

## МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ КОНЕЧНО- РАЗНОСТНЫХ СЕТОК

Через Украину осуществляется транзит российского газа в Европу, поэтому рынок газотранспортных услуг играет немаловажную роль.

Режимы течения природного газа в нештатных ситуациях являются нестационарными и неизотермическими. Для расчета таких режимов применяют метод конечных разностей, метод характеристик, метод конечных элементов и другие. Наиболее популярным среди них является метод конечных разностей. В нашем случае расчёт режимов транспорта газа будем проводить с использованием равномерной и неравномерной конечно-разностных сеток.

Цель работы: выбор математической модели нестационарных неизотермических режимов течения газа (ННРТГ) по участку трубопровода (УТ); применение метода конечных разностей с использованием равномерной и неравномерной конечно-разностных сеток; разработка на их основе алгоритмов для решения системы дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа, описывающих режимы течения газа по участку трубопровода; сравнение результатов моделирования ННРТГ, полученных с помощью равномерной конечно-разностной сетки (РКРС) и неравномерной конечно-разностной сетки (НКРС).

Для общего случая ННРТГ, описывается квазилинейной системой дифференциальных уравнений в частных производных, полученной из общих уравнений газовой динамики, которая описывается в работе [1].

Применяя метод конечных разностей к системе, дополненной начальными и граничными условиями, найдем ее решение.

Численное решение ищется с использованием РКРС и НКРС. Для получения НКРС разделим отрезок  $[0, L]$  на  $n$  отрезков, длиной  $\Delta x$ , а затем первый и последний отрезки делим пополам. Получим  $n+2$  отрезка. Первый, второй, последний и предпоследний длиной  $\frac{\Delta x}{2}$ , остальные длиной  $\Delta x$ , получим  $n+3$  точки разбиения  $x_i, i=0, n+2$ . Для того, чтобы получить РКРС разделим отрезок  $[0, L]$  на  $n$  отрезков, длиной  $\Delta x$ . Получаем общую формулу для

нахождения производных  $\left. \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right|_i^k, \left. \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right|_i^k$ . С учётом этих формул получаем системы разностных уравнений. Решением полученных систем являются вектора

- для НКРС

$$\begin{aligned} \varphi^k &= (\varphi_0^k, \varphi_1^k, \varphi_2^k, \dots, \varphi_i^k, \dots, \varphi_n^k, \varphi_{n+1}^k, \varphi_{n+2}^k) = \\ &= (W_0^k, P_0^k, T_0^k, W_1^k, P_1^k, T_1^k, \dots, W_{n+2}^k, P_{n+2}^k, T_{n+2}^k), \end{aligned}$$

- для РКРС

$$\begin{aligned} \varphi^k &= (\varphi_0^k, \varphi_1^k, \varphi_2^k, \dots, \varphi_i^k, \dots, \varphi_n^k) = \\ &= (W_0^k, P_0^k, T_0^k, W_1^k, P_1^k, T_1^k, \dots, W_n^k, P_n^k, T_n^k). \end{aligned}$$

Нелинейные системы будем решать методом Ньютона. Получаем линейные системы уравнений, которые в общем виде будут иметь вид:

$$\left[ \frac{\partial \psi^k}{\partial \varphi^k} \right]_{\varphi^{k,s-1}} \delta \varphi^{k,s} = \psi^{k,s-1}, \quad s = 0, 1, 2, \dots$$

Далее находятся компоненты вектора невязок и матрица Якоби.

Предлагается алгоритм, позволяющий найти значения параметров на  $k$ -ом временном слое, зная параметры с предыдущего временного слоя и граничные условия.

Проведено сравнение результатов численного моделирования ситуаций, связанных с подключением и отключением крупного потребителя, с использованием РКРС и НКРС. Наиболее сильно отличаются решения, полученные по РКРС и НКРС, возле границ участка, где происходит изменение граничных условий, потом это различие распространяется и по всей длине участка. С увеличением  $n$  числа точек разбиения участка решения отличаются меньше.

Для решения поставленной задачи расчета ННРТГ для УТ был создан программный продукт, написанный в пакете Mathematica 11.0.

В результате ряда проведенных численных экспериментов было показано, что использование неравномерного шаблона позволяет более точно описывать режимы течения газа как вблизи границ участка трубопровода, так и по всей длине, более полно описывать переходные процессы, в том числе в аварийных и нештатных ситуациях, что позволяет более точно прогнозировать последствия аварий и выбирать меры для их предотвращения.

### Список литературы

1. Каминская А.В., Гусарова И.Г. Численный анализ режимов работы газораспределительных сетей высокого давления // Радиоэлектроника и информатика. – 2011. – №3(54). – С.50–54.