

Date: 1st October-2026

**MAGISTRAL GAZ QUVURLARIDAGI NOSTATSIONAR OQIM
JARAYONLARI VA ULARNING PARAMETRLARINI MATEMATIK
MODELLASHTIRISH**

Jo'rayev Muhridin Najmiddin o'g'li

muhridinjurayev8888@gmail.com

Annotatsiya: Maqolada magistral gaz quvurlarida nostatsionar (vaqt bo'yicha o'zgaruvchan) oqim jarayonining matematik modeli ishlab chiqilgan va tadqiq qilingan. Bir o'lchovli izotermik yaqinlashishda massa va harakat miqdorining saqlanish qonunlariga asoslangan giperbolik tipdagi xususiy hosilali differensial tenglamalar sistemasi ko'rib chiqilgan. Ishqalanish kuchini hisobga olgan holda masala xarakteristikalar usuli yordamida sonli yechilgan. Iste'molchi tomonidan gaz sarfining o'zgarishi natijasida quvur bo'ylab bosim va massaviy sarfning vaqt bo'yicha taqsimoti aniqlangan. Olingan natijalar gaz uzatish tizimlarining ish rejimlarini boshqarish, dispetcherlik nazorati va avariya holatlarni oldindan aniqlash masalalarida qo'llanilishi mumkin.

Kalit so'zlar: gaz quvuri, nostatsionar oqim, matematik model, bosim, massaviy sarf, gidravlik qarshilik, xarakteristikalar usuli, sonli yechim.

Abstract. The paper develops and investigates a mathematical model of unsteady (transient) gas flow in main gas pipelines. A system of hyperbolic partial differential equations based on the conservation of mass and momentum is considered in the one-dimensional isothermal approximation. Taking friction into account, the problem is solved numerically by the method of characteristics. The time-dependent distributions of pressure and mass flow rate along the pipeline caused by a change in consumer demand are obtained. The results can be applied to operating mode control, dispatch monitoring and early detection of emergency situations in gas transmission systems.

Keywords: gas pipeline, unsteady flow, mathematical model, pressure, mass flow rate, hydraulic resistance, method of characteristics, numerical solution.

KIRISH

Tabiiy gaz bugungi kunda energetika balansining asosiy tarkibiy qismlaridan biri bo'lib, uni iste'molchilarga yetkazishda magistral va taqsimlovchi gaz quvurlari tizimi hal qiluvchi ahamiyatga ega. Gaz uzatish tizimlarining ish rejimlari doimiy emas: iste'molning sutkalik va mavsumiy notekisligi, kompressor stansiyalarining ishga tushirilishi yoki to'xtatilishi, kranlarning ochilishi va yopilishi, shuningdek avariya uzilishlar quvurda nostatsionar oqim jarayonlarini yuzaga keltiradi.

Nostatsionar rejimlarda bosim va sarf quvur uzunligi bo'ylab ham, vaqt bo'yicha ham o'zgaradi. Bunday jarayonlarni statsionar gidravlik hisob usullari bilan yetarli aniqlikda tavsiflab bo'lmaydi. Shu sababli gaz quvurlaridagi o'tish jarayonlarini matematik modellashtirish quvur tizimini loyihalash, ish rejimlarini optimallashtirish, quvurning



Date: 1st October-2026

akkumulyatsion qobiliyatidan foydalanish hamda gaz sizib chiqishini aniqlash tizimlarini yaratishda muhim ilmiy-amaliy masala hisoblanadi.

Gaz quvurlaridagi nostatsionar oqim nazariyasi I.A. Charniy, M.A. Guseyn-zade, E.B. Wylie, V.L. Streeter va boshqa olimlarning ishlarida rivojlantirilgan [1–4]. Hozirgi vaqtda bu masalalarni yechishda chekli ayirmalar, chekli hajmlar va xarakteristikalar usullari keng qo'llaniladi [5–7]. Ushbu maqolaning maqsadi - ishqalanishni hisobga olgan holda gaz quvurida nostatsionar izotermik oqimning matematik modelini qurish, uni xarakteristikalar usuli bilan sonli yechish va iste'mol o'zgarganda oqim parametrlarining o'zgarish qonuniyatlarini tahlil qilishdan iborat.

Masalaning qo'yilishi

Uzunligi L , ichki diametri D va ko'ndalang kesim yuzasi $F = \pi D^2/4$ bo'lgan gorizonta gaz quvuri ko'rib chiqiladi. Quvurdagi oqim bir o'lchovli deb hisoblanadi, ya'ni oqim parametrlari faqat x koordinata va t vaqtning funksiyasi bo'lib, kesim bo'yicha o'rtachalashtiriladi. Magistral gaz quvurlarida gaz harorati atrof-muhit harorati bilan tez tenglashishi sababli jarayon izotermik deb qabul qilinadi.

Bu farazlarda massaning saqlanish (uzluksizlik) va harakat miqdorining saqlanish tenglamalari quyidagi ko'rinishga ega:

$$\partial \rho / \partial t + (1/F) \cdot \partial M / \partial x = 0, \quad (1)$$

$$\partial M / \partial t + F \cdot \partial p / \partial x + \lambda M |M| / (2DF\rho) = 0, \quad (2)$$

bu yerda $p(x,t)$ - bosim, Pa; $\rho(x,t)$ - gaz zichligi, kg/m³; $M(x,t) = \rho w F$ - massaviy sarf, kg/s; w - oqim tezligi, m/s; λ - gidravlik qarshilik koeffitsiyenti. Gaz quvurlaridagi oqim tezligi tovush tezligidan ancha kichik bo'lgani uchun (2) tenglamada konvektiv inersiya hadi tashlab yuborilgan.

Tenglamalar sistemasini yopish uchun real gazning izotermik holat tenglamasidan foydalaniladi:

$$p = zRT\rho = c^2\rho, \quad (3)$$

bu yerda z - gazning siqiluvchanlik koeffitsiyenti, R - gaz doimiysi, T - harorat, $c = \sqrt{zRT}$ - izotermik tovush tezligi. (3) ni (1) va (2) ga qo'yib, p va M noma'lumlarga nisbatan giperbolik tipdagi sistemani hosil qilamiz:

$$\partial p / \partial t + (c^2/F) \cdot \partial M / \partial x = 0, \quad (4)$$

$$\partial M / \partial t + F \cdot \partial p / \partial x = -\lambda c^2 M |M| / (2DFp). \quad (5)$$

Boshlang'ich shart sifatida quvurning statsionar ish rejimi olinadi. (4)–(5) dan $\partial / \partial t = 0$ bo'lganda $M = M_0 = \text{const}$ va bosimning quyidagi taqsimoti kelib chiqadi:

$$p_0(x) = \sqrt{[p_H^2 - \lambda c^2 M_0^2 x / (DF^2)]}, \quad (6)$$

bu yerda p_H - quvur boshidagi bosim. Chegaraviy shartlar quvur boshida bosim berilishi va oxirida iste'molchi sarfi berilishi bilan aniqlanadi:

$$p(0,t) = p_H(t), \quad M(L,t) = M_K(t). \quad (7)$$

Shunday qilib, (4)–(7) masala gaz quvurida nostatsionar oqimning yopiq matematik modelini tashkil etadi.



Sonli yechish usuli

(4)–(5) sistema giperbolik bo‘lib, ikkita haqiqiy xarakteristikaga ega: $dx/dt = \pm c$. Bu xarakteristikalar bo‘ylab xususiy hosilali tenglamalar oddiy differensial tenglamalarga keltiriladi:

$$dp/dt \pm (c/F) \cdot dM/dt = \mp (c/F) \cdot \lambda c^2 M |M| / (2DFp), \quad dx/dt = \pm c. \quad (8)$$

Quvur uzunligi N ta teng bo‘lakka bo‘linadi: $\Delta x = L/N$, vaqt qadami esa Kurant sharti asosida $\Delta t = \Delta x/c$ tanlanadi. U holda C^+ xarakteristika $(i-1)$ -tugundan, C^- xarakteristika esa $(i+1)$ -tugundan chiqib, keyingi vaqt qatlamida i -tugunda kesishadi. (8) tenglamalarni birinchi tartibli aniqlikda integrallab, quyidagi ayirmali munosabatlar olinadi:

$$C^+: p_i^{n+1} + B \cdot M_i^{n+1} = p_{i-1}^n + B \cdot M_{i-1}^n - B \cdot \Delta t \cdot \Phi_{i-1}^n, \quad (9)$$

$$C^-: p_i^{n+1} - B \cdot M_i^{n+1} = p_{i+1}^n - B \cdot M_{i+1}^n + B \cdot \Delta t \cdot \Phi_{i+1}^n, \quad (10)$$

bu yerda $B = c/F$, $\Phi = \lambda c^2 M |M| / (2DFp)$. (9) va (10) ni birgalikda yechib, ichki tugunlarda yangi vaqt qatlamidagi bosim va sarf aniqlanadi. Chegaraviy tugunlarda esa bitta xarakteristik munosabat (7) chegaraviy shart bilan birgalikda ishlatiladi: quvur boshida ($i = 0$) C^- tenglamadan M_0^{n+1} , quvur oxirida ($i = N$) C^+ tenglamadan p_N^{n+1} topiladi.

Hisoblash algoritmi quyidagi ketma-ketlikda amalga oshiriladi: (6) formula bo‘yicha boshlang‘ich taqsimot beriladi; har bir vaqt qadamida ichki tugunlar uchun (9)–(10) yechiladi; chegaraviy shartlar hisobga olinadi; jarayon berilgan vaqt oralig‘i tugaguncha takrorlanadi.

Hisoblash natijalari va tahlil

Hisoblash quyidagi boshlang‘ich ma’lumotlar uchun bajarildi: quvur uzunligi $L = 100$ km, ichki diametri $D = 1,0$ m, gidravlik qarshilik koeffitsiyenti $\lambda = 0,01$, izotermik tovush tezligi $c = 380$ m/s, quvur boshidagi bosim $p_H = 5,5$ MPa (o‘zgarmas). Boshlang‘ich statsionar rejimda massaviy sarf $M_0 = 200$ kg/s. $t = 0$ vaqtdan boshlab iste’molchi sarfi 30 daqiqa davomida chiziqli qonun bo‘yicha 250 kg/s gacha oshiriladi va keyin o‘zgarmas saqlanadi. Hisoblash to‘rida $N = 200$ ($\Delta x = 500$ m, $\Delta t \approx 1,32$ s) qabul qilindi. Natijalar 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval. Quvurning xarakterli kesimlarida oqim parametrlarining vaqt bo‘yicha o‘zgarishi

t, soat	p(0), MPa	p(L/2), MPa	p(L), MPa	M(0), kg/s	M(L/2), kg/s	M(L), kg/s
0	5,500	5,056	4,570	200,0	200,0	200,0
0,25	5,500	5,047	4,493	200,7	204,4	225,0
0,5	5,500	5,007	4,346	207,5	215,7	250,0
1	5,500	4,912	4,165	226,5	232,8	250,0
2	5,500	4,834	4,031	241,5	244,0	250,0
4	5,500	4,806	3,981	246,7	247,9	250,0
6	5,500	4,803	3,977	247,2	248,2	250,0

Date: 1st October-2026



Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, iste‘mol oshirilgandan so‘ng quvur oxiridagi bosim pasaya boshlaydi va 6 soat o‘tgach 4,570 MPa dan 3,977 MPa gacha, ya‘ni taxminan 13 % ga kamayadi. Bu qiymat yangi statsionar rejim uchun (6) formula bo‘yicha hisoblangan 3,952 MPa ga yaqin bo‘lib, o‘tish jarayoni deyarli yakunlanganini ko‘rsatadi. Bosim to‘lqini quvur bo‘ylab c tezlik bilan tarqaladi, shuning uchun quvur boshidagi sarf kechikish bilan o‘zgaradi: 0,5 soatda u bor-yo‘g‘i 207,5 kg/s ni tashkil etadi, quvur oxirida esa sarf allaqachon 250 kg/s ga yetgan.

Quvur boshi va oxiridagi sarflar orasidagi farq quvurda to‘plangan gaz zaxirasi (akkumulyatsiya) hisobidan qoplanadi. Masalan, $t = 1$ soatda quvur oxirida 250 kg/s gaz olinayotgan bo‘lsa, quvur boshiga atigi 226,5 kg/s kirib keladi, yetishmayotgan qism esa bosimning pasayishi hisobiga quvur ichidagi gaz massasining kamayishi orqali ta‘minlanadi. O‘tish jarayonining xarakterli vaqti bir necha soatni tashkil etadi, bu esa gaz quvurlarining sezilarli inersionlikka ega ekanligini tasdiqlaydi va dispetcherlik boshqaruvida iste‘mol o‘zgarishini oldindan prognoz qilish zarurligini ko‘rsatadi.

Xulosa

Maqolada gaz quvurlarida nostatsionar izotermik oqimning bir o‘lchovli matematik modeli qurildi va uni xarakteristikalar usuli bilan sonli yechish algoritmi ishlab chiqildi. Olingan natijalar asosida quyidagi xulosalar qilish mumkin:

- 1) massa va harakat miqdorining saqlanish tenglamalari hamda real gaz holat tenglamasiga asoslangan model iste‘mol o‘zgarganda quvur bo‘ylab bosim va sarfning vaqt bo‘yicha taqsimotini aniqlash imkonini beradi;
- 2) xarakteristikalar usuli giperbolik sistemaning fizik mohiyatiga mos bo‘lib, bosim to‘lqinlarining tarqalishini aniq tavsiflaydi va hisoblashning turg‘unligini ta‘minlaydi;
- 3) sonli tajriba iste‘mol 25 % ga oshganda quvur oxiridagi bosim taxminan 13 % ga pasayishini va o‘tish jarayoni bir necha soat davom etishini ko‘rsatdi; nostatsionar yechim yangi statsionar rejimga analitik yechim bilan mos ravishda yaqinlashadi;
- 4) ishlab chiqilgan model gaz uzatish tizimlarining ish rejimlarini boshqarish, quvurning akkumulyatsion qobiliyatini baholash va gaz sizib chiqishini aniqlash tizimlarida qo‘llanilishi mumkin. Keyingi tadqiqotlarda modelni noizotermik oqim, quvur profili va kompressor stansiyalarini hisobga olgan holda kengaytirish rejalashtirilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Чарный И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах. - М.: Недра, 1975. - 296 с.
2. Гусейн-заде М.А., Дручина Л.И., Петрова О.Н., Степанова М.Ф. Неустановившееся движение нефти и газа в магистральных трубопроводах. - М.: Недра, 1981. - 232 с.
3. Wylie E.B., Streeter V.L. Fluid Transients in Systems. - Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. - 463 p.

Date: 1st October-2026

4. Thorley A.R.D., Tiley C.H. Unsteady and transient flow of compressible fluids in pipelines - a review of theoretical and some experimental studies // International Journal of Heat and Fluid Flow. - 1987. - Vol. 8, No. 1. - P. 3–15.

5. Osiadacz A.J. Simulation and Analysis of Gas Networks. - London: E. & F.N. Spon, 1987. - 273 p.

6. Kiuchi T. An implicit method for transient gas flows in pipe networks // International Journal of Heat and Fluid Flow. - 1994. - Vol. 15, No. 5. - P. 378–383.

7. Сарданашвили С.А. Расчётные методы и алгоритмы (трубопроводный транспорт газа). - М.: Нефть и газ, 2005. - 577 с.

