QUVURLARDA GIDRAVLIK ZARBANI SONLI MODELLASHTIRISHDA BOSHLANG‘ICH VA CHEGARAVIY SHARTLARNING AHAMIYATI

Fozilov Zuxriddin Toxirovich
Denov tumani 77-sonli umumiy o‘rta ta’lim maktabi o‘qituvchisi
Kompyuter tizimlari mutaxassisligi bo‘yicha magistr
registr19892002@gmail.com

Annotatsiya. *Maqolada quvurlarda nostatsionar suyuqlik oqimining asosiy tenglamalari hamda masalaning boshlang‘ich va chegaraviy shartlarini to‘g‘ri shakllantirish masalalari ko‘rib chiqiladi. Tenglamalar sistemasining giperbolik tabiati asosida shartlarning soni va turi asoslanadi. Boshlang‘ich shartlar (barqaror oqim holati) va chegaraviy shartlar (rezervuar, zadvijka) fizik mohiyati bilan izohlanadi, bosim to‘lqinining qaytish koeffitsiyentlari keltiriladi. Xarakteristikalar usulida bajarilgan hisob zadvijkani yopish qonunining gidravlik zarba kattaligiga ta’sirini ko‘rsatadi.*

Abstract. *The article considers the basic equations of unsteady liquid flow in pipelines and the correct formulation of the initial and boundary conditions of the problem. The number and type of the conditions are justified from the hyperbolic nature of the equation system. The initial conditions (the steady-flow state) and the boundary conditions (reservoir, gate valve) are explained in terms of their physical meaning, and the reflection coefficients of the pressure wave are given. A calculation by the method of characteristics shows the effect of the valve closure law on the magnitude of water hammer.*

Kalit so‘zlar: *quvur oqimi, nostatsionar harakat, boshlang‘ich shart, chegaraviy shart, xarakteristikalar usuli, gidravlik zarba.*

Keywords: *pipe flow, unsteady motion, initial condition, boundary condition, method of characteristics, water hammer.*

Kirish.

Quvur tizimlarida nasoslarni (suyuqlikka bosim beruvchi mashinalarni) yoqish va o‘chirish, zadvijkalarni (quvurda oqimni to‘liq ochish yoki to‘xtatish uchun zulfinlarni) berkitish hollarida harakat nostatsionar bo‘ladi. Bunday jarayonni hisoblashda tenglamalarning o‘zi yetarli emas: yechim yagona va fizik jihatdan to‘g‘ri bo‘lishi uchun masalaning boshlang‘ich va chegaraviy shartlari to‘g‘ri

qo‘yilishi kerak. Amaliyotda eng ko‘p uchraydigan xatolar – boshlang‘ich holatda ishqalanishni hisobga olmaslik, chegarada ortiqcha yoki yetishmaydigan shart berish va chegara turini noto‘g‘ri tanlash – hisobda sun’iy to‘lqinlar va noto‘g‘ri bosim qiymatlariga olib keladi (Wylie & Streeter, 1993; Ghidaoui et al., 2005; Chaudhry, 2014). Maqolaning maqsadi quvur oqimlari va nostatsionar harakatning asosiy tenglamalarini bayon etish, masalaning boshlang‘ich va chegaraviy shartlarini to‘g‘ri shakllantirish tartibini ko‘rsatish va ularning fizik mohiyatini ochib berishdir.

Asosiy qism.

Barqaror quvur oqimining asosiy qoidalari.

Quvurda harakat rejimi Reynolds soni $Re = vd/\nu$ bilan baholanadi: $Re < 2300$ da oqim laminar, $Re > 4000$ da turbulent (White, 2011). Siqilmaydigan suyuqlik uchun massaning saqlanishi $Q = v\omega = \text{const}$ tenglamasi bilan, energiyaning saqlanishi esa Bernulli tenglamasi bilan ifodalanadi:

$$z_1 + p_1/(\rho g) + v_1^2/(2g) = z_2 + p_2/(\rho g) + v_2^2/(2g) + h_w \qquad (1)$$

bunda z – kesim balandligi, p – bosim, ρ – zichlik, g – erkin tushish tezlanishi, h_w – napor (oqimning metr suv ustuni hisobidagi solishtirma energiyasi) yo‘qotishi. Uzunlik bo‘yicha yo‘qotish Darsi–Veysbax formulasi bilan topiladi:

$$h_l = \lambda\,(L/d)\,v^2/(2g) \qquad (2)$$

bunda λ – ishqalanish koeffitsiyenti, L – quvur uzunligi, d – diametri. Aynan shu munosabat keyinchalik boshlang‘ich shartda bosimning uzunlik bo‘yicha pasayishini belgilaydi.

Nostatsionar harakat tenglamalari.

Suyuqlik siqiluvchanligi va quvur devori elastikligi hisobga olinsa, tezlik $v(x, t)$ va bosim $p(x, t)$ uchun bir o‘lchamli model ikkita tenglamadan iborat – uzluksizlik va harakat miqdori tenglamalari:

$$\partial p/\partial t + \rho c^2\,\partial v/\partial x = 0 \qquad (3)$$

$$\partial v/\partial t + (1/\rho)\,\partial p/\partial x + g\sin\theta + \lambda v|v|/(2d) = 0 \qquad (4)$$

bunda c – bosim to‘lqinining tarqalish tezligi, θ – quvurning qiyalik burchagi. Tezlik $c = \sqrt{(K/\rho)} / \sqrt{(1 + Kd/(E\delta))}$ formulasi bilan topiladi (K – suyuqlikning hajmiy elastiklik moduli, E – quvur materialining elastiklik moduli, δ – devor qalinligi). (3), (4) sistema giperbolik tipda bo‘lib, uni $dx/dt = \pm c$ xarakteristikalar bo‘ylab oddiy differensial tenglamalarga keltirish mumkin:

$$dv/dt \pm (1/\rho c)\,dp/dt + g\sin\theta + \lambda v|v|/(2d) = 0 \qquad (5)$$

Bu yerda C^+ xarakteristika ($dx/dt = +c$) oqim yo‘nalishida, C^- esa unga qarama-qarshi tarqaluvchi bosim to‘lqinlarini ifodalaydi. Demak, quvurning har bir nuqtasida axborot ikki yo‘nalishda c tezlik bilan uzatiladi. Aynan shu holat shartlarning soni va turini belgilaydi.

Boshlang‘ich shartlar.

Vaqt bo‘yicha birinchi tartibli ikkita tenglama uchun ikkita boshlang‘ich shart – v va p ning $t = 0$ dagi taqsimoti – beriladi. Jarayon boshlanishidan oldin harakat barqaror bo‘lgani uchun (4) tenglamada $\partial/\partial t = 0$ qo‘yib, quyidagini olamiz:

$$v(x, 0) = v_0,\ p(x, 0) = p_0 - \rho(g \sin\theta + \lambda v_0^2/(2d))\, x \qquad (6)$$

bunda p_0 – quvur boshidagi bosim. Fizik mohiyati: boshlang‘ich shart jarayonning “xotirasi”ni ifodalaydi, ya’ni quvurda oldindan qanday energiya va harakat miqdori zahirasi borligini belgilaydi. Ishqalanish tufayli bosim x bo‘ylab chiziqli kamayadi. Agar ishqalanish hisobga olinmay p = const berilsa, sistema muvozanat holatida bo‘lmay qoladi va hisobda aslida mavjud bo‘lmagan to‘lqinlar paydo bo‘ladi.

Chegaraviy shartlar va ularning fizik mohiyati.

Xarakteristikalar nuqtayi nazaridan quvurning har bir uchida bitta xarakteristika quvur ichidan chegaraga keladi va undagi qiymatni olib keladi ($x = 0$ da C^-, $x = L$ da C^+), ikkinchisi chegaradan ichkariga chiqadi. Chiqadigan to‘lqin noma’lum bo‘lgani uchun uni aniqlash maqsadida har bir uchda aynan bitta chegaraviy shart kerak. Bir uchda ham p, ham v berish masalani ortiqcha aniqlaydi, hech narsa bermaslik esa yechimning yagonaligini buzadi (LeVeque, 2002). Rezervuar (suv saqlanadigan katta idish yoki hovuz) bo‘lgan uchda sath o‘zgarmaydi, shuning uchun:

$$p(0, t) = p_0 \qquad (7)$$

Zadvijka bo‘lgan uchda sarf yopish qonuni bilan beriladi:

$$Q(L, t) = Q_0\, \tau(t) \qquad (8)$$

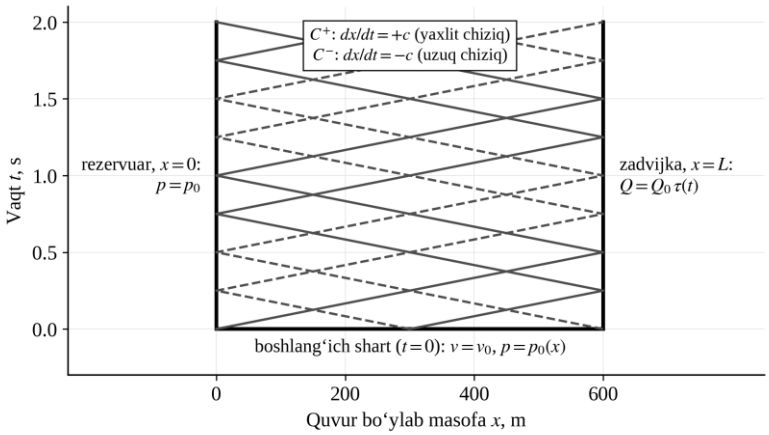
bunda $\tau(t)$ – zadvijkaning nisbiy ochilish darajasi, $\tau(0) = 1$, $\tau(t_c) = 0$, t_c – yopilish vaqti. To‘satdan yopilishda $v(L, t) = 0$ ($t > 0$). Umumiy holda zadvijkadagi sarf teshikdan oqish qonuni $Q = C_d A_g(t)\sqrt{(2g\Delta H)}$ bilan bog‘lanadi (C_d – sarf koeffitsiyenti, A_g – ochiq teshik yuzasi, ΔH – zadvijka orqali napor tushuvi). Nasos bo‘lgan uchda nasosning napor–sarf xarakteristikasi, quvurlar tuguni uchun esa sarflar yig‘indisining nolga tengligi va naporlarning tengligi shartlari ishlatiladi.

Chegaraviy shart quvur uchiga kelgan bosim to‘lqini qanday qaytishini belgilaydi. (7), (8) shartlarni (5) munosabat bilan birlashtirib, tushgan va qaytgan to‘lqinlar orasidagi bog‘lanishni olamiz:

$$\Delta p_{\text{qayt}} = R\, \Delta p_{\text{tush}} \qquad (9)$$

bunda R – qaytish koeffitsiyenti. Rezervuarda bosim o‘zgarmas bo‘lgani uchun $R = -1$: siqilish to‘lqini siyraklanish to‘lqiniga aylanib qaytadi. Berk uchda (to‘liq yopilgan zadvijkada) tezlik nolga teng, shuning uchun $R = +1$: to‘lqin o‘z ishorasini saqlab qaytadi. Zadvijka qisman ochiq bo‘lsa, R qiymati -1 va $+1$ orasida bo‘ladi.

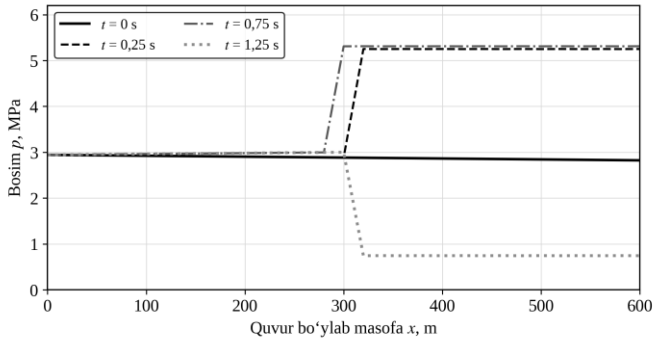
Masalaning to‘liq qo‘yilishi 1-rasmda ko‘rsatilgan: $t = 0$ chizig‘ida boshlang‘ich shartlar, $x = 0$ va $x = L$ chiziqlarida chegaraviy shartlar beriladi, xarakteristikalar esa chegaralardan qaytib, butun sohani to‘ldiradi.



1-rasm. Masalaning (x, t) tekisligida qo‘yilishi: boshlang‘ich va chegaraviy shartlar hamda xarakteristikalar

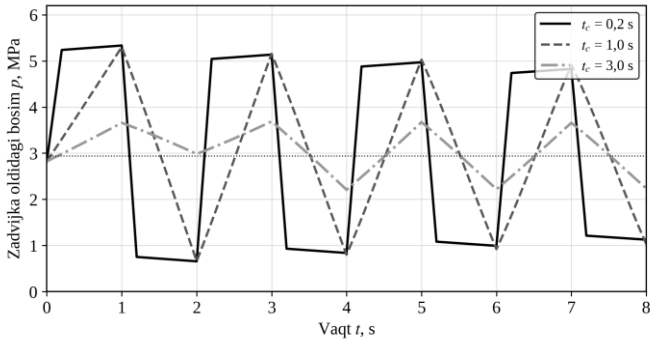
Natijalar va muhokama.

Shartlarning ta’sirini ko‘rsatish uchun masala xarakteristikalar usuli bilan yechildi ($\Delta t = \Delta x/c$, quvur 30 oraliqqa bo‘lingan). Parametrlar: $L = 600$ m, $d = 0{,}3$ m, $c = 1200$ m/s, $v_0 = 2$ m/s, $\lambda = 0{,}03$, $p_0 = 2{,}94$ MPa. (6) boshlang‘ich shart bo‘yicha bosim x bo‘ylab 2,94 MPa dan 2,82 MPa gacha kamayadi (2-rasm, $t = 0$). Zadvijka $t = 0$ da to‘satdan yopilganda bosim to‘lqini c tezlik bilan rezervuar tomon siljiydi: $t = 0{,}25$ s da uning fronti $x = L - ct = 300$ m da bo‘lib, undan zadvijka tomonda bosim 5,25 MPa ga teng. $t = L/c = 0{,}5$ s da to‘lqin rezervuarga yetadi va $R = -1$ bo‘lgani uchun qaytgan to‘lqin bosimni boshlang‘ich qiymatga qaytaradi: $t = 0{,}75$ s da front $x = 300$ m da bo‘lib, uning rezervuar tomonidagi qismida bosim statik qiymatga yaqin (2,99 MPa). $t = 2L/c = 1$ s da qaytgan to‘lqin zadvijkaga yetadi va $R = +1$ bo‘lgani uchun bosim keskin pasayib, $t = 1{,}25$ s da zadvijka yonida 0,74 MPa gacha tushadi.



2-rasm. Quvur bo‘ylab bosim taqsimotining turli vaqtlardagi ko‘rinishi (zadvijka t = 0 da to‘satdan yopilgan)

3-rasmda zadvijkani yopish qonunining (8) ta’siri ko‘rsatilgan. Yopilish vaqti t_c = 0,2 s va 1,0 s ($t_c \le 2L/c$ = 1 s) bo‘lganda zadvijka oldida bosim ko‘tarilishi mos ravishda 2,39 va 2,36 MPa bo‘lib, Jukovskiy bahosi $\rho c v_0$ = 2,4 MPa ga yaqin (Joukowsky, 1898). t_c = 3 s bo‘lganda esa ko‘tarilish 0,74 MPa gacha kamayadi (taqribiy baho $2\rho L v_0/t_c$ = 0,8 MPa). Demak, chegaraviy shartdagi bitta parametr – yopilish vaqti – bosimning eng katta qiymatini 3 martadan ortiq o‘zgartiradi. Chegara turi noto‘g‘ri tanlansa (masalan, zadvijka o‘rniga p = const sharti berilsa), gidravlik zarba umuman hosil bo‘lmaydi, ya’ni hisob xavfli holatni ko‘rsatmaydi.



3-rasm. Zadvijka oldidagi bosimning vaqt bo‘yicha o‘zgarishi zadvijkani yopish vaqtining turli qiymatlarida

Xulosa.

Nostatsionar quvur oqimini tavsiflovchi (3), (4) sistema giperbolik tipda bo‘lib, uning yechimi uchun ikkita boshlang‘ich shart va quvurning har bir uchida bittadan chegaraviy shart kerak. Boshlang‘ich shart ishqalanishni hisobga olgan barqaror oqim holatiga mos kelishi lozim, aks holda hisobda sun’iy to‘lqinlar paydo bo‘ladi. Chegaraviy shartlar bosim to‘lqinining qaytish xarakterini belgilaydi: rezervuarda R = −1, berk uchda R = +1. Xarakteristikalar usuli bilan bajarilgan hisob zadvijkani yopish qonuni gidravlik zarba kattaligiga hal qiluvchi ta’sir ko‘rsatishini tasdiqladi. Keltirilgan tartib quvur tizimlarining nostatsionar rejimlarini to‘g‘ri modellashtirish va himoya vositalarini tanlashda qo‘llanilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Chaudhry, M. H. (2014). *Applied hydraulic transients* (3rd ed.). Springer.

2. Ghidaoui, M. S., Zhao, M., McInnis, D. A., & Axworthy, D. H. (2005). A review of water hammer theory and practice. *Applied Mechanics Reviews, 58*(1), 49–76.

3. Joukowsky, N. (1898). Über den hydraulischen Stoss in Wasserleitungsröhren. *Mémoires de l’Académie Impériale des Sciences de St.-Pétersbourg, 9*(5).

4. LeVeque, R. J. (2002). *Finite volume methods for hyperbolic problems*. Cambridge University Press.

5. White, F. M. (2011). *Fluid mechanics* (7th ed.). McGraw-Hill.

6. Wylie, E. B., & Streeter, V. L. (1993). *Fluid transients in systems*. Prentice Hall