BOSIMLI QUVURDA GIDRAVLIK YO'QOTISHLAR: DIAMETR, G'ADIR-BUDURLIK VA MAHALLIY QARSHILIKLARNING QO'SHMA TA'SIRINI DARCY–WEISBACH–COLEBROOK MODELI ASOSIDA BAHOLASH

Choriyev Alibek Rasul o‘g‘li

Annotatsiya. *Ishda qishloq xo'jaligi suv ta'minoti nasos stansiyasining bosimli quvuridagi napor va gidravlik quvvat yo'qotishlari ishqalanish hamda mahalliy qarshiliklar nuqtai nazaridan bir o'lchamli hisobiy model yordamida tahlil qilindi. Darcy–Weisbach tenglamasi Colebrook tenglamasining iteratsion yechimi bilan birlashtirilib, bir xil suv sarfida diametr, ekvivalent g'adir-budurlik va jamlangan mahalliy qarshilik koeffitsiyentini o'zgartiruvchi beshta ssenariy solishtirildi. Uzunligi 1500 m, boshlang'ich diametri 0,40 m va sarfi 0,30 m³/s bo'lgan hisobiy liniyada jami napor yo'qotilishi 19,23 m, yo'qotilgan gidravlik quvvat esa 56,49 kW ni tashkil etdi. Uch parametr birgalikda yaxshilanganda bu qiymatlar 8,32 m va 24,44 kW gacha pasaydi. Xulosa o'zgaruvchan sarf oralig'ida ham sinab ko'rildi. Keltirilgan sonlar biror amaldagi stansiyaning o'lchovlari emas, balki oshkora berilgan hisoblash shartlarining natijasidir. Taklif etilgan tartib quvur rekonstruksiyasida qaysi gidravlik omilni birinchi navbatda tekshirish kerakligini belgilashga yordam beradi.*

Kalit so'zlar: *bosimli quvur, nasos stansiyasi, gidravlik qarshilik, napor yo'qotilishi, Darcy–Weisbach tenglamasi, Colebrook tenglamasi, sonli model, sug'orish.*

Аннотация. *В работе методом одномерного численного моделирования рассмотрены потери напора и гидравлической мощности на трение и местные сопротивления в напорном трубопроводе насосной станции сельскохозяйственного водоснабжения. Уравнение Дарси–Вейсбаха дополнено итерационным решением уравнения Кольбрука; при неизменном расходе сопоставлены пять сценариев, различающихся диаметром, эквивалентной шероховатостью и суммарным коэффициентом местных сопротивлений. Для линии длиной 1500 м с исходным диаметром 0,40 м и расходом 0,30 м³/с суммарная потеря напора составила 19,23 м, потеря гидравлической мощности — 56,49 кВт; при совместном изменении параметров — 8,32 м и 24,44 кВт. Вывод проверен в диапазоне расходов. Приведённые величины относятся к заданному расчётному сценарию, а не к*

измерениям на действующей станции. Предложенная последовательность помогает обосновать приоритет гидравлических мероприятий при реконструкции трубопровода.

Ключевые слова: *напорный трубопровод, насосная станция, гидравлическое сопротивление, потери напора, уравнение Дарси–Вейсбаха, уравнение Кольбрука, численная модель, орошение.*

Abstract. *A one-dimensional numerical model is used to quantify friction and local head losses in the pressurized pipeline of an agricultural water-supply pumping station. The Darcy–Weisbach relation is coupled with an iterative solution of the Colebrook equation, and five scenarios that vary pipe diameter, equivalent roughness and the aggregate minor-loss coefficient are compared at a fixed discharge. For a specified 1500 m pipeline with a 0.40 m initial diameter and a discharge of 0.30 m³/s, the total head loss is 19.23 m and the dissipated hydraulic power is 56.49 kW; adjusting all three parameters together reduces them to 8.32 m and 24.44 kW. The ranking of scenarios is also examined over a range of discharges. The figures describe a reproducible computational case rather than field measurements at an operating station, and the resulting decision sequence helps prioritize hydraulic interventions during rehabilitation.*

Keywords: *pressure pipeline, pumping station, hydraulic resistance, head loss, Darcy–Weisbach equation, Colebrook equation, numerical model, irrigation.*

1. Kirish

Sug'orish nasos stansiyasining energiya sarfini faqat nasos agregatining pasport ko'rsatkichlariga qarab baholash mumkin emas. Suv nasosdan chiqqandan keyin quvur devori bilan ishqalanadi, burilishlar, kirish va chiqish qismlari hamda berkitish-rostlash armaturasidan o'tadi; bularning barchasi nasos yengishi kerak bo'lgan qo'shimcha naporni hosil qiladi. Liniya uzaygan sari ishqalanish yo'qotishi to'planib boradi, sarf ortganda esa tezlik napori $v^2/2g$ kvadratik qonuniyatga yaqin tarzda o'sadi. EPANET qo'llanmasida ishqalanish bilan bir qatorda burilish va armaturadagi mahalliy yo'qotishlar ham tarmoqning gidravlik hisobidagi alohida tarkibiy qism sifatida qaraladi [1].

O'zbekistonda 05.09.07 – «Gidravlika va muhandislik gidrologiyasi» ixtisosligi pasportida quvurlardagi barqaror va beqaror oqim, gidravlik qarshilik, bosimli tizimlardagi turbulentlik hamda suv ko'tarish qurilmalaridagi oqimlarni matematik modellashtirish nazarda tutilgan [2]. Bu ish shu yo'nalishning bosimli quvur va gidravlik yo'qotishlar kesishgan qismiga bag'ishlanadi. Beton, to'g'on yoki suv

ombori uchun umumiy tavsiyalar emas, quvur ichidagi suv harakatidan kelib chiqadigan aniq napor yo'qotilishi baholanadi.

Tadqiqot savoli quyidagicha qo'yildi: belgilangan sarfni yetkazishda quvur diametri, devorning ekvivalent g'adir-budurligi va mahalliy qarshiliklar yig'indisi gidravlik energiya yo'qotilishiga qay darajada ta'sir qiladi va bu omillarni kamaytirish tadbirlari qanday ketma-ketlikda ko'rilishi maqsadga muvofiq? Maqsad – ishqalanish koeffitsiyentini Reynolds soni va nisbiy g'adir-budurlikka bog'lab hisoblaydigan, ssenariylar farqini bir xil sarfda ko'rsatadigan va natijasi qayta hisoblanadigan model qurish. «Samaradorlik» deganda bu yerda faqat quvurdagi gidravlik yo'qotishning kamayishi tushuniladi; nasos va dvigatelning foydali ish koeffitsiyenti, elektr tarifi hamda rekonstruksiya xarajatlari alohida masalalardir.

Ishning hisobiy hissasi uchta: (i) diametr, sirt g'adir-budurligi va mahalliy qarshilikning alohida hamda qo'shma ta'siri bitta boshlang'ich holatga nisbatan ko'rsatiladi; (ii) uzun quvurda sirtni yaxshilash bilan mahalliy qarshilikni kamaytirish foydasi qaysi uzunlikda o'rin almashishi aniqlanadi; (iii) xulosa sarf o'zgarganda tekshiriladi. Bunga qo'shimcha ravishda diametr ta'sirining effektiv darajasi baholandi va Colebrook yechimi aniq (yashirin bo'lmagan) yaqinlashuv bilan solishtirildi. Shu yo'sinda quvur rekonstruksiyasi haqidagi qaror yagona ko'rsatkichga emas, oqimning energetik balansiga suyanadi.

2. Adabiyotlar sharhi

Turbulent quvur oqimida ishqalanish koeffitsiyentini aniqlashning nazariy asosi Colebrookning 1939-yildagi ishida yotadi: unda silliq va g'adir-budur quvurlar qonuniyatlari orasidagi o'tish sohasi tahlil qilingan, bugungi hisoblarda ishlatiladigan yashirin tenglama shu an'anadan kelib chiqadi [3]. Amaliyotda esa uni Moody diagrammasi [4] yoki Swamee va Jain taklif qilgan aniq ifoda [5] orqali ishlatish keng tarqalgan. Ishqalanish koeffitsiyentini o'zgarmas deb olish, ayniqsa diametr va sirt holati qiyoslanayotganda, asosiy bog'liqlikni yo'qotadi; shuning uchun bu yerda λ har bir yangi diametr, sarf va g'adir-budurlik uchun qaytadan yechiladi.

EPANET 2.2 qo'llanmasi Darcy–Weisbach yo'qotishi, mahalliy qarshilik koeffitsiyenti, nasosning sarf–napor xarakteristikasi va elektr energiyasi hisobi uchun alohida kirish ma'lumotlari talab etilishini ko'rsatadi [1]. Demak, quvurdagi gidravlik yo'qotishni elektr hisoblagichidagi sarfga tenglashtirib bo'lmaydi: ikkinchisi uchun nasos xarakteristikasi, boshqaruv rejimi va foydali ish koeffitsiyenti zarur. Abdulameer va Dzhumagulova sug'orish quvurlarini simulyatsiya qilib, diametr, material va sarf o'zgarganda bosim yo'qotilishi qanday siljishini ko'rsatgan [6]; biroq aniq bir nasos liniyasida diametr o'zgartirishning

foydasi armatura va sirt holatiga nisbatan qanchaligini alohida hisoblash zarur bo'lib qoladi.

Mahalliy qarshiliklar bo'yicha Crawford va hammualliflar 90° li burilishlarda oqim ajralishi, ikkilamchi harakat va bosim taqsimotini sonli va tajribaviy o'rgangan [7]. Xulosa shuki, keskin burilish qarshiligini har qanday geometriya uchun yagona doimiy bilan ifodalash ehtiyotkorlikni talab qiladi; ma'lumotnomalardagi ζ qiymatlari [8] ham aynan shu ma'noda yo'naltiruvchi hisoblanadi. Shu sababli Σζ bu ishda aniq zavod katalogiga bog'lanmagan model parametri sifatida olinadi, uning 5,0 dan 2,0 ga tushishi esa muayyan armatura to'plami qayta jihozlangani degani emas.

Loureiro va hammualliflar sug'orish tizimlari uchun suv–energiya balansi metodikasida quvur ishqalanishi, sizib chiqish, nasos uskunasining foydali ish koeffitsiyenti va iste'molchiga yetkaziladigan minimal energiyani alohida ko'rsatkichlar sifatida ajratadi [9]. Koca va Atmaca esa nasos–quvur majmuasida oqimlar qo'shilishining elektr sarfi va quvurdagi yo'qotishga ta'sirini tajriba hamda sonli tahlil bilan ko'rsatgan [10]. Bu ishlardan quvur geometriyasi bo'yicha olingan hisobiy natijani real tizimda sinash uchun sarf, bosim va elektr sarfini birga o'lchash zarurligi kelib chiqadi. O'zbekistonlik Nosirov va hammualliflar 2026-yilda nasos stansiyasi suv olish qismidagi bosim va energiya yo'qotishlarini baholagan [11]; suv olish geometriyasi bilan uzun bosimli quvurdagi ishqalanish esa bir xil fizik omil emas, mazkur maqola aynan quvur uzunligi bo'yicha ishqalanish, mahalliy qarshilik va ularning nisbiy ulushiga e'tibor qaratadi.

3. Materiallar va usullar

Hisobiy obyekt – bitta nasosdan keyingi to'liq suvga to'lgan, doiraviy kesimli bosimli quvur. Rejim vaqt bo'yicha barqaror, suv bir fazali va siqilmas deb olindi. Boshlang'ich ma'lumotlar: uzunlik $L = 1500$ m, ichki diametr $D = 0{,}40$ m, hisobiy sarf $Q = 0{,}30$ m³/s, zichlik $\rho = 998$ kg/m³, dinamik qovushqoqlik $\mu = 0{,}001002$ Pa·s, erkin tushish tezlanishi $g = 9{,}81$ m/s². Geodezik ko'tarilish $H_s = 25$ m yo'qotishning o'zi emas, nasosning umumiy zarur naporini izohlash uchungina qo'shiladi. Parametrlar biror amaldagi stansiya pasporti sifatida taqdim etilmaydi; ularning vazifasi tajribani aniq va takrorlanadigan qilishdir (1-jadval).

1-jadval. Bir o'lchamli hisobiy modelning kirish parametrlari

Parametr	Belgisi	A holat	O'zgartirilgan qiymat	Birlik
Quvur uzunligi	L	1500	o'zgarmaydi	m
Suv sarfi	Q	0,30	0,24 va 0,36 (tekshiruvda)	m^3/s
Ichki diametr	D	0,40	0,45	m
Ekvivalent g'adir-budurlik	ε	0,15	0,03	mm
Mahalliy qarshiliklar yig'indisi	Σζ	5,0	2,0	–
Geodezik ko'tarilish	H_s	25	o'zgarmaydi	m

Manba: muallif tomonidan belgilangan hisobiy ssenariy; suv xossalari matnda berilgan.

Quvurdagi o'rtacha tezlik va Reynolds soni quyidagicha topiladi:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad , \quad Re = \frac{\rho v D}{\mu} \tag{1}$$

Darcy ishqalanish koeffitsiyenti λ har bir ssenariyda Colebrook tenglamasidan iteratsiya yo'li bilan yechiladi. Dastlabki yaqinlashuv $\lambda_0 = 0{,}02$ deb olindi, ketma-ket ikki natija farqi 10^{-12} dan kichik bo'lganda hisob to'xtatildi. Barcha holatlarda Re 4000 dan ancha yuqori bo'lgani uchun formula o'z qo'llanish doirasida qoladi:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2lg\left(\frac{\varepsilon}{3{,}7D} + \frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}}\right) \tag{2}$$

Uzunlik bo'yicha ishqalanish napori h_f va mahalliy yo'qotish h_m (bu yerda Σζ burilish, kirish va armaturaning jamlangan o'lchamsiz koeffitsiyenti):

$$h_f = \lambda \frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} \quad , \quad h_m = \Sigma\zeta \frac{v^2}{2g} \tag{3}$$

Jami yo'qotish, yo'qotilgan gidravlik quvvat va ideal talab etiladigan nasos napori quyidagicha aniqlanadi:

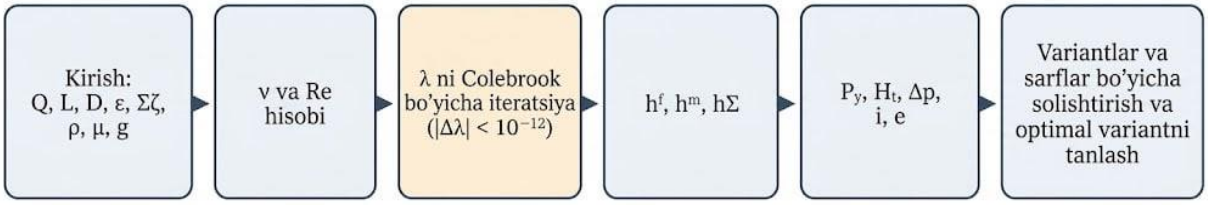
$$h_\Sigma = h_f + h_m, \quad P_\gamma = \rho g Q h_\Sigma, \quad H_t = H_s + h_\Sigma \tag{4}$$

P_γ kW ga o'tkazilganda 1000 ga bo'linadi. Bu miqdor nasosning elektr tarmog'idan olgan quvvati emas: elektr quvvati uchun nasos va dvigatelning foydali ish koeffitsiyenti hamda boshqaruv rejimi kerak. Qo'shimcha ko'rsatkichlar sifatida bosim yo'qotilishi Δp, ishqalanishning o'rtacha pyezometrik gradiyenti i va bir kub metr suvga to'g'ri keladigan sof gidravlik dissipasiya e (kWh/m^3) olindi:

$$\Delta p = \rho g h_\Sigma, \quad i = \frac{h_f}{L}, \quad e = \frac{\rho g h_\Sigma}{3{,}6\cdot 10^6} \tag{5}$$

Taqqoslashning o'zgarmas sharti Q = 0,30 m^3/s ni saqlashdir. Diametr o'zgarsa, haqiqiy stansiyaning ish nuqtasi ham siljishi mumkin; ushbu ssenariylar esa teng suv yetkazib berish sharoitida quvur qarshiligini qiyoslaydi. Beshta variant tuzildi: A – dastlabki holat; B – faqat ε kamayadi; C – faqat Σζ pasayadi; D – faqat D = 0,45 m

ga oshadi; E – uchala parametr birgalikda yaxshilanadi. D ning o'zgarishi mavjud quvurga qoplama surtish natijasi emas, boshqa ichki diametrli quvur varianti sifatida talqin qilinadi; ε ning 0,15 dan 0,03 mm ga o'tishi ham muayyan material kafolati emas, sirt parametrining o'zgarishidir. Hisob ketma-ketligi 1-rasmda ko'rsatilgan; qo'shimcha tekshiruv sifatida A va E variantlari Q = 0,24; 0,30 va 0,36 m³/s da yana yechildi. Bu ±20 % li og'ishda ustunlik yo'nalishi saqlanishini sinaydi, mavsumiy sarf statistikasi emas.



1-rasm. Hisoblash ketma-ketligi (A–E variantlari uchun bir xil algoritm)

Modelning ichki izchilligi uchta shart bilan nazorat qilindi: λ ning har bir qayta yechilishidagi xatosi to'xtash chegarasidan oshmasligi, $h_\Sigma = h_f + h_m$ tengligi va $P_\gamma = \rho g Q h_\Sigma$ bog'lanishining bajarilishi. Bunday algebraik tekshiruv modelning o'zaro mosligini bildiradi, real stansiya bilan eksperimental validatsiyani almashtirmaydi.

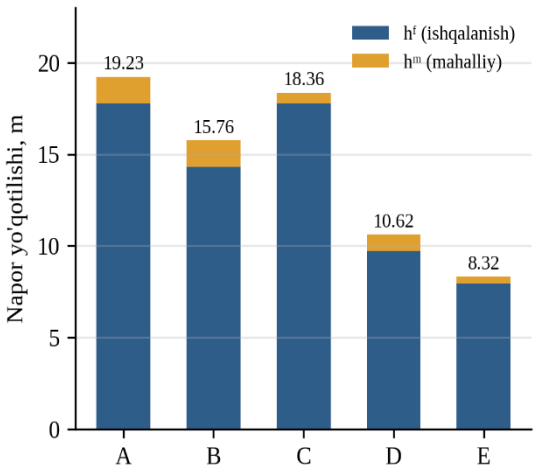
4. Natijalar

Boshlang'ich A variantida tezlik 2,387 m/s, Reynolds soni 9,51 × 10⁵ chiqdi. λ = 0,01632 bo'lganda ishqalanish 17,78 m, mahalliy qarshilik esa 1,45 m napor talab qildi. Jami 19,23 m yo'qotishning 92,45 % i uzunlik bo'yicha ishqalanishga to'g'ri keladi. Shu nisbat 1500 m li liniyada qisqa armatura uchastkalari bilan bir qatorda quvur o'lchami va ichki sirtini ustuvor tekshirish zarurligini asoslaydi. Barcha variantlarning natijalari 2-jadval va 2-rasmda keltirilgan.

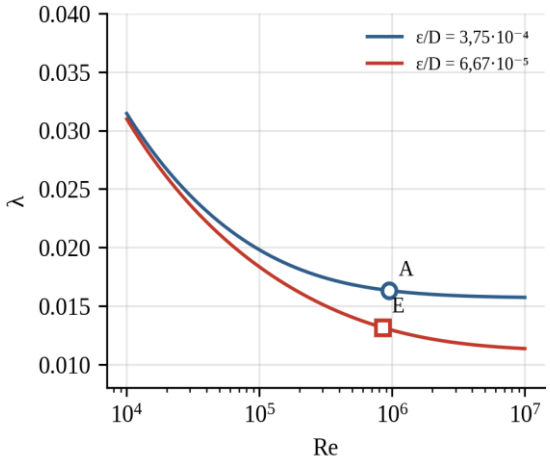
2-jadval. Q = 0,30 m³/s da quvur variantlarining sonli natijalari

Variant va o'zgarish	λ	h_f / h_m, m	h_Σ, m	P_γ, kW	A ga nisbatan h_Σ kamayishi, %
A. D=0,40; ε=0,15; Σζ=5	0,01632	17,78 / 1,45	19,23	56,49	–
B. Faqat ε=0,03	0,01313	14,30 / 1,45	15,76	46,28	18,1
C. Faqat Σζ=2	0,01632	17,78 / 0,58	18,36	53,93	4,5
D. Faqat D=0,45	0,01606	9,71 / 0,91	10,62	31,18	44,8
E. D=0,45; ε=0,03; Σζ=2	0,01317	7,96 / 0,36	8,32	24,44	56,7

Izoh: D metrda, ε millimetrda. Har bir variant uchun λ qayta yechilgan; foizlar A ga nisbatan muallif hisobi.



2-rasm. Napor yo'qotilishining tarkibi (A–E)



3-rasm. λ ning Re va ε/D ga bog'liqligi; A va E nuqtalari

B variantida ε = 0,03 mm olinganda λ 0,01313 gacha tushdi va jami yo'qotish 15,76 m ga kamaydi (18,1 %). C variantida Σζ = 2,0 bo'lganda h_m 1,45 dan 0,58 m ga tushdi, biroq jami h_Σ atigi 4,5 % ga, ya'ni 18,36 m gacha qisqardi: mahalliy yo'qotishning nisbatan sezilarli kamayishi uzun quvurdagi umumiy yo'qotishda xuddi shunday foizli o'zgarish bermaydi. D variantida diametr 0,45 m bo'lgani uchun tezlik 1,886 m/s gacha pasaydi; λ qayta hisoblangach ishqalanish 9,71 m, jami yo'qotish 10,62 m (44,8 %) bo'ldi. Diametr ikki yo'l bilan ta'sir qiladi: L/D ko'paytuvchisini ham, $v^2/2g$ tezlik naporini ham kamaytiradi.

Diametr ta'sirining kuchini miqdoriy ifodalash uchun D variantining A ga nisbatan effektiv darajasi hisoblandi:

$$n = \frac{ln(h_{\Sigma,D}/h_{\Sigma,A})}{ln(0{,}45/0{,}40)} \approx -5{,}0 \qquad (6)$$

To'liq g'adir-budur rejimda λ deyarli o'zgarmas bo'lsa, $h_f = 8\lambda LQ^2/(\pi^2 g D^5)$ bog'lanishi D^{-5} qonuniyatini beradi; olingan $n \approx -5{,}0$ (ishqalanish qismi uchun −5,1) shu nazariy ko'rsatkichga yaqin. Demak, diametrning 12,5 % ga oshishi ishqalanish yo'qotishini deyarli ikki barobarga yaqin kamaytiradi va diametr tanlovi eng sezgir parametr bo'lib chiqadi.

E variantida λ = 0,01317, h_f = 7,96 m, h_m = 0,36 m, h_Σ = 8,32 m bo'ldi. P_γ 56,49 dan 24,44 kW ga, ya'ni 32,05 kW yoki 56,7 % ga qisqardi; bir xil sarfni uzatish uchun ideal nasos napori H_t 44,23 dan 33,32 m gacha tushadi. Bu qiymatlar nasosni almashtirish bo'yicha tayyor qaror emas: stansiyaning sarf–napor egri chizig'i va iste'molchi talab qiladigan minimal bosim bilan kesishma tekshirilishi shart. Qo'shimcha ko'rsatkichlar 3-jadvalda keltirilgan.

3-jadval. Qo'shimcha gidravlik ko'rsatkichlar (Q = 0,30 m³/s)

Ko'rsatkich	A	B	C	D	E
v, m/s	2,387	2,387	2,387	1,886	1,886
Re × 10⁵	9,51	9,51	9,51	8,45	8,45
Δp = ρghΣ, kPa	188,30	154,25	179,76	103,95	81,47
i = h_f/L, m/m	0,01185	0,00954	0,01185	0,00647	0,00531
e, kWh/m³	0,0523	0,0429	0,0499	0,0289	0,0226
$h_Σ/H_t$, %	43,5	38,7	42,3	29,8	25,0

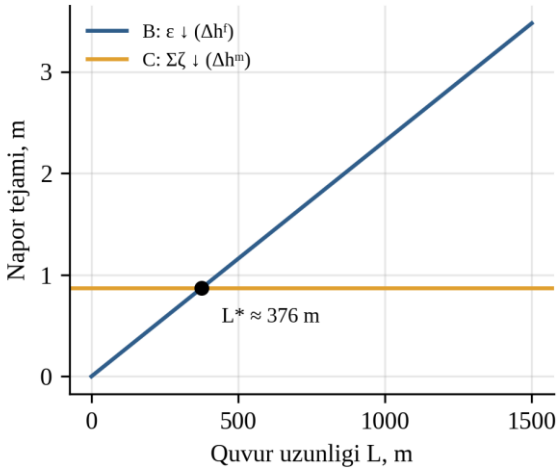
Izoh: A va E uchun qiymatlar boshlang'ich hisob bilan mos; B–D uchun xuddi shu formulalar bo'yicha muallif hisobi. e ga nasos va dvigatel FIK kirmaydi.

Pyezometrik gradiyent A da 0,01185, E da 0,00531 m/m ga teng: energiya chizig'ining uzunlik bo'yicha qiyaligi 2,2 baravar yassilanadi. H_s = 25 m sharoitida yo'qotishning ideal napordagi ulushi A da 43,5 %, E da 25,0 % ni tashkil etadi. e ko'rsatkichi esa (A da 0,0523, E da 0,0226 kWh/m³) turli sarflarda hajm birligiga nisbatan quvurda yo'qotiladigan mexanik energiyani solishtirish uchun qulay, ammo elektr hisoblagichida kuzatiladigan birlik sarf emas.

Mahalliy qarshilik va sirt tadbirlarining foydasi tenglashadigan uzunlikni ham baholash mumkin. Bir xil D va Q da ikki tadbir bergan napor tejami tengligidan quyidagi mezon chiqadi:

$$L^* = \frac{D\Delta\zeta}{\Delta\lambda} \tag{7}$$

A va B uchun Δλ ≈ 0,00319, Δζ = 3,0 bo'lgani sababli L* ≈ 376 m (4-rasm). Bundan ancha uzun quvurda B turidagi sirt o'zgarishi C turidagi mahalliy qarshilik o'zgarishidan ko'proq gidravlik foyda beradi; qisqa liniyada esa teskarisi bo'lishi mumkin. Bu hukm faqat shu sarf, diametr hamda tanlangan ε va ζ oralig'iga tegishli.



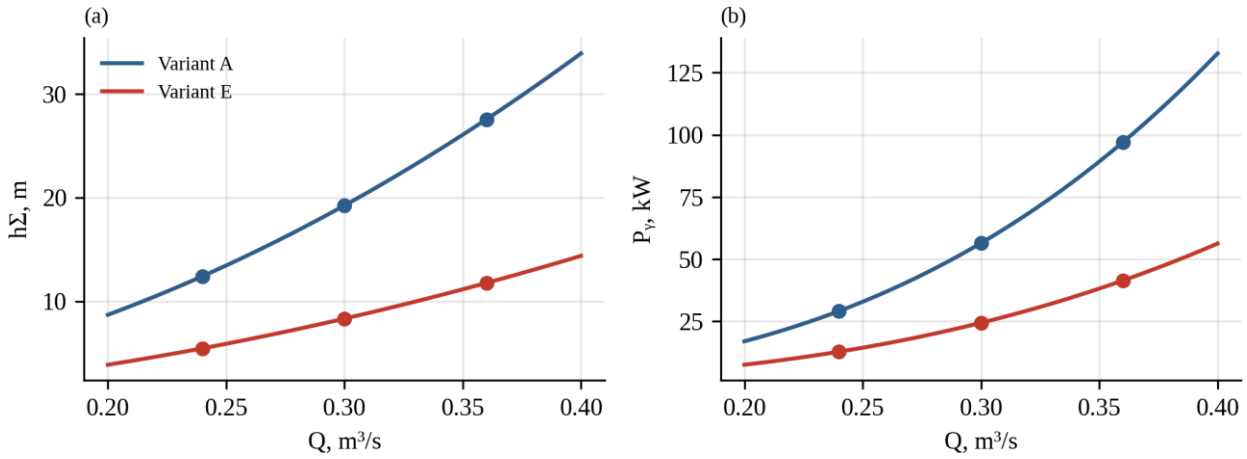
4-rasm. Ikki tadbir bergan napor tejamining quvur uzunligiga bog'liqligi

Sarf 0,24 dan 0,36 m³/s gacha oshganda h_Σ A variantida 12,41 dan 27,54 m gacha, E variantida 5,46 dan 11,76 m gacha o'sdi (4-jadval, 5-rasm). Uchala nuqtada ham E ning yo'qotishi A nikidan past, ammo mutlaq quvvat farqi sarfga qarab o'zgaradi: 16,34; 32,05 va 55,60 kW. Shuning uchun uzatish rejimini hisobga olmay yagona «tejaladigan kW» ko'rsatkichini stansiyaning butun ishlash davriga yoyish noto'g'ri bo'ladi; sutkalik va mavsumiy tejamni topish uchun sarfning davomiylik grafigi hamda nasos FIK sining ish nuqtasiga bog'liqligi kerak.

4-jadval. Suv sarfi o'zgarganda boshlang'ich va birgalikdagi variantlar

Q, m³/s	A: h_Σ, m	E: h_Σ, m	A: P_γ, kW	E: P_γ, kW	Quvvat farqi, kW
0,24	12,41	5,46	29,16	12,83	16,34
0,30	19,23	8,32	56,49	24,44	32,05
0,36	27,54	11,76	97,05	41,45	55,60

Manba: muallifning Darcy–Weisbach–Colebrook modeli bo'yicha hisoblari. Yaxlitlash tufayli ayrim ayirmalar 0,01 ga farqlanishi mumkin.



5-rasm. Sarfga bog'liqlik: (a) jami napor yo'qotilishi; (b) yo'qotilgan gidravlik quvvat (nuqtalar – 4-jadval qiymatlari)

Yakka ta'sirlarni qo'shib birgalikdagi natijani olib bo'lmaydi: diametr o'zgarganda v, Re, λ va mahalliy yo'qotishning mutlaq qiymati ham birga o'zgaradi. Masalan, B, C va D foizlari yig'indisi 18,1 + 4,5 + 44,8 = 67,4 % bo'lsa, birgalikdagi model natijasi 56,7 % ni beradi. Muhandislik bahosida variantlarni bir bazaga nisbatan qayta yechish shu sababdan kerak.

5. Muhokama

Hisobiy liniyada ishqalanish ulushi yuqori bo'lgani uchun qaror ketma-ketligi «qaysi uskunani almashtirish» savolidan oldin «yo'qotish qayerda to'planmoqda» savolidan boshlanishi lozim. Birinchi bosqichda haqiqiy ichki diametr, uzunlik, o'tkazilayotgan sarf, bosimlarning vaqt bo'yicha qaydlari va armatura sxemasi bitta

gidravlik profilga keltiriladi. Ikkinchi bosqichda quvur uzunligi bo'ylab pyezometrik chiziq baholanadi, mahalliy bosim sakrashlari esa chiziqli pasayishdan ajratib turiladi. Uchinchi bosqichda diametr, ichki sirt va mahalliy elementlarni o'zgartirish ssenariylari aynan bir xil yetkaziladigan Q va minimal chiqish bosimida solishtiriladi.

Diametrni oshirishning hisobiy foydasi katta bo'lsa ham, bu eng arzon yechim degani emas. Quvurni almashtirish kapital xarajat, qurilish davridagi to'xtash, yer ishlari, bosim sinovi va devor mustahkamligini baholashni talab qiladi. Sirtni yangilash arzonroq bo'lishi mumkin, lekin ichki qoplama diametrni toraytirsa, sirt yutug'ining bir qismi yo'qoladi; D^{-5} bog'lanishi esa bunday toraytirish jazosi qanchalik sezilarli bo'lishini ko'rsatadi. Mahalliy qarshilikni kamaytirish uchun armaturani to'liq ochish, oqim yo'lini tekislash yoki keskin burilishni almashtirish texnik jihatdan mumkin bo'lishi kerak, ko'rsatilgan ζ oralig'i esa katalog yoki sinov bilan tasdiqlanmaguncha loyiha koeffitsiyenti bo'la olmaydi.

Colebrook yechimining ishonchliligini tekshirish uchun A va E variantlari Swamee–Jain ifodasi [5] bilan qayta hisoblandi; λ bo'yicha farq mos ravishda taxminan 0,6 va 0,3 % ni tashkil etdi. Bu iteratsion algoritmning to'g'ri ishlashini tasdiqlaydi, biroq tajriba bilan solishtirish o'rnini bosmaydi.

Barqaror bir o'lchamli model turbulent oqimda uzunlik bo'yicha energiya balansini yaxshi ifodalaydi, ammo keskin burilish atrofidagi uch o'lchamli ikkilamchi oqim va lokal ajralishni fazoviy tafsilotda bermaydi [7]. Muammo nasos chiqishidagi kollektor, ketma-ket yaqin burilishlar yoki kavitatsiya shubhasi bilan bog'liq bo'lsa, alohida CFD hisobi va o'lchov talab etiladi; bu ishda na CFD bajarilgan, na real quvurda bosim o'lchangan. Beqaror rejim ham alohida cheklov: nasosning to'satdan to'xtashi, klapanning tez yopilishi yoki havo to'planishi gidravlik zarba va manfiy bosim xavfini tug'diradi, shuning uchun energiya jihatidan qulay variantni faqat barqaror hisob asosida tavsiya etib bo'lmaydi.

Amaliy verifikatsiya uchun stansiyaning kirish va chiqishida bir vaqtda o'lchangan sarf va bosim, quvur bo'ylab nazorat nuqtalari, armatura holati hamda suv harorati qayd etiladi. O'lchangan bosimlar geodezik belgilar bilan pyezometrik naporga keltiriladi. ε va ζ ni kalibrlash faqat kuzatuv nuqtalari yetarli bo'lgandagina ularni alohida ajratadi, aks holda bir necha parametr bir xil jami yo'qotishni beradi va masala yagona yechimga ega bo'lmaydi. Natija shu ma'noda o'lchovga tayyor ishchi gipotezadir: uzun liniyada ishqalanish asosiy ulushni olganda diametr va sirt holatining foydasi lokal elementlarnikidan yirik bo'ladi, qisqa tarmoqlarda esa ζ ulushi ko'tarilishi mumkin. L* mezoni shu ustuvorlik qachon almashishini

soddalashtirib ko'rsatadi, lekin «eng maqbul diametr» deb e'lon qilish uchun quvurga xos sonli qabullar, kapital xarajat va ish rejimi birga tahlil qilinishi shart.

6. Xulosa

Bir o'lchamli Darcy–Weisbach–Colebrook modeli bo'yicha 1500 m li bosimli quvurda Q = 0,30 m³/s uzatilganda boshlang'ich jami yo'qotish 19,23 m, yo'qotilgan gidravlik quvvat 56,49 kW bo'ldi; shuning 17,78 m i (taxminan 92,5 %) uzunlik bo'yicha ishqalanishga to'g'ri keldi. Bu sonlar faqat oshkora berilgan hisobiy shartlarga tegishli.

Diametrni 0,40 dan 0,45 m ga oshirish jami yo'qotishni 44,8 % ga, ε ni 0,15 dan 0,03 mm ga tushirish 18,1 % ga, Σζ ni 5,0 dan 2,0 ga kamaytirish esa 4,5 % ga qisqartirdi. Uchala o'zgarish birga kiritilganda yo'qotish 8,32 m, gidravlik quvvat 24,44 kW ga tushdi (umumiy kamayish 56,7 %). Diametr ta'sirining effektiv darajasi $n \approx -5{,}0$ bo'lib, ishqalanish yo'qotishining D^{-5} qonuniyatiga mos keladi; har bir variantda λ ni qayta yechish taqqoslashning zarur sharti ekani ko'rsatildi.

Sirt va mahalliy qarshilik tadbirlarining hisobiy foydasi tenglashadigan uzunlik tanlangan sharoitda taxminan 376 m deb baholandi; A va E variantlarining ustunlik tartibi 0,24–0,36 m³/s oralig'ida saqlandi. Taklif etilgan muhandislik ketma-ketligi: sarf va bosim rejimini o'lchash, uzunlik va mahalliy yo'qotishlarni ajratish, barcha ssenariylarni bir xil sarfda qayta hisoblash, so'ng nasos xarakteristikasi, gidravlik zarba xavfi va kapital xarajat bilan birga loyiha qarorini qabul qilish.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Rossman L. A., Woo H., Tryby M., Shang F., Janke R., Haxton T. EPANET 2.2 User Manual. – Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 2020. – EPA/600/R-20/133. – URL: https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=P10113EM.TXT.

2. O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasi. 05.09.07 – Gidravlika va muhandislik gidrologiyasi: ixtisoslik pasporti [Elektron resurs]. – URL: https://www.buxdpi.uz/media/scientific/files/passport_shifr.pdf.

3. 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. – Vol. 11, no. 4. – P. 133–156. – DOI: 10.1680/ijoti.1939.13150.

4. Moody L. F. Friction factors for pipe flow // Transactions of the ASME. – 1944. – Vol. 66, no. 8. – P. 671–684.

5. Swamee P. K., Jain A. K. Explicit equations for pipe-flow problems // Journal of the Hydraulics Division, ASCE. – 1976. – Vol. 102, no. 5. – P. 657–664.

6. Abdulameer L. S., Dzhumagulova N. T. Using Simulation Methods to Study Pressure Losses in a Water Supply System for Irrigation // Power Technology and Engineering. – 2023. – Vol. 56. – P. 627–632. – DOI: 10.1007/s10749-023-01563-3.

7. Crawford N., Spence S., Simpson A., Cunningham G. A numerical investigation of the flow structures and losses for turbulent flow in 90° elbow bends // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering. – 2009. – Vol. 223, no. 1. – P. 27–44. – DOI: 10.1243/09544089JPME206.

8. Idelchik I. E. Handbook of Hydraulic Resistance. 3rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 1994.

9. Loureiro D., Beceiro P., Fernandes E., Alegre H., Covas D. Energy efficiency assessment in collective irrigation systems using water and energy balances: methodology and application // Irrigation Science. – 2024. – Vol. 42. – P. 745–768. – DOI: 10.1007/s00271-023-00891-6.

10. Koca A. O., Atmaca M. Pompa ve borulama sistemlerindeki debi ve enerji kayıplarının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi // Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. – 2024. – Vol. 39, no. 3. – P. 1745–1758. – DOI: 10.17341/gazimmfd.1299616.

11. Nosirov F. J., Glovatsky O. Y., Urolov J. A., Abdullakhaev A. S., Uzokov A. M. Development of new methods for calculating pressure and energy losses for pumping station water intakes // Technical Science and Innovation. – 2026. – No. 1. – P. 65–68. – DOI: 10.59048/2181-1180.1807.