УДК. 62-50

ЧИСЛЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДАХ

ЮСУБОВ Ч.А.

Государственная Нефтяная Компания Азербайджанской Республики

Рассматриваются вопросы создания численного метода для математического моделирования нестационарных процессов в магистральных газопроводах как объекта с распределенными параметрами.

Нестационарные процессы, протекающие в газотранспортной системе, весьма сложны [1], их анализ затруднен из-за отсутствия простых универсальных методов расчета указанных процессов в магистральных газопроводах [2,3].

В данной статье дается методика для численного определения нестационарных процессов, протекающих в магистральных газопроводах. Сущность предложенного метода основывается на использование дискретного аналога интегрального уравнения свертки [4].Преимуществом предложенного подхода является то, что он позволяет осуществлять переход от изображений искомых функций в область оригиналов без нахождения корней характеристического уравнения, заменять операции непрерывного интегрирования суммированием по методу трапеций, что значительно повышает точность расчетов.

Нестационарные процессы, протекающие в магистральном газопроводе, описываются дифференциальными уравнениями в частных производных параболического типа:

$$-\frac{\partial p}{\partial \chi} = k_1 \omega$$
$$-\frac{\partial \omega}{\partial \chi} = k_2 \frac{\partial p}{\partial t}, \tag{1}$$
$$0 \le \chi \le l$$

где $p=p(\chi,t)$, $\omega=\omega(\chi,t)$ – соответственно избыточные значения давления и скорости движения газа; $к_1=2a\rho$, $к_2=1/\rho c^2$, ρ - плотность газа; c – скорость звука в газе; $2a=\eta\omega_{cp}/2D$ – коэффициент, линеаризованный по И.А.Чарному; η - коэффициент гидравлического сопротивления; D – внутренний диаметр трубы; ω_{cp} - средняя по сечению скорость течения газа в стационарном режиме;

$\omega_{ъп} = \frac{2}{3}(\frac{\omega_1^2 + \omega_0\omega_1 - 2\omega_0^2}{\omega_1 - \omega_0})$, ω_0, ω_1 – установившиеся значения средней скорости, соответственно, до и после нестационарного процесса; l – длина газопровода.

Для данной задачи начальные условия принимаются нулевыми:

$$p(\chi,t)_{t=0}=0, \qquad \omega(\chi,t)_{t=0}=0$$

Граничные условия в зависимости от режимов работы нефтепровода могут иметь различный вид.

В рассматриваемом случае, допустим, граничные условия имеют следующий вид:

$$\omega(\chi,t)_{\chi=0}=\omega_H(t), \qquad p(\chi,t)_{\chi=l}=0$$

где $\omega_H(t)$, произвольный закон изменения скорости движения газа в начале трубы.

Решение системы дифференциальных уравнений (1) при принятых начальных и граничных условиях позволяет получить полную информацию об изменении давления и скорости, как по длине газопровода, так и во времени.

Согласно предложенному подходу, при решении поставленной задачи на первом этапе необходимо получить Лапласово изображение для функций $\omega(\chi,t)$, $p(\chi,t)$. В этой связи, при принятых начальных и граничных условиях из решения системы дифференциальных уравнений (1) получаем выражения для функций $\omega(\chi,t)$, $p(\chi,t)$ в операторной форме:

$$\omega(\chi,s)=\frac{ch\gamma(l-\chi)}{ch\gamma l}\omega_H(s)\ , \tag{2}$$

$$p(\chi,s)=b(s)\frac{sh\gamma(l-\chi)}{ch\gamma l}\omega_H(s)\ , \tag{3}$$

где $\gamma=\sqrt{k_1k_2}\sqrt{s}$ - операторная постоянная распространения волны; $b(s)=\sqrt{\frac{k_1}{k_2}}\frac{1}{\sqrt{s}}$ - операторное волновое сопротивление газопровода; s – оператор преобразования Лапласа; $\omega(\chi,s), p(\chi,s)$ - Лапласово изображение функций $\omega(\chi,t)$, $p(\chi,t)$.

Второй этап решения данной задачи связан с осуществлением перехода от изображений (2),(3) в область оригиналов.

Поэтому выражения (2), (3) можно представить в виде:

$$\omega(\delta,s)\left[\frac{1}{s}+k_1(s)\right]=\left[k_2(s)+k_3(s)\right]\omega_H(s), \tag{4}$$

$$p(\delta,s)\left[\frac{1}{s}+k_1(s)\right]=k_1^{/}\left[k_4(s)-k_5(s)\right]\omega_H(s), \tag{5}$$

$k_1(s)=\frac{1}{s}e^{-R\sqrt{s}}$, $\quad k_2(s)=\frac{1}{s}e^{-R\delta\sqrt{s}}$, $\quad k_3(s)=\frac{1}{s}e^{-R(1-\delta)\sqrt{s}}$, $k_4(s)=\frac{1}{s\sqrt{s}}e^{-R\delta\sqrt{s}}$

$k_5(s)=\frac{1}{s\sqrt{s}}e^{-R(1-\delta)\sqrt{s}}$, $\quad R=2\sqrt{k_1k_2}\,l$, $\quad k_1^{/}=\sqrt{\frac{k_1}{k_2}}$, $\delta=\frac{\chi}{2l}$.

На основе теоремы свертки, переходя от уравнений (4), (5) относительно изображений к уравнениям относительно оригиналов, получим:

$$\int_0^t\omega(t-\theta,\delta)1(\theta)d\theta+\int_0^t\omega(t-\theta,\delta)k_1(\theta)d\theta=\int_0^t\omega_H(t-\theta)k_2(\theta)d\theta+\int_0^t\omega_H(t-\theta)k_3(\theta)d\theta \tag{6}$$

–

$$\int_0^t p(t-\theta,\delta)1(\theta)d\theta+\int_0^t p(t-\theta,\delta)k_1(\theta)d\theta=k_1^{/}\int_0^t\omega_H(t-\theta,\delta)k_4(\theta)d\theta-k_1^{/}\int_0^t\omega_H(t-\theta,\delta)k_5(\theta)d\theta \tag{7}$$

Интегральные уравнения (6), (7) могут быть решены численно, если заменить интегралы суммами.

В связи с этим, используя связь между непрерывным временем t и дискретным n (n=0,1,2,…) в виде t= nT/λ (где T=2τ, τ=l/c – время распространения волны; λ - любое целое число), производим дискретизацию уравнения (6), (7) , при выбранном интервале T/λ, заменяя операцию непрерывного интегрирования суммированием по методу трапеций.

При этом вместо (6), (7) получаем следующие рекуррентные соотношения для функций $\omega(\chi,t)$, $p(\chi,t)$ в решетчатой форме:

$$\begin{aligned}\omega\,[n,\delta] &= \sum_{m=0}^{n}\left(\omega_H[n-m]k_2[m]+k_2[n-m+1]\omega_H[m-1]\right)+\\ &+\sum_{m=0}^{n}\left(\omega_H[n-m]k_3[m]+k_3[n-m+1]\omega_H[m-1]\right)-\\ &-\sum_{m=1}^{n}\left(\omega[n-m,\delta]k_1[m]+k_1[n-m+1]\omega[m-1,\delta]\right)-\\ &-\sum_{m=1}^{n}\left(\omega[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]\omega[m-1,\delta]\right)\end{aligned} \tag{8}$$

$$\begin{aligned}p[n,\delta] &= k_1^{/}\sum_{m=0}^{n}\left(\omega_H[n-m]k_4[m]+k_4[n-m+1]\omega_H[m-1]\right)-\\ &-k_1^{/}\sum_{m=0}^{n}\left(\omega_H[n-m]k_5[m]+k_5[n-m+1]\omega_H[m-1]\right)-\\ &-\sum_{m=1}^{n}\left(p\,[n-m,\delta]k_1[m]+k_1[n-m+1]p\,[m-1,\delta]\right)-\\ &-\sum_{m=1}^{n}\left(p\,[n-m,\delta]1[m]+1[n-m+1]p\,[m-1,\delta]\right)\end{aligned} \tag{9}$$

где:

$$k_1[n]=erfc\frac{R}{2\sqrt{\frac{nT}{\lambda}}} \qquad k_2[n]=erfc\frac{R\delta}{2\sqrt{\frac{nT}{\lambda}}} \qquad k_3[n]=erfc\frac{R(1-\delta)}{2\sqrt{\frac{nT}{\lambda}}}$$

$$k_4[n]=2\sqrt{\frac{nT}{\lambda}}\,i\,erfc\frac{R\delta}{2\sqrt{\frac{nT}{\lambda}}}, \qquad k_5[n]=2\sqrt{\frac{nT}{\lambda}}\,i\,erfc\frac{R(1-\delta)}{2\sqrt{\frac{nT}{\lambda}}},$$

$erft=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^t e^{-t_1^2}dt_1$ - функция ошибок Гаусса, интеграл $\int_0^\infty erfctdt = ierfct = \frac{1}{\sqrt{\pi}} - terfct$

Полученные рекуррентные соотношения (8), (9) в конечном итоге позволяют значительно повысить точность расчетов при определении изменения давления и скорости в любой точке магистрального газопровода в произвольный момент времени и легко реализуются на ЭВМ.

Погрешность расчетов связана с величиной λ. Чем больше выбрано число λ, тем в меньшей мере характеристики непрерывной функции отличаются от соответствующих характеристик решетчатых.

Результаты данной работы могут быть использованы при проектировании и эксплуатации магистральных газопроводов [1].

1. *Керимов М.З.* Трубопроводы нефти и газа. М.: Наука, 2002, 250 с.
2. *Жидкова М.А.* Переходные процессы в магистральных газопроводах. Киев.: Наукова думка, 1979, с.60-80.
3. *Галиуллин З.Т., Леонтьев Е.В.* Интенсификация магистрального транспорта газа. М.: Недра, 1991, 150 с.
4. *Наумов Б.Н.* Теория нелинейных автоматических систем. М.: Наука, 1972, 350 с.

MAGİSTRAL QAZ KƏMƏRLƏRİNDƏ BAŞ VERƏN QEYRİ-STASİONAR PROSESLƏRİN ƏDƏDİ ÜSULA TƏYİNİ

YUSUBOV Ç.A.

Məqalədə magistral qaz kəmərlərində aş verən qeyri-stasionar proseslərin ədədi üsulla təyin edilməsi metodikası təklif edilmişdir.

NUMERECAL DETERMINATION OF DYNAMIC PROCESSES IN GAS PIPELINES

YUSUBOV Ch.A.

There is numerical method for determination of dynamic processes in gas pipeline.