

УДК 622.692.4

ОЦІНКА МАТЕРІАЛЬНОГО БАЛАНСУ ГАЗОПРОВОДУ В УМОВАХ НЕСТАЦІОНАРНОГО ГАЗОСПОЖИВАННЯ

Н. Я. Дрінь, Р. Б. Стасюк

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422)42157,
e-mail: snp@nung.edu.ua*

За результатами дослідження нестационарних процесів коливання тиску в газопроводі, викликаних зміною обсягів споживання газу запропоновано новий метод оцінки кількості газу в газопроводі.

Ключові слова: нестационарне газоспоживання, матеріальний баланс.

По результатам исследования нестационарных процессов колебания давления в газопроводе, вызванное изменением объемов потребления газа предложен новый метод оценки количества газа в газопроводе.

Ключевые слова: нестационарное газопотребления, материальный баланс.

Exploring the transient processes in pipeline pressure fluctuations caused by changes in gas consumption, the new method estimates the amount of gas in the pipeline.

Keywords: non-stationary gas consumption, material balance.

При переході до опалювального сезону різко змінюється величина відбору газу з магістрального газопроводу. Це обумовлює нестационарний гідро газодинамічний процес, який характеризується пульсаціями тиску і витратами газу. При цьому швидкість розповсюдження хвилі тиску збігається з швидкістю звуку в газі і складає близько 500 м/с, а швидкість зміни витрати пропорційна лінійній швидкості руху газу і складає близько 10 м/с. В таких умовах підрахунки кількості газу в газопроводі за стаціонарними моделями дають суттєву похибку, що створює ефект появи аварійного витoku або несанкціонованого відбору газу.

Матеріальний баланс газу в системі газопостачання може бути зведений до рівняння

$$m(0, t) = m(L, t) + m_2, \quad (1)$$

де $m(0, t)$, $m(L, t)$ - відповідно масові витрати газу на початку і в кінці газопроводу, m_2 - маса газу в газопроводі.

Очевидно, що поступлення газу в газопровід $m(0, t)$, і його відбір з газопроводу $m(L, t)$ фіксується відповідними вимірювальними системами і вважаються відомими.

Тому задача матеріального балансу газопроводу зводиться до визначення маси газу в газопроводі на кожен момент часу. На основі рівняння газового стану маємо

$$m_2 = \frac{P_{cp} V}{z_{cp} R T_{cp}}, \quad (2)$$

де V - геометричний об'єм газопроводу, R - газова стала, P_{cp}, T_{cp} - відповідно середній тиск і температура, z_{cp} - коефіцієнт стисливості газу.

Нестационарний процес коливання тиску в газопроводі при зміні відбору газу описується системою рівнянь руху газу і нерозривності

$$\frac{\partial P^2}{\partial x} = -\frac{zRT}{dF^2} M^2, \quad \frac{\partial P^2}{\partial t} = \frac{c^2 \partial M}{F \partial x}. \quad (3)$$

Шляхом диференціювання рівняння руху по лінійній координаті з врахуванням рівняння нерозривності можна виключити із системи масову витрату та звести до рівняння

$$\frac{\partial P^2}{\partial t} = \text{ж} \frac{\partial^2 P^2}{\partial x^2}, \quad (4)$$

де $\text{ж} = \frac{c^2 d}{\lambda W}$, W - середня швидкість руху газу, $c^2 = kRT$ - швидкість звуку в газі.

Враховуючи, що газопровід перед закриттям крану працював в квазістаціонарному режимі, то можна написати початкову умову в вигляді

$$P^2(x, 0) = P_n^2 - (P_n^2 - P_k^2) \frac{x}{L}. \quad (5)$$

Граничні умови визначаються за фізичними посиленнями, основне те, що на початку ділянки підтримується постійний тиск, а в кінці ділянки відома витрата в вигляді функції часу $M(t)$. Використовуючи рівняння руху в формі (4), отримуємо

$$P(0, t) = P_n, \quad \frac{\partial P^2}{\partial x_{x=L}} = -\mu M^2(t) \quad (6)$$

де λ - коефіцієнт гідравлічного опору, R - газова стала, T - середня температура газу в газопроводі, F - площа перерізу труби, z - коефіцієнт стисливості газу при середніх умовах.

Вирішення при початкових граничних умовах, отриманих методом Фур'є, має вигляд

$$P^2(x, t) = P_n^2 - (P_n^2 - P_k^2) \frac{x}{L} - \mu \left(M_0^2 \left(1 - \frac{x}{L} \right) - M^2(t) \right) + \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{2} \cos \frac{\pi n x}{L} \left(e^{-\frac{\pi^2 n^2 \text{ж} t}{L^2}} - 1 \right) \quad (7)$$

Середній тиск на лінійній ділянці в кінці трубопроводу на проміжку часу τ можна визначити з залежності

$$P_c^2(\tau) = \frac{1}{L} \int_0^L P^2(x, t) dx. \quad (8)$$

З врахуванням (7) отримуємо після інтегрування

$$P^2(x, t) = P_c^2 - \mu \left(M_0^2 \left(1 - \frac{x}{L} \right) - M^2(t) \right) + \frac{2L}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1 - (-1)^n}{2} e^{-\frac{\pi^2 n^2 \text{ж} t}{L^2}}. \quad (9)$$

На основі одержаних залежностей проведено аналіз зміни балансу газу в газопроводі Уренгой – Помари – Ужгород на ділянці Богородчани – Голятин. Розрахунки показали, що на протязі 20 хв. Середній тиск в газопроводі знайдений за (9) становив $6,076 \text{ МПа}$ в порівнянні з величиною $5,56 \text{ МПа}$, знайденого за стаціонарною моделлю.

В результаті різниці кількості газу в газопроводі, розрахована за різними методиками, складає $0,43 \text{ млн. кг}$ за період часу в 20 хв . Очевидно, така різниця може трактуватися як наявність аварійного витоку з газопроводу, що вимагає діагностування і проведення відновлювальних робіт.

Отже, нестационарні процеси, викликані зміною відбору газу з газопроводу, мають вплив на матеріальний баланс газопроводу, який необхідно оцінювати, використовуючи відповідні математичні моделі.

Література

1. Ковалко М.П. Трубопровідний транспорт газу / М.П.Ковалко, В.Я.Грудз, В.Б.Михалків та ін. - Арена ЕКО, 2002.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
10.06.12*

*Рекомендована до друку оргкомітетом
міжнародної науково-технічної конференції
“Проблеми і перспективи транспортування нафти і газу”,
яка відбулася 15-18 травня 2012 р.*