

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ З УРАХУВАННЯМ КІНЕТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Смоковський Р.С.

Науковий керівник – к.т.н., проф. Гусарова І.Г.

Харківський національний університет радіоелектроніки
(61166, Харків, пр. Науки, 14, каф. Прикладної математики,
тел. (057) 702-14-36)

e-mail: ruslan.smokovskyi@nure.ua

The development of a mathematical model of nonstationary regimes of gas flow in a large-diameter pipeline with allowance for kinetic energy is considered in this work. It is proposed to factor in the mathematical model the Joule-Thomson effect, which becomes apparent for large diameter pipes. To solve the equations of the mathematical model it is proposed to use the finite difference method with a uniform implicit finite-difference grid.

Газотранспортна система України є однією з найбільших газотранспортних систем в світі. При цьому для газотранспортних компаній України залишається актуальною проблема безпечного, безперебійного та швидкого транспортування газу споживачу.

Для вирішення даної проблеми виникає необхідність в моделюванні нестационарних режимів у ділянці трубопроводу великого діаметра з урахуванням кінетичної енергії. Це пов'язано із запобіганням аварійних ситуацій при ефективному управлінні режимами транспорту газу.

Метою роботи є побудова математичної моделі (ММ) нестационарного неізотермічного режиму течії газу (НН РТГ) по ділянці трубопроводу великого діаметру (ДТВД) з урахуванням кінетичної енергії, вибір методу розв'язання рівнянь ММ.

У цьому нам допоможе загальна система рівнянь газової динаміки для одновимірного випадку, яка має вигляд: [1]

$$\frac{\partial(\rho V)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[P + (1 + \beta) \rho V^2 \right] = -\rho \left[\frac{\lambda |V| V}{2D} + g \frac{dh}{dx} \right], \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho V) = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho V \left(E + \frac{P}{\rho} \right) \right) = \frac{4K}{D} (T_{ep} - T) - \rho V g \frac{dh}{dx}, \quad (3)$$

де $\rho(x, t)$, $V(x, t)$, $T(x, t)$, $P(x, t)$ – щільність, швидкість, температура, тиск газу, t, x – часова і просторова координата, λ – коефіцієнт гідравлічного опору, D – діаметр труби, K – коефіцієнт теплопередачі від труби до ґрунту, T_{ep} – температура ґрунту, h – глибина

залягання труби, β – поправка Коріоліса на нерівномірний розподіл швидкостей в перетині, g – прискорення вільного падіння, E – повна енергія одиниці маси.

Під час реалізації математичної моделі необхідно враховувати всі особливості течії газу, особливо при транспортуванні досить важливо враховувати швидкість руху газу. А також, оскільки в даній роботі розглядаються труби великого діаметру, необхідно враховувати ефект Джоуля-Томсона.

Тому в рівнянні (3) повна енергія одиниці маси запишеться наступним чином:

$$E = U_{\text{внутр}} + E_{\text{кін}} = C_p T - \frac{P}{\rho} - C_p D_i P + \frac{V^2}{2},$$

де C_p – питома теплоємність, D_i – коефіцієнт Джоуля-Томсона, $E_{\text{кін}}$ – кінетична енергія. Після деяких припущень [1] та відповідних перетворень система (1) - (3) приймає вид:

$$\frac{\partial W}{\partial t} + \left(1 - \alpha TS \frac{W^2}{P^2}\right) \frac{\partial P}{\partial x} + 2\alpha TS \frac{W}{P} \frac{\partial W}{\partial x} + \beta TS \frac{W|W|}{P} + \frac{g}{\alpha S} \frac{P}{T} \frac{dh}{dx} = 0, \quad (4)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \alpha TS \frac{\partial W}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial t} + \left(\frac{\alpha^2 T^2 S^2}{P C_p} + D_i \alpha TS\right) \frac{\partial W}{\partial x} - \left(\frac{\alpha^2 T^2 S^2 W}{P^2 C_p} + \frac{D_i \alpha T S W}{P}\right) \frac{\partial P}{\partial x} + \\ + \left(\frac{\alpha T S W}{P} + \frac{\alpha^3 T^2 S^3 W^3}{P^3 C_p}\right) \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{4K\alpha TS}{D P C_p} (T_{sp} - T) + \frac{\beta \alpha^2 T^3 S^3 W^2}{P^3 C_p}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для розв'язання системи (4) – (6), доповненої початковими і граничними умовами обираємо найбільш популярний серед методів – метод скінченних різниць з використанням неявної рівномірної скінченно-різницевої сітки. [2]

Список використаних джерел:

1. Неизотермическое течение газа в трубах / О.Ф. Васильев, Э.А. Бондарев, А.Ф. Воеводин, М.А. Каниболотский. – Новосибирск: Наука, 1978. – 130 с.
2. Гусарова И.Г. Численное моделирование режимов течения газа методом конечных разностей / И.Г. Гусарова, Д.В. Мелиневский // Системи Обробки Інформації: збірник наукових праць. – 2016. – № 4 (141). – С. 23 - 27.