

УДК 681.121

Федір Матіко

НУ “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ЗВУЖЕННЯ ДЛЯ ОБЛІКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ НА ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНИХ СТАНЦІЯХ

© Матіко Федір, 2001

Article contains the analysis of application possibility of the special restrictions for measurement of the flow rate and quantity of natural gas when filling the car gas-cylinders at compressor stations.

Балони автомобілів на автомобільних газонаповнювальних компресорних станціях (АГНКС) наповнюються при тиску природного газу до 20 МПа. Це зумовлює підведення газу до заправних колонок АГНКС за допомогою товстостінних труб високого тиску діаметром менше за 50 мм. Отже, стандартні пристрої звуження потоку, які нормуються РД 50-213-80 [1], не можуть бути застосовані в цих умовах. В зв'язку з цим проаналізована можливість застосування спеціальних пристроїв звуження, що нормуються в РД 50-411-83 [2], які призначені для роботи в трубопроводах із внутрішнім діаметром від 12,5 мм. Нами також проаналізовано залежності для розрахунку коефіцієнтів рівняння витрати під умови обліку природного газу при наповненні балонів автомобілів на АГНКС.

До спеціальних пристроїв звуження згідно з [2] віднесено діафрагму з конічним входом, циліндричне сопло, сопло “чверть кола”, подвійну діафрагму, сегментну діафрагму, зносостійку діафрагму та стандартну діафрагму для трубопроводів з внутрішнім діаметром менше за 50 мм. Будь-який із вказаних пристроїв звуження може бути застосований для вимірювання витрати природного газу без градування при дотриманні вимог щодо конструктивних характеристик пристрою звуження разом з прямими ділянками трубопроводу, викладених в [2], а також при відповідності гідродинамічного режиму потоку вимогам [2]. Зокрема, відношення перепаду тиску Δp на пристрої звуження до абсолютного тиску потоку p не повинно перевищувати 0.5:

$$\Delta p / p \leq 0.5 \quad (1)$$

($\Delta p / p \leq 0.29$ для циліндричних сопл);

число Рейнольдса Re потоку повинно лежати в межах

$$Re_{\text{MINГР}} \leq Re \leq Re_{\text{MAXГР}}, \quad (2)$$

де $Re_{\text{MINГР}}$, $Re_{\text{MAXГР}}$ – мінімальне та максимальне граничні числа Рейнольдса для вибраного пристрою звуження.

Розглянемо стан виконання умов (1) і (2) при встановленні пристрою звуження на лінії подачі газу до автомобільних балонів на АГНКС.

Як показують експериментальні дослідження, перепад тиску на пристрої звуження не дорівнює різниці тиску в лінії наповнення (20 МПа) та тиску в балоні. Наприклад, при встановленні в лінії наповнення нестандартного пристрою звуження та наповненні балонів з початковим тиском 20 кгс/см² перепад тиску на пристрої звуження не перевищив 1 бар [3]. Очевидно, що при таких перепадах та абсолютному тиску потоку, близькому до 20 МПа, умова (1) виконується із значним запасом.

Для перевірки належності числа Рейнольдса діапазону $Re_{\text{MINГР}} \dots Re_{\text{MAXГР}}$ для кожного із спеціальних пристроїв звуження нами оцінено діапазон зміни числа Рейнольдса при наповненні балонів автомобілів.

Під час наповнення балонів витрата стисненого газу змінюється від максимального значення Q_{MAX} на початку наповнення (порожні балони) до нуля при зрівноваженні тиску в балонах та газопроводі. Відповідно число Рейнольдса змінюється від деякого Re_{MAX} до нуля.

Для оцінки значення максимальної витрати Q_{MAX} застосовано положення теорії критичних сопел. Зокрема, згідно з [4, 5], якщо пристрій звуження має достатньо довгу горловину, завдяки чому в ньому відсутнє додаткове звуження потоку ($\mu=1$) і, крім того, виконується умова

$$p_2 / p_1 < (p_2 / p_1)_{\text{кр}}, \quad (3)$$

де p_1, p_2 – тиск відповідно перед та за соплом, то швидкість потоку в горловині досягає свого максимального значення, що дорівнює швидкості звуку в цьому середовищі. При зміні тиску p_2 швидкість потоку в горловині буде залишатись такою, що дорівнює швидкості звуку доти, доки буде виконуватись умова (3).

Відповідно до [4] рівняння об'ємної витрати в стандартних умовах при надкритичному відношенні тисків p_2 / p_1 можна записати в такому вигляді:

$$Q_{\text{НОМ}} = A \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\sqrt{2\rho p_1}}{\rho_{\text{НОМ}}}, \quad (4)$$

де $A = \frac{C C_0}{\sqrt{2}} = \text{const}$, при виконанні умови (3), C – коефіцієнт витікання сопла, C_0 – критичний витратний коефіцієнт, d – діаметр отвору пристрою звуження, $\rho, \rho_{\text{НОМ}}$ – густина газу відповідно в робочих та в стандартних умовах.

Згідно з паспортом заправних колонок КГР-20, які експлуатуються сьогодні на автомобільних газонаповнювальних станціях, мінімальний переріз газового тракту становить 6 мм, а внутрішній діаметр газопроводу 10 мм. Ділянку газопроводу із технологічним звуженням розглядаємо як циліндричне сопло з відносною площею отвору $m = (6/10)^2 = 0.36$, в якому виникає критична швидкість потоку.

Взагалі, навіть якщо лінія подачі газу до балонів не має технологічних звужень, авторами пропонується вводити перед вимірювальною ділянкою критичне сопло, яке буде обмежувати максимальне значення витрати і, отже, дасть змогу забезпечити Re_{MAX} потоку $< Re_{\text{MAXГР}}$ для вимірювального пристрою звуження. Однак введення критичного сопла не повинно істотно зменшити максимальне значення витрати, оскільки це призведе до збільшення часу заправки.

Оскільки нами поставлено за мету оцінити максимальне значення дійсної витрати, то проведемо розрахунок для технологічного “критичного сопла”, наявного в діючих колонках наповнення. Для такого “критичного сопла” за формулою (4) знайдено: максимальне значення витрати $Q_{\text{MAX}} = 1.908 \text{ нм}^3/\text{с}$, відповідне йому число Рейнольдса $Re_{\text{MAX}} = 8.45 \cdot 10^6$.

Розрахунок виконано для природного газу, який містить 97.13 % метану, 0.94 % етану, 0.93 % пропану, 0.5 % азоту та 0.5 % вуглекислого газу. Згідно з технологічним

регламентом АГНКС тиск газового потоку на ділянці колонки наповнення $p_1=20$ МПа, а температуру газу для розрахунку прийнято 293 К.

Значення коефіцієнта витікання сопла та критичного витратного коефіцієнта обчислено за залежностями:

$$C_0 = \chi^{0.5} [2/(1+\chi)]^{(\chi+1)/[2(\chi-1)]}; \quad (5)$$

$$C = a - b \cdot \text{Re}^{-n}, \quad (5')$$

де χ – показник адіабати.

Значення коефіцієнтів a , b , n для сопла з тороїдною горловиною та для сопла з циліндричною горловиною наведені в [4].

Згідно з [4], витрата в соплі буде залишатись постійною, доки $p_2/p_1 < (p_2/p_1)_{\text{кр}} = r_{\text{кр}}$. Значення $r_{\text{кр}}$ знаходять із рівняння [4]:

$$r_{\text{кр}}^{(1-\chi)/\chi} + (\chi-1)/2 \cdot (d/D)^4 r_{\text{кр}}^{2/\chi} = (\chi+1)/2, \quad (6)$$

Для вказаних вище умов розрахунку $\chi=2.17$ (згідно з методом [6]). Тоді із (6) $r_{\text{кр}}=0.444$. Взагалі для умов наповнення балонів на АГНКС ($p_1=20$ МПа, $T=250\dots320$ К) та для сопла із $d=6$ мм в трубопроводі $D=10$ мм відношення тисків $r_{\text{кр}}$ може набувати значення від 0.34 до 0.46. Тобто при $p_1=20$ МПа витрата в соплі буде дорівнювати критичній доті, доки тиск в балоні не зросте до 6.8...9.2 МПа.

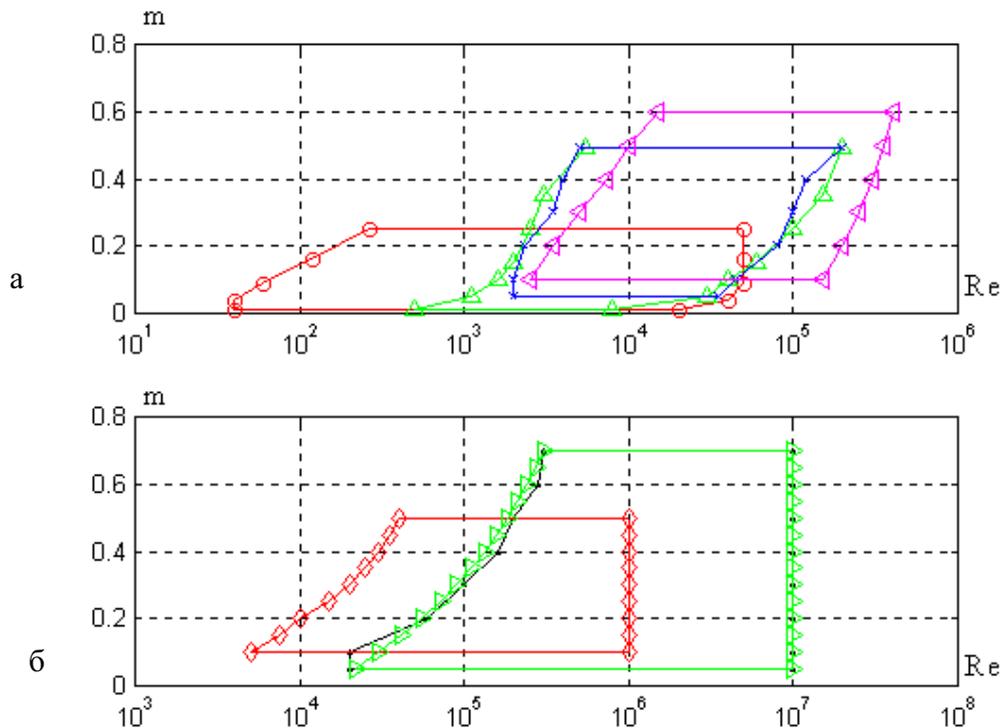
Отже, витрата природного газу в процесі наповнення балонів автомобілів буде тривалий час близькою до витрати Q_{MAX} в “критичному соплі”. І, відповідно, щоб забезпечити мінімально можливу в цих умовах похибку вимірювання загальної кількості природного газу, заправленого в балони, потрібно вибрати такий пристрій звуження, який повинен забезпечувати мінімальну похибку коефіцієнта витрати α в діапазоні чисел Рейнольдса, близьких до Re_{MAX} .

Застосування спеціальних пристроїв звуження можливе в трубопроводах з внутрішнім діаметром більше за 12,5 мм, тому вимірювання витрати природного газу при наповненні балонів вимагає монтування пристрою звуження разом з прямими ділянками необхідної довжини. Наприклад, якщо після технологічного звуження змонтовано вимірювальну ділянку на основі трубопроводу високого тиску з $D_{20}=15$ мм (ТУ 14-3-251-74), то при вказаних вище параметрах стану потоку і максимально можливій витраті $Q_{\text{MAX}}=1.908$ нм³/с число Рейнольдса становитиме $\text{Re}_{\text{MAX}} = 5.634 \cdot 10^6$.

Перевіримо належність $\text{Re}_{\text{MAX}} = 5.634 \cdot 10^6$ до діапазону $\text{Re}_{\text{MINГР}} \dots \text{Re}_{\text{MAXГР}}$ спеціальних пристроїв звуження, нормованих в [2]. На рисунку показано область чисел Рейнольдса $\text{Re}_{\text{MINГР}} \dots \text{Re}_{\text{MAXГР}}$ залежно від відносної площі m для різних спеціальних пристроїв звуження.

Як видно з рисунка, із всіх спеціальних пристроїв звуження [2] тільки зносостійкі діафрагми та стандартні діафрагми для діаметра трубопроводу менше за 50 мм зберігають коефіцієнт витрати α постійним в околі $\text{Re}_{\text{MAX}} = 5.634 \cdot 10^6$ і, відповідно, дають змогу провести вимірювання в умовах АГНКС без додаткового градування. Слід зауважити, що зносостійка діафрагма нормована для застосування в трубопроводах з внутрішнім

діаметром від 30 мм (стандартна – від 14 мм) [2]. Збільшення діаметра трубопроводу вимагає відповідного збільшення прямих ділянок трубопроводу до та після діафрагми, що небажано з погляду мінімізації габаритних розмірів витратомірної колонки.



Області постійності коефіцієнта витрати α для спеціальних пристроїв звуження:

- а) \circ – діафрагми з конічним входом, Δ – циліндричного сопла, \times – сопла “чверть кола”, \triangleleft – двійної діафрагми;
- б) \bullet – зносостійкої діафрагми, \diamond – сегментної діафрагми, \triangleright – стандартної діафрагми для трубопроводів з внутрішнім діаметром менше за 50 мм

Отже, вимірювання витрати та кількості природного газу на АГНКС за допомогою методу змінного перепаду тиску можна забезпечити при обмеженні максимального значення витрати газу відповідним технологічним звуженням в газопроводі. Конструктивні параметри технологічного звуження пропонується обчислити за допомогою залежностей для розрахунку критичних сопел.

Як вимірювальний пристрій звуження в цих умовах доцільно застосувати стандартну діафрагму для діаметра трубопроводу менше за 50 мм.

1. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. – М. 1982. 2. РД 50-411-83. Методика выполнения измерений с помощью специальных сужающих устройств. – М. 1984. 3. Розкин С.М. Кинетика процесса заправки баллонов компримированным природным газом // Мат. 5-ї Міжн. конф. "Нафта - Газ України – 98". Том 2. Полтава. 1998. С. 295-297. 4. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – Л., 1989. 5. Еммонс Г. Основы газовой динамики: – М. 1963. – 702 с. 6. Матіко Ф.Д. Визначення показника адіабати природного газу для задачі його обліку на автомобільних газонаповнювальних станціях // Вісн. НУ “Львівська політехніка”. 2000. С. 86-89.