

ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМІВ РОБОТИ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ

¹В.Я. Грудз, ¹Я.В. Грудз, ²В.І. Слободян

¹ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,
e-mail: public@nuing.edu.ua

²УМГ «Прикарпаттрансгаз»; 76018, м. Івано-Франківськ, вул. Незалежності, 48,
тел.(0342) 750923, e-mail: ifip.ptg@naftogaz.net

Проведено аналіз роботи компресорних станцій в умовах квазістаціонарного режиму і встановлено характер пульсацій тиску залежно від коливання витрати газу.

Ключові слова: квазістаціонарний режим, пульсації тиску

Выполнен анализ работы компрессорных станций в условиях квазистационарного режима и установлен характер пульсаций давления в зависимости от колебаний расхода газа

Ключевые слова: квазистационарный режим, пульсации давления

The analysis of work of the compressor stations is executed in the conditions of the almost stationary mode and character of pulsations of pressure depending on the vibrations of gas expense is set

Keywords: almost stationary mode, pulsations pressure

Загальноприйнято вважати, що магістральні трубопроводи працюють в умовах стаціонарного потоку газу, і основні параметри режиму незмінні у часі. Однак на режим роботи має вплив значний обсяг різноманітних чинників, серед яких слід виділити внутрішні, пов'язані з функціонуванням системи, і зовнішні, що є результатами впливу довкілля на систему. До перших слід віднести, насамперед, нестабільність постачання газу в трубопровід, флуктуації характеристик газоперекачувальних агрегатів, зміна гідравлічного опору лінійних ділянок за наявності в трубах рідкої фази, зміна температури газу залежно від роботи системи охолодження. Зовнішні впливи пов'язані зі зміною температури навколишнього середовища, барометричного тиску, наявності чи відсутності опадів тощо.

Згадані вище впливи викликають нестабільність газового потоку в трубах, що, в свою чергу, відбивається на роботі обладнання КС і призводить до пульсацій параметрів режиму в часі. Тому потік газу в газопроводі слід вважати квазістаціонарним. Слід зауважити, що регулювання режимів, вмикання або вимикання газоперекачувальних агрегатів чи шляхових відборів викликають нестационарні процеси в газопроводі, які характеризуються зміною параметрів в широкому діапазоні (тут не розглядаються). Метою даного дослідження є встановлення впливу флуктацій тиску і витрати газу в газопроводі на енергетичні характеристики КС.

Для оцінки зміни параметрів в часі експлуатації розглянуто режим роботи КС-39 «Богородчани» газопроводу Уренгой-Помари-Ужгород за 31.10.10. Характер зміни тиску витрати газу протягом доби зображено на рисунку 1. Аналіз наливання параметрів в часі свідчить, що максимальна абсолютна зміна витрати ста-

новить 102 тис м³/год, а зміна тиску 0,13 МПа. За вказаними даними розраховано для різних моментів часу зміну енергоємності потоку, вираженої у вигляді потужності. Встановлено, що протягом доби максимальна абсолютна зміна потужності потоку складає 2,394 МВт.

Стрибокподібна зміна витрати газу в часі викликає коливальний високочастотний процес зміни тиску на вході КС, частота і амплітуда якого визначатиметься характеристиками системи і квазістаціонарного режиму. Пульсації тиску на вході КС спричиняють коливання напружень у стінках трубопроводів, що може призвести до втрати міцності.

З метою аналітичних досліджень процесу пульсації тиску на вході КС створено математичну модель газодинамічних процесів у лінійній ділянці газопроводу, яка базується на відомих рівняннях руху газу і нерозривності потоку [1].

$$\begin{cases} -\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial t} + \frac{\lambda\rho\omega^2}{2d}; \\ -\frac{\partial P}{\partial t} = c^2 \frac{\partial(\rho\omega)}{\partial x}, \end{cases} \quad (1)$$

де: $P(x,t)$ – тиск газу як функція лінійних координати x і часу t ; ρ – густина газу; ω – лінійна швидкість газового потоку; λ – коефіцієнт гідравлічного опору газопроводу внутрішнім діаметром d ; c – швидкість звуку в газі.

З метою лінеаризації рівняння руху газу тиск по лінійній швидкості домножують на густину ρ , і з врахуванням рівняння газового стану одержимо:

$$-\frac{P}{ZRT} \frac{\partial P}{\partial x} = \frac{1}{\omega} \frac{\partial(\rho\omega)^2}{\partial t} + \frac{\lambda(\rho\omega)^2}{2d}. \quad (2)$$

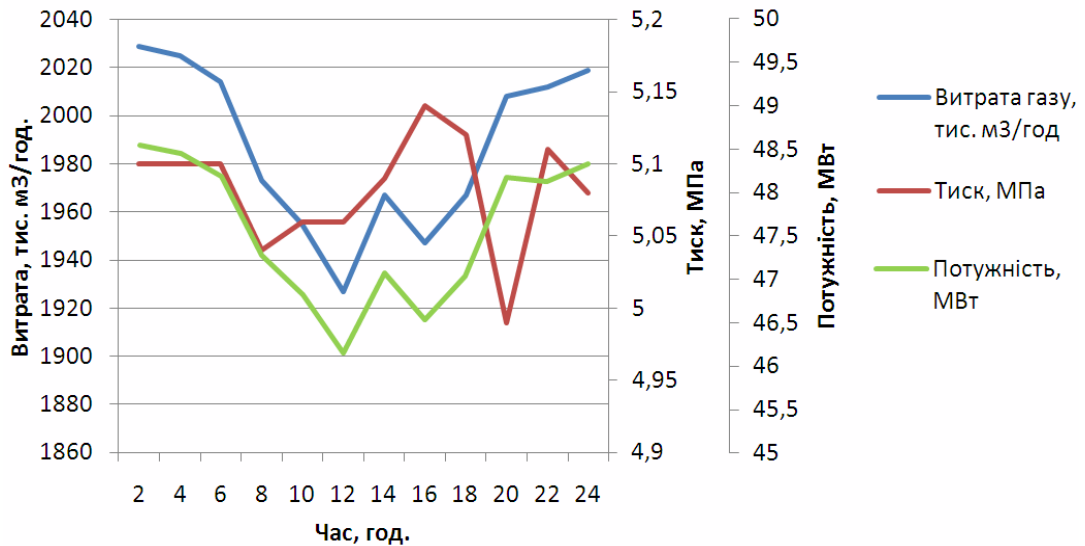


Рисунок 1 – Зміна параметрів режиму в часі

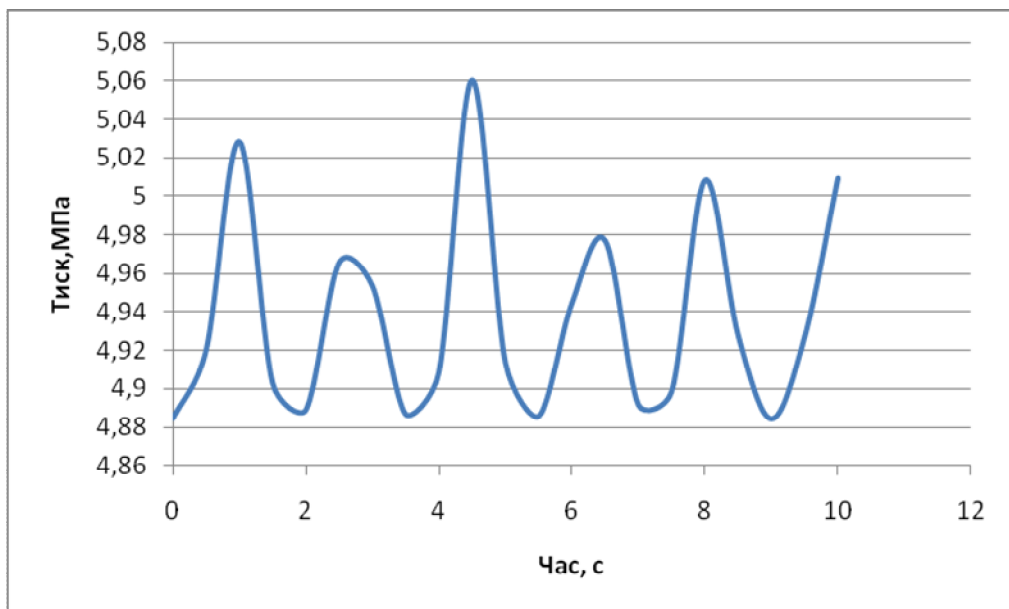


Рисунок 2 – Пульсації тиску на вході КС

Шляхом диференціювання (2) по лінійній координаті із врахуванням рівняння нерозривності потоку отримаємо:

$$\frac{\partial P^2(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{x} \frac{\partial P^2(x,t)}{\partial t} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 P^2(x,t)}{\partial t^2}, \quad (3)$$

де: $x = \frac{c^2}{2a}$; $2a = \frac{\lambda \bar{\omega}}{2d}$ - коефіцієнт лінеаризації.

Припустимо, що до стрибка витрати газу газопровід працював у стаціонарному режимі, і розподіл тиску по довжині ділянки визначається залежністю

$$P^2(x,0) = P_H^2 - \frac{P_H^2 - P_K^2}{L} x, \quad (4)$$

де P_H, P_K – стаціонарні значення тиску на початку і в кінці ділянки довжиною L .

При стаціонарних значеннях тиску визначимо масову витрату газу на початку лінійної ділянки з основного рівняння газопроводів m_1 , а в кінці ділянки враховано стрибок витрати, з врахуванням якого вона складе m_2 . Користуючись рівнянням руху у формулі (2) і нехтуючи інерційними втратами на початку і в кінці ділянки, запишемо:

$$\begin{cases} -\frac{\partial P^2(L,t)}{\partial x} = \frac{\lambda ZRT}{d} m_1^2(L,t); \\ -\frac{\partial P^2(L,t)}{\partial x} = \frac{\lambda ZRT}{d} m_2^2(L,t). \end{cases} \quad (5)$$

Реалізація математичної моделі (3) при початкових (4) і граничних (5) умовах методом Фур'є дала змогу отримати розв'язок у вигляді:

Література

1 Ковалко М.П. Трубопровідний транспорт газу / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків та ін. – К.: АренаЕКО, 2002. – 600 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
28.11.10

Рекомендована до друку професором
Тимківим Д.Ф.

$$P^2(x,t) = P_H^2 - \frac{P_H^2 - P_K^2}{L}x - \frac{\lambda ZRT}{F^2 d} \times$$

$$\times \left(\frac{m_2^2 - m_1^2}{2L} x^2 - m_1^2 x \right) + \frac{2L}{\pi^2} \times$$

$$\times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \left\{ \frac{\lambda ZRT}{F^2 d} \left[m_2^2 (-1)^n - m_1^2 (1 - (-1)^n) \right] - \right.$$

$$\left. - \frac{P_H^2 - P_K^2}{L} (1 - (-1)^n) \right\} \times$$

$$\times (\cos \omega_n t + \sin \omega_n t) e^{-4at} \cos \frac{\pi n x}{L},$$

де: $\omega_n = \frac{1}{2L} \sqrt{4\pi^2 n^2 c^2 - (2a)^2 L^2}$

F – площа поперечного перерізу трубопроводу.

Одержана математична модель при $x = L$ дає можливість визначити характер пульсацій тиску на вході КС, викликаний стрибкоподібною зміною витрати газу. Реалізація моделі для умов ділянки Гусятин-Богородчани газопроводу УПУ дала змогу отримати залежності зміни тиску на вході КС Богородчани в часі, які у вигляді графіків зображено на рисунку 2.

Частота коливань тиску залежить від довжини ділянки газопроводу, коефіцієнта гідравлічного опору, швидкості руху газу і швидкості звуку в газі. Однак пріоритетними в цьому переліку є довжина ділянки газопроводу і швидкість звуку в газі, що залежить від його температури. Частотна характеристика процесу по гармоніках коливань виражається залежністю

$$\omega_n = \frac{1}{2L} \sqrt{4\pi^2 n^2 c^2 - \left(\frac{\lambda \bar{\omega}}{2d} \right)^2 L^2}.$$

З графіка видно, що перша гармоніка має частоту близько 0,5 Гц, яка не змінюється в часі.

Амплітуда у згасаючому коливальному процесі сягає максимального значення 0,09 МПа на кінець четвертої секунди, знижується до 0,045 МПа через хвилину і наближається до нуля за 30 хвилин.

Пульсаційні коливання тиску викликають інерційні втрати енергії в газовому потоці і обумовлюють нестабільну роботу газоперекачувального агрегату, що призводить до перевищення енергії на транспортування газу.

Окрім того, пульсації тиску на величину до 0,18 МПа призведуть до виникнення змінних кільцевих напружень у стінці труби. Тому безперервна стрибкоподібна зміна витрати газу, якою характеризується квазістаціонарний газодинамічний процес, створює умови для зниження міцності трубопроводів у зв'язку з втомою металу.