MAGISTRAL QUVURDA TURBULENT OQIM VA GIDRAVLIK QARSHILIKNI HISOBLASH USULINI TAKOMILLASHTIRISH

B.M. Norqulov
O.Sh. Suvonov
Samarqand davlat texnika universiteti
DOI:https://doi.org/10.5281/zenodo.23396764

Annotatsiya: Maqolada Samarqand shahri suv ta'minoti tizimidagi diametri 1000 mm bo'lgan magistral quvur misolida turbulent oqim va gidravlik qarshilikni hisoblash metodikasi ishlab chiqildi. Metodika suv sarfi, quvur diametri, suv harorati, kinematik qovushoqlik, ekvivalent g'adir-budurlik, o'lchash kesimlari orasidagi masofa va bosim farqini yagona algoritmda birlashtiradi. Reynolds soni va nisbiy g'adir-budurlik bo'yicha Koulbruk–Uayt tenglamasi iteratsion yechildi, so'ng Darsi–Veysbax tenglamasi yordamida napor yo'qotilishi va chiqish bosimi aniqlandi. D=1,0 m, L=2000 m, T=20 °C va k_s/d=0,0005 sharoitida Q=0,30–0,80 m^3/s diapazoni uchun Re=$3{,}80\cdot10^5$–$1{,}01\cdot10^6$, λ=0,01793–0,01720 va h_f=0,267–1,819 m olindi. Sarf ortishi bilan qarshilik koeffitsiyenti biroz kamaygan bo'lsa-da, tezlik kvadratining ta'siri sababli napor yo'qotilishi 6,8 baravar oshdi. Taklif etilgan yondashuv nazariy hisob, dala o'lchovi va ANSYS Fluent natijalarini bir xil boshlang'ich sharoitlarda qiyoslashni ta'minlaydi. Keltirilgan sonlar hisobiy ssenariy bo'lib, haqiqiy tajriba qiymatlari sifatida talqin qilinmaydi.

Kalit so'zlar: turbulent oqim, magistral quvur, Reynolds soni, gidravlik qarshilik, Koulbruk–Uayt tenglamasi, Darsi–Veysbax tenglamasi, dala o'lchovi, ANSYS Fluent.

Kirish: Bosimli suv uzatish tizimlarida quvurning suv o'tkazish qobiliyati, bosim rejimi va nasos agregatlarining energiya sarfi gidravlik qarshilik koeffitsiyentiga bevosita bog'liq. Amaliy hisoblashlarda ushbu koeffitsiyent ko'pincha quvur materiali va diametriga mos ma'lumotnoma qiymatlari asosida qabul qilinadi. Biroq uzoq muddat foydalanilgan quvurlarda ichki sirtning haqiqiy holati dastlabki loyiha ko'rsatkichlaridan sezilarli darajada farq qiladi. Ekspluatatsiya davomida quvur devorida korroziya mahsulotlari, mineral cho'kindilar va biologik qatlamlar hosil bo'lib, samarali ichki diametrning kamayishi hamda ekvivalent g'adir-budurlikning ortishiga olib keladi. Bundan tashqari, berkitish-rostlash armaturalari, burilishlar, tarmoqlanishlar va diametr o'zgarishlarining texnik holati ham qo'shimcha mahalliy qarshiliklarni yuzaga keltiradi.Shu sababli yangi quvur uchun tavsiya etilgan λ qiymatini ekspluatatsiyadagi quvurga o'zgartirmasdan tatbiq etish napor yo'qotilishi va talab etiladigan nasos bosimini noto'g'ri baholashga sabab bo'lishi mumkin. Hisobiy qarshilik haqiqiy qiymatdan kichik qabul qilinsa, iste'molchilarga yetkaziladigan bosim yetarli bo'lmaydi; ortiqcha qabul qilinganda esa nasos quvvati va elektr energiyasi sarfi asossiz oshiriladi. Shuning uchun gidravlik qarshilik koeffitsiyentini Reynolds soni, quvurning haqiqiy diametri, ekvivalent g'adir-budurligi, suv harorati hamda dala sharoitida o'lchangan sarf va bosim ma'lumotlari asosida aniqlashtirish zarur. Bunday yondashuv quvur tizimining haqiqiy ish holatini baholash va nasoslarning energiya tejamkor rejimini belgilash imkonini beradi.

Tadqiqotning maqsadi Reynolds soni, nisbiy g'adir-budurlik, tezlik profili va bosim o'lchovlarini o'zaro bog'laydigan takrorlanuvchi hisoblash tartibini shakllantirishdan iborat. Metodika D-1000 magistral quvur uchun ko'rsatildi, biroq uning algoritmi boshqa diametr va uzunliklarga ham

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

moslashtiriladi. Muhim metodik tamoyil shundan iboratki, hisobiy ssenariy, dala o'lchovi va CFD natijasi alohida manba sifatida belgilanadi; ular faqat boshlang'ich va chegaraviy shartlar teng bo'lganda qiyoslanadi.

Tadqiqot obyekti va Metodi: Tadqiqot obyekti "Cho'pon ota" suv inshootidan keluvchi D=1000 mm magistral bosimli quvurning hisobiy L=2000 m qismidir. Suv harorati 20 °C, zichligi 998,2 kg/m³, kinematik qovushoqligi $1{,}004\cdot10^{-6}$ m²/s, nisbiy g'adir-budurlik $k_s/d=0{,}0005$ deb qabul qilindi. Kirish bosimi 400 kPa, balandlik farqi va mahalliy yo'qotishlar soddalashtirilgan ssenariyda nol deb olindi.

Metodologiya besh bosqichdan iborat: (1) geometriya va fizik xossalarni belgilash; (2) o'rtacha tezlik va Reynolds sonini hisoblash; (3) Koulbruk–Uayt tenglamasidan λ ni iteratsion aniqlash; (4) napor yo'qotilishi va chiqish bosimini topish; (5) natijani dala o'lchovi yoki ANSYS Fluent hisobiga nisbatan verifikatsiya qilish. Dala tajribasida Q, p_1, p_2 va T bir vaqtning o'zida barqaror rejimda o'lchanadi; **mahalliy qarshiliklar alohida chiqarib tashlanadi.**

Asosiy hisoblash tenglamalari

Doiraviy quvur kesim yuzasi:

$$\omega=\frac{\pi d^2}{4}. \tag{1}$$

Oqimning o'rtacha tezligi:

$$\vartheta=\frac{Q}{\omega}=\frac{4Q}{\pi d^2}. \tag{2}$$

Reynolds soni:

$$Re=\frac{\vartheta d}{\nu} \tag{3}$$

Nisbiy g'adir-budurlik:

$$\varepsilon=\frac{k_s}{d}. \tag{4}$$

Dinamik tezlik va devor urinma kuchlanishi bog'lanishi:

$$u_* =\sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}}=U\sqrt{\frac{\lambda}{8}}. \tag{5}$$

Logarifmik tezlik qonuni:

$$u^+=\frac{1}{\kappa}\ln y^+ +B, \qquad u^+=\frac{u(y)}{u_*}, \quad y^+=\frac{yu_*}{\nu}. \tag{6}$$

Kesim bo'yicha o'rtacha tezlikning integral sharti:

$$U=\frac{1}{A}\int_A u\ dA. \tag{7}$$

Koulbruk–Uayt tenglamasi:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\log_{10}\left(\frac{k_s}{3.7d}+\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}}\right) \tag{8}$$

Darsi–Veysbax tenglamasi:

$$h_f=\lambda\frac{L}{d}\frac{\vartheta^2}{2g}. \tag{9}$$

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

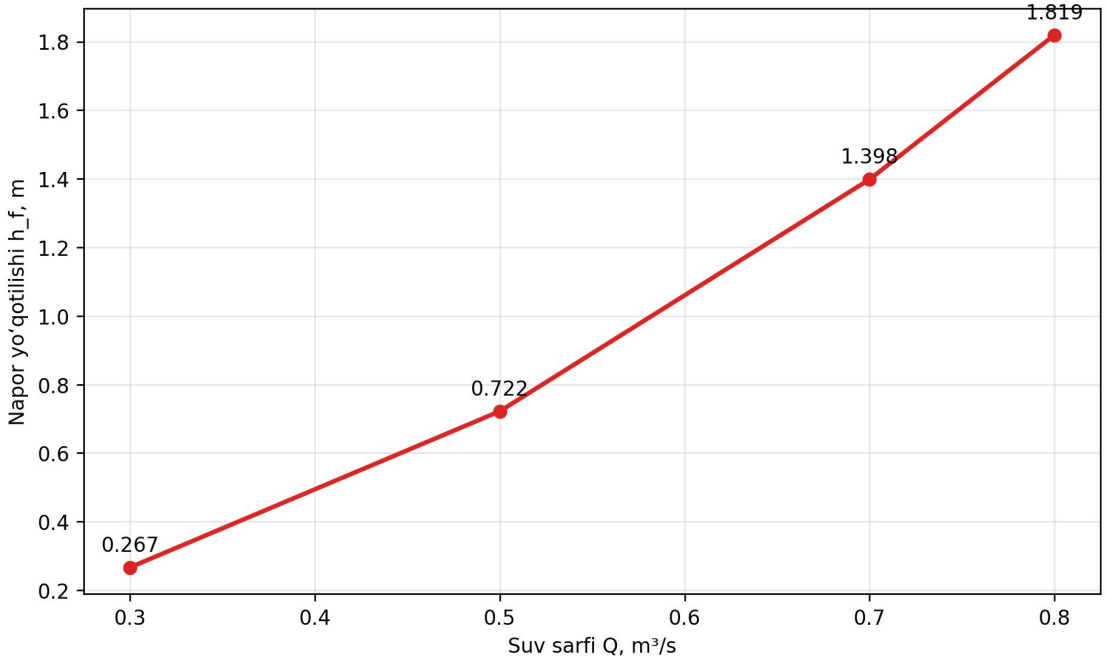
Dala o'lchovidan qarshilik koeffitsiyenti:

$$\lambda_{taj}=\frac{2gd(\Delta H-h_m)}{LU^2}, \qquad \Delta H=\left(z_1+\frac{p_1}{\rho g}\right)-\left(z_2+\frac{p_2}{\rho g}\right). \qquad (10)$$

Natijalar va ularning ilmiy tahlili

1-jadval. Hisoblash uchun qabul qilingan parametrlar

Parametr	Belgisi	Qiymati	Ma'lumot turi
Quvur ichki diametri	d	1,000 m	Obyekt ma'lumoti
Hisobiy uzunlik	L	2000 m	Hisobiy faraz
Suv harorati	T	20 °C	Hisobiy faraz
Kinematik qovushoqlik	ν	$1{,}004\cdot10^{-6}$ m²/s	T=20 °C uchun
Suv zichligi	ρ	998,2 kg/m³	T=20 °C uchun
Nisbiy g'adir-budurlik	k_s/d	0,0005	Hisobiy faraz
Kirish bosimi	p_1	400 kPa	Hisobiy faraz



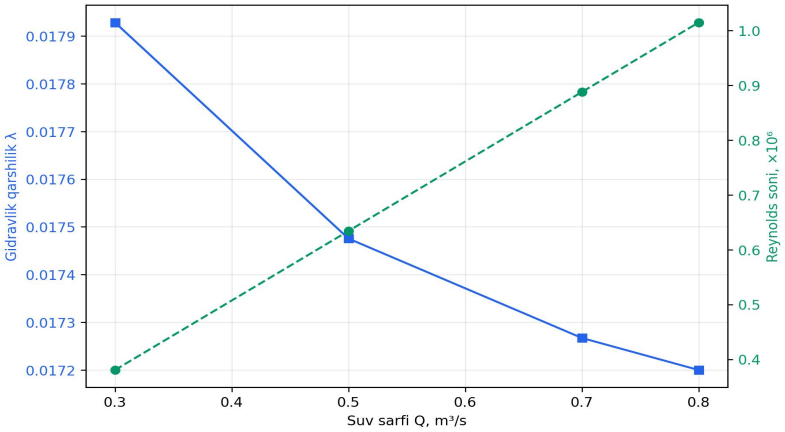
1-rasm. Suv sarfi ortishi bilan napor yo'qotilishining o'zgarishi.

Grafik h_f ning Q ga nisbatan chiziqli emasligini ko'rsatadi. Q 0,30 dan 0,80 m³/s gacha, ya'ni 2,67 baravar oshganda napor yo'qotilishi 0,267 dan 1,819 m gacha yoki 6,8 baravar ko'payadi. Bu tezlikning kvadratik had bilan qatnashishi natijasidir.

2-jadval. D-1000 quvur uchun hisobiy ish rejimlari

Rejim	Q, m³/s	U, m/s	Re	λ	h_f, m	p_2, kPa
1	0.300	0.382	3.805e+05	0.01793	0.267	397.4
2	0.500	0.637	6.341e+05	0.01748	0.722	392.9
3	0.700	0.891	8.877e+05	0.01727	1.398	386.3
4	0.800	1.019	1.015e+06	0.01720	1.819	382.2

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.



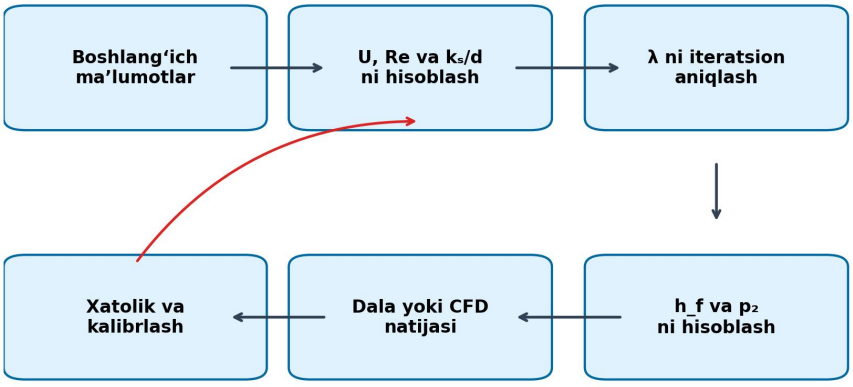
2-rasm. Reynolds soni va gidravlik qarshilik koeffitsiyentining sarfga bog'liqligi.

Ko'rilgan barcha rejimlar turbulent sohaga to'g'ri keladi. Re ortishi bilan λ 0,01793 dan 0,01720 gacha kamayadi, biroq bu pasayish napor yo'qotilishining ortishini kompensatsiya qilmaydi. Demak, "λ kichraydi, shuning uchun yo'qotish kamayadi" degan xulosa noto'g'ri; Darsi–Veysbax tenglamasidagi barcha ko'paytuvchilar birgalikda baholanishi kerak.

3-jadval. G'adir-budurlikning Q=0,70 m³/s rejimiga ta'siri

k_s/d	λ	h_f, m	Bazaviy holatga nisbatan h_f o'zgarishi, %
0,0001	0.01358	1.100	-21.3
0,0005	0.01727	1.398	0,0
0,0010	0.01998	1.618	15.7
0,0050	0.03048	2.468	76.5

Jadval quvur ichki sirtining holati hisob natijasiga kuchli ta'sir qilishini ko'rsatadi. Shu sababli k_s qiymatini faqat yangi quvur ma'lumotnomasidan olish emas, balki bosim-sarf o'lchovlari bilan kalibrlash talab etiladi.



3-rasm. Nazariy, dala va sonli natijalarni qiyoslash algoritmi.

ANSYS Fluent modelida kirishda mass flow inlet yoki velocity inlet, chiqishda pressure outlet, devorda no-slip va roughness height shartlari beriladi. To'r devor yaqinida zichlashtiriladi; tanlangan turbulentlik modeliga mos y^+ nazorat qilinadi. Massaning saqlanishi, to'rga bog'liq bo'lmaslik va quvur bo'ylab bosim gradiyenti tekshirilgandan keyingina CFD natijasi Darsi–Veysbax hisobiga qiyoslanadi.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Ikki usul orasidagi farqni "yangi usulning samarasi" deb emas, model parametrlarini kalibrlash mezoni deb qarash ilmiy jihatdan to'g'ri.

Xulosalar

1. D-1000 quvur uchun Q=0,30–0,80 m^3/s diapazonida oqim to'liq turbulent bo'lib, Re $3,80 \cdot 10^5$ dan $1,01 \cdot 10^6$ gacha o'zgardi.
2. Sarf 2,67 baravar ortganda h_f 6,8 baravar ko'paydi; λ ning oz miqdorda kamayishi tezlik kvadrati ta'sirini qoplay olmadi.
3. Ekvivalent g'adir-budurlikni amaldagi quvurga mos aniqlash λ va h_f hisobining ishonchliligi uchun asosiy shartdir.
4. Dala sinovida sarf va ikki kesimdagi bosim bir vaqtda o'lchanishi, balandlik farqi hamda mahalliy qarshiliklar alohida hisobga olinishi kerak.
5. ANSYS Fluent natijalari faqat to'r mustaqilligi, massa balansi va bir xil chegaraviy shartlar tekshirilgandan keyin nazariy va tajribaviy qiymatlar bilan qiyoslanishi tavsiya etiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Reynolds O. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous. Philosophical Transactions of the Royal Society. 1883;174:935–982.
2. Darcy H. Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux. Paris: Imprimerie Impériale; 1857.
3. Nikuradse J. Strömungsgesetze in rauhen Rohren. VDI-Forschungsheft 361. Berlin; 1933.
4. Colebrook C.F. Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws. Journal of the Institution of Civil Engineers. 1939;11(4):133–156.
5. Moody L.F. Friction factors for pipe flow. Transactions of the ASME. 1944;66:671–684.
6. Prandtl L. Bericht über Untersuchungen zur ausgebildeten Turbulenz. Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik. 1925;5:136–139.
7. von Kármán T. Mechanische Ähnlichkeit und Turbulenz. Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. 1930:58–76.
8. White F.M. Fluid Mechanics. 8th ed. New York: McGraw-Hill; 2016.
9. Idelchik I.E. Handbook of Hydraulic Resistance. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press; 1994.
10. Munson B.R., Young D.F., Okiishi T.H., Huebsch W.W. Fundamentals of Fluid Mechanics. 7th ed. Hoboken: Wiley; 2013.
11. ANSYS Inc. ANSYS Fluent Theory Guide. Canonsburg, PA: ANSYS Inc.
12. Menter F.R. Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. AIAA Journal. 1994;32(8):1598–1605. doi:10.2514/3.12149.
13. Celik I.B., Ghia U., Roache P.J., et al. Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. Journal of Fluids Engineering. 2008;130(7):078001. doi:10.1115/1.2960953.
14. American Society of Mechanical Engineers. Measurement Uncertainty. ASME PTC 19.1. New York: ASME; 2018.
15. "Samarqand suv ta'minoti" AJ. D-1000 magistral suv quvuriga oid texnik ma'lumotlar.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.