

SECTION XIII. SYSTEM ANALYSIS, MODELING AND OPTIMIZATION

DOI 10.36074/logos-14.10.2022.19

ОСОБЛИВОСТІ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ РЕЖИМІВ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРУ

Гусарова Ірина Григоріївна

канд. техн. наук, доцент, професор кафедри прикладної математики
Харківський національний університет радіоелектроніки

Гончарова Вікторія Дмитрівна

здобувач вищої освіти
факультету інформаційно-аналітичних технологій та менеджменту
Харківський національний університет радіоелектроніки

УКРАЇНА

Проблема транспортування газу достатньо актуальна у нашій країні, тому що Україна є транспортером природного газу в країни Європи, а її газотранспортна система вважається однією з найбільших газотранспортних систем. При цьому питання щодо безпечного транспортування газу без будь-яких втрат є відкритим, особливо у нештатних та аварійних ситуаціях.

Метою роботи є розглядання особливостей моделювання нестационарного неізотермічного режиму течії газу (ННРТГ) по ділянці трубопроводу (ДТ) великого діаметру.

Вибираємо математичну модель нестационарного неізотермічного режиму течії газу по ділянці трубопроводу великого діаметру з урахуванням ефекту Джоуля-Томсона, а саме : [1]

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

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

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

де:

$P(x,t), T(x,t), W(x,t)$ – тиск, температура, питома масова витрата газу.

Для розв'язання системи рівнянь (1)-(3), застосовуємо неявну нерівномірну скінченно-різницеву схему. Розділимо відрізок $[0, L]$, де L – довжина ДТ, на n відрізків, які мають довжину Δx , потім поділимо перший та останній відрізок навпіл.

У першого, другого, останнього та передостаннього відрізка довжина буде $\frac{\Delta x}{2}$, інші мають довжину Δx . Відрізок $[0, T_{\max}]$, де T_{\max} – час, на якому розглядається перехідний процес, ділимо на Δt , де Δt – крок розбиття по часовій змінній. Отже маємо нерівномірну скінченно-різницеву сітку. [2] Отриману систему нелінійних скінченно-різницевих рівнянь розв'язуємо методом Ньютона.

Було розроблено програму для моделювання ННРТГ з використанням нерівномірної скінченно-різницевої сітки для отримання значень параметрів газового потоку (тиску, температури, питомої масової витрати газу) на ділянці трубопроводу за допомогою Wolfram Mathematica 11.1.

Розглядалася ДТ довжиною 98 км та діаметром 1400 мм, задавалися також параметри газу, загальний час моделювання $T_{\max} = 12$ годин, крок розбиття по часовій змінній $\Delta t = 300$ сек. Початкові умови мали вид: комерційна витрата газу $q = 101,5$ млн.м³/доб, тиск газу на початку ДТ $P_n = 84,5$ атм, температура газу на початку ДТ $T_n = 38^\circ\text{C}$.

Розраховували параметри перехідного режиму течії газу для нештатної ситуації, пов'язаної з підключенням великих споживачів. Граничні умови при цьому мали вигляд:

$$\begin{cases} P(0, t) = 84,5 \text{ атм}, \\ T(0, t) = 38^\circ\text{C}, \end{cases} \quad G(L, t) = \begin{cases} 101,5 \text{ млн.м}^3 / \text{доб} < 190 \text{ хв}, \\ 116,5 \text{ млн.м}^3 / \text{доб} \geq 190 \text{ хв}. \end{cases}$$

Отримали параметри газового потоку для різних n точок розбиття ДТ, а саме коли $n = 7$, $n = 12$ та $n = 22$. Починаючи з 38-го часового шару відбувається зміна граничних умов. Порівнюючи значення параметрів газового потоку для різних n , зробили висновок, що при збільшенні кількості точок розбиття параметри стають більш точними. Порівнюючи час роботи програми при різних n , бачимо що при $n = 7$ він складає 22,452 сек., при $n = 12$ він складає 38,980 сек., при $n = 22$ він складає 94,957 сек. Це дозволяє за необхідністю обирати між точністю результатів та часом отримання результатів перехідного процесу. Тестування програмного продукту проводилося на EOM з такими характеристиками: тип процесору Intel(R)Core(TM) i7-10510U CPU @ 1.80GHz 1.99 GHz з 64-розрядною операційною системою Windows 10.

Використання обраної нерівномірної скінченно-різницевої сітки дозволяє отримати більш точні значення параметрів газового потоку поблизу границь ділянки трубопроводу.

Список використаних джерел:

- [1] Husarova I. H., Tevyashev A. D., Tevyasheva O. A. Mathematical modeling of non-stationary gas flow modes along a linear section of a gas transmission system. *Mathematical Modeling and Computing*. Vol. 9, No. 2, pp. 416–430 (2022).
- [2] Вдовенко В.Д. Застосування нерівномірної сітки при моделюванні нестационарних режимів по ділянці трубопроводу великого діаметру // XXV Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті»: зб. матеріалів форуму (м. Харків, 20-22 квітня 2021 р.). Т. 7/10. Харків: ХНУРЕ, 2021. С. 79 – 80.