

УДК 681.121

ВИЗНАЧЕННЯ ТИСКУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В МІСЦЯХ ЙОГО ВІДБОРУ НА ГАЗОПРОВОДІ З ЗОСЕРЕДЖЕНИМИ ВІДБОРАМИ ГАЗУ

© Лесовой Л.В., Близняк Л.В., 2004

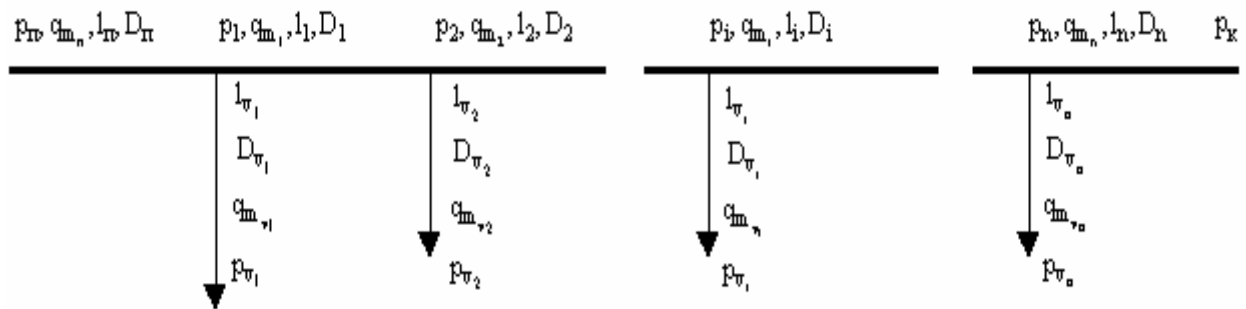
Національний університет "Львівська політехніка"

Визначено варіанти мінімальної кількості вхідних даних параметрів потоку природного газу, при яких існує розв'язок задачі визначення тиску газу в місці відбору. Розроблений метод визначення тиску в місці відбору, наведені рівняння для визначення цього тиску

Об'єм природного газу в газопроводі визначають через густину природного газу в робочих умовах, густину газу в стандартних умовах та геометричний об'єм газопроводу [1]. Середні значення густини природного газу залежить від середніх значень тиску, температури та фактора стискуваності природного газу, які в свою чергу визначають як середньо-інтегральні від своїх розподілів по довжині газопроводу відповідно [1]. Температуру природного газу приймають рівною температурі ґрунту на глибині залягання газопроводу [2]. Тому основним параметром, від якого залежить об'єм газу в газопроводі є тиск природного газу в ньому. В залежності від конфігурації газопроводу (газопровід з зосередженими відборами газу чи газопровід без відборів газу) та його типу (горизонтальний газопровід,

похилий газопровід, магістральний газопровід чи газопровід невеликої довжини) застосовують відповідні рівняння розподілу тиску природного газу в газопроводі. В даний час здійснена систематизація основних типів газопроводів та наведені рівняння розподілу тиску для кожного з них [3]. Отже постає проблема визначення розподілу тиску природного газу в газопроводі з зосередженими відборами природного газу по довжині.

Задача визначення розподілу тиску в газопроводі з зосередженими відборами газу зводиться до визначення тиску газу в місцях відборів. На рис. 1 зображена схема горизонтального магістрального газопроводу з n зосередженими відборами газу по довжині [4,5].



P_n, P_k – тиски природного газу на початку і в кінці газопроводу відповідно; P_1, P_2, P_i, P_n – тиски природного газу в місцях відповідних відборів; $P_{v_1}, P_{v_2}, P_{v_i}, P_{v_n}$ – тиски природного газу в кінці кожного відводу відповідно; $q_m, q_{m_1}, q_{m_2}, q_{m_i}, q_{m_n}, q_{m_{v_1}}, q_{m_{v_2}}, q_{m_{v_i}}, q_{m_{v_n}}$ – витрати природного газу в кожній з ділянок газопроводу та у відводах відповідно; $l_n, l_1, l_i, l_n, l_{v_1}, l_{v_2}, l_{v_i}, l_{v_n}$ – довжини ділянок газопроводу та відводів відповідно; $D_n, D_1, D_i, D_n, D_{v_1}, D_{v_2}, D_{v_i}, D_{v_n}$ – внутрішні діаметри ділянок газопроводу та відводів відповідно

Рис.1. Схема горизонтального газопроводу з зосередженими відборами газу по довжині

Проблема визначення розподілу тиску природного газу в газопроводі із зосередженими відборами газу взагалі не розглядалася. У [2,4,5] представлені лише рівняння для визначення перепаду тисків на кожній з ділянок газопроводу при стаціонарному режимі руху газу. На основі цих рівнянь для i -ої ділянки газопроводу тиск у місці відбору знаходять за рівнянням

$$p_i = \sqrt{\frac{\lambda_i q_{m_i}^2 ZRT l_i}{F_i^2 D_i \mu} + p_{i+1}^2}, \quad (1)$$

де λ_i – коефіцієнт гідравлічного опору на i -ій ділянці газопроводу; Z – фактор стискуваності природного газу; R – універсальна газова стала; μ – молярна маса природного газу; T – абсолютна температура природного газу; F_i – площа поперечного перерізу i -ої ділянки газопроводу.

Рівняння (1) дає змогу розраховувати тиск в місцях зосереджених відборів природного газу при умові, якщо задані значення тиску та витрати газу на початку газопроводу і значення витрати газу у кожній ділянці газопроводу (геометричні розміри кожної з ділянок газопроводу та температура природного газу вважаються відомими, а коефіцієнт гідравлічного опору та фактор стискуваності розраховуються за відповідними залежностями, наведеними у [1,2]). Проблема вирішення задачі визначення тиску природного газу в місцях відборів виникає тоді, коли значення одного або декількох параметрів потоку природного газу, наприклад, значення тиску і витрати на початку газопроводу, або значення витрат у ділянках газопроводу з відборами – не задані. В існуючих публікаціях не представлено шляхів вирішення цієї проблеми при різних варіантах вхідних даних параметрів потоку природного газу.

Метою досліджень, які представлені в даній роботі, є визначення можливих варіантів вхідних даних параметрів потоку природного газу, при яких існує розв’язок задачі визначення тиску природного газу в місці відбору та одержання рівнянь для визначення тиску в місці відбору.

Розглянемо горизонтальний газопровід з одним відбором газу по довжині. Схема цього газопроводу зображена на рис. 2.

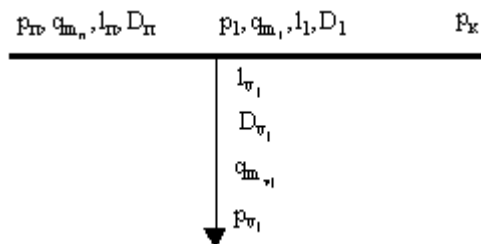


Рис.2. Схема газопроводу з відбором газу

Для ділянок з довжинами l_n , l_1 і l_{v_1} відповідно запишемо рівняння для визначення тиску природного газу в місці відбору:

$$p_1 = \sqrt{p_n^2 - 16 \cdot \frac{\lambda_0 q_{m_n}^2 ZRT l_n}{\pi^2 D_n^5 \mu}}; \quad (2)$$

$$p_1 = \sqrt{16 \frac{\lambda_2 q_{m_1}^2 ZRT l_1}{\pi^2 D_1^5 \mu} + p_2^2}; \quad (3)$$

$$p_1 = \sqrt{16 \frac{\lambda_{v_1} q_{m_{v_1}}^2 ZRT l_{v_1}}{\pi^2 D_{v_1}^5 \mu} + p_{v_1}^2}. \quad (4)$$

Оскільки рух природного газу приймаємо стаціонарним, то виконується умова, що витрата природного газу на i -ій ділянці газопроводу з зосередженими відборами газу є незмінною величиною. Виходячи з цієї умови, витрату в кінцевій ділянці газопроводу з одним відбором газу по довжині визначають за рівнянням

$$q_{m_1} = q_{m_n} - q_{m_{v_1}}. \quad (5)$$

Визначимо можливі варіанти вхідних даних параметрів потоку природного газу p_n , p_2 , p_{v_1} , q_{m_n} , q_{m_1} та $q_{m_{v_1}}$, при яких існує розв’язок задачі визначення тиску p_1 у місці відбору. Варіант, при якому задані значення витрат q_{m_n} , q_{m_1} та $q_{m_{v_1}}$ і не задане значення будь-якого з тисків p_n , p_2 і p_{v_1} розглядати недоцільно. Задача у такому випадку немає розв’язку, оскільки заданих параметрів є недостатньо для визначення тиску природного газу в місці відбору. Варіанти, при яких задане значення будь-якого з тисків (крім p_1) та комбінація двох значень витрат з q_{m_n} , q_{m_1} та $q_{m_{v_1}}$ також не приймаються до уваги. У цьому випадку є надлишок заданих параметрів. Витрата, значення якої не задане, знаходиться за рівнянням (5), а значення тиску p_1 визначається за відповідним рівнянням (2), (3) або (4).

Отже, залишаються тільки варіанти, при яких задане значення однієї витрати з q_{m_n} , q_{m_1} та $q_{m_{v_1}}$ та значення двох тисків з p_n , p_2 і p_{v_1} . Причому набір вхідних даних для кожного з цих варіантів повинен містити різнойменні параметри потоку природного газу. Можливим є також розв’язок задачі визначення тиску газу в місці його відбору при за-

даних значеннях тисків p_n , p_2 і p_{v_1} .

Виходячи з вищесказаного, виділимо такі варіанти задачі визначення тиску p_1 в місці відбору:

1) задані значення тисків p_n , p_2 , p_{v_1} ;

2) задані значення тисків p_n , p_{v_1} і значення витрати q_{m_1} ;

3) задані значення тисків p_n , p_2 і значення витрати $q_{m_{v_1}}$;

4) задані значення тисків p_{v_1} , p_2 і значення витрати q_{m_n} .

Розглянемо першу задачу (задані значення тисків p_n , p_2 , p_{v_1}). Запишемо вирази для витрат q_{m_n} , q_{m_1} та $q_{m_{v_1}}$ з рівнянь (2)÷(4) відповідно:

$$q_{m_n} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(p_n^2 - p_1^2) \cdot \pi^2 D_n^5 \mu}{\lambda_n ZRT l_n}}; \quad (6)$$

$$q_{m_1} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(p_1^2 - p_2^2) \cdot \pi^2 D_1^5 \mu}{\lambda_1 ZRT l_1}}; \quad (7)$$

$$q_{m_{v_1}} = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{(p_1^2 - p_{v_1}^2) \cdot \pi^2 D_{v_1}^5 \mu}{\lambda_{v_1} ZRT l_{v_1}}}. \quad (8)$$

Рівняння (6)÷(8) підставляємо у рівняння (5). Після спрощення одержаного рівняння отримаємо таке рівняння для визначення тиску p_1 в місці відбору:

$$2 \sqrt{\frac{(p_n^2 - p_1^2) \cdot D_n^5 \cdot (p_1^2 - p_{v_1}^2) \cdot D_{v_1}^5}{\lambda_n l_n \lambda_{v_1} l_{v_1}}} + \frac{(p_1^2 - p_2^2) \cdot D_1^5}{\lambda_1 l_1} - \frac{(p_n^2 - p_1^2) \cdot D_n^5}{\lambda_n l_n} - \frac{(p_1^2 - p_{v_1}^2) \cdot D_{v_1}^5}{\lambda_{v_1} l_{v_1}} = 0. \quad (9)$$

У випадку наступної задачі (задані значення тисків p_n , p_{v_1} і значення витрати q_{m_1}) діємо аналогічно: рівняння (6) і (7) підставляємо у (5). Одержимо таке рівняння для визначення p_1 для даного варіанту вхідних даних:

$$q_{m_1}^2 + \frac{q_{m_1}^2}{2} \sqrt{\frac{(p_1^2 - p_{v_1}^2) \cdot \pi^2 D_{v_1}^5 \mu}{\lambda_{v_1} l_{v_1} ZRT}} + \frac{(p_1^2 - p_{v_1}^2) \cdot \pi^2 D_{v_1}^5 \mu}{16 \cdot \lambda_{v_1} l_{v_1} ZRT} - \frac{(p_n^2 - p_1^2) \cdot \pi^2 D_n^5 \mu}{16 \cdot \lambda_n l_n ZRT} = 0. \quad (10)$$

Третя задача (задані значення тисків p_n , p_2 і значення витрати $q_{m_{v_1}}$) вирішується шляхом підстановки рівнянь (6) і (7) у рівняння (5). Внаслідок цього одержимо рівняння:

$$q_{m_{v_1}}^2 + \frac{q_{m_{v_1}}^2}{2} \sqrt{\frac{(p_1^2 - p_2^2) \cdot \pi^2 D_2^5 \mu}{\lambda_2 l_2 ZRT}} + \frac{(p_1^2 - p_2^2) \cdot \pi^2 D_2^5 \mu}{16 \cdot \lambda_2 l_2 ZRT} - \frac{(p_n^2 - p_1^2) \cdot \pi^2 D_1^5 \mu}{16 \cdot \lambda_1 l_1 ZRT} = 0. \quad (11)$$

Для останнього випадку (задані значення тисків p_{v_1} , p_2 і значення витрати q_{m_n}) у рівняння (5) підставляємо рівняння (7) і (8). Після спрощень одержимо наступне рівняння для визначення тиску p_1 :

$$\frac{q_{m_n}^2}{2} \sqrt{\frac{(p_1^2 - p_2^2) \cdot \pi^2 D_1^5 \mu}{\lambda_1 l_1 ZRT}} - q_{m_n}^2 + \frac{(p_1^2 - p_{v_1}^2) \cdot \pi^2 D_{v_1}^5 \mu}{16 \cdot \lambda_{v_1} l_{v_1} ZRT} - \frac{(p_1^2 - p_2^2) \cdot \pi^2 D_1^5 \mu}{16 \cdot \lambda_1 l_1 ZRT} = 0. \quad (12)$$

Рівняння (9)÷(12) зводяться до загального біквадратного рівняння такого виду:

$$f_1 \cdot p_1^4 - f_2 \cdot p_1^2 + f_3 = 0, \quad (13)$$

де f_1 , f_2 і f_3 – коефіцієнти, які залежать від вхідних даних параметрів потоку природного газу, параметрів природного газу та геометричних розмірів кожної з ділянок газопроводу і для кожного варіанту розглянутих нами задач визначаються за відповідними формулами, наведеними у табл. 1.

З рівняння (13) тиск газу в місці відбору для кожної задачі визначається за формулою

$$p_1 = \sqrt{\frac{\sqrt{f_2^2 - 4f_1 f_3} + f_2}{2f_1}}. \quad (14)$$

Визначено варіанти мінімальної кількості вхідних даних параметрів потоку природного газу, при яких існує розв'язок задачі визначення тиску газу в місці відбору.

Розроблений метод визначення тиску в місці відбору має практичне значення для визначення розподілу тиску в газопроводі з зосередженими відборами газу.

Наведені рівняння для визначення тиску природного газу в місці його відбору застосовувати-

муться надалі для визначення запасу газу в газопроводі з зосередженими відборами газу по довжині.

Для n зосереджених відборів газу по довжині газопроводу суть методу визначення тиску природного газу в місцях його відборів така сама, як у випадку одного відбору.

Таблиця 1 – Коефіцієнти рівняння (13)

№ п/п	Вхідні дані параметрів потоку природного газу	f_1	f_2	f_3	
1	p_0, p_2, p_v	$(a_3^* - a_1 - a_2)^2 + 4a_1a_3$	$2(a_3 - a_1 - a_2)(a_1p_n^2 - a_3p_{v_1}^2 + a_2p_2^2) + 4a_1a_3(p_{v_1}^2 - p_n^2)$	$(a_1p_n^2 - a_3p_{v_1}^2 + a_2p_2^2)^2 + 4a_1a_3p_n^2p_{v_1}^2$	
2	p_0, p_v, q_{m_1}	$(b_3 + b_1)^2$	$2(b_3 + b_1)(b_3p_{v_1}^2 + b_1p_n^2 - q_{m_2}^2) + 4b_3q_{m_2}^4$	$(b_3p_{v_1}^2 + b_1p_n^2 - q_{m_2}^2)^2 + 4b_3q_{m_2}^4p_{v_1}^2$	
3	$p_n, p_2, q_{m_{v_1}}$	$(b_2 + b_1)^2$	$2(b_2 + b_1)(b_2p_2^2 + b_1p_n^2 - q_{m_{v_1}}^2) + 4b_2q_{m_{v_1}}^4$	$(b_2p_2^2 + b_3p_n^2 - q_{m_{v_1}}^2)^2 + 4b_2q_{m_{v_1}}^4p_2^2$	
4	p_{v_1}, p_2, q_{m_n}	$(b_3 - b_2)^2$	$2(b_3 - b_2)(b_3p_{v_1}^2 - b_2p_2^2 + q_{m_n}^2) + 4b_2q_{m_n}^4$	$(b_3p_{v_1}^2 - b_2p_2^2 + q_{m_n}^2)^2 + 4b_2q_{m_n}^4p_2^2$	
*Примітка: допоміжні коефіцієнти наведені нижче					
a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3
$\frac{D_n^5}{\lambda_n l_n}$	$\frac{D_1^5}{\lambda_1 l_1}$	$\frac{D_{v_1}^5}{\lambda_{v_1} l_{v_1}}$	$\frac{\pi^2 D_n^5}{16\lambda_n l_n Z R / \mu T}$	$\frac{\pi^2 D_1^5}{16\lambda_1 l_1 Z R / \mu T}$	$\frac{\pi^2 D_{v_1}^5}{16\lambda_{v_1} l_{v_1} Z R / \mu T}$

1. Лесовой Л.В., Близняк Л.В. *Розрахунок розподілу тиску природного газу по довжині похилого газопроводу з врахуванням фактора стискуваності* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2002. – №452 С.198-203. 2. Баясанов Д.Б., Стратан Ф.И. *Моделирование и проектирование распределительных систем газоснабжения*. /Под ред. М.Я. Розкина.– Кишинев: Штинца, 1987.–124с.

3. Близняк Л.В. *Моделирование уравнения распределения тиску в газопроводах різного типу* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2003. – № С.51-55. 4. Бобровский С.А. и др. *Движение газа в газопроводах с путевым отбором*. М., «Наука», 1972.–192с. 5. Бобровский С.А. *Гидравлический расчет распределительных трубопроводов*. М., Строиздат, 1968.–159с.

УДК 631.413.6

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕГЛАМЕНТОВАНОЇ СИНХРОННОЇ РОБОТИ ТАКТОРІВ ПРИ МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВІДІВ

© Корепанов В.Є., Кузнєцов О.О., Терлецький М.М., 2004
 Львівський центр інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ

© Медведик О.В., Слободян Б.В., 2004
 ДП "Укроргтехдіагностика" (м. Суми)