УДК 519.6:622.691.4

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ МОДЕЛЮВАННІ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ГАЗУ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ

Бурячук А.В.
Науковий керівник – канд. техн. наук, доц. Гусарова І.Г.
Харківський національний університет радіоелектроніки, каф. ПМ
м. Харків, Україна
тел. +38(057) 702-14-36, email: alina.buriachuk@nure.ua

This work is devoted to the application of the method of characteristics in the mathematical modeling of non-stationary modes on a large-diameter pipeline section. It is proposed to use the Joule-Thomson effect, which manifests itself for pipes of large diameter. Equations for the direction of the characteristics and differential relations on the characteristics are obtained. The results obtained can be used to calculate non-stationary regimes depending on the initial conditions.

На даний момент спосіб транспортування газу саме трубопроводом є найефективнішим. Але в реальних умовах режими течії газу є нестаціонарними, тобто змінюються с часом, особливо в аварійних ситуаціях. Тому важливо вміти розраховувати саме нестаціонарні режими та аналізувати зміни в процесі, зв'язані з початковими умовами, з плином часу. Математичні моделі (ММ) нестаціонарних неізотермічних режимів течії газу (ННРТГ) в основному представляються у вигляді систем диференціальних рівнянь в частинних похідних (ДРЧП). Для розв'язання даної системи будемо використовувати метод характеристик, щоб прослідкувати ці зміни.

Дана робота присвячена знаходженню рівнянь напрямку характеристик та диференціальних співвідношень на характеристиках (ДСНХ) для ММ ННРТГ на ділянці трубопроводу великого діаметру, яка враховує ефект Джоуля-Томсона.

ММ ННРНГ по ділянці трубопроводу великого діаметру з ефектом Джоуля-Томсона описується системою (ДРЧП), яка має вигляд: [1]

$$\frac{\partial W}{\partial t}+\left(1-a^2\frac{W^2}{P^2}\right)\frac{\partial P}{\partial x}+2a^2\frac{W}{P}\frac{\partial W}{\partial x}+\beta ST\frac{W|W|}{P}+\frac{gP}{a^2}\frac{dh}{dx}=0,$$

$$\frac{\partial P}{\partial t}+a^2\frac{\partial W}{\partial x}=0,$$

$$\frac{\partial T}{\partial t}+\frac{a^2\gamma}{b}\frac{TW}{P}\frac{\partial T}{\partial x}+\left(\frac{T\gamma}{b}-1\right)\frac{a^2T}{P}\frac{\partial W}{\partial x}-\frac{a^2\gamma D_j}{b}\frac{TW}{P}\frac{\partial P}{\partial x}+$$

$$+\frac{4K(\gamma-1)}{D}\frac{T^2\left(T-T_{гр}\right)}{Pb}+\frac{g(\gamma-1)}{b}\frac{T^2W}{P}\frac{dh}{dx}=0,$$

де $a^2=\alpha ST$, $b=T-\gamma D_jP$, $W(x,t)$, $T(x,t)$, $P(x,t)$, D_j – питома масова витрата, температура, тиск газу, коефіцієнт Джоуля-Томсона.

Знайдемо корені системи та отримуємо рівняння напрямку характеристик

$$dt = \overline{\lambda}_i dx, i = \overline{1,3},$$

де $\overline{\lambda}_1 = \dfrac{Pb}{a^2 W T \gamma}$, $\overline{\lambda}_2 = \dfrac{1}{a + a^2 \dfrac{W}{P}}$, $\overline{\lambda}_3 = \dfrac{1}{-a + a^2 \dfrac{W}{P}}$.

Далі знаходимо ДСНХ для 1-ї та 2-ї сімей характеристик:

$$\left(a^2 D_j - \frac{(T\gamma - b) a^2 T}{bP} \right) dW + \left(-\frac{(P^2 - a^2 W^2)(T\gamma - b)}{P^2 \gamma W} + \frac{a^2 \gamma D_j T W}{bP} - \frac{2a^2 W D_j}{P} \right) dP +$$

$$+ \left(-\frac{a^2 \gamma W T}{bP} + \frac{2Wa^2}{P} + \frac{b(P^2 - a^2 W^2)}{T\gamma W P} \right) dT + \left(\frac{b\beta S |W| D_j}{\gamma} - \frac{\beta S |W| (T\gamma - b) T}{\gamma P} - \right.$$

$$-\frac{4K(\gamma - 1) T^2 (T - T_{гр})}{DPb} + \frac{8K(\gamma - 1) T (T - T_{ср})}{DP\gamma} +$$

$$\left. + \frac{4bK(\gamma - 1)(T - T_{гр})(P^2 - a^2 W^2)}{a^2 \gamma^2 W^2 DP} \right) dx = 0.$$

$$\left(\frac{a^3 \gamma D_j T W}{(P + aW) b} - \frac{(T\gamma - b) a^2 T}{bP} \right) dW +$$

$$+ \left(\frac{-(P - aW) a T (T\gamma - b)}{P^2 b} + \frac{a^2 \gamma D_j T W}{bP} - \frac{2\gamma D_j T W^2 a^3}{(P + aW) bP} \right) dP +$$

$$+ \left(\frac{\beta T^2 S W^2 |W| a^2 \gamma D_j}{(P + aW)^2 b} - \frac{\beta T^2 S W |W| (T\gamma - b) a}{(P + aW) bP} \right) dx = 0.$$

ДСНХ для 3-ї сім'ї характеристик знаходяться аналогічно попереднім.

Отримані результати можна застосовувати для розрахунку нестаціонарних режимів, тобто перехідних режимів під час аварійних та нештатних ситуацій в газотранспортній системі, в залежності, наприклад, від початкових умов.

Список використаних джерел:

1. Husarova, I.H., Tevyashev, A.D., & Tevyasheva, O.A. (2022). Mathematical modeling of non-stationary gas flow modes along a linear section of a gas transmission system. *Mathematical Modeling and Computing*, 9(2), 416–430. https://doi.org/10.23939/mmc2022.02.416