

УДК 621.37/.39

И.Г. Гусарова, А.Н. Коротенко

Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА ПО УЧАСТКУ ТРУБОПРОВОДА МЕТОДОМ ХАРАКТЕРИСТИК

На сегодняшний день уделяется большое внимание проблемам эффективности и качества функционирования трубопроводного транспорта, т.к. для газотранспортных компаний Украины проблема доставки газа потребителю без потерь по-прежнему является актуальной. В работе описываются результаты численного моделирования режимов течения газа по участку трубопровода методом характеристик с использованием метода Массо и его модификации. Метод характеристик отличается от существующих способом решения системы нелинейных уравнений, полученной после применения метода характеристик к исходной системе уравнений математической модели. Метод позволяет вести расчет параметров газового потока с необходимой точностью и требуемым быстродействием.

Ключевые слова: участок трубопровода, нестационарный неизотермический режим, моделирование, метод характеристик, метод Массо, модифицированный метод Массо.

Введение

Газотранспортная система – совокупность взаимосвязанных газопроводов и сопутствующих им сооружений, предназначенных для обеспечения газом потребителей.

Газотранспортная система Украины – одна из крупнейших в мире газотранспортных систем. Она выполняет две основные функции: обеспечение природным газом внутренних потребителей, а также транзит природного газа через территорию Украины в страны Западной и Центральной Европы. Газотранспортная система Украины состоит из магистральных газопроводов, распределительных сетей, газохранилищ, компрессорных станций. С целью сохранения привлекательности и конкурентоспособности ГТС Украины для экспортеров газа были разработаны и вводятся различные программы реконструкции компрессорных станций, которые служат для поддержания параметров газотранспортной системы Украины на современном мировом уровне.

На сегодняшний день наше государство уделяет большое внимание проблемам эффективности и качества функционирования трубопроводного транспорта. При этом для газотранспортных компаний Украины остается актуальной проблема доставки газа потребителю без потерь. Эту проблему можно решить при помощи оперативного управления транспортом газа, которое невозможно без полной автоматизации технологических процессов. А полная автоматизация невозможна без предварительного создания математических моделей, которые бы рассматривали все нюансы режимов транспорта газа. Актуальность данных исследований определяется необходимостью научной разработки и аргументирования новых численных методов, которые бы

позволили проводить моделирование нестационарных процессов течения газа и на их основе управление в нештатных и аварийных ситуациях в газотранспортной системе (ГТС). Стоит отметить, что необходимо разрабатывать такие методы, которые бы позволяли вести расчет параметров газового потока с необходимой точностью и требуемым быстродействием.

Целью статьи является выбор математической модели нестационарных неизотермических режимов течения газа по участку трубопровода (УТ), исследование метода характеристик, а также использование метода Массо и его модификации для решения системы дифференциальных уравнений гиперболического типа с известным начальным распределением, анализ полученных результатов и выбор лучшего метода для данной задачи.

Формальная постановка задачи

Газотранспортная система, с точки зрения описания режимов транспорта газа (РТГ), состоит из основных элементов: линейных участков (ЛУ) и компрессорных станций (КС).

В работе исследуется УТ длины L (рис. 1).

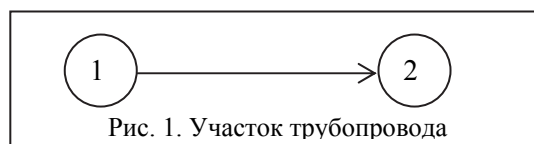


Рис. 1. Участок трубопровода

Считаем, что хотя бы на одной из границ происходит резкое изменение граничных условий, поэтому режимы транспорта газа по УТ, являются нестационарными и неизотермическими (НН).

Будем описывать ННРТГ с помощью функций массового расхода $G(x,t)$, давления $P(x,t)$,

температуры $T(x, t)$, заданных в области $G' = \{(x, t) : 0 \leq x \leq L, 0 \leq t \leq T_k\}$, где T_k – время окончания процесса.

В граничных узлах 1,2 заданы граничные условия 1-го и 2-го типа соответственно, т.е.:

$$\begin{cases} P(0, t) = P^0(t), & G(L, t) = G^0(t), \\ T(0, t) = T^0(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $P^0(t), T^0(t), G^0(t)$ – заданные функции.

Кроме того, задано начальное распределение параметров газового потока, то есть

$$\begin{aligned} W(x, 0) &= W_0(x), & P(x, 0) &= P_0(x), \\ T(x, 0) &= T_0(x), & x \in L, \end{aligned} \quad (2)$$

где $W(x, t)$ – удельный массовый расход газа;

$W_0(x), P_0(x), T_0(x)$ – известные функции.

Обычно в качестве начального распределения берется распределение параметров газового потока при стационарном режиме. Поэтому необходимо находить параметры газового потока при стационарном режиме транспорта газа.

Математическая модель ННРТГ по участку трубопровода

Для общего случая нестационарный неизотермический режим транспорта газа по участку трубопровода, представляющему собой цилиндрическую трубу постоянного диаметра, описывается квазилинейной системой дифференциальных уравнений в частных производных, полученной из общих уравнений Навье-Стокса газовой динамики для одномерного случая [1]:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + B(x, t, \phi) \frac{\partial \phi}{\partial x} = \Phi(x, t, \phi), \quad (3)$$

$$\text{Где } B = \begin{pmatrix} 2\alpha TS \frac{W}{p} & 1 - \alpha TS \frac{W^2}{p^2} & 0 \\ \alpha TS & 0 & 0 \\ \alpha S \frac{T^2}{p} (\gamma - 1) & 0 & \alpha TS \frac{W}{p} \gamma \end{pmatrix},$$

$$\Phi = \begin{pmatrix} -\beta TS \frac{W|W|}{p} - \frac{gp}{\alpha TS} \frac{dh}{dx} \\ 0 \\ -\frac{4K}{D} (\gamma - 1) \frac{T}{p} (T - T_{гр}) - g(\gamma - 1) \frac{TW}{p} \frac{dh}{dx} \end{pmatrix} -$$

матрицы, элементы которых заданные непрерывно дифференцируемые в некоторой области изменения своих аргументов функции переменных x, t, W, P, T ; $\phi = (W(x, t), P(x, t), T(x, t))$ – некоторое непрерывно дифференцируемое в области G' решение уравнения (3).

Метод и алгоритм решения

Для нахождения решения системы (3), дополненной начальными (2) и граничными (1) условиями, будет использоваться метод характеристик, суть которого заключается в уменьшении числа независимых переменных путем введения характеристических поверхностей.

Уравнения направлений характеристик имеют вид: $dt = \bar{\lambda}_i(x, t, \phi) dx$, $i = 1, 2, 3$, где $\bar{\lambda}_i$ – корни уравнения

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 - 2\alpha TS \frac{W}{p} \bar{\lambda} & -\bar{\lambda}(1 - \alpha TS \frac{W^2}{p^2}) & 0 \\ -\bar{\lambda}\alpha TS & 1 & 0 \\ -\bar{\lambda}\alpha S \frac{T^2}{p} (\gamma - 1) & 0 & 1 - \bar{\lambda}\alpha TS \frac{W}{p} \gamma \end{vmatrix} = 0.$$

Отсюда, обозначая $a^2 = \alpha ST$, получим

$$\bar{\lambda}_1 = \frac{p}{a^2 W \gamma}, \quad \bar{\lambda}_2 = \frac{1}{a + a^2 \frac{W}{p}}, \quad \bar{\lambda}_3 = \frac{1}{-a + a^2 \frac{W}{p}}.$$

При данном в области G решении системы (3) мы имеем три семейства характеристик и на каждом из этих семейств имеем свое дифференциальное соотношение:

$$\begin{aligned} & -\frac{a^2 T(-1 + \gamma)}{P} dW + \frac{aT(-P + aW)(-1 + \gamma)}{P^2} dP - \\ & - \frac{aST^2 W \beta (-1 + \gamma) |W|}{P(P + aW)} dx = 0. \\ & -\frac{a^2 T(-1 + \gamma)}{P} dW + \left(-\frac{T(P^2 - a^2 W^2)(-1 + \gamma)}{P^2 W \gamma} \right) dP + \\ & + \frac{(P^2 - a^2 W^2)(-1 + \gamma)^2}{PW \gamma} dT + \\ & + \frac{a^2 TW(-1 + \gamma) \gamma \Phi_1 + (-P^2 + a^2 W^2)(-1 + \gamma)^2 \Phi_2}{a^2 W^2 \gamma^2} dx = 0, \\ & -\frac{a^2 T(-1 + \gamma)}{P} dW + \frac{aT(P + aW)(-1 + \gamma)}{P^2} dP + \\ & + \frac{aST^2 W \beta (-1 + \gamma) |W|}{P(P - aW)} dx = 0. \end{aligned}$$

Для численного решения полученных дифференциальных уравнений характеристик применяется метод Массо и его модификация, после чего сравниваются полученные результаты и выбирается лучший метод для решения дифференциальных соотношений трех семейств характеристик.

Идея метода Массо заключается в следующем. Для расчета параметров газового потока при нестационарном режиме течения газа переходим к построению сетки: делим отрезок $[0, L]$ на N частей, получаем точки x_i , $i = 1, \dots, N + 1$. Таким образом, для каждой точки i ($i = 1, \dots, N + 1$) на k -м временном слое извест-

ны следующие параметры $(x_i, t_i, W_i(x_i, t_i), P_i(x_i, t_i), T_i(x_i, t_i))$. Обозначим через k_{\max} – количество временных слоев, которые необходимо рассчитать.

На данном этапе рассмотрим лишь алгоритм расчета параметров газового потока для тех узлов сетки, которые зависят только от начального распределения (без учета граничных условий). То есть рассмотрим алгоритм построение параметров газового потока в узлах сетки (рис. 2).

Для того чтобы найти параметры в каждой точке сетки на следующем $k+1$ -м временном слое, берем параметры для двух точек $t.1$ и $t.2$ с данного k -го временного слоя и находим параметры третьей точки $t.3$ на следующем $k+1$ -м временном слое (рис. 2). В качестве $t.1$ берем точку i , а в качестве $t.2$ берем точку $i+1$ с данного временного слоя, где $i = 1, \dots, N+1$.

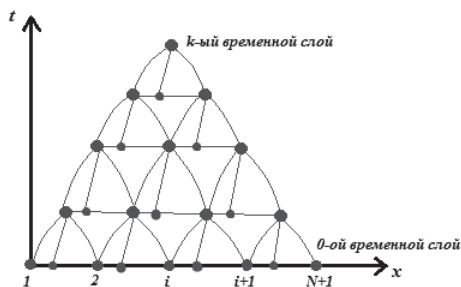


Рис. 2. Сетка для расчета параметров газового потока

Опишем алгоритм расчета параметров газового потока на участке трубопровода для k -го временного слоя.

1) Пусть $i = i_n, k = 0, k_{\max} = N, i_n = 1, i_k = N+1$. В плоскости x и t рассмотрим две близкие точки 1 и 2, в которых известны все величины $x_i, t_i, W_i, P_i, T_i, (i=1,2)$. Будем обозначать через $\overline{\lambda_{1i}}, \overline{\lambda_{2i}}, \overline{\lambda_{3i}}$ корни уравнения, вычисленные для i -й точки.

2) Обозначим через O середину отрезка, соединяющего точки 1 и 2.

Координаты этой точки

$$x_0 = \frac{1}{2}(x_1 + x_2); t_0 = \frac{1}{2}(t_1 + t_2).$$

Положим, что в этой точке

$$P_0 = \frac{1}{2}(P_1 + P_2); T_0 = \frac{1}{2}(T_1 + T_2); W_0 = \frac{1}{2}(W_1 + W_2).$$

3) Из точки 1 проведем прямую в направлении характеристики, соответствующей $\overline{\lambda_{11}}$, т.е.

$$t - t_1 = \overline{\lambda_{11}}(x - x_1),$$

из точки 2 проведем прямую в направлении характеристики, соответствующей $\overline{\lambda_{32}}$:

$$t - t_2 = \overline{\lambda_{32}}(x - x_2).$$

Точку их пересечения обозначим через 3. Координаты этой точки найдутся из решения системы

$$\begin{cases} t_3^{(1)} - t_1 = \overline{\lambda_{11}}(x_3^{(1)} - x_1), \\ t_3^{(1)} - t_2 = \overline{\lambda_{32}}(x_3^{(1)} - x_2). \end{cases}$$

4) Из уравнений

$$\begin{cases} t_3^{(1)} - t_0^{(1)} = \overline{\lambda_{20}}(x_3^{(1)} - x_0^{(1)}), \\ t_1 - t_0^{(1)} = \frac{t_2 - t_1}{x_2 - x_1}(x_1 - x_0^{(1)}) \end{cases}$$

найдем новые координаты точки $O_1 = (x_0^{(1)}, t_0^{(1)})$ (рис. 3).

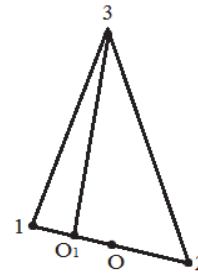


Рис. 3. Нахождение новых координат $t. O_1$

Вводя обозначение линейной интерполяции определяем значения

$W(x, t), P(x, t), T(x, t)$ в точке O_1 :

$$v^{(1)} = \frac{x_0^{(1)} - x_1}{x_2 - x_0^{(1)}} = \frac{t_1 - t_0^{(1)}}{t_0^{(1)} - t_2}, \begin{cases} W_0^{(1)} = \frac{W_1 + v^{(1)}W_2}{1 + v^{(1)}}; \\ P_0^{(1)} = \frac{P_1 + v^{(1)}P_2}{1 + v^{(1)}}; \\ T_0^{(1)} = \frac{T_1 + v^{(1)}T_2}{1 + v^{(1)}}. \end{cases}$$

5) Далее, принимая отрезки 13, 23 и O_13 за характеристики и используя дифференциальные соотношения вдоль характеристик, пишем систему уравнений для определения первых приближений $W(x, t), P(x, t), T(x, t)$ в т. 3:

$$\begin{cases} -\frac{a^2 T_1 (-1+\gamma)}{P_1} (W_3^{(1)} - W_1) + \frac{a T_1 (-P_1 + a W_1) (-1+\gamma)}{P_1^2} (P_3^{(1)} - P_1) - \frac{a S T_1^2 W_1 \beta (-1+\gamma) |W_1|}{P_1 (P_1 + a W_1)} (x_3^{(1)} - x_1) = 0, \\ -\frac{a^2 T_2 (-1+\gamma)}{P_2} (W_3^{(1)} - W_2) + \frac{a T_2 (P_2 + a W_2) (-1+\gamma)}{P_2^2} (P_3^{(1)} - P_2) + \frac{a S T_2^2 W_2 \beta (-1+\gamma) |W_2|}{P_2 (P_2 - a W_2)} (x_3^{(1)} - x_2) = 0, \\ -\frac{a^2 T_0^{(1)} (-1+\gamma)}{P_0^{(1)}} (W_3^{(1)} - W_0^{(1)}) + \left(-\frac{T_0^{(1)} (P_0^{(1)2} - a^2 W_0^{(1)2}) (-1+\gamma)}{P_0^{(1)2} W_0^{(1)} \gamma} \right) \times \\ \times (P_3^{(1)} - P_0^{(1)}) + \frac{a^2 T_0^{(1)} W_0^{(1)} (\gamma-1) \gamma \Phi_1 + a^2 W_0^{(1)2} (\gamma-1)^2 - P_0^{(1)2} \Phi_2}{a^2 W_0^{(1)2} \gamma^2} \times \\ \times (x_3^{(1)} - x_0^{(1)}) + \frac{(P_0^{(1)2} - a^2 W_0^{(1)2} (-1+\gamma)^2)}{P_0^{(1)} W_0^{(1)} \gamma} (T_3^{(1)} - T_0^{(1)}) = 0. \end{cases}$$

6) Пусть $l=1$. Найдя точку 3: $(x_3^{(l)}, t_3^{(l)}, W_3^{(l)}, P_3^{(l)}, T_3^{(l)})$, произведем ее уточнение. Вычисляем значения $\overline{\lambda_{13}^{(l)}}$, $\overline{\lambda_{23}^{(l)}}$, $\overline{\lambda_{33}^{(l)}}$, используя новое приближение точки 3.

7) Находим величины:

$$\begin{aligned} \overline{\lambda_{11}^{(l+1)}} &= \frac{1}{2}(\overline{\lambda_{11}^{(l)}} + \overline{\lambda_{13}^{(l)}}), \quad \overline{\lambda_{32}^{(l+1)}} = \\ &= \frac{1}{2}(\overline{\lambda_{32}^{(l)}} + \overline{\lambda_{33}^{(l)}}), \quad \overline{\lambda_{20}^{(l+1)}} = \frac{1}{2}(\overline{\lambda_{20}^{(l)}} + \overline{\lambda_{23}^{(l)}}). \end{aligned}$$

8) Находим значения:

$$\begin{cases} M_i^{(l+1)} = \frac{1}{2}(M_i^{(l)} + M_3^{(l)}), & N_i^{(l+1)} = \frac{1}{2}(N_i^{(l)} + N_3^{(l)}), \\ P_i^{(l+1)} = \frac{1}{2}(P_i^{(l)} + P_3^{(l)}), & C_i^{(l+1)} = \frac{1}{2}(C_i^{(l)} + C_3^{(l)}), \end{cases} \quad (4)$$

$$i = O_1, 1, 2.$$

9) Найдем координаты уточненных точек 0 и 3 по формулам:

$$\begin{cases} t_3^{(l+1)} - t_1 = \overline{\lambda_{11}^{(l+1)}}(x_3^{(l+1)} - x_1), \\ t_3^{(l+1)} - t_2 = \overline{\lambda_{32}^{(l+1)}}(x_3^{(l+1)} - x_2), \\ t_3^{(l+1)} - t_0^{(l+1)} = \overline{\lambda_{20}^{(l+1)}}(x_3^{(l+1)} - x_0^{(l+1)}), \\ t_1 - t_0^{(l+1)} = \frac{t_2 - t_1}{x_2 - x_1}(x_1 - x_0^{(l+1)}). \end{cases}$$

10) Вычислим значения $v^{(l+1)}, W_0^{(l+1)}, P_0^{(l+1)}, T_0^{(l+1)}$ – по формулам:

$$v^{(l+1)} = \frac{x_0^{(l+1)} - x_1}{x_2 - x_0^{(l+1)}}, \quad \begin{cases} W_0^{(l+1)} = \frac{W_1 + v^{(l+1)}W_2}{1 + v^{(l+1)}}, \\ P_0^{(l+1)} = \frac{P_1 + v^{(l+1)}P_2}{1 + v^{(l+1)}}, \\ T_0^{(l+1)} = \frac{T_1 + v^{(l+1)}T_2}{1 + v^{(l+1)}}. \end{cases}$$

11) Используя эти формулы, находятся значения $W_3^{(l+1)}, P_3^{(l+1)}, T_3^{(l+1)}$.

12) Если $|W_3^{(l+1)} - W_3^{(l)}| < \varepsilon$, $|P_3^{(l+1)} - P_3^{(l)}| < \varepsilon$, $|T_3^{(l+1)} - T_3^{(l)}| < \varepsilon$, $|x_3^{(l+1)} - x_3^{(l)}| < \varepsilon$ и $|t_3^{(l+1)} - t_3^{(l)}| < \varepsilon$, то $W_3^{(l+1)}, P_3^{(l+1)}, T_3^{(l+1)}, x_3^{(l+1)}, t_3^{(l+1)}$ найдено и переходим к п.13, в противном случае $l=l+1$ переходим к пункту 6.

13) Если $i \leq i_k - 1$, то $i = i + 1$ и переход к п.1, в противном случае все точки на данном временном слое найдены и переход к пункту 14.

14) Если $k \leq k_{\max} - 1$, то $k = k + 1$, $i = 1$, $i_k = i_k - 1$ и переход к пункту 1, иначе расчет закончен.

Рассмотрим теперь модифицированный метод Массо. Его алгоритм аналогичен алгоритму метода Массо, но только берутся не средние арифметиче-

ские величины по формулам (4) в точках i и 3, а значения этих величин вычисляются в средних точках отрезков 13, 23, O_1 . Т.е. перед применением формул (9) необходимо найти координаты точек $1', 2', O_1'$ (рис. 4) по формулам:

$$\begin{aligned} x_{i'}^{(l)} &= \frac{1}{2}(x_i + x_3^{(l)}), \quad t_{i'}^{(l)} = \frac{1}{2}(t_i + t_3^{(l)}), \\ P_{i'}^{(l)} &= \frac{1}{2}(P_i + P_3^{(l)}), \quad T_{i'}^{(l)} = \frac{1}{2}(T_i + T_3^{(l)}), \\ W_{i'}^{(l)} &= \frac{1}{2}(W_i + W_3^{(l)}), \quad i = 1, 2, O_1. \end{aligned}$$

В остальном процесс уточнения остается такой же.

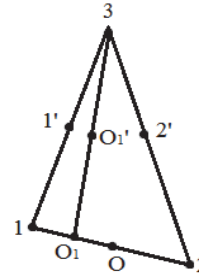


Рис. 4. Нахождение новых координат точек

Для решения поставленной задачи расчета ННРТГ для УТ был создан программный продукт, написанный в математическом пакете Mathematica 10.0., позволяющий рассчитывать параметры газового потока по УТ на каждом временном слое, которые зависят от начального распределения.

Анализ результатов

Проиллюстрируем результаты анализа на следующем примере. Рассмотрим линейный участок длиной $L = 28$ км, диаметром $D = 1400$ мм, коэффициентом эффективности участка $E = 0,95$, удельной теплоемкостью $C_p = 0,655952$, коэффициентом теплопередачи от газа к грунту $k_T = 1,4$, относительной плотностью газа по воздуху $\Delta = 0,604707$, температурой грунта на глубине заложения газопровода $t_{гр} = 10^\circ\text{C}$, толщиной стенок $\delta = 10$ мм, коэффициентом сжимаемости газа $z_H = 0,9$, эквивалентной шероховатостью труб $K = 0,03$ мм. Число точек разбиения для УТ равно N . Точность расчета $\varepsilon = 10^{-4}$. Начальные условия: $P_H = 84.6364456$ атм, $t_H = 40^\circ\text{C}$, $q = 102.266$ млн $\text{м}^3/\text{сут}$.

Был проведен расчет параметров газового потока для участка трубопровода при разбиении $N = 5, 14, 28, 56$. Сравнивая полученные результаты, были сделаны выводы о том, что для $L = 28$ км, при решении методом Массо необходимо взять $N = 28$, причем норма разности

$\|y^{(56)} - y^{(28)}\|_{\infty} < 0,0418$, где $y^{(i)} = (x, t, W, P, T)$, $i = 5, 14, 28, 56$ – вектор параметров газового потока с i -м количеством отрезков N на участке $L = 28$ км, рассчитанный методом Массо. А для модифицированного метода Массо для достижения аналогичной точности нужно взять $N = 5$, причем $\|z^{(56)} - z^{(5)}\|_{\infty} < 0,0319$, где $z^{(j)} = (x, t, W, P, T)$, $j = 5, 14, 28, 56$ – вектор параметров газового потока с j -м количеством отрезков N на участке $L = 28$ км, рассчитанный с помощью модификации метода Массо. Причем время счета при $N = 28$ в методе Массо – 3,499 сек, а время счета при $N = 5$ в модифицированном методе Массо – 0,366. Также, если в модифицированном методе Массо взять $N = 14$, то получим и хорошую точность $\|z^{(56)} - z^{(14)}\|_{\infty} < 0,0029$, и лучшее время счета – 1,546.

Было замечено, что чем на большее количество отрезков разбивается участок $L = 28$ км, тем меньшее значение имеет норма разности. А это означает, что хорошие результаты по точности найденных параметров газового потока и по времени расчета этих параметров получаются при выборе дискреты по пространственной переменной $\Delta x = 1$ км для метода Массо и $\Delta x = 5,6$ км для модификации метода Массо. Также можно заметить, что точность вычисления в модифицированном методе лучше, чем в методе Массо, и расчетное время для заданной точности тоже является лучшим. В результате дальнейших исследований, был сделан вывод, что не зависимо от длины

участка и диаметра трубопровода лучше использовать модифицированный метод Массо, т.к. он позволяет выбирать дискрету по временной переменной больше 1 км, при этом он дает более точный результат за меньшее расчетное время, чем метод Массо.

Выводы

В работе была выбрана математическая модель ННРТГ по УТ, для решения уравнений математической модели, использовался метод характеристик и построен соответствующий алгоритм расчета ННРТГ по УТ, проведен анализ полученных результатов и сравнение методов. В итоге исследований можно сделать вывод, что для расчета ННРТГ по УТ при известном начальном распределении параметров газового потока лучше использовать модифицированный метод Массо, который дает более точный результат за меньшее расчетное время, чем метод Массо.

Список литературы

1. Гусарова И.Г. Классы задач моделирования и численного анализа нестационарных режимов работы газотранспортной системы / И.Г. Гусарова, Ю.В. Боярская // Восточно-Европейский журнал. – 2010. – 3/6(45). – С. 26-32.
2. Тевяшев А.Д. Математические модели и методы анализа нестационарных процессов течения газа в многониточных линейных участках газотранспортной системы / А.Д. Тевяшев, И.Г. Гусарова, А.В. Каминская // Трубопроводные системы энергетики: Методические и прикладные проблемы моделирования / Новицкий Н.Н., Сухарев М.Г., Тевяшев А.Д. и др. – Новосибирск: Наука, 2015. – 476 с. (С. 193-204).

Поступила в редколлегию 21.02.2017

Рецензент: канд. физ.-мат. наук доц. В.М. Задачин, Харьковский национальный экономический университет, Харьков.

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ТЕЧІЇ ГАЗУ ПО ДІЛЯНЦІ ТРУБОПРОВОДУ МЕТОДОМ ХАРАКТЕРИСТИК

І.Г. Гусарова, А.М. Коротенко

На сьогоднішній день велика увага виділяється проблемам ефективності і якості функціонування трубопровідного транспорту, тому що для газотранспортних компаній України проблема доставки газу споживачеві без втрат, як і раніше, є актуальною. У роботі описуються результати чисельного моделювання режимів течії газу по ділянці трубопроводу методом характеристик з застосуванням методу Массо й його модифікації. Метод характеристик відрізняється від існуючих способів вирішення системи нелінійних рівнянь, отриманої після застосування методу характеристик до вихідної системи рівнянь математичної моделі. Метод дозволяє вести розрахунок параметрів газового потоку з необхідною точністю і необхідним швидкодією.

Ключові слова: ділянка трубопроводу, нестационарний неізотермічний режим, моделювання, метод характеристик, метод Массо, модифікований метод Массо.

THE RESULTS OF NUMEROUS REGIMES SIMULATION OF GAS FLOWING THROUGH PIPELINE SECTION BY CHARACTERISTICS

I.H. Husarova, A.M. Korotenko

Today our country devotes much attention to the problems of efficiency and quality of operation of pipeline transport, as for transportation companies of Ukraine on the issue of gas delivery to the consumer without a loss it is still relevant. The article describes the results of numerical simulation of flow regimes of gas through the pipeline section of the method of characteristics. This method differs from the existing way of solving systems of nonlinear equations obtained after the application of the method of characteristics to the original system of equations of the mathematical model. The method allows for the calculation of the gas flow parameters with the required accuracy and desired performance.

Keywords: pipeline section's, transient non-isothermal mode, modeling, method of characteristics, Masso's method, Masso's modification method.