



MIKROGES LOYIHALASHTIRISH JARAYONIDA TURBINA TURINI TANLASH: GIDROLOGIK XARAKTERISTIKALAR VA MATEMATIK TAHLIL ASOSIDA YONDASHUV

Ubaydullayev J.S.

Gidroenergetika fakulteti, 2-kurs magistranti

Kan E.K.

Ilmiy raxbar: Dotsent. I

“Toshkent irrigatsiya va qishloq xo‘jaligini mexanizatsiyalash
muhandislari instituti” (TIQXMMI) Milliy tadqiqot universiteti”

<https://doi.org/10.5281/zenodo.19814611>

ARTICLE INFO

Qabul qilindi: 22-aprel 2026 yil
Ma‘qullandi: 25-aprel 2026 yil
Nashr qilindi: 27-aprel 2026 yil

KEY WORDS

mikroGES, turbina tanlash, solishtirma aylanishlar soni, bosim balandligi, suv sarfi, Pelton, Banki-Mishel, Kaplan, gidrologik tahlil, LCOE, loyqalanish.

ABSTRACT

Ushbu maqolada mikroGES (o‘rnatilgan quvvati 100 kVt gacha bo‘lgan gidroelektrostansiyalar) loyihalashtirish amaliyotida turbina turini tanlashning ilmiy-matematik asoslari tahlil qilingan. Tanlash jarayonining markaziy mezonlari — hisob-kitob bosim balandligi (Hnet), hisob-kitob suv sarfi (Qr) va solishtirma aylanishlar soni (ns) — analitik ifodalangan va Pearson III, Colebrook-White, energetik balans tenglamalaridan foydalangan holda hisob-kitoblar o‘tkazilgan. Pelton, Banki-Mishel, propeller, Kaplan va Arximed vinti turbinalari uchun qo‘llanish sohalari asoslantirilgan. Namangan viloyati tog‘ daryosi misolida to‘liq loyiha hisobi (Qr, Hnet, ns, LCOE, loyqalanish ta‘siri, sanitariy suv oqimi) keltirilgan. Hisob-kitoblar shuni ko‘rsatdiki, berilgan sharoit uchun Banki-Mishel turbinasi LCOE = 0,032 \$/kVt-soat bilan Pelton turbinasiga nisbatan 37% iqtisodiy jihatdan samaraliroq.

Kichik va mikro gidroelektrostansiyalar (mikroGES) jahon energetikasida markazlashmagan elektr ta‘minotining istiqbolli yo‘nalishi sifatida tan olingan. Xalqaro energetika agentligi (IEA) ma‘lumotlariga ko‘ra, 2023 yilda kichik GES larning global o‘rnatilgan quvvati 78 GVt dan oshgan bo‘lib, bu ko‘rsatkich har yili 4–6% ga o‘sib bormoqda [1]. O‘rnatilgan quvvati 100 kVt gacha bo‘lgan mikroGES lar ayniqsa qishloq joylarda, tog‘li hududlarda va tarmoqqa ulanmagan (off-grid) zonalarda muhim ahamiyat kasb etadi.

O‘zbekiston Respublikasi uchun mikroGES ning ahamiyati bir necha jihatdan belgilanadi. Birinchidan, Farg‘ona vodiysi, Surxondaryo, Qashqadaryo va Namangan viloyatlarining tog‘ qismlarida gidroenergetik potensial hali to‘liq o‘zlashtirilmagan. Ikkinchidan, mamlakat «Yashil energetika» konsepsiyasi doirasida 2030 yilga qadar qayta tiklanadigan energiya manbalaridan elektr ishlab chiqarishni 40% ga yetkazishni maqsad qilgan [2]. Uchinchidan, tog‘li qishloqlarda sug‘orish infratuzilmasi (kanal, to‘g‘on, suv o‘tkazgich) mavjud bo‘lib, ular mikroGES bilan integratsiya uchun tayyor texnik baza hisoblanadi.

MikroGES loyihalashtirishning eng kritik bosqichlaridan biri — turbina turini tanlash. Bu qaror bir vaqtda texnik (FIK, ishonchlilik, cavitatsiya), iqtisodiy (kapital xarajat, ta'mirlash, amortizatsiya) va operatsion (boshqaruv murakkabligi, mahalliy xizmat imkoniyati) omillarni qamrab oladi. Amaliyotda ko'p uchraydigan xatolik — faqat quvvat bo'yicha turbina tanlash — gidrologik rejim o'zgaruvchanligi e'tiborga olinmaganligi sababli yillik energiya ishlab chiqarishning 20–35% ga kamayishiga olib keladi [3].

Tadqiqot maqsadi: mikroGES loyihalashtirish uchun gidrologik va gidravlik xarakteristikalar asosida turbina turini tanlashning ilmiy-matematik asoslantirilgan kompleks metodikasini ishlab chiqish va O'zbekiston sharoitida sinovdan o'tkazish.

Adabiyotlar sharhi

Turbina tanlash masalasi xorijiy va mahalliy ilmiy adabiyotlarda keng ko'rib chiqilgan. Paish (2002) kichik gidroenergetika texnologiyalarini tizimli tahlil qilib, turbina turlarini qo'llanish sohalari bo'yicha H–Q diagrammasida tasniflagan [4]. Gordon (2001) solishtirma aylanishlar soni (ns) kontseptsiyasini turbina tanlash algoritmgiga integratsiya qilish metodikasini ishlab chiqqan [5]. Thake (2000) Pelton turbinasi uchun amaliy loyihalash qo'llanmasini taqdim etgan bo'lib, unda solishtirma sarflar va solishtirma tezliklar orqali rotor geometriyasini aniqlash usullari keltirilgan [8].

Markaziy Osiyo mintaqasida mikroGES bo'yicha tadqiqotlar Mirzayev va Xasanov (2021) ishlarida keltirilgan: O'zbekiston tog' daryolari uchun gidrologik o'zgaruvchanlik koeffitsienti ($C_v = 0,28-0,61$) va uning energetik ishlab chiqarishga ta'siri miqdoriy baholangan [6]. Ergashev (2019) Surxondaryo havzasida 12 ta potensial mikroGES joyi uchun turbina tanlash tahlilini o'tkazgan va Banki-Mishel turbinasining mahalliy sharoitlarda ustunligini eksperimental yo'l bilan isbotlagan [7].

Biroq mavjud adabiyotlarda bir qator kamchiliklar mavjud: (1) loyqalanishning turbina xizmat muddatiga ta'siri miqdoriy jihatdan kam o'rganilgan; (2) off-grid tizimlar uchun gidrologik rejim va iste'mol grafisini moslashtirishning matematik modeli ishlab chiqilmagan; (3) O'zbekiston normativ hujjatlarida (O'zDSt, IIIHK) mikroGES uchun turbina tanlash bo'yicha batafsil ko'rsatmalar mavjud emas. Ushbu maqola ushbu bo'shliqni qisman to'ldirishga qaratilgan.

Material va metodlar

Hisob-kitob suv sarfini aniqlash

Turbina tanlashning boshlang'ich qadami — loyiha saytining gidrologik ma'lumotlarini tahlil qilish. Hisob-kitob suv sarfi (Q_r) ko'p yillik kuzatuv ma'lumotlari asosida 90% ta'minot ehtimoli ($P = 90\%$) uchun Pearson III taqsimoti qonuniga muvofiq aniqlanadi:

$$Q_r = \bar{Q} \cdot (1 + C_v \cdot \Phi(P)) \quad (1)$$

bu yerda: \bar{Q} — ko'p yillik o'rtacha suv sarfi (m^3/s); C_v — o'zgaruvchanlik koeffitsienti; $\Phi(P)$ — $P = 90\%$, $C_s/C_v = 2$ uchun Pearson III ordinatasi ($\Phi = -1,282$).

Hisob-kitob bosim balandligi

Turbina o'rnatilish nuqtasidagi hisob-kitob bosim balandligi gidravlik yo'qotishlarni hisobga olgan holda aniqlanadi:

$$H_{net} = H_{brutto} - h_f \quad (2)$$

$$h_f = \lambda \cdot (L/D) \cdot (V^2/2g) + \sum \xi_i \cdot (V^2/2g) \quad (3)$$

bu yerda: H_{brutto} — geoderik bosim balandligi (m); λ — Darcy-Weisbach ishqalanish koeffitsienti; L — quvur uzunligi (m); D — quvur diametri (m); V — oqim tezligi (m/s); ξ_i — mahalliy qarshilik koeffitsientlari.

Darcy-Weisbach koeffitsienti λ Colebrook-White tenglamasi bilan iteratsion usulda aniqlanadi:

$$1/\sqrt{\lambda} = -2 \cdot \log_{10}(\varepsilon/(3,7 \cdot D) + 2,51/(Re \cdot \sqrt{\lambda})) \quad (4)$$

bu yerda: ε — quvur devorining absolyut qo'pollik (po'lat quvur: $\varepsilon = 0,046$ mm); $Re = VD/\nu$ — Reynolds soni.

Turbina quvvatini hisoblash

MikroGES ning mexanik quvvati energetik balans tenglamasi asosida aniqlanadi:

$$N = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{net} \cdot \eta_{turb} \cdot \eta_{gen} \quad (5)$$

$$N \approx 8,5 \cdot Q \cdot H_{net} \cdot \eta \quad (kVt) \quad (6)$$

bu yerda $\eta = \eta_{turb} \cdot \eta_{gen}$ — umumiy FIK (0,72–0,88). Yillik energiya ishlab chiqarishi:

$$E_{yil} = N \cdot Tr \cdot k_z \quad (7)$$

bu yerda: Tr — yillik ishlash soatlari (5 000–7 500); k_z — zaxira koeffitsienti (0,85–0,95).

Solishtirma aylanishlar soni — turbina tanlashning asosiy mezon

Turbina turini tanlashning eng muhim texnik parametri — solishtirma aylanishlar soni (ns), u gidravlik o'xshashlik nazariyasiga asoslanadi:

$$ns = n \cdot \sqrt{Q / H_{net}^{3/4}} \quad (8)$$

$$n = 60 \cdot f / p \quad (9)$$

bu yerda: $f = 50$ Hz (O'zbekiston tarmog'i); p — pole juftliklari soni. ns ning optimal diapazoni tajriba asosida aniqlangan (1-jadval).

1-jadval. Turbina turlari va ns qiymatlari bo'yicha tasnifi

Turbina turi	ns (ayl/min)	Hnet (m)	Q (m ³ /s)	η_{max} (%)	Xususiyat
Pelton (1 qovurg'a)	5–30	200–2000	0,005–0,5	88–92	Impuls, yuqori H
Pelton (ko'p qovurg'a)	30–70	100–800	0,1–2,0	90–92	Impuls, o'rta H
Banki-Mishel	60–200	3–200	0,01–5,0	80–87	O'tish zona, sodda
Propeller	250–800	2–30	1,0–30	86–90	Doimiy sarflar
Kaplan	200–900	5–80	0,5–50	88–93	O'zgaruvchan sarflar
Arximed vinti	20–80	0,5–5	0,1–15	75–85	Ultra-past H, ekologik

Cavitatsiya tahlili

Turbinaning o'rnatilish balandligi (Hs) cavitatsiya shartini qondirishi lozim:

$$\sigma = (H_a - H_v - H_s) / H_{net} \geq \sigma_c \quad (10)$$

$$\sigma_c = \sigma_1 \cdot (ns/100)^2 \quad (11)$$

$$H_{s_max} = H_a - H_v - \sigma c \cdot H_{net} - \Delta H_{zap} \quad (12)$$

bu yerda: H_a — atmosfera bosimi (m): $H_a \approx 10,3 - z/900$; H_v — bug' bosimi ($T=12^\circ\text{C}$ da $H_v = 0,14$ m); σc — turbina turiga bog'liq koeffitsient (Kaplan: 1,5–2,5; Francis: 0,3–1,2); $\Delta H_{zap} = 0,5-1,0$ m — ishonchlilik zaxirasi.

Natijalar

. Amaliy hisob-kitob misoli — Namangan viloyati

Namangan viloyatidagi Chust tumani tog' daryosi uchun mikroGES loyihasi ko'rib chiqiladi. Dastlabki ma'lumotlar:

2-jadval. Loyiha saytining dastlabki gidrologik va texnik ma'lumotlari

Parametr	Belgi	Qiymat	Birlik
Ko'p yillik o'rtacha sarflar	\bar{Q}	1,85	m^3/s
O'zgaruvchanlik koeffitsienti	C_v	0,42	—
Asimmetriya koeffitsienti	C_s	0,84	—
Geoderik bosim balandligi	H_{brutto}	68,5	m
Quvur uzunligi	L	420	m
Quvur diametri (loyha)	D	0,45	m
Quvur materiali	—	Po'lat ($\varepsilon=0,046$ mm)	—
O'rtacha loyqalanish	C	1,8	kg/m^3
Dengiz sathidan balandlik	z	1 350	m

Hisob-kitob sarflari (1-formula, $P = 90\%$, $\Phi = -1,282$):

$$Q_r = 1,85 \cdot (1 + 0,42 \cdot (-1,282)) = 1,85 \cdot 0,462 = 0,855 \text{ m}^3/\text{s}$$

Oqim tezligi:

$$V = Q_r / (\pi \cdot D^2 / 4) = 0,855 / (\pi \cdot 0,45^2 / 4) = 0,855 / 0,1590 = 5,38 \text{ m/s}$$

Reynolds soni ($\nu = 1,01 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$):

$$Re = 5,38 \cdot 0,45 / (1,01 \cdot 10^{-6}) = 2,39 \cdot 10^6$$

Colebrook-White (4-formula, iteratsiya):

$$1/\sqrt{\lambda} = -2 \cdot \log_{10}(0,046 / (3,7 \cdot 450) + 2,51 / (2,39 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\lambda})) \rightarrow \lambda = 0,0145$$

Ishqalanish yo'qotishlari:

$$h_{f_uzun} = 0,0145 \cdot (420/0,45) \cdot (5,38^2/19,62) = 0,0145 \cdot 933 \cdot 1,475 = 19,96 \text{ m}$$

Mahalliy yo'qotishlar (kirish $\xi=0,5$; klapan $\xi=0,8$; chiqish $\xi=0,7$; $\Sigma\xi=2,0$):

$$h_{f_lok} = 2,0 \cdot (5,38^2/19,62) = 2,0 \cdot 1,475 = 2,95 \text{ m}$$

Hisob-kitob bosim balandligi (2-formula):

$$H_{net} = 68,5 - 19,96 - 2,95 = 45,59 \text{ m}$$

Loyiha quvvati (6-formula, $\eta = 0,80$):

$$N = 8,5 \cdot 0,855 \cdot 45,59 \cdot 0,80 = 264,3 \text{ kVt} \approx 264 \text{ kVt}$$

Yillik energiya (7-formula, $T_r = 6\ 200$ soat, $k_z = 0,90$):

$$E_{yil} = 264 \cdot 6\ 200 \cdot 0,90 = 1\ 472\ 832 \text{ kVt}\cdot\text{soat} \approx 1,47 \text{ GVt}\cdot\text{soat/yil}$$

Solishtirma aylanishlar soni (8-formula). $f = 50 \text{ Hz}$, $p = 4 \rightarrow n = 750 \text{ ayl/min}$:

$$n_s = 750 \cdot \sqrt[3]{0,855 / 45,59} = 750 \cdot 0,925 / 17,28 = 40,1 \text{ ayl/min}$$

$n_s = 40,1$ qiymati 1-jadval bo'yicha **Pelton turbinasi (ko'p qovurg'a, $n_s = 30-70$)**

zonasiga to'g'ri keladi. Biroq $H_{net} = 45,6 \text{ m}$ Pelton uchun chegaraviy qiymat (tavsiya: $H > 50 \text{ m}$) yaqinida bo'lganligi sababli Banki-Mishel turbinasi ham taqqoslov uchun ko'rib chiqiladi ($p = 6$, $n = 500 \text{ ayl/min}$, $n_s = 500 \cdot 0,925 / 17,28 = 26,8$).

3-jadval. Ikkita turbina varianti texnik-iqtisodiy taqqoslanishi

Parametr	Pelton (2 qovurg'a)	Banki-Mishel	Birlik
Hisob-kitob bosim	45,6	45,6	m
Hisob-kitob sarflar	0,855	0,855	m^3/s
n_s	40,1	26,8	ayl/min
FIK (η_{turb})	0,87	0,83	—
Loyiha quvvati	281	263	kVt
Kapital xarajat	420 000	260 000	USD
Yillik OPEX	21 000	13 000	USD/yil
Mahalliy ishlab chiqarish	Yo'q	Ha	—
Loyqa ta'siri	Yuqori (impuls)	O'rta	—
Texnik xizmat	O'rta	Sodda	—

LCOE taqqoslanishi

Kapital daromad koeffitsienti (CRF) $i = 12\%$, $n = 25$ yil uchun:

$$CRF = i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1] = 0,12 \cdot 1,12^{25} / [1,12^{25} - 1] = 0,1275 \quad (13)$$

LCOE (daromad birligining tannarxi) formulasi:

$$LCOE = (CAPEX \cdot CRF + OPEX) / E_{yil} \quad (14)$$

Pelton uchun:

$$LCOE_P = (420\ 000 \cdot 0,1275 + 21\ 000) / 1\ 472\ 832 = 74\ 550 / 1\ 472\ 832 = 0,0506 \text{ \$/kVt}\cdot\text{soat}$$

Banki-Mishel uchun ($E_{yil} = 1\ 443\ 375 \text{ kVt}\cdot\text{soat}$, $\eta_{BM} = 0,83$):

$$LCOE_{BM} = (260\ 000 \cdot 0,1275 + 13\ 000) / 1\ 443\ 375 = 46\ 150 / 1\ 443\ 375 = 0,0320 \text{ \$/kVt}\cdot\text{soat}$$

LCOE farqi: $(0,0506 - 0,0320) / 0,0506 = 36,8\% \approx 37\%$. **Banki-Mishel turbinasi iqtisodiy**

jihatdan aniq ustunlikka ega.

Loyqalanish omilini miqdoriy baholash

O'rtacha loyqalanish $C = 1,8 \text{ kg/m}^3$ bo'lganda turbina materialiga erozion ta'sir hisoblanadi. Turbina xizmat muddatini empirik formula (Taggart, 1980):

$$T_{serv} = T_0 / (1 + k_{ab} \cdot C^m \cdot V^n) \quad (15)$$

koefitsientlar: $k_{ab} = 0,035$; $m = 1,2$; $n = 2,4$. $T_0 = 50\,000$ soat (standart); $C = 1,8 \text{ kg/m}^3$; $V = 5,38 \text{ m/s}$:

$$T_{serv} = 50\,000 / (1 + 0,035 \cdot 1,8^{1,2} \cdot 5,38^{2,4}) = 50\,000 / (1 + 0,035 \cdot 2,08 \cdot 46,5) = 50\,000 / 4,39 \approx 11\,390 \text{ soat}$$

Desandersiz yiliga $\sim 1\,500$ – $2\,000$ soat ishlash rejimida bu xizmat muddati 5,7–7,6 yilni tashkil etadi — bu iqtisodiy jihatdan qabul qilib bo'lmas. Shuning uchun loyiha tarkibiga desander (loyqa tutgich) qurilmasi kiritilishi shart. Desander samaradorligi $d_{50} > 0,2 \text{ mm}$ zarrachalarni 95% gacha ushlab qolish bo'lsa, hisob-kitob bo'yicha $T_{serv} \approx 38\,000$ soatga oshadi.

Ekologik cheklov — sanitariy suv oqimi

O'zR QHM 1.5.02-03 ga muvofiq daryo o'zanida minimal sanitariy suv oqimi ta'minlanishi lozim:

$$Q_{san} \geq 0,10 \cdot \bar{Q} \quad (\text{yil davomida}) \quad (16)$$

$$Q_{san} \geq 0,30 \cdot \bar{Q} \quad (\text{baliq ko'chirish davri: aprel–may}) \quad (17)$$

Loyiha saytida: $\bar{Q} = 1,85 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow Q_{san_min} = 0,185 \text{ m}^3/\text{s}$; baliq davri $\rightarrow Q_{san} = 0,555 \text{ m}^3/\text{s}$.

Baliq ko'chirish davrida turbinaga uzatiladigan haqiqiy sarflar:

$$Q_{turb} = Q_r - Q_{san} = 0,855 - 0,555 = 0,300 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$N_{min} = 8,5 \cdot 0,300 \cdot 45,59 \cdot 0,80 = 92,8 \text{ kVt}$$

Ya'ni, aprel–may oylarida (~ 60 kun) quvvat 92,8 kVt gacha tushadi. Bu holda yillik energiya aniqrog'i:

$$E_{yil_aniq} = 263 \cdot 5\,920 \cdot 0,90 + 92,8 \cdot 480 \cdot 0,90 = 1\,401\,984 + 40\,089 = 1\,442\,073 \text{ kVt}\cdot\text{soat} \approx 1,44 \text{ GVt}\cdot\text{soat}$$

Muhokama

Qisman yukda FIK tahlili

O'zgaruvchanlik koefitsienti $C_v = 0,42$ bo'lganda past to'linsuv yillarida sarflar $Q_{min} \approx 0,30 \text{ m}^3/\text{s}$ gacha tushishi mumkin. Nisbiy sarflar $q = Q/Q_r = 0,30/0,855 = 0,35$. Banki-Mishel turbinasi uchun qisman yukda FIK o'zgarishi:

$$\eta(q) = \eta_{max} \cdot [1 - \beta \cdot (1 - q)^2] \quad (18)$$

$\beta = 0,20$ (Banki-Mishel uchun tipik qiymat). $q = 0,35$ da:

$$\eta(0,35) = 0,83 \cdot [1 - 0,20 \cdot (1 - 0,35)^2] = 0,83 \cdot [1 - 0,20 \cdot 0,4225] = 0,83 \cdot 0,9155 = 0,760$$

Ya'ni minimal sarflarda ham FIK 76% dan kamaymas. Pelton turbinasida $\beta \approx 0,10$ bo'lib, $\eta(0,35) = 0,87 \cdot (1 - 0,10 \cdot 0,4225) = 0,87 \cdot 0,9578 = 0,833$. Pelton bu ko'rsatkich bo'yicha ustun, lekin narx farqi va loyqalanishga sezgirligi hisobga olinganda umumiy balans Banki-Mishel foydasiga hal bo'ladi.

Cavitatsiya tekshiruvi

Dengiz sathidan 1 350 m balandlikda atmosfera bosimi:

$$H_a = 10,3 - 1350/900 = 10,3 - 1,50 = 8,80 \text{ m}$$

$T = 12^\circ\text{C}$ da $H_v = 0,14 \text{ m}$. Banki-Mishel havo muhitida ishlashi sababli cavitatsiya tavakkalchiligi minimal ($\sigma < 0,01$). Pelton uchun σ amalda 0 (havo atmosfera bilan), shuning uchun ikkala turbina uchun cavitatsiya shartlari qondirilgan.

Agar kelajakda Kaplan turbinasi ko'rilsa (yuqori $n_s = 400$ holati uchun), $\sigma_c = 1,5 \cdot (400/100)^2 = 24$ — bu g'ayrireal qiymat, ya'ni Kaplan bu H uchun mutlaqo yaroqsiz ekanini yana bir bor tasdiqlaydi.

Cheklovlar va kelajak tadqiqotlar

Ishlab chiqilgan metodikaning cheklovlari: (1) hisob-kitobda chiqim hidrografi (flow duration curve) to'liq tahlil qilinmagan — bu Eyil aniqligiga $\pm 8-12\%$ xato berishi mumkin; (2) seysmik ta'sir va muz hosil bo'lish xatarlari ko'rib chiqilmagan; (3) tarmoqqa qo'shilish xarajatlari LCOE hisoblashga kiritilmagan.

Kelajak tadqiqotlar uchun istiqbolli yo'nalish — chiqim hidrografini to'liq integratsiya qilib Eyil ni Monte-Karlo metodi orqali ehtimoliy baholash, shuningdek sun'iy intellekt usullarini (mashinali o'qitish) qo'llab ko'p parametrlil optimizatsiya asosida turbina tanlashni avtomatlashtirishdir.

Xulosa

Olib borilgan ilmiy-matematik tahlil quyidagi asosiy xulosalarga imkon berdi:

1. Turbina tanlash uchun markaziy matematik mezon — solishtirma aylanishlar soni n_s (8-formula) — H va Q parametrlarini mexanik rejim bilan birlashtirib, universal tasniflash imkonini beradi. n_s ning to'g'ri hisoblanishi loyiha quvvatini 15–25% oshirishga yordam beradi.

2. Hisob-kitob bo'yicha $H_{net} = 45,6$ m va $Q_r = 0,855$ m³/s bo'lganda $n_s = 26,8-40,1$ qiymati Pelton va Banki-Mishel turbinalarining chegaraviy zonasiga to'g'ri keladi. LCOE tahlili (14-formula) Banki-Mishel turbinasining 37% iqtisodiy ustunligini isbotladi (0,032 va 0,051 \$/kVt·soat).

3. Loyqalanish ($C = 1,8$ kg/m³) desandersiz turbina xizmat muddatini 50 000 soatdan ~11 390 soatga (77%) qisqartirishini (15-formula) ko'rsatdi. Desander qurilmasi sarmoyasi loyiha tarkibiga majburiy kiritilishi lozim.

4. Sanitariy suv oqimi talablari (16-17-formulalar) baliq ko'chirish davrida turbina quvvatini 263 dan 93 kVt gacha cheklaydi. Aniqroq hisob-kitob bo'yicha Eyil = 1,44 GVt·soat/yil (taxminiy qiymatdan 2,1% kam).

5. O'zbekiston tog'li hududlari uchun quyidagi turbina tanlash tavsiyalari ishlab chiqildi: $H > 100$ m — Pelton; $H = 10-100$ m, kichik Q — Banki-Mishel; $H = 5-80$ m, o'zgaruvchan Q — Kaplan; $H < 5$ m — Arximed vinti. Loyqalanish $> 1,5$ kg/m³ bo'lganda har qanday turbina uchun desander majburiy.

References:

- [1] International Energy Agency (IEA). Hydropower Special Market Report. — Paris: IEA, 2023. — 147 p.
- [2] O'zbekiston Respublikasi Prezidentining PQ-60-son Qarori «Yashil energetika bo'yicha chora-tadbirlar to'g'risida». — Toshkent, 2022.
- [3] Kaltschmitt M., Streicher W., Wiese A. Renewable Energy: Technology, Economics and Environment. — Berlin: Springer, 2007. — 564 p.
- [4] Paish O. Small hydro power: technology and current status // Renewable and Sustainable Energy Reviews. — 2002. — Vol. 6, No. 6. — P. 537–556. DOI: 10.1016/S1364-0321(02)00006-0

- [5] Gordon J.L. Turbine selection for small, low-head hydro developments // Water Power and Dam Construction. — 2001. — Vol. 53, No. 4. — P. 22–27.
- [6] Mirzayev N.N., Xasanov D.R. O'zbekistonda kichik gidroenergetikaning rivojlanish istiqbollari // Energetika muammolari. — Toshkent, 2021. — №3. — B. 12–19.
- [7] Ergashev R.R. Surxondaryo havzasida mikroGES joylarini baholash: gidrologik tahlil // O'zMU xabarlari. — 2019. — №2. — B. 45–52.
- [8] Thake J. The Micro-Hydro Pelton Turbine Manual. — London: ITDG Publishing, 2000. — 168 p.
- [9] Taggart R.A. Abrasion in hydraulic machinery // Wear. — 1980. — Vol. 63, No. 1. — P. 43–56.
- [10] IEC 60193:2019. Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines — Model acceptance tests. — Geneva: IEC, 2019.
- [11] O'zR QHM 1.5.02-03. Suv resurslaridan foydalanish tartibi va ekologik talablar. — Toshkent: O'zstandart, 2003.

