

МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ З УРАХУВАННЯМ ПОПРАВКИ КОРІОЛІСА

В даний час проблема якісного транспорту газу дуже актуальна для України, так як вона є добувачем, споживачем, а також транспортером газу в країні Євросоюзу. Природний газ активно використовується в паливно-енергетичній, хімічній промисловості і вважається екологічним видом палива, тому є одним з головних джерел енергії в діяльності людини. Ефективність управління режимами транспорту газу обумовлюється готовністю керувати режимами течії газу (РТГ) навіть при появі передаварійних або аварійних ситуацій, розробляти нові способи збільшення надійності газотранспортних систем за допомогою удосконалених математичних моделей та ефективних чисельних методів.

Сучасні компанії прагнуть до автоматизації, щоб мати можливість контролювати процес транспорту газу і мати можливість передбачати позаштатні ситуації. Нестационарним і неізотермічним (НН) називають такий режим транспорту газу, який виникає при аварії на ділянці трубопроводу (ДТ), коли різко змінюються граничні умови.

Мета роботи передбачає побудову математичної моделі (ММ) НН РТГ по ДТ великого діаметру, вибір методу для розв'язання системи рівнянь ММ з відомими початковими і граничними умовами з урахуванням поправки Коріоліса, аналіз отриманих результатів.

У загальному випадку НН РТГ по ДТ, яка має вигляд циліндричної труби постійного діаметра, описується квазілінійною системою диференціальних рівнянь в частинних похідних, отриманої із загальних рівнянь газової динаміки Нав'є-Стокса, доповненої початковими та граничними умовами [1].

Вважатимемо, що швидкості потоку газу в перетині трубопроводу розподілені нерівномірно, тому необхідно враховувати поправку Коріоліса, а в рівнянні енергії врахуємо ефект Джоуля-Томсона, оскільки розглядаємо труби великого діаметру, але можна знехтувати кінетичною енергією. Тоді повна енергія одиниці маси розраховується за формулою

$$E = U_{\text{внутр}} = C_p T - C_p D_j P - \frac{P}{\rho},$$

де C_p – питома теплоємність; D_j – коефіцієнт Джоуля-Томсона; T – температура; P – тиск газу; ρ – щільність газу. Позначимо коефіцієнт Коріоліса

$$\beta_K = 1 + \beta_0,$$

де β_0 – поправка Коріоліса на нерівномірний розподіл швидкостей в перетині.

Отже показується, що система рівнянь ММ матиме вигляд:

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

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \alpha T S \frac{\partial W}{\partial x} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \alpha S \gamma T \frac{W}{P} \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha S (\gamma - 1) \frac{T^2}{P} \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{4K}{D} (\gamma - 1) \frac{T}{P} (T - T_{cp}) + g (\gamma - 1) \frac{WT}{P} \frac{dh}{dx} = 0, \quad (3)$$

де $\alpha = \frac{gRz}{S}$, $\gamma = \frac{C_p}{C_p - gRz}$, $\beta = \frac{\alpha\lambda}{2D}$, W – питома

масова витрата газу; D – діаметр труби; h – глибина залягання труби; g – прискорення вільного падіння; K – коефіцієнт теплопередачі від труби до ґрунту; T_{cp} – температура ґрунту; z – коефіцієнт стиснення газу, R – газова постійна, S – площа поперечного перерізу, C_p – питома теплоємність газу, λ – коефіцієнт гідравлічного опору.

Дану систему (1) - (3) апроксимуємо використовуючи неявну рівномірну скінченно-різницьку схему [2]. Отриману нелінійну систему розв'язуємо методом Ньютона. Для комп'ютерного моделювання використовуємо програмний продукт, написаний в пакеті Mathematica 10.3. Проводиться аналіз результатів комп'ютерного моделювання.

Завдяки проведенню дослідженням була отримана ММ НН по ділянці трубопроводу великого діаметру, яка враховує зміну температури газу при його транспортуванні та нерівномірне розподілення швидкості потоку газу за допомогою ефекту Джоуля-Томсона і поправки Коріоліса.

Список літератури

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. Мелинский // Системи Обробки Інформації: збірник наукових праць. – 2016. – №4(141). – С. 23 – 27.