

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА НА УЧАСТКЕ ТРУБОПРОВОДА

Нарышев Н. А.

Научный руководитель – к.т.н., проф. Гусарова И.Г.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
(61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. Прикладной математики,
тел. (057) 702-14-36)

E-mail: d_am@nure.ua

The article is devoted to an actual problem of a numerical modeling gas flow's temperature modes on pipe section. The goal of this article is to find out the best model which gives a solution with the necessary accuracy and speed. Used a mathematic model of stationary and non-stationary non-isothermal modes of gas transport with considering of Joule-Thomson coefficient. Were made calculations of temperature, pressure and gas consumption using different approaches to calculate a Joule-Thomson coefficient. Calculated values were compared and analyzed.

Актуальной проблемой является моделирование температурных режимов течения газа (РТГ) в газотранспортных системах (ГТС), особенно в аварийных ситуациях, когда РТГ являются нестационарными и неизотермическими. Так для построения математической модели (ММ) стационарных и нестационарных неизотермических режимов течения газа (ННРТГ) по участку магистрального трубопровода большого диаметра важно выбрать модель, которая была бы максимально эффективной с точки зрения точности и быстродействия на ЭВМ. При этом необходимо учитывать зависимость температурных режимов в ГТС от условий окружающей среды, а также от эффекта Джоуля-Томсона.

Цель работы состоит в проведении анализа и выборе ММ ННРТГ по участку трубопровода (УТ), которая учитывала бы дроссель-эффект, т.е. коэффициент Джоуля-Томпсона (КДТ); метода расчета параметров газового потока: расхода, давления, температуры; в проведении анализа результатов, полученных при использовании разных соотношений для вычисления КДТ.

В качестве ММ ННРТГ по УТ выбирается система дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа: [1]

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + B(x, t, \varphi) \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \Phi(x, t, \varphi), \quad (1)$$

$$\text{где } B = \begin{bmatrix} 2\alpha TS \frac{W}{P} & 1 - \alpha TS \frac{W^2}{P^2} & 0 \\ \alpha TS & 0 & 0 \\ \frac{\alpha S(T(\gamma - 1) + PD_j \gamma)}{T - PD_j \gamma} \cdot \frac{T^2}{P} & - \frac{\alpha S \gamma D_j}{T - PD_j \gamma} \cdot \frac{T^2 W}{P} & \frac{\alpha S \gamma}{T - PD_j \gamma} \cdot \frac{T^2 W}{P} \end{bmatrix},$$

а также

$$\Phi = \left[\begin{array}{c} -\beta TS \frac{W|W|}{P} - \frac{g}{\alpha S} \frac{P}{T} \frac{dh}{dx} \\ -\frac{4K}{D} (\gamma - 1) \frac{T^2 (T - T_{rp})}{P(T - PD_j \gamma)} - \frac{g(\gamma - 1)}{T - PD_j \gamma} \frac{T^2 W}{P} \frac{dh}{dx} \end{array} \right],$$

где $\varphi = (W(x,t), P(x,t), T(x,t))$ – некоторое непрерывно дифференцируемое в области $G = \{(x,t) : 0 \leq x \leq L, 0 \leq t \leq T_k\}$ решение системы (1), D_j – коэффициент Джоуля-Томпсона, $W(x,t)$, $T(x,t)$, $P(x,t)$ – удельный массовый расход, температура, давление газа. Для расчета КДТ используется следующая формула:

$$Dj = \frac{R \cdot T^2}{c_p \cdot p} \cdot \frac{\partial z}{\partial T}, [^\circ \text{K/МПа}]. \quad (2)$$

Формула (2) после преобразований будет иметь вид

$$D_j(P, T) = \frac{Rg \cdot T^2}{c_p \cdot p} \cdot \left(\left(\frac{P}{98066,5} - 6 \right) \cdot \left(0.345 \cdot 10^{-2} \cdot \Delta var - 0.446 \cdot 10^{-3} \right) + 0.015 \right) \cdot 0.0144 [^\circ \text{K/Па}]. \quad (3)$$

Система (1), (3) дополняется начальными и граничными условиями. Для численного решения используется метод конечных разностей с неявной равномерной конечно-разностной схемой. Рассматривается еще один вариант формулы (3), когда вместо текущих значений давления и температуры P, T берутся средние значения давления и температуры по УТ, найденные из стационарного режима, т.е. $D_j = D_j(P_{cp}, T_{cp})$.

В пакете Mathematica 10.3 разработан программный продукт, позволяющий рассчитывать параметры газового потока для разных вариантов расчета КДТ. Проводится сравнение полученных результатов по точности и быстродействию.

Анализ полученных результатов показал, что использование первой формулы для расчета КДТ дает более точный результат, хотя для этого требуется больше времени расчета на компьютере. Целесообразность использования каждого из этих вариантов соотношений для КДТ связана с целью расчетов и необходимой точностью.

Список источников

1. Гусарова И.Г., Боярская Ю.В. Классы задач моделирования и численного анализа нестационарных режимов работы газотранспортной системы//Восточно-Европейский журнал.- 3/6(45) 2010.-С.26-32.