

УДК 533.6.001.622

С. И. ПАТУРЯН, С. С. МАРКЕЛОВ

ВЛИЯНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СОСРЕДОТОЧЕННЫХ ПОДКАЧЕК И ОТБОРОВ НА ДАВЛЕНИЕ ГАЗА В МАГИСТРАЛЬНОМ ГАЗОПРОВОДЕ

В рамках допускаемой линеаризации из системы дифференциальных уравнений, описывающей неустановившееся изотермическое движение газа в магистральном газопроводе при наличии нестационарных сосредоточенных подкачек и отборов, получено дифференциальное уравнение относительно давления, которое решено методом интегрального преобразования Фурье.

Получена зависимость, позволяющая следить за ходом изменения давления с течением времени вдоль трубопровода, как при сосредоточенных нестационарно действующих подкачках и отборах, так и без них.

Ил. 3. Библиогр.: 5 назв.

Գլխավոր գազամուղներում գազի շնչառատական իրականորեն շարժումը բնութագրող համարումների համակարգից ինտեգրալով գծայնացման սահմաններում ու ժամանակից կախված՝ գազի կենտրոնացված ներմղումների և արտամղումների առկայությունը դիտարկում գազի ճնշման նկատմամբ առաջված է դիֆերենցիալ հավասարում, որը լուծվում է Ֆուրիեի ինտեգրալ մեթոդով:

Ստացված բանաձևը նկարագրություն է տալիս գազամուղի երկարությամբ ներքին գազի ճնշման փոփոխությանը, կախված տեղից ու ժամանակից ինչպես գազի կենտրոնացված ու շնչառատված ներմղումների ու արտամղումների առկայությունը, այնպես էլ նրանց բացակայության դեպքում:

Неустановившееся изотермическое движение газа в длинном цилиндрическом трубопроводе при нестационарных сосредоточенных подкачках и отборах описывается системой дифференциальных уравнений [1, 2]

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial x} = -2au, & p = RT\rho, & 2u = u_{ср} 2D, \\ \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial \rho}{\partial t} + \sum_{i=1}^m (u_i(t) \delta(x - x_i) s = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где p , ρ , u — средние значения по сечению давления, плотности и скорости газового потока; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура газового потока; x — координата, отсчитываемая вдоль газопровода (рис. 1); s , D — площадь поперечного сечения и диаметр трубопровода; ϵ — безразмерный коэффициент сопротивления; $\delta(x)$ — дельта-функция Дирака; $G_i(t)$ — сосредоточенные подкачки и отборы в точках x_i ($i = 1, 2, \dots, m$). Наперед заданные функции $G_i(t)$, обращаемые в нуль при $t \leq 0$, берутся со знаками плюс при отборе и минус — при подкачке.

Пусть до момента времени $t=0$ движение газа было стационарным и заданным в виде

$$p(x) = p_n - (p_n - p_k) x / l, \quad (2)$$

где p_n и p_k — давление газа в начале и в конце трубопровода при стационарном режиме работы; l — длина газопровода.

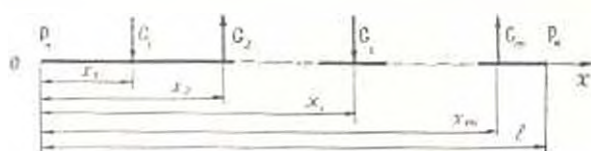


Рис. 1. Расчетная схема газопровода с сосредоточенными подкачками и отборами.

Допустим, что трубопровод при наличии сосредоточенных подкачек и отборов с момента времени $t=0$ начал работать с переменными давлениями на его концах, т. е.

$$\text{при } x=0, \quad p = p_n + \varphi(t), \quad (3)$$

$$\text{при } x=l, \quad p = p_k + \psi(t), \quad (4)$$

где $\varphi(t)$ и $\psi(t)$ — заданные функции, характеризующие законы изменения давления газа с течением времени в начале и конце газопровода и обращающиеся в нуль при $t \leq 0$.

Из системы (1) после элементарных преобразований получим

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = \frac{2a}{RT} \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{2a}{s} \sum_{i=1}^m G_i(t) \varepsilon_1(x - x_i), \quad G = -\frac{s}{2a} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (5)$$

Сущность настоящей работы заключается в следующем: приняв, что в момент времени $t > 0$ начинают функционировать нестационарные сосредоточенные подкачки и отборы, решить систему уравнений (5) при условиях (2), (3) и (4) с целью определения давления и расхода газа в любом сечении для любого момента времени. Эта задача поставлена и решена в [1, 2] при следующих ограничениях, от которых мы отказываемся: а) рассматривается один сосредоточенный отбор или одна подкачка; б) сосредоточенный отбор (подкачка) не зависит от времени; в) на концах трубопровода поддерживаются постоянные давления и расходы; г) в начале процесса давление во всем газопроводе одинаково и равно p_0 .

Следуя [3, 4], введем безразмерные величины, для чего положим

$$p = p_n p^*, \quad t = t_0 \tau, \quad x = lx^*, \quad G_i = G_0 G_i^*,$$

где p_n , l , G_0 и t_0 — соответственно характерные давление, длина, расход и время.

За характерное давление принято давление газа в начале ($x=0$) газопровода при стационарном режиме работы, за характерную дли-

ну—длина трубопровода, а характерные время и расход определяются из системы уравнений (5) в виде

$$t_0 = 2a l^2 / RT, \quad G_0 = sp_n 2a l.$$

После перехода к безразмерным величинам система уравнений (5) принимает вид

$$\left| \begin{aligned} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} &= \frac{\partial p}{\partial t} + \sum_{i=1}^n G_i(t) \varepsilon_i(x - x_i), \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\left| \begin{aligned} G(x, t) &= -\frac{\partial p}{\partial x}. \end{aligned} \right. \quad (7)$$

а краевые условия (2), (3) и (4) в безразмерном виде запишутся

$$\left. \begin{aligned} p|_{x=0} &= 1 + \Phi_1(t), \quad p|_{x=1} = k + \psi_1(t), \\ p|_{t=0} &= 1 - (1-k)x - p_0(x), \end{aligned} \right. \quad (8)$$

где $k = p_n/p_n < 1$, $\Phi_1(t) = \varphi(t)/p_n$, $\psi_1(t) = \psi(t)/p_n$.

Применяя к уравнению (6) метод интегрального преобразования Лапласа и учитывая условия (8), получаем

$$\begin{aligned} p(x, t) &= p_0(x) + 2\pi \sum_{n=1}^{\infty} n \sin(n\pi x) \int_0^t [\Phi_1(\tau) - (-1)^n \psi_1(\tau)] e^{-n^2\pi^2(t-\tau)} d\tau - \\ &- 2 \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{i=1}^n \sin(n\pi x) \sin(n\pi x_i) \int_0^t G_i(\tau) e^{-n^2\pi^2(t-\tau)} d\tau. \end{aligned} \quad (9)$$

В частности, когда $\Phi_1(t) = \psi_1(t) = 0$ и $G_i = \text{const}$, из (9) с учетом размерности получим

$$\begin{aligned} p(x, t) &= p_n \left[p_0(x) + \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi x)}{n^2} \sum_{i=1}^n G_i \sin(n\pi x_i) e^{-n^2\pi^2 t} - \right. \\ &\left. - \sum_{i=1}^n G_i [x(1-x_i) + (x_i-x)\varepsilon_0(x-x_i)] \right]. \end{aligned} \quad (10)$$

При $i=1$ соотношение (10) совпадает с результатами [1, 2].

В качестве примера рассмотрим газопровод с двумя подкачками (отборами). В этом случае из (10) получим

$$\begin{aligned} p(x, t) &= p_n \left\{ p_0(x) + \frac{2}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n\pi x)}{n^2} [G_1 \sin(n\pi x_1) + \right. \\ &+ G_2 \sin(n\pi x_2)] e^{-n^2\pi^2 t} - [G_1 [x(1-x_1) - (x-x_1)\varepsilon_0(x-x_1)] - \\ &- G_2 [x(1-x_2) - (x-x_2)\varepsilon_0(x-x_2)]] \}. \end{aligned} \quad (11)$$

Пример расчета: Пусть [2]: $p_n = 3924$ кПа; $p_n = 2139$ кПа; $\lambda = 0,012$; $R = 490,3$ Дж/кг К; $T = 300$ К; $l = 10$ м; $D = 1$ м; $u_{cp} = 14$ м/с. По формуле расхода [5] для стационарного потока газа

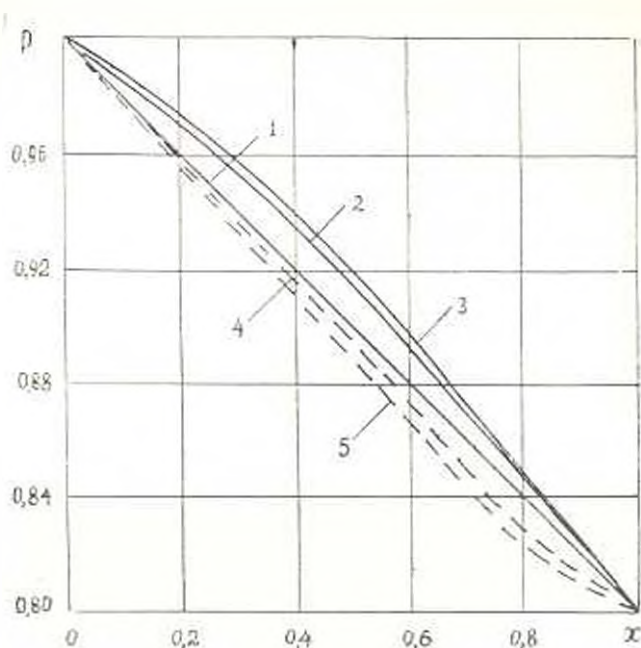


Рис. 2. Изменение давления p в зависимости от x для различных значений $x_1, x_2, G_1, G_2, t_1, t_2$: 1 — без подкачек и отборов; 2 и 3 — $x_1 = 0,3$; $G_1 = 20 \text{ кг/с}$, $x_2 = 0,4$, $G_2 = 10 \text{ кг/с}$, $t_1 = 1 \text{ ч}$ и $t_2 = 9 \text{ ч}$ (подкачки); 4 и 5 — $x_1 = 0,6$, $G_1 = 5 \text{ кг/с}$, $x_2 = 0,8$, $G_2 = 30 \text{ кг/с}$, $t_1 = 1 \text{ ч}$ и $t_2 = 9 \text{ ч}$ (отборы).

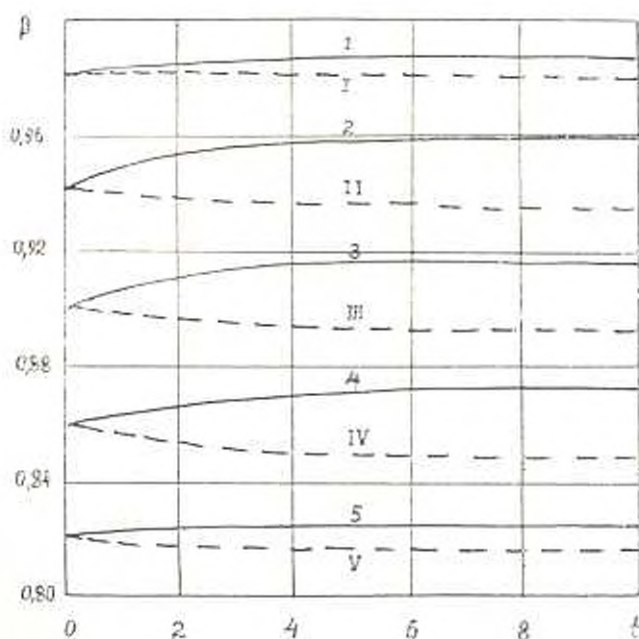


Рис. 3. Изменение давления p в зависимости от времени t в фиксированных сечениях газопровода $x = 0,1, 0,3, 0,5, 0,7, 0,9$ соответственно: 1, 2, 3, 4, 5 — $x_1 = 0,3$, $x_2 = 0,4$, $G_1 = 20 \text{ кг/с}$, $G_2 = 10 \text{ кг/с}$ (подкачки); I, II, III, IV, V — $x_1 = 0,6$, $x_2 = 0,8$, $G_1 = 5 \text{ кг/с}$, $G_2 = 30 \text{ кг/с}$ (отборы).

при этих данных находим $G_{\text{д}} = 139 \text{ кг/с}$. По результатам расчетов выполненных по (11), построены кривые изменения давления вдоль газопровода с подкачками (сплошные линии) и отборами (пунктирные линии) в точках x_1, x_2 (рис. 2) и кривые изменения давления во времени в фиксированных сечениях газопровода (рис. 3).

Из рис. 2 видно, что при нестационарном процессе давление в местах подкачек и отборов значительно отклоняется от параболического закона и по истечении некоторого промежутка времени, которое легко можно определить с требуемой точностью, стабилизируется. Кривые рис. 3 показывают, что наибольшее отклонение давления от стационарного наблюдается в середине газопровода. При этом процесс стабилизации давления в газопровode при подкачках и отборах протекает на его концах быстрее, чем в середине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бобровский С. А., Щербаков С. Г., Гудин-заде М. А. Движение газа в газопроводах с путевым отбором. — М. Наука, 1972 — 192 с.
2. Бобровский С. А., Щербаков С. Г., Гудин-заде М. А. Транспорт и хранение нефти и газа // Тр. МИИХиГП. — М. Недра, 1971 — Вып. 97 — С. 158.
3. Цатурян С. Н., Маркелов С. С. К задаче о нестационарных движениях газа в магистральных газопроводах // Изв. вузов. Нефть и газ. — 1972, — № 10 — С. 77—82.
4. Цатурян С. Н., Маркелов С. С. Движение газа в резко суживающихся газопроводах при сосредоточенных отборах и подкачках // Изв. вузов. Машиностроение. — 1980 — № 11. — С. 135—149.
5. Константинов Н. Н., Тугунов П. И. Транспорт и хранение нефти и газа. — М. Наука, 1975. — 245 с.

Тульский политех. ин-т

10. V 1987

Изв. АН АрмССР (сер. ГН) т. XLII, № 3, 1989, с. 125—129

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.37.88.681.325.67

А. М. КАРАПЕТЯН, С. Х. ОГАНЕСЯН, И. С. ХАЧАТРЯН

АНАЛИЗ И ВЫБОР ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ СОСТОЯНИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рост сложности радиоэлектронной аппаратуры приводит к необходимости увеличения метрологических и надежности характеристик контролируемых систем, что приводит к их чрезвычайному усложнению, необходимости как контролируемых, так и контролирующих систем в целом.

Предлагается вероятностная модель перехода состояний системы на основании марковской модели, как наиболее удобная для описания переходов элементов системы из одного состояния в другое. Представлен граф переходов состояний, опре-