p} - \frac{A_1}{3}, \quad (22)$$

зведемо рівняння (17) до канонічного вигляду

$$Z^3 + 3 \cdot q_0 \cdot Z + 2 \cdot q_1 = 0, \quad (23)$$

в якому

$$q_0 = \left(\frac{A_1}{3}\right)^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot A_2}{A_1^2} - 1\right); \quad (24)$$

$$q_1 = \left(\frac{A_1}{3}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{4.5 \cdot A_2}{A_1^2} + \frac{13.5 \cdot A_3}{A_1^3}\right). \quad (25)$$

Враховавши коефіцієнти A_0, A_1, A_2 та A_3 (18) – (21), визначимо коефіцієнти рівняння (24) та (25):

$$q_0 = -\left(\frac{A_1}{6}\right)^2; \quad (26)$$

$$q_1 = -\left(\frac{A_1}{6}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{13.5 \cdot B}{A_0}\right). \quad (27)$$

Для розв'язку рівняння (23) знайдемо дискримінант [7]

$$\Delta_1 = q_1^2 + q_0^3 \quad (28)$$

який із врахуванням (26) та (27) буде дорівнювати

$$\Delta_1 = -\left(\frac{A_1}{6}\right)^6 \cdot \frac{13.5 \cdot B}{A_0} \cdot \left(2 - \frac{13.5 \cdot B}{A_0}\right) \quad (29)$$

Аналізуючи можливі діапазони зміни вхідних величин в (26), (27) та (29) знаходимо, що $q_0 < 0$, $q_1 > 0$ і $\Delta_1 < 0$. В зв'язку з [7] розв'язком рівняння (23), буде

$$Z = -\left(\frac{A_1}{3}\right) \cdot \cos\left(\frac{1}{3} \cdot \arccos\left(1 - \frac{13.5 \cdot B}{A_0}\right)\right) \quad (30)$$

Використовуючи (22) та (30), запишемо кінцевий вираз для знаходження відношення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої до абсолютного тиску газоподібного середовища

$$\Delta p = \frac{2 \cdot \kappa \cdot p}{3 \cdot (0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8)} \times \left(1 - \cos\left(\frac{1}{3} \cdot \arccos\left(1 - \frac{13.5 \cdot B \cdot (0.351 + 0.256 \cdot \beta^4 + 0.93 \cdot \beta^8)}{\kappa}\right)\right)\right) \quad (31)$$

Отримане рівняння (31) дозволяє безпосередньо визначити для будь-яких вхідних даних, що входять у безрозмірний комплекс B , відношення $\frac{\Delta p}{p}$, а значить і значення перепаду тиску Δp на стандартному звужувальному пристрої.

Алгоритм вибору верхньої границі перепаду тиску Δp_v дифманометра виконуємо за такими вхідними даними, як:

- поточне значення об'ємної витрати природного газу q_c , приведеної до стандартних умов, в одній із ниток колектора;
- спосіб відбору перепаду тиску для діафрагми;
- відносний діаметр β діафрагми;
- поточне значення абсолютного тиску p природного газу;
- поточне значення температури t природного газу в $^{\circ}\text{C}$;
- матеріал з якого виготовлено діафрагму, або коефіцієнт $\alpha_{тзп}$ лінійного розширення матеріалу, з якого виготовлено діафрагму;
- матеріал з якого виготовлено вимірювальний трубопровід, або коефіцієнт $\alpha_{тг}$ лінійного розширення матеріалу, з якого виготовлено вимірювальний трубопровід;
- в залежності від виду труби, стану внутрішньої поверхні вимірювального трубопроводу і умов його експлуатації, відповідно до [2] вибирають середньоарифметичний відхил профілю шорсткості Ra , або еквівалентну шорсткість $R_{ш}$.
- початковий радіус $r_{п}$ вхідного канта діафрагми та проміжок часу експлуатації діафрагми τ з моменту виміру початкового радіуса $r_{п}$;
- густина природного газу ρ_c за стандартних умов;
- молярна доля діоксиду карбону x_y та молярна доля азоту x_a у природному газі.

Запишемо алгоритм визначення верхньої границі перепаду тиску Δp_v дифманометра при протіканні через стандартний звужувальний пристрій природного газу:

1) розраховують значення термодинамічної температури T природного газу за рівнянням

$$T = t + 273.15; \quad (32)$$

2) розраховують коефіцієнт стискуваності K природного газу відповідно до [6];

3) розраховують показник адіабати природного газу κ за рівнянням [5]

$$\begin{aligned} \kappa = & 1.556 \cdot (1 + 0.074 \cdot x_a) - 3.9 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot (1 - 0.68 \cdot x_a) - 0.208 \cdot \rho_c + \left(10^{-6} \cdot \frac{p}{T}\right)^{1.43} \times \\ & \times \left[384 \cdot (1 - x_a) \cdot \left(10^{-6} \cdot \frac{p}{T}\right)^{0.8} + 26.4 \cdot x_a \right]; \end{aligned} \quad (33)$$

4) відповідно до [5] розраховують динамічну в'язкість природного газу μ за рівнянням

$$\mu = 3.24 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{\sqrt{T} + 1.37 - 9.09 \cdot \rho_c^{0.125}}{\sqrt{\rho_c} + 2.08 - 1.5 \cdot (x_a + x_y)} \cdot C_\mu; \quad (34)$$

де

$$\begin{aligned} C_\mu = & 1 + \frac{p_{pr}^2}{30 \cdot (T_{pr} - 1)}; \quad p_{pr} = \frac{p}{p_{pk}}; \quad T_{pr} = \frac{T}{T_{pk}}; \\ p_{pk} = & 2.9585 \cdot 10^6 \cdot (1.608 - 0.05994 \cdot \rho_c + x_y - 0.392 \cdot x_a); \\ T_{pk} = & 88.25 \cdot (0.9915 + 1.759 \cdot \rho_c - x_y - 1.681 \cdot x_a); \end{aligned}$$

5) визначають коефіцієнт $K_{зп}$, що враховує зміну діаметра отвору діафрагми, зумовлену відхиленням температури середовища від $20^\circ C$, за рівнянням [3]

$$K_{зп} = 1 + \alpha_{тзп} \cdot (t - 20); \quad (35)$$

Якщо заданий матеріал виготовлення діафрагми відповідає матеріалу приведенному у [3], то значення $\alpha_{тзп}$, розраховують за рівнянням

$$\alpha_{тзп} = 10^{-6} \cdot [a_0 + 10^{-3} \cdot t \cdot a_1 + 10^{-6} \cdot t^2 \cdot a_2]; \quad (36)$$

де a_0, a_1, a_2 – постійні коефіцієнти значення яких знаходяться відповідно до [3];

6) визначають коефіцієнт K_T , що враховує зміну внутрішнього діаметра вимірювального трубопроводу, зумовлену відхиленням температури середовища від $20^\circ C$, за рівнянням [3]

$$K_T = 1 + \alpha_{тТ} \cdot (t - 20); \quad (37)$$

Якщо заданий матеріал виготовлення вимірювального трубопроводу відповідає матеріалу приведенному у [3], то значення $\alpha_{тТ}$, розраховують за рівнянням (36);

7) за значенням β розраховують коефіцієнт швидкості входу E за формулою (5);

8) розраховують значення числа Рейнольдса Re , за рівнянням [3]

$$Re = \frac{4 \cdot q_c \cdot \rho_c}{\pi \cdot D \cdot \mu}; \quad (38)$$

9) розраховують коефіцієнт витікання C діафрагми за формулою (4);

10) за значеннями Re, D, β та Ra розраховують значення поправкового коефіцієнта $K_{ш}$, що враховує шорсткість внутрішньої поверхні трубопроводу, за рівнянням (7);

11) за значеннями D, β, r_H та τ розраховують значення поправкового коефіцієнта K_π , що враховує

- притуплення вхідного канта діафрагми, за рівнянням (6);
- 12) розраховують безрозмірний комплекс B , за рівнянням (3);
- 13) визначають перепад тиску Δp на стандартному звужувальному пристрої з рівняння (31);
- 14) вибирають верхню границю перепаду тиску Δp_v дифманометра, як більше значення за значення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої із стандартного ряду ГОСТ 18140 – 84 [8].

Висновки. В результаті проведеної роботи можна виокремити наступні результати:

1. В даній роботі здійснено аналіз рівняння (1) для розрахунку перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої, який показав, що дане рівняння неможна застосовувати для визначення верхньої границі перепаду тиску Δp_v дифманометра, оскільки воно дає значення відносного відхилення між рівнянням (1) та рівнянням розрахованим відповідно до [3], що становить 29 %.

2. Розроблено нову рівняння для розрахунку значення перепаду тиску на стандартному звужувальному пристрої.

3. Розроблено алгоритм вибору значення верхньої границі перепаду тиску дифманометра.

Даний алгоритм може бути застосований у розрахунку параметрів та характеристик витратоміра змінного перепаду тиску оптимального по точності вимірювання витрати та кількості газоподібного середовища.

1. Пистун Е.П., Лесовой Л.В., Крук И.С. Аналитическое определение предельного номинального перепада давления дифференциальных манометров и относительной площади стандартных диафрагм расходомеров газа и пара /Пистун Е.П., Лесовой Л.В., Крук И.С.// Измерительная техника. – М.: Изд-во стандартов, 1987, – №10, – С. 30-33. 2. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами: РД 20-213-80. – Офиц. Док. – М.: Изд-во стандартов, 1982. 3. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 1. Принцип методу вимірювань та загальні вимоги. (ГОСТ8.586.1-2005 (ИСО 5167-1:2003), IDT; ISO 5167-1:2003,NEQ)[Текст]: ДСТУ ГОСТ 8.586.1:2009. – [Чинний від 2010-04-01]. –К.: Держспоживстандарт України, 2010. –98 с. – (Національний стандарт України). 4. Метрологія. Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужуючих пристроїв. Частина 2. Діафрагми. Технічні вимоги. (ГОСТ8.586.2-2005 (ИСО 5167-2:2003), IDT; ISO 5167-2:2003,NEQ)[Текст]: ДСТУ ГОСТ 8.586.2:2009. – [Чинний від 2010-04-01]. –К.: Держспоживстандарт України, 2010. – 90 с. – (Національний стандарт України). 5. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки: ГОСТ 30319.1–1996. – [Действующий от 1997-07-01]. – М.: Межгосударственный стандарт 1997. – 20с. 6. Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение коэффициента сжимаемости: ГОСТ 30319.2–1996. – [Действующий от 1996-12-04]. – М.: Госстандарт России 1996. 7. И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. Справочник по математике. — Изд. шестое, стереотипное. — М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 608 с. 8. Манометры дифференциальные ГСП. Общие технические условия. ГОСТ 18140–84. [Действующий от 1985-07-01]. – М.: Изд-во стандартов 2003. –15 с.