Технічні науки

УДК 622.691.4

Чернова Оксана Тарасівна
кандидат технічних наук,
доцент кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Чернова Оксана Тарасовна
кандидат технических наук,
доцент кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
Chernova Oksana
PhD, Associate Professor of the
Department Oil and Gas Pipelines and Storage Facilities
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

Грудз Ярослав Володимирович
доктор технічних наук,
професор кафедри газонафтопроводів та газонафтосховищ
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Грудз Ярослав Владимирович
доктор технических наук,
профессор кафедры газонефтепроводов и газонефтехранилищ
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа
Grudz Yaroslav
Doctor of Technical Sciences,
Professor of the Department of Gas and Oil Pipelines and Gas and Oil Storage
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО СТАНУ ГАЗОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ В УМОВАХ ЇХ НЕПОВНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИХ НЕПОЛНОЙ ЗАГРУЗКИ

DIAGNOSIS OF HYDRAULIC CONDITION OF GAS TRANSPORT SYSTEMS IN THE CONDITIONS OF THEIR INCOMPLETE LOADING

Анотація. *Для умов нестаціонарного режиму роботи газотранспортної системи методики розрахунку фактичного значення коефіцієнта гідравлічного опору зазвичай базуються на стаціонарних математичних моделях. Аналіз показує, що похибки в розрахунках складають до 30 %. З метою зменшення похибки запропоновано використовувати в діагностичних цілях методи, що опираються на моделі нестаціонарного руху газу в трубах, зокрема наведено методику визначення величини коефіцієнта гідравлічного опору.*

Ключові слова: *газотранспортна система, гідравлічний опір, неповне завантаження, діагностування.*

Аннотация. *Для условий нестационарного режима работы газотранспортной системы методики расчета фактического значения коэффициента гидравлического сопротивления обычно основываются на стационарных математических моделях. Анализ показывает, что погрешности в расчетах составляют до 30%. С целью уменьшения погрешности предложено использовать в диагностических целях методы, опирающиеся на модели нестационарного движения газа в трубах, в частности, приведена методика определения величины коэффициента гидравлического сопротивления.*

Ключевые слова: *газотранспортная система, гидравлическое сопротивление, неполная загрузка, диагностика.*

Summary. *For conditions of non-stationary mode of operation of the gas transmission system, the methods of calculating the actual value of the coefficient of hydraulic resistance are usually based on stationary mathematical models. The analysis shows that the errors in the calculations are up to 30%. In order to reduce the error, it is proposed to use for diagnostic purposes methods based on the model of non-stationary gas movement in the pipes, in particular, a method for determining the value of the coefficient of hydraulic resistance.*

Key words: *gas transmission system, hydraulic resistance, incomplete loading, diagnostics.*

Оскільки при нестаціонарному режимі роботи газотранспортної системи (характерного при її експлуатації з неповним завантаженням) методи визначення фактичного значення коефіцієнта гідравлічного опору, що базуються на стаціонарних математичних моделях, призводять до значних похибок в розрахунках [1].

З метою їх зменшення необхідно використовувати в діагностичних цілях методи, що ґрунтуються на моделі нестаціонарного руху газу в трубах. Слід також відзначити, що нестаціонарність руху газу в трубах має вплив на величину похибки витратомірів [2]. Це, відповідно, не дає належну інформацію для оцінки коефіцієнта гідравлічного опору.

Пропонується методика визначення величини коефіцієнта гідравлічного опору при істотно нестаціонарних процесах, для характеристики яких в довгих газопроводах при співвідношення початкового і кінцевого тисків $p_1/p_2 < 2$ застосовуються відомі рівняння [3]

$$-\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{k}{F} M \ ;$$

$$-\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{c^2}{F}\frac{\partial M}{\partial x}, \qquad (1)$$

де $M = \rho w F$ – масова витрата газу;

w – лінійна швидкість;

ρ – густина;

F – площа поперечного перерізу труби.

Рівняння (1) може бути зведено до системи

$$\frac{\partial p}{\partial t} = -k\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = 0, \qquad (2)$$

де $k = \frac{c^2}{2a}$

$2a = \frac{\lambda w_{cp}}{2d}$ – коефіцієнт лінеаризації;

$$w_{cp} = \frac{2}{3}(w_1 + 2w_0)$$

w_1 і w_0 – усереднені швидкість газу на початку і кінці газопроводу.

Величину w можна визначити досить точно:

$$w = \frac{1}{\tau\rho F}\int_0^{\tau} M(t)dt \qquad (3)$$

Для розрахунку величини $\lambda = 2c^2 d / kw_{cp}$ застосовуємо метод пониження порядку похідних залежних змінних до такого значення, яке відповідає порядку вимірюваних змінних [4].

Запропонований метод полягає в наступному:

1. Технологічний процес необхідно охарактеризувати видом рівнянь в часткових похідних з постійними параметри, наприклад для рівняння руху газу таким параметром є коефіцієнт лінеаризації $2a = \lambda w_{cp} / 2d$.

2. Множимо дві складові початкової системи на діагональну матричну функцію Ф(x) *m*-го порядку, яка залежить від виду диференціальних рівнянь в часткових похідних і характеру вимірюваних даних. Виставляємо область, в якій задані рівняння і створюємо інтеграл

$$\int_s (\Phi R)dx = 0, \tag{4}$$

де $R = f(p, \frac{\partial p}{\partial x}, \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \frac{\partial^3 p}{\partial x^3}....., \frac{\partial^n p}{\partial x^n}, x, c) = 0.$

Для його розрахунку потрібне інтегрування по частинах (c-невідомі параметри, що підлягають визначенню). В результаті отримаємо члени двох видів: інтеграли, що складаються з залежних змінних (в тому вигляді, в якому вони є вимірах), і неінтегральні вирази (які визначаються на межі області зміни просторової і тимчасової змінної). Ці члени є зваженими крайовими умовами.

3. Вибираємо матрицю функцій Ф(x, t) при умові, щоб усі неінтегральні члени на межі вибраної області зміни величини x перетворилися на нуль. Це потрібно, оскільки значення цих членів важко розраховуються при недостатньо точних вимірах крайових умов. Переважно функції Ф(x, t) мають вигляд періодичних, один член яких має вигляд, $[\sin\frac{n\pi x}{T}]^{\mu}$ (де μ – найвищий порядок диференціювання p по x), а інший, $[\frac{\sin n\pi t}{T}]^{\eta}$ (де η – найвищий порядок диференціювання p по t), причому k=1, 2, 3,…..

4. Розраховуємо параметри вимірів інтегральної складової що залишилася. Як результат виходить система алгебраїчних рівнянь відносно постійних параметрів, в нашому випадку k.

5. Складові потрібно визначати за методикою найменших квадратів для зменшення впливу помилок вимірів. Дискретний комплект даних найкраще представляти у вигляді аналітичних функцій просторових змінних, наприклад у вигляді поліноміальної характеристики.

Рівняння (1) потрібно помножити на функцію

$$\Phi(x) = (\sin(ax))^{\mu}(\sin(\beta t))^{\eta}, \tag{5}$$

де $a = \frac{n\pi}{l}$, n=1,2,3,4,……,N, $\Delta x = \frac{N}{l}$, m=1,2,3,….,M, $\Delta t = \frac{T}{M}$,

T – діапазон вимірів в часі.

Для нашого випадку при μ = 2 і η = 1 маємо:

$$\Phi(\text{x}) = (\sin(az))^2 \sin(\beta z)$$

В результаті множення матимемо члени різних типів: інтеграли залежних змінних, що містять, в тому вигляді, в якому вони розраховувались при вимірах, і інтегральні вирази, обраховані на межі області зміни просторової і тимчасової координат. При у виборі функції Ф(х) останні перетворюються на нуль. Тоді для системи

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} - k\frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x^2} = 0 \tag{6}$$

отримуємо:

$$-\beta\int_0^L (\sin(ax))^2 dx\int_0^T p(x,t)\cos(\beta t)dt - 2a^2k\int_0^T \sin(\beta t)\partial t\int_0^L p(x,t)\cos(2ax)dx = 0. \tag{7}$$

Для визначення параметру k досить одного ряду значень функції $P(x, t)$ при конкретних коефіцієнтах α і β. Але, результат чисельної інтеграції в результаті буде неточний. Це пояснюється помилками вимірів і самого процесу інтеграції. Тому, приймаючи декілька рядів значень α і β, усереднюємо показник k за методикою найменших квадратів і потім розраховуємо:

$$\lambda = \frac{2c^2 D}{k w_{cp}}.$$

Для магістральних газопроводів апаратура, яка реєструє дані розміщена через 30-40 км. по трасі, тобто x = 30-40 км. або N=4-5 для ділянок між КС, за часом t обмежень немає [5].

Можна далі уточнити параметр λ, врахувавши зміну швидкості газу по трасі газопроводу у вигляді

$$\frac{1}{w} = \varphi + \varphi_2 x + \varphi_3 x^2.$$

В цьому випадку обмеження по перепаду тисків відсутні.

Тоді початкове рівняння має вигляд

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(f + f_2 x + f_3 x^2\right)\frac{\partial^2 P(xt)}{\partial x^2}, \tag{8}$$

де $f + f_2 x + f_3 x^2 = \left(\varphi + \varphi_2 x + \varphi_3 x^2\right)\frac{2d}{\lambda}$.

Рівняння для визначення величин f_1, f_2, f_3 мають вигляд

$$\int_0^L \sin^2 \alpha x \; dx \int_0^T \beta \cos \beta t p(x,t) dt - \int_0^T \sin \beta t dt \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2}\left(f_1 \sin^2 dx + f_2 x \sin^2 \alpha x + f_3 x^2 \sin^2 \alpha x\right) - \right.$$
$$\left. - \frac{\partial}{\partial x}\left(f_2 \sin^2 \alpha x + 2 f_3 x^2 \sin^2 \alpha x\right) p(x,t)\right] dx = 0 \tag{9}$$

Недолік даної методики полягає в тому, що потрібно мати дані про витрати принаймні в трьох точках траси для визначення коефіцієнтів апроксимуючого многочлена φ_1, φ_2, φ_3. На практиці цього досягнути досить важко.

При відомих параметрах φ_1, φ_2, φ_3 і розрахованих за методикою найменших квадратів величинах f_2, f_2, f_3 отримуємо:

$$\lambda = \frac{f + f_2 x + f_3 x^2}{\left(\varphi + \varphi_2 x + \varphi_3 x^2\right) 2d} \tag{10}$$

При розв’язку системи (8) відповідь є досить громіздка, а уточнення лежить для експлуатаційних завдань найчастіше в межах до 3 %, для великих перепадів тисків до 8-10 %.

Істотний вплив на кінцеві результати робить чутливим діапазон за часом. Для трьох часових відліків (мінімальний часовий діапазон) помилка в отриманні кінцевого результату досягає 30 %, а при збільшенні часового діапазону вдвічі (тобто величини λ при n = 12, для 6 відліків) похибка зменшується до 10 %.

Висновки. Показано, що для умов нестаціонарного режиму роботи газотранспортної системи, характерного при її експлуатації з неповним завантаженням, методи визначення фактичного значення коефіцієнта гідравлічного опору, що базуються на стаціонарних математичних моделях, призводять до похибок в розрахунках понад 30 %. З метою зменшення похибки запропоновано використовувати в діагностичних цілях методи, що опираються на моделі нестаціонарного руху газу в трубах, зокрема наведено методику визначення величини коефіцієнта гідравлічного опору, що підвищує точність діагностики, знижуючи похибку до 10%.

Література

1. Яковлев Е. И. Методика расчета сложных газотранспортних систем с пересеченным профилем трассы / Е. И. Яковлев, А. С. Казак, В. Б. Михалкив и др. К.: Союзпроект, 1984. 112 с.
2. Грудз В. Я. Керування режимами газотранспортних систем / В. Я. Грудз, М. Т. Лінчевський, В. Б. Михалків та ін. К.: Укргазпроект, 1996. 140 с.
3. Грудз Я. В. Енергоефективність газотранспортних систем / Я. В. Грудз Івано-Франківськ.: Лілея НВ, 2012. 186 с.
4. Ковалко М. П. Трубопровідний транспорт газу / М. П. Ковалко, В. Я. Грудз, В. Б. Михалків та ін. Київ.: АренаЕКО, 2002. 600 с.
5. Говдяк Р. М. Енергоекологічна безпека нафтогазових об'єктів / Р. М. Говдяк, Я. М. Семчук, Л. Б. Чабанович та ін. Івано-Франківськ.: Лілея НВ, 2007. 554 с.