ДИНАМИКА НАГНЕТАНИЯ ЖИДКОСТИ/ГАЗА В ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ УЧАСТОК ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДА

Мамадалиев Х.А.

Центр разработки программных продуктов и аппаратно-программных комплексов при ТУИТ, г. Ташкент

Одной из актуальных задач в области трубопроводного транспорта является задача опрессовки – проверки пригодности участка трубопровода к эксплуатации. Она заключается в следующем: в участок нагнетается газ или жидкость до определенного давления и удерживается некоторое время. Отсутствие падения давления в участке в течение этого времени свидетельствует о пригодности его к эксплуатации.

Для описания указанного процесса привлекаются уравнения

$$-\frac{\partial p}{\partial x}=\frac{\lambda w_*}{2D}\rho w+\frac{\partial \rho w}{\partial t},\quad -\frac{1}{c^2}\frac{\partial p}{\partial t}=\frac{\partial(\rho w)}{\partial x},\tag{1}$$

где p, ρ, w – среднеинтегральные по сечению значения давления, плотности и скорости жидкости или газа; λ – коэффициент сопротивления трения; D – диаметр трубопровода; c – скорость распространения малых возмущений давления в системе жидкость-трубопровод, w_* – характерная скорость для рассматриваемого процесса.

При рассмотрении движения газа – $p = Z\rho RT$, где Z, R – коэффициент сжимаемости и приведенная газовая постоянная реального газа. Краевые условия здесь сформулированы в виде

$$p(0,t) = p_H + (p_{00} - p_H)\, e^{-\chi ct},\ \frac{\partial p(l,t)}{\partial x}=0,\ p(x,0) = p_{00}\, e^{-ax},\ \frac{\partial p(x,0)}{\partial t}=0.$$

В отличие от известных задач, первое условие учитывает разгон нагнетателя от исходного (атмосферного) давления p_{00} до давления нагнетания p_H по экспоненциальному закону. Конец участка считается закрытым (при $x = l$); в момент и до начала нагнетания среда находится в покое.

Из системы (1) можно составить единое уравнение $\frac{\partial^2 p}{\partial \tau^2}+b\frac{\partial p}{\partial \tau}=\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$, где $\tau = ct, b = \lambda w_* /(2Dc)$.

В настоящей работе задача решена для более общего вида входного условия $f(\tau) = p(0,\tau) = \sum_{i=0} q_i e^{\omega_i \tau}$ методом Фурье, и решение имеет следующий вид

$$p(x,\tau) = f(\tau) + \sum_{n=1}^{\infty}\left(T_n(\tau) + \sum_{i=0} r_{in} e^{\omega_i \tau}\right)\sin \lambda_n x,$$

где $\lambda_n = (2n-1)\pi/(2l)$, $r_{in} = -2q_i\left(\omega_i^2 + b\omega_i\right)/\left(l\left(\omega_i^2 + b\omega_i + \lambda_n^2\right)\right)$.

Для проведения вычислительных экспериментов на основе данного аналитического решения, было составлено программное средство на объектно-ориентированном языке программирования Delphi 7.