

Трубопровідний транспорт, нафтогазосховища

УДК 622.691

ОЦІНКИ ПАРАМЕТРІВ СТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ СИСТЕМ ГАЗОПОСТАЧАННЯ

В. Я. Грудз

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
тел. +380 (3422) 4-23-42; e-mail: public@iung.edu.ua*

Приведено методи побудови інтегральних коефіцієнтів впливу для газотранспортних систем з метою оцінки їх параметрів на стаціонарних режимах експлуатації. Показано приклад застосування запропонованих методів для магістрального газопроводу «Союз»

Ключові слова: *інтегральних коефіцієнтів впливу, параметри системи газопостачання, стаціонарний режим*

Основи методу інтегральних коефіцієнтів впливу стосовно нафтових і газових родовищ були розроблені в [1] і отримали подальший розвиток для дослідження систем газопостачання в [2]. На їх основі можливе створення простих і ефективних способів, що дозволяють судити про стан газопроводу тільки по витратах і тисках на входах і виходах системи, тобто за тими даними, які контролюються в процесі експлуатації. Методи інтегральних коефіцієнтів впливу економлять машинний час і пам'ять і виявляються досить ефективними для складних газотранспортних систем без компресорних станцій. Процеси, що спостерігаються на входах і виходах системи транспорту газу, інтегрально враховують параметри трубопроводу, якість його довжину, діаметр, гідравлічний опір і т.д. Використовуючи поняття про коефіцієнти впливу, вдається отримати співвідношення, що значно спрощують аналіз роботи системи транспорту газу.

Нехай на усіх входах і виходах газопровідної системи підтримуються нульові умови, тобто $p_1^2, p_2^2, \dots, p_n^2 = 0$. В цьому випадку зміна витрат у вузлах трубопроводу також відсутня. Для того, щоб зв'язок $q_1^2 = p_2^2 = \dots = p_n^2 = 0$ був лінійним, використовуємо квадрати тиску і

пропускної спроможності. Припустимо, що в деякій точці трубопроводу станеться одиничний стрибок квадрата тиску від $p_0^2 = 0$ до $p_{01}^2 = 0$ кгс²/см⁴. В усій внутрішній області спостерігатиметься деяке підвищення тиску, а на усіх входах і виходах системи витрата, через деякий час, визначуване характеристикою системи, зросте. Отримані при цьому функції Q_{ij}^2 називаються коефіцієнтами впливу по витраті. При одиничній стрибкоподібній зміні квадрата тиску на усіх входах і виходах отримаємо n^2 коефіцієнтів впливу по витраті. Вони утворюють матрицю

$$Q^2 = \begin{bmatrix} Q_{11}^2 \cdot \dots \cdot Q_{1n}^2 \\ Q_{21}^2 \cdot \dots \cdot Q_{2n}^2 \\ \dots \dots \dots \\ Q_{n1}^2 \cdot \dots \cdot Q_{nn}^2 \end{bmatrix},$$

де Q_{12}^2 – реакція на виході(вході) 1 при одиничному стрибку на вході(виході) 2.

На діючому газопроводі завжди підтримуються певні тиски на усіх входах і виходах, тому коефіцієнти впливу необхідно визначати за нульових граничних умов. При тиску на входах і виходах газопроводу $p_1^2, p_2^2, p_3^2, \dots, p_n^2$ встановляться деякі квадрати витрат $q_1^2, q_2^2, q_3^2, \dots, q_n^2$.

При зміні тиску на першому вході або виході $\Delta p_1^2 = p_1^2 - p_{11}^2$ будуть відмічені, через певний час, нові квадрати витрат $q_{11}^2, q_{21}^2, q_{31}^2, \dots, q_{n1}^2$.

При зміні тиску на величину Δp_1^2 коефіцієнт впливу при дії на першому вході або виході по пропускній спроможності описується рівнянням

$$Q_{1j}^2 = \frac{q_{j1}^2 - q_j^2}{p_1^2 - p_{11}^2} = \frac{\Delta q_j^2}{\Delta p_1^2}.$$

Аналогічно визначаються коефіцієнти впливу по витраті для усіх інших входів і виходів. Коефіцієнти впливу є приростами квадратів витрат по кожному входу або виходу, віднесені до значення стрибка квадрата тиску в точці обурення.

Якщо зміни витрати знімати в часі, можна визначити функцію впливу між кожним входом і виходом системи. Користуючись коефіцієнтами впливу, оцінюємо статику системи транспорту газу. Функція впливу дає можливість аналізувати нестационарні процеси в цій системі. Якщо задаватися не тиском, а пропускною спроможністю газової системи, то відношення змін квадратів тисків на входах і виходах системи до довільного стрибка квадратів витрати на обуреному вході дає систему коефіцієнтів впливу по тиску

$$p_{1j}^2 = \frac{p_{j1}^2 - p_j^2}{q_1^2 - q_{11}^2} = \frac{\Delta p_j^2}{\Delta q_1^2}.$$

Для усієї газотранспортної системи отримуємо матрицю коефіцієнтів впливу по тиску

$$p^2 = \begin{vmatrix} p_{11}^2 & p_{12}^2 & \dots & p_{1n}^2 \\ p_{21}^2 & \dots & \dots & p_{2n}^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1}^2 & \dots & \dots & p_{nn}^2 \end{vmatrix}.$$

Матриці коефіцієнтів по тиску і пропускній спроможності між собою взаємозв'язані і характеризують систему транспорту газу. Коефіцієнти впливу по тиску і пропускній спроможності можуть бути використані при рішенні ряду завдань, пов'язаних з експлуатацією газопроводу, працюючого в стаціонарному режимі; функція впливу - для аналізу нестационарних режимів роботи газопроводів. Для стаціонарних режимів роботи газопроводів, що описуються в загальному випадку рівняннями Лапласа, формула Гріна записується у виді

$$\sum_{i=1}^n (q_i^2 \Delta p_i^2 - p_i^2 \Delta q_i^2) = 0,$$

де

$$\Delta p_i^2 = p_{i1}^2 - p_i^2,$$

$$\Delta q_i^2 = q_{i1}^2 - q_i^2.$$

Звідси слідує формула для визначення квадрата витрати на будь-якому j -тому вході або виході при діях на n входах або виходах

$$q_j^2 = \sum_{i=1}^n p_i^2 Q_{ji}^2 \quad (1)$$

і формула для визначення квадрата тиску

$$p_j^2 = \sum_{i=1}^n q_i^2 P_{ji}^2. \quad (2)$$

Коефіцієнти впливу можуть бути визначені на основі експлуатаційних даних. Для знаходження матриці коефіцієнтів доводиться прибігати до вимірів змін тиску і продуктивності в декількох діапазонах часу $T_1, T_2, T_3, \dots, T_n$.

Для цих інтервалів визначаємо квадрати витрат на входах і виходах системи $[q_i^2]$ і квадрати тисків $[p_i^2]$. Підставивши у формули (1) і (2) вимірні дані, отримаємо систему рівнянь

$$[q_i]^2 = \sum_{j=1}^n [p_j]^2 Q_{ji}^2,$$

звідки знаходимо коефіцієнти впливу по витраті. З виразу

$$[p_j]^2 = \sum_{i=1}^2 [q_i]^2 p_{ji}^2$$

знаходимо величину p_{ji} .

Для розгляду нестационарних режимів системи газопостачання необхідно використати функції впливу. В цьому випадку треба отримати матриці коефіцієнтів виду

$$Q_{ij}^2(t) = \frac{\Delta q_j^2(t)}{\Delta p_j^2} \quad \text{і} \quad p_{ij}^2(t) = \frac{\Delta p_j^2}{\Delta q_i^2},$$

де

$$q_j^2(t) = q_j^2(t) - q_{j0}^2(t),$$

$$p_j^2(t) = p_j^2(t) - p_{j0}^2(t),$$

Δp_i^2 , Δq_i^2 – стрибкоподібні дії на вході або виході (індекс «0» означає первинний стаціонарний режим).

В цьому випадку маємо

$$[q_j(t)]^2 = \sum_{i=1}^n [p_i]^2 Q_{ji}^2(t) = \sum_{i=1}^n f_i S_{ji}(t),$$

$$[p_j(t)]^2 = \sum_{i=1}^n [q_i]^2 p_{ji}^2(t) = \sum_{i=1}^n m_i h_{ij}(t),$$

де

$$f_i = [p_i]^2, \quad S_{ji} = Q_{ji}, \quad m_i = [q_i]^2; \quad p_{ij} = h_{ij}.$$

Якщо крайові умови мають довільний вигляд, то, апроксимуючи їх серією імпульсних дій і далі використовуючи інтеграл Дюамеля

$$x(t) = \int_0^t x'(t) h(t-\tau) d\tau,$$

де $h(t-\tau)$ – функція впливу, $x'(t)$ – імпульсна дія на входах і виходах системи, перейдемо до формул для аналізу систем газопостачання в нестационарному режимі

$$q_j^2(t) = \sum_{i=1}^n \int_0^t [f_i(\tau)] S_{ij}(t-\tau) d\tau, \quad p_j^2(t) = \sum_{i=1}^n \int_0^t [m_i(\tau)] h_{ij}(t-\tau) d\tau,$$

або, якщо це зручніше

$$q_j^2(t) = \sum_{i=1}^n \int_0^t f_i(t-\tau) S''(\tau) d\tau,$$

$$p_j^2(t) = \sum_{i=1}^n \int_0^t m_i(t-\tau) h'(\tau) d\tau.$$

Проте для визначення функцій впливу можна використати лише статистичні методи, що обмежує їх можливості.

За цією методикою були розраховані стаціонарні режими для магістрального газопроводу СОЮЗ завдовжки 803 км на ділянці Бар – Ужгород (рис. 1).

Досвід експлуатації показує, що перші п'ять ділянок газопроводу працюють в режимі, близькому до стаціонарного. Остання ділянка Хуст – Ужгород характеризується нестационарним режимом газопередачі, який усереднювався по площі. При визначенні коефіцієнтів впливу по витраті використовувалися значення витрати і тиску, узяті за відповідні моменти часу з експлуатаційних журналів. Розрахунками отримано для ділянки Гусятин – Богородчани:

$$\begin{aligned} Q_{11}^2 &= -22,65; & Q_{12}^2 &= 19,95; & Q_{13}^2 &= 8,07; \\ Q_{21}^2 &= -19,95; & Q_{22}^2 &= -35,46; & Q_{23}^2 &= 13,56; \\ Q_{31}^2 &= 8,07; & Q_{32}^2 &= 13,56; & Q_{33}^2 &= -39,81. \end{aligned}$$

Коефіцієнт Q_{21}^2 показує, наскільки збільшиться витрата при відборі (індекс 2) при збільшенні тиску на вході газопроводу (індекс 1) і т.д.

При апробації методики були отримані наступні витрати. При обчисленні витрат відносна погрішність розрахунків коливалася від 1,5 до 14%.

Коефіцієнти по тиску для ділянки Гусятин – Богородчани:

$$\begin{aligned} p_{11}^2 &= -0,270; & p_{12}^2 &= -1,181; & p_{13}^2 &= -0,123; \\ p_{21}^2 &= -0,181; & p_{22}^2 &= -0,163; & p_{23}^2 &= -0,090; \\ p_{31}^2 &= -0,123; & p_{32}^2 &= -0,090; & p_{33}^2 &= -0,089. \end{aligned}$$

При апробації методики отримано:

для м. Гусятин на виході КС $p_p=52,4$ кгс/см²; $p_d=53,9$ кгс/см², $\Delta=2,8\%$;

для м. Богородчани $p_p=42,2$ кгс/см²; $p_d=44,2$ кгс/см²; $\Delta=4,5\%$;

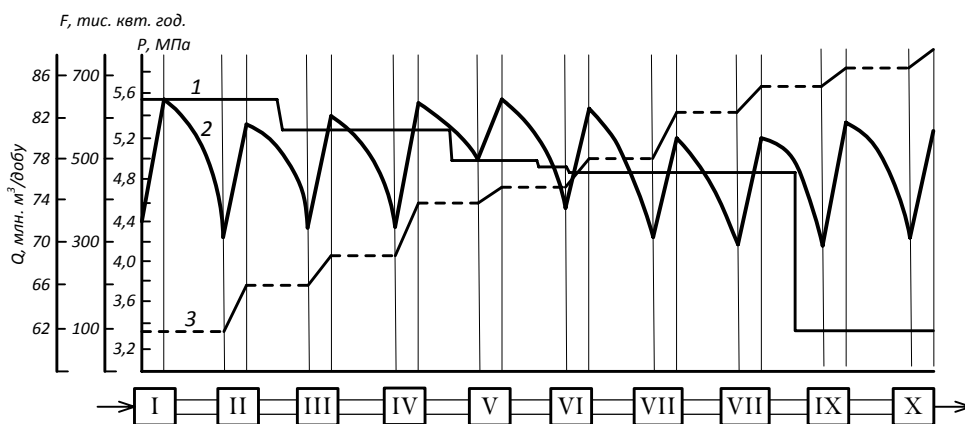
для м. Хуст на вході КС $p_p=27,9$ кгс/см²; $p_d=29,0$ кгс/см²; $\Delta=3,8\%$, де p_p – розрахунковий тиск; p_d – тиск за даними диспетчерських служб. Відносна погрішність коливається від 1 до 8%.

За цією методикою для стаціонарного випадку створена проста аналогова модель, яка моделює фізичні величини електричними.

Для k -того вузла схеми залежність між напругою U і струмами I записується у виді:

$$\sum_{k=1}^{k=n} g_{ik} u_k = I_k,$$

де g_{ik} – провідність елементів схеми, що порівняно з розглянутим вище рівнянням (1).



1 – витрата газу; 2 – тиск; 3 – енергетичні витрати: I – КС-10; II – КС-11; III – КС-12; IV – КС-13; V – КС-14; VI – КС-15; VII – КС-16; VIII – КС-17; IX – КС-18; X – КС-19: I-IV – ГТ-6-750; V – ГТ-750-6 (4x1); VI, VII – ГТ-750-6 (4x2); VIII-X – АФ3-4500 (5x2)

Рис. 1. Оптимальні режими магістрального газопроводу

Шляхом установки провідності $g_{ik} = c_Q Q_{ij}^2$ струмів $I_i = c_q q_i^2$, напруги $u_i = c_p p_i^2$, де c_Q, c_q, c_p – коефіцієнти перерахунку, отримуємо:

$$q_{ij} \frac{c_q}{c_p c_Q} = \sum_{i=1}^{i=n} p_i^2 Q_{ji}^2,$$

тобто умовами тотожності початкових рівнянь і рівнянь аналогової моделі є критерій

$$\frac{c_q}{c_p c_Q} = 1.$$

Коефіцієнти Q_{ij}^2 визначаються розглянутими методами для конкретного газопроводу на основі даних експлуатації.

Методика дозволяє створити аналогову машину-радник для складних систем газопроводів без компресорних станцій. Основний недолік такого пристрою полягає в тому, що коефіцієнти впливу необхідно визначати при кожній зміні системи газопостачання. Якщо ж коефіцієнти впливу визначені і не коригуються, то при підключенні нових споживачів газу, газопроводів або газових родовищ помилка зросте.

Література

1. Трубопроводный транспорт газа / С.А.Бобровский, С.Г.Щербаков, Е.И.Яковлев и др. – М.: Наука, 1976. – 491 с.
2. Трубопроводный транспорт газа / М.П.Ковалко, В.Я.Грудз, В.Б.Михалків та ін. – К.: АренаЕКО, 2002. – 600 с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії 02.03.2016 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., професором Тимківим Д.Ф.,
д.т.н., професором Говдяком Р.М. (м. Київ)*

PARAMETER ESTIMATION OF STEADY OPERATIONAL MODES OF GAS SUPPLY SYSTEMS

V. Y. Grudz

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas;
76019, Ivano-Frankivsk, Carpats'ka str., 15*

Methods of construction of integral influence factors for gas pipeline transportation system in order to estimate its parameters at steady operational modes are presented. It is shown an example of application of proposed methods for main gas pipeline "Soyuz".

Key words: *integral influence factors, parameters of gas supply system, steady mode*