ISNN 3030-3907

2026
JUNE
ISSUE - 6
VOLUME -6

DEVELOPMENT OF SCIENCE

scientific journal



Development of science

Ilmiy jurnal

IYUN 2026
Issue - 6, VOLUME – 6

ISSN 3030 -3907

Ilmiy jurnal OAK rayosatining 2024 yil 27 sentabrdagi 361-son qaroriga asosan 02.00.00 kimyo fanlari hamda 2025 yil 12 fevral 367- son qaroriga asosan 05.00.00 texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) va fan doktori (DSc) ilmiy darajasiga talabgorlarning dissertatsiya ishlari yuzasidan dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro‘yxatiga kiritilgan.

BOSH MUHARRIR:
Temirov Alisher Hoshim o‘g‘li – texnika fanlari falsafa doktori (PhD),Dotsent.
TAHRIRIYAT KENGASH RAISI:
Fozilov Sadriddin Fayzullayevich – texnika fanlari doktori, professor
TAHRIRIYAT KENGASH A’ZOLARI

TEXNIKA FANLARI/ TECHNICAL SCIENCES/ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Bozorov G‘ayrat Rashidovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Abdurahmonov Olim Rustamovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Adizov Bobur Zamirovich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Umumiy va noorganik kimyo instituti, professor
Hayitov Ruslan Rustamjonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Jumayev Qayum Karimovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Berdiyev Dorob Murodovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor
Maxmudov Rafiq Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Tilloyev Lochin Ismatilloyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Raxmonov Qahramon Sanakulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Barakayev Nusratullo Rajabovich
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti, professor.
Jo‘rayev Xayrullo Fayziyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Panoyev Erali Rajabboyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Ataullayev Sherzod Nabiullyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Malik Negmurodovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Axmedova Ozoda Bahronovna
Islom Karimov nomidagi Toshkent Davlat Texnika Universiteti.
Safarov Bahri Jumayevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Xaydarov Axtam Amonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Safarov Jasur Alijon o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

KIMYO FANLARI/ CHEMICAL SCIENCES/ ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Axmedov Voxid Nizomovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Umarov Baqo Bafoyevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Kodirov Abduaxad Abduraximovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Qurbonov Mingniqul Jumagulovich
Qarshi davlat Universiteti, dotsent
Turemuratov Sharibay Naurizbaevich
O‘zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi Qoraqalpog‘iston bo‘limi Bosh ilmiy kotibi, professor
Tursunov Kaxor Shonazarovich
Qarshi davlat Universiteti, professor
Do‘stov Hamro
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor
Panoyev Nodir Shavkatovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Olimov Bobur Bahodir o‘g‘li
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Kasimov Sherzod Abduazimovich
Termiz Davlat Universiteti, professor.
Aliqulov Rustam Valiyevich
Termiz Davlat Universiteti, professor
Tropov Xamza Tursunovich
Samarqand Davlat Universiteti, professor

IQTISODIYOT FANLARI/ ECONOMICS/ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Nizamov Aslitdin Badreddinovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Boboyev Akmal Choriyevich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Ergashxojayeva Shaxnoza Djasurovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Saidaxmedova Nodira Ilxomovna
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, professor
Muxsinov Bekzod Toxirovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shakarov Qulmat Ashirovich
Renessans ta'lim universiteti,dotsent.
Jumaeva Zulfiya Qayumovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Norova Salomat Yusupovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Avezova Shaxnoza Maxmudjonovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Jalilov Jamshid G‘anijonovich
Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti, dotsent
Xasanova Gulruh Djumanazarovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.

PEDAGOGIKA FANLARI/ PEDAGOGICAL SCIENCES / ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Siddiqova Sadoqat G‘afforovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Zoyirov Erkin Xalilovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, DSc, professor
Gaffarov Feruz Hasanovich
Puchon Universiteti, *professor*
Ruziyev Davron Yuldashevich
Buxoro Davlat Universiteti, professor
Muradova Firuza Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Yunusova Gulandon Samiyevna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
To‘xtayeva Zebo Sharifovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, professor.
Navro‘zova Gulchixra Nigmatovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Uzoqova Laylo Polvonovna
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.
To‘raqulova Marjona Qiyom qizi
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Muradova Zarina Rashidovna
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Murodov Sanjar Aslonovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent.
Shodiyev Jahongir Jo‘raqulovich
Buxoro Davlat Texnika Universiteti, dotsent
Gaffarov Laziz Hasanovich
Buxoro muhandislik – texnologiya instituti, dotsent.

Tahririyat a’zolarning to‘liq ro‘yxati jurnalning www.devos.uz saytida keltirilgan.

Tahririyat hay’ati a’zolarining tarkibini o‘zgartirish hamda qo‘shimcha kiritish yoki tahririyat a’zoligidan chiqarish bosh muharrir tomonidan amalga oshiriladi.

ISSN 3030-3907

Development of science ilmiy jurnali 2024 yil 15 aprel kuni №256445 sonli guvohnoma bilan Davlat ro‘yxatidan o‘tgan.

To‘plam elektron ko‘rinishda (pdf formatida) mualliflarga taqdim etiladi. To‘plamga kiritiladigan maqolalarning mazmuni, ulardagi statistik ma’lumotlar va me’yoriy hujjatlarning to‘g‘riligiga hamda har qanday fikr - mulohazalarga mualliflarning o‘zlari mas’ul hisoblanadilar. Talablarga javob bermaydigan maqolalar to‘plamga kiritilmaydi. Tashkiliy qo‘mita maqola matnini qisqartirish, qisman tuzatish kiritish, seksiyalarga joylashtirish huquqiga ega.

ISSN 3030-3907

UDK 621.311.21:626.8

SUG‘ORISH KANALLARIDA PAST NAPORLI MIKROGIDROELEKTROSTANSIYALARNI LOYIHALASH: GIDRAVLIK-ENERGETIK HISOBLAR VA TEXNIK-IQTISODIY ASOSLASH

Urishev Boboraim
Texnika fanlari doktori (DSc), professor
ORCID: 0009-0004-6546-8226
E-mail: bob-urishev@mail.ru
Ochilov Obid Boymurod o‘g‘li
Tadqiqotchi
ORCID: 0000-0002-1172-4747
E-mail: obidbekochilov@bk.ru
Quvatov Ulug‘bek Jalolovich
Texnika fanlari falsafa doktori (PhD), dotsent
ORCID: 0009-0002-3138-963X
E-mail: u.quvvatov@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada O‘zbekistonning mavjud sug‘orish kanallari infratuzilmasidan qo‘shimcha qayta tiklanuvchi elektr energiyasi olish imkoniyatlari past naporli mikrogidroelektrostansiya (mikroGES) misolida tadqiq qilingan. Qashqadaryo viloyatidagi namunaviy kanal obyekti uchun gidravlik (brutto va foydali napor, gidravlik yo‘qotishlar, oqim rejimi), energetik (nazariy, texnik va elektr quvvati) hamda texnik-iqtisodiy hisoblar bajarilgan. Turbina turini tanlash ko‘p mezonli og‘irlangan baholash usuli yordamida asoslanib, past napor va mavsumiy o‘zgaruvchan suv sarfi sharoitida Banki (cross-flow) turbinasi ustun deb topilgan. Hisoblar foydali napor 1,68 m, elektr quvvati 7,10 kVt, yillik energiya ishlab chiqarish 65 577 kVt·soat va quvvatdan foydalanish koeffitsienti 74,9 % ekanligini ko‘rsatdi. Texnik-iqtisodiy baholashda investitsiya qiymati 267,8 mln so‘m, ichki rentabellik darajasi 20,1 %, tekislangan energiya tannarxi (LCOE) 659 so‘m/kVt·soat va oddiy qoplanish muddati 4,65 yil bo‘lib, loyihaning iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiqligini tasdiqladi. Tadqiqot natijalari past naporli sug‘orish kanallarida mikroGES qurilmalarini loyihalashda metodik asos sifatida foydalanilishi mumkin.

Kalit so‘zlar: mikrogidroelektrostansiya, sug‘orish kanali, past napor, Banki turbinasi, foydali napor, qayta tiklanuvchi energiya, ko‘p mezonli baholash, texnik-iqtisodiy baholash, LCOE, quvvatdan foydalanish koeffitsienti.

Abstract. This paper investigates the potential of generating additional renewable electricity from Uzbekistan‘s existing irrigation-canal infrastructure, using a low-head micro-hydroelectric power plant (micro-HPP) as a case study. For a

representative canal object in the Kashkadarya region, hydraulic (gross and net head, losses, flow regime), energy (theoretical, technical and electrical power) and techno-economic calculations were performed. The turbine type was selected using a multi-criteria weighted assessment method; under low-head and seasonally variable discharge conditions, the Banki (cross-flow) turbine proved superior. The calculations yielded a net head of 1.68 m, an electrical power of 7.10 kW, an annual energy output of 65,577 kWh and a capacity factor of 74.9 %. The techno-economic assessment produced an investment cost of 267.8 million UZS, an internal rate of return of 20.1 %, a levelised cost of energy (LCOE) of 659 UZS/kWh and a simple payback period of 4.65 years, confirming the economic feasibility of the project. The results can serve as a methodological basis for designing micro-HPP installations on low-head irrigation canals.

Keywords: micro-hydroelectric power plant, irrigation canal, low head, Banki turbine, net head, renewable energy, multi-criteria assessment, techno-economic assessment, LCOE, capacity factor.

Аннотация. В статье рассматриваются возможности получения дополнительной возобновляемой электроэнергии из существующей ирригационной инфраструктуры Узбекистана на примере низконапорной микрогидроэлектростанции (микроГЭС). Для типового гидротехнического сооружения в Кашкадарьинской области выполнены гидравлические (общий и полезный напор, гидравлические потери, режим течения), энергетические (теоретическая, техническая и электрическая мощность) и технико-экономические расчеты. Выбор типа турбины был сделан на основе метода многокритериальной взвешенной оценки, и в условиях низкого напора и сезонно изменчивого расхода воды была признана лучшей турбина Банки (поперечного потока). По данным расчетов, полезный напор составил 1,68 м, электрическая мощность — 7,10 кВт, годовая выработка электроэнергии — 65 577 кВт·ч, а коэффициент использования мощности — 74,9%. Сумы, с внутренней нормой прибыли 20,1%, с выравниванием затрат на энергию (LCOE) 659 Сум/кВт·ч и нормальным сроком окупаемости 4,65 года, что подтвердило экономическую целесообразность проекта. Результаты исследования могут быть использованы в качестве методической основы при проектировании микроГЭС на низконапорных оросительных каналах.

Ключевые слова: микрогидроэлектростанция, оросительный канал, низкий напор, турбина Банки, полезный напор, возобновляемая энергия, многокритериальная оценка, технико-экономическая оценка, LCOE, коэффициент использования мощности.

KIRISH.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish O‘zbekiston energetika siyosatining ustuvor yo‘nalishlaridan biridir. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 28-martdagi PQ-129-son qarori hamda “Suv va suvdan foydalanish to‘g‘risida”gi qonun mavjud suv-energetika resurslaridan oqilona foydalanish va kichik gidroenergetikani kengaytirish uchun huquqiy asos yaratadi. Taqsimlangan kichik va mikro quvvatli generatsiya manbalari elektr tarmog‘idagi yo‘qotishlarni kamaytiradi va uzoq joylashgan qishloq xo‘jaligi iste‘molchilarini mahalliy energiya bilan ta‘minlash imkonini beradi.

Respublikaning keng tarmoqli sug‘orish kanallari tizimi hozircha to‘liq o‘zlashtirilmagan katta gidroenergetik salohiyatga ega. Mavjud kanallarda barqaror suv oqimi va sath farqining mavjudligi yangi suv ombori qurmasdan past naporli mikroGES o‘rnatish imkonini beradi. Bunday yechim kapital xarajatlarni sezilarli kamaytiradi, yer resurslariga qo‘shimcha bosim o‘tkazmaydi va kanalning birlamchi — sug‘orish — vazifasini buzmaydi.

Past naporli ($H < 3–5$ m) obyektlarni energetik o‘zlashtirishning asosiy muammosi shundaki, an‘anaviy yuqori naporli turbinalar bunday sharoitda samarasiz ishlaydi. Shu sababli turbina turini to‘g‘ri tanlash, gidravlik yo‘qotishlarni ishonchli baholash va loyihaning iqtisodiy maqsadga muvofiqligini asoslash zarur bo‘ladi. Amaliyotda ko‘pgina kichik loyihalarda ushbu masalalar yagona, tekshiriladigan metodika asosida yoritilmaydi, bu esa qaror qabul qilishni murakkablashtiradi.

Ushbu maqolaning maqsadi — Qashqadaryo viloyatidagi namunaviy sug‘orish kanali misolida past naporli mikroGESni loyihalashning kompleks metodikasini taklif etish va uni sonli natijalar bilan asoslashdir. Metodika gidravlik-energetik hisoblar, turbina turini ko‘p mezonli og‘irlangan baholash hamda texnik-iqtisodiy va ekologik baholashni o‘z ichiga oladi va o‘xshash past naporli kanal obyektlariga moslashtirilishi mumkin.

TADQIQOT OBYEKTI VA USULLARI.

Tadqiqot obyekti — Qashqadaryo viloyatida joylashgan namunaviy sug‘orish kanali bo‘lib, unga past naporli ochiq kanalga integratsiyalashgan mikroGES sxemasi qo‘llaniladi. Hisoblar dastlabki (loyiha oldi) bosqich uchun bajarilgan; yakuniy ko‘rsatkichlar dala o‘lchovlari bilan aniqlashtiriladi. Obyektning boshlang‘ich gidrologik va geometrik ko‘rsatkichlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

Boshlang‘ich ma‘lumotlar

Ma‘lumot nomi	Belgi	Birlik	Qiymat
Yuqori suv sathi	Z_1	m	5,00

ISSN 3030-3907

Ma‘lumot nomi	Belgi	Birlik	Qiymat
Quyi suv sathi	Z_2	m	3,20
Hisobiy suv sarfi	Q_{his}	m^3/s	0,600
80 % ta‘minlangan sarf	Q_{80}	m^3/s	0,528
90 % ta‘minlangan sarf	Q_{90}	m^3/s	0,480
Kanal eni	b	m	1,20
Suv chuqurligi	h	m	0,50
Oqim tezligi	v	m/s	1,00
Panjara oralig‘i	s	mm	25
Zatvor–turbina masofasi	L	m	0,60
Elektr tarmog‘igacha masofa	L_e	m	100

Hisoblash usullari.

Gidravlik hisob mavjud sathlar farqi va hisobiy sarfga asoslanadi. Brutto napor $H_{br} = Z_1 - Z_2$ sifatida, kesim yuzasi A, ho‘llangan perimetr χ, gidravlik radius $R = A/\chi$ va gidravlik diametr aniqlanadi. Oqim tezligi $v = Q/A$, oqim rejimi esa $Fr = v/\sqrt{(gh)}$ Frud soni orqali baholanadi. Gidravlik yo‘qotishlar ishqalanish $h_i = \lambda(L/D)\cdot h_v$ va mahalliy $\Sigma h_m = \Sigma\zeta\cdot h_v$ yig‘indisi sifatida hisoblanib, foydali napor $H_{foy} = H_{br} - \Sigma h_n$ ko‘rinishida olinadi (bu yerda $h_v = v^2/2g$ — tezlik boshi).

Energetik salohiyat nazariy $P_{naz} = 9{,}81\cdot Q\cdot H_{br}$, texnik $P_{tex} = 9{,}81\cdot Q\cdot H_{foy}$ va elektr quvvati $P_e = 9{,}81\cdot Q\cdot H_{foy}\cdot\eta$ formulalari bo‘yicha aniqlanadi. Bu yerda $\eta = 0{,}72$ — turbina, uzatma, generator va elektr qismidagi yo‘qotishlarni hisobga oluvchi umumiy foydali ish koeffitsienti (FIK).

Turbina turini tanlash ko‘p mezonli og‘irlangan baholash usuli yordamida amalga oshiriladi. Beshta mezon — Q–H mosligi (solishtirma aylanish soni n_s orqali), o‘zgaruvchan sarfga moslashuv, FIK, cho‘kindi va ekspluatatsiya sharoiti hamda iqtisodiylik — belgilangan vaznlar bilan baholanadi. Solishtirma aylanish soni $n_s = n\cdot\sqrt{P}/H_{foy}^{1,25}$ ko‘rsatkichi turbinaning ushbu obyektga gidravlik mosligini aks ettiradi. Taqqoslash uchun Banki (cross-flow), Kaplan va nasos-turbina rejimidagi PAT variantlari ko‘rib chiqiladi.

Tanlangan Banki turbinasining geometrik va kinematik parametrlari — kirish va aylana tezligi, aylanish chastotasi, ichki diametr, soplo ochilishi, konstruktiv eni hamda val momenti — standart cross-flow munosabatlari bo‘yicha hisoblanadi (to‘liq formulalar 6-jadvalda). Generatorning nominal toki $I = P/(\sqrt{3}\cdot U\cdot\cos\varphi\cdot\eta)$ dan topilib, himoya apparati va kabel kesimi shu qiymatga qarab tanlanadi.

ISSN 3030-3907

Yillik energiya oylik suv sarfi taqsimoti bo‘yicha Eyil = $\Sigma P_i \cdot t_i$ sifatida, oqimni vegetatsiya (aprel–sentabr) va novegetatsiya (oktabr–mart) davrlariga ajratgan holda hisoblanadi. Texnik-iqtisodiy baholash CAPEX (resurs usulidagi lokal smeta), OPEX, yillik daromad, NPV = $\Sigma CF_t/(1+r)_t$, IRR, LCOE, qoplanish muddatlari va CO_2 kamayishini qamrab oladi. Keyingi bosqichda oqim taqsimoti CFD modellashtirish bilan tekshiriladi.

NATIJALAR VA ULARNING MUHOKAMASI.

Gidravlik hisoblar natijalari

Sath farqi va kanal geometriyasidan kelib chiqib, brutto napor 1,80 m ni tashkil etdi; kesim yuzasi 0,600 m², ho‘llangan perimetr 2,200 m, shularga mos gidravlik radius 0,273 m va gidravlik diametr 1,09 m chiqdi. Oqim 1,00 m/s tezlikda harakatlanadi va Frud soni 0,452 ga teng — bu birdan kichik qiymat oqimning subkritik, ya’ni nisbatan sokin va boshqarishga qulay rejimda kechishini bildiradi. Shu sharoit uchun hisoblangan gidravlik yo‘qotishlar 2-jadvalda jamlangan.

2-jadval.

Gidravlik hisoblar

Ko‘rsatkich	Formula	Hisoblash	Natija	Birlik
Brutto napor	$H_{br} = Z_1 - Z_2$	5,00 − 3,20	1,80	m
Ho‘llangan perimetr	$\chi = b + 2h$	1,20 + 2·0,50	2,200	m
Gidravlik radius	$R = A/\chi$	0,600 / 2,200	0,273	m
Kesim yuzasi	$A = b \cdot h$	1,20·0,50	0,600	m²
Oqim tezligi	$v = Q/A$	0,600 / 0,600	1,00	m/s
Frud soni	$Fr = v/\sqrt{(gh)}$	1,00/√(9,81·0,50)	0,452	–
Tezlik boshi	$h_v = v^2/2g$	1,00²/(2·9,81)	0,051	m
Ishqalanish yo‘qotishi	$h_i = \lambda(L/D)h_v$	0,025·(10,9/1,09)·0,051	0,013	m
Mahalliy yo‘qotish	$\Sigma h_m = \Sigma\zeta \cdot h_v$	2,20·0,051	0,112	m
Umumiy yo‘qotish	$\Sigma h_n = h_i + \Sigma h_m$	0,013 + 0,112	0,125	m
Foydali napor	$H_{foy} = H_{br} - \Sigma h_n$	1,80 − 0,125	1,68	m
Yo‘qotish ulushi	$\Sigma h_n/H_{br} \cdot 100$	0,125/1,80·100	6,9	%

Umumiy yo‘qotishlar brutto naporning atigi 6,9 % ini yeb qo‘ydi, shu sababli loyiha oldi bosqichi uchun bu darajani maqbul deb hisoblash mumkin. Yakuniy

ISSN 3030-3907

loyihada esa ushbu raqam geodezik syomka, kanalning haqiqiy kesimi, panjara konstruksiyasi va CFD validatsiyasi orqali qaytadan tekshirilishi kerak.

Energetik potensial va turbina tanlovi

Foydali napor va hisobiy sarf bo‘yicha quvvat uch bosqichda baholandi: nazariy 10,59 kVt, texnik 9,86 kVt va generator chiqishidagi elektr quvvati 7,10 kVt (3-jadval). Nazariydan elektr quvvatigacha pasayish avval gidravlik yo‘qotishlar, so‘ngra umumiy FIK ta‘sirida yuzaga keladi.

3-jadval.

Energetik quvvat ko‘rsatkichlari

Quvvat turi	Formula	Hisoblash	Natija, kVt
Nazariy quvvat	$P_{naz} = 9{,}81 \cdot Q \cdot H_{br}$	9,81·0,600·1,80	10,59
Texnik quvvat	$P_{tex} = 9{,}81 \cdot Q \cdot H_{foy}$	9,81·0,600·1,68	9,86
Elektr quvvati	$P_e = 9{,}81 \cdot Q \cdot H_{foy} \cdot \eta$	9,81·0,600·1,68·0,72	7,10

Turbina tanlashda bitta quvvat ko‘rsatkichiga tayanib bo‘lmaydi: suv sarfining mavsumiy o‘zgarishi, cho‘kindi va loyqalik rejimi, servisning qulayligi, qurilma narxi hamda kichik obyektda montajning soddaligi — bularning bari birga hisobga olindi. Solishtirish tiniq bo‘lishi uchun uchala variant bir xil Q va Hfoy qiymatlarida hisoblanib, asosiy parametrlari 4-jadvalda yonma-yon keltirildi.

4-jadval.

Turbina variantlarini hisobiy taqqoslash

Parametr	Banki	Kaplan	PAT
Rotor diametri D_1, m	0,50	0,24	0,24
Aylanish soni n, ayl/min	102	666	1 500
Aylana tezligi u_1, m/s	2,67	8,31	18,81
Solishtirma aylanish soni n_s	150	1 036	2 038
Turbina FIKi η_t	0,80	0,89	0,68
Val quvvati, kVt	7,89	8,78	6,70
Elektr quvvati P_e, kVt	7,19	8,00	6,11
Val momenti M, N·m	693	106	47
Kuraklar soni z	28–36	3–5	5–7
Nisbiy narx koeffitsienti	1,00	1,45	0,72

Og‘irlangan baholash yakuni 5-jadval va 1-rasmda ko‘rsatilgan. Banki turbinasi 86,6 ballga (4,33/5) erishib, raqobatchilardan ajralib chiqdi. Uning

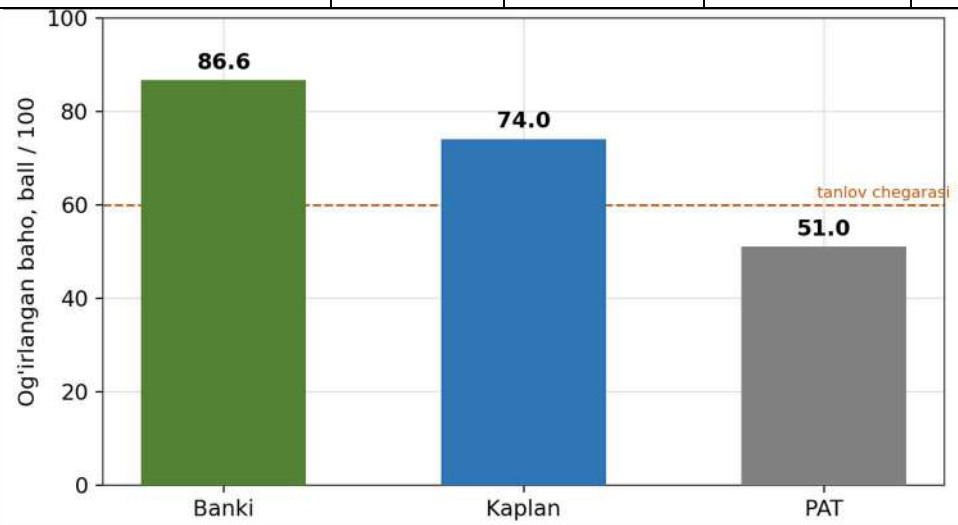
ISSN 3030-3907

ustunligi tasodifiy emas: aynan past napor va o‘zgaruvchan sarfga yaxshi moslashishi, konstruksiyasining soddaligi va arzonligi unga yuqori ball keltirdi.

5-jadval.

Turbina variantlarini og‘irlangan baholash

Mezon	Vazn	Banki	Kaplan	PAT
Q–H mosligi (n_s)	0,25	5,0	4,5	1,2
O‘zgaruvchan sarfga moslashuv	0,20	5,0	4,0	2,0
FIK	0,20	3,7	4,9	2,1
Cho‘kindi / ekspluatatsiya	0,15	4,0	3,0	3,0
Iqtisodiylik	0,20	3,7	1,7	4,9
Og‘irlangan jami (5 ballik)	1,00	4,33	3,70	2,55



1-rasm. Turbina variantlarining og‘irlangan jami bahosi, ball / 100

Banki turbinasi va generator parametrlari

Tanlangan Banki turbinasi uchun olib borilgan hisoblar va ulardan chiqqan natijalar 6-jadvalda berilgan. Hisobiy eni 1,60 m chiqdi; bunday uzunlikdagi rotorni yaxlit qoldirgandan ko‘ra, uni har biri 0,80 m li ikki modulga bo‘lish afzal. Bu yechim suv kam bo‘lgan paytda bitta modulni o‘chirib qo‘yish imkonini beradi, ya’ni qisman yuklamada ham turbina samarali ishlaydi.

6-jadval.

Banki turbinasi hisob formulalari

Parametr	Formula	Hisoblash	Natija
Kirish tezligi v_1	$v_1 = C_v\sqrt{(2gH_{foy})}$	$0{,}97\cdot\sqrt{(2\cdot 9{,}81\cdot 1{,}68)}$	5,56 m/s
Aylana tezligi u_1	$u_1 = K_u\cdot v_1$	$0{,}48\cdot 5{,}56$	2,67 m/s

ISSN 3030-3907

Parametr	Formula	Hisoblash	Natija
Aylanish chastotasi n	$n = 60u_1/(\pi D_1)$	$60 \cdot 2{,}67/(\pi \cdot 0{,}50)$	102 ayl/min
Ichki diametr D_2	$D_2 = k \cdot D_1$	$0{,}66 \cdot 0{,}50$	0,33 m
Soplo ochilishi a	$a = k \cdot D_1$	$0{,}15 \cdot 0{,}50$	0,075 m
Konstruktiv eni B	$B = Q/(Cd \cdot a \cdot v_1)$	$0{,}600/(0{,}90 \cdot 0{,}075 \cdot 5{,}56)$	1,60 m
Val momenti M	$M = 9550 \cdot P/n$	$9550 \cdot 7{,}39/102$	693 N·m

Generatorning nominal toki $I = P/(\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta)$ formulasidan $10{,}0 \cdot 1000/(1{,}732 \cdot 400 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}85) = 20{,}0$ A bo‘lib chiqdi. Aynan shu tok qiymati keyingi tanlovlarni belgilab berdi: unga zaxira bilan 20–25 A li himoya avtomati va kesimi 4–6 mm² bo‘lgan mis kabel mos keladi. Generator va elektr qismining boshqa ko‘rsatkichlari 7-jadvalga jamlangan.

7-jadval.

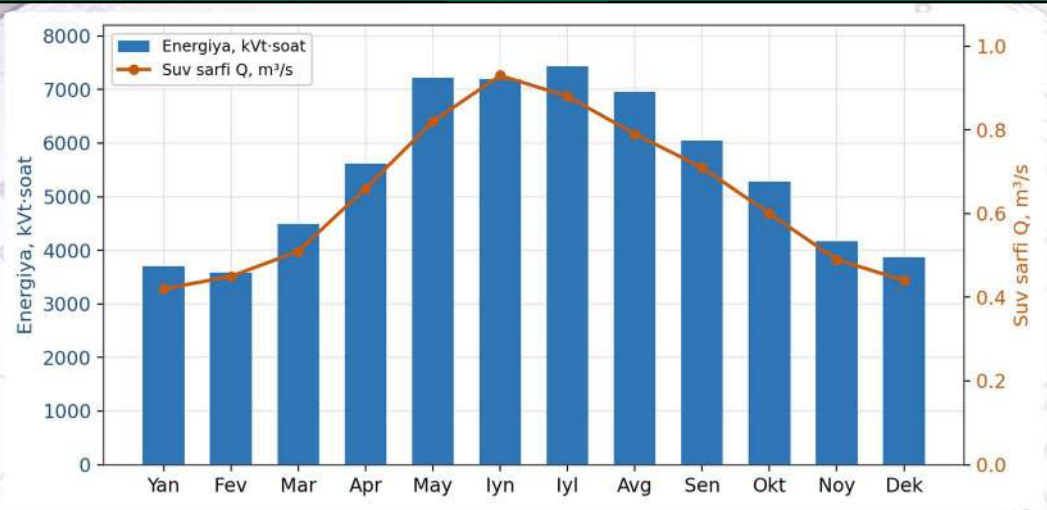
Generator va elektr qismi ko‘rsatkichlari

Ko‘rsatkich	Qiymat	Izoh
Hisobiy elektr quvvati	7,10 kVt	Generator chiqishida
Generator zaxirasi	1,20	Yuklama tebranishlari uchun
Tanlangan generator	10,0 kVt	Standart quvvat qatori bo‘yicha
Uzatma nisbati	14,71	1 500 ayl/min generator uchun
Nominal tok	20,0 A	400 V, 3 faza
Himoya avtomati	20–25 A	Tok bo‘yicha
Mis kabel	4–6 mm²	Masofa va tok bo‘yicha dastlabki tanlov

Yillik energiya ishlab chiqarish

Loyiha hududining oylik suv sarfi va energiya ishlab chiqarish taqsimoti 2-rasmda keltirilgan. O‘zbekistonning iqlimiy va sug‘orish sharoitlaridan kelib chiqib, yillik oqim vegetatsiya (aprel–sentabr) va novegetatsiya (oktabr–mart) davrlariga ajratildi (8-jadval).

ISSN 3030-3907



2-rasm. Oylik suv sarfi va elektr energiyasi ishlab chiqarish

8-jadval.

Energiya ishlab chiqarishning gidrologik davrlar bo‘yicha taqsimoti

Gidrologik davr	O‘rtacha Q, m³/s	O‘rtacha P, kVt	E_{yil}, kVt·soat	Ulush, %
Vegetatsiya (aprel–sentabr)	0,80	9,21	40 483	61,7
Novegetatsiya (oktabr–mart)	0,48	5,74	25 094	38,3
Jami / o‘rtacha	–	–	65 577	100,0

Yil davomida ishlab chiqariladigan energiya 65 577 kVt·soatga yetdi, quvvatdan foydalanish koeffitsienti esa 74,9 % ni berdi. Bunchalik yuqori koeffitsient kanal oqimining yil bo‘yi nisbatan tekis kelishidan kelib chiqadi. Shunga qaramay, ishlab chiqarishni sug‘orish jadvaliga moslab yuritish kerak — suv birinchi navbatda dehqonchilik uchun taqsimlanadi.

Texnik-iqtisodiy va ekologik baholash

Investitsiya qiymati resurs usulidagi lokal smeta bo‘yicha hisoblandi. Asosini to‘g‘ridan-to‘g‘ri xarajatlar — 186,64 mln so‘m tashkil etadi; ustiga ustama xarajatlar, reja foydasi, kutilmagan xarajatlar zaxirasi va QQS qo‘shilgach, loyihaning to‘liq qiymati 267,8 mln so‘mga chiqdi (9-jadval).

9-jadval.

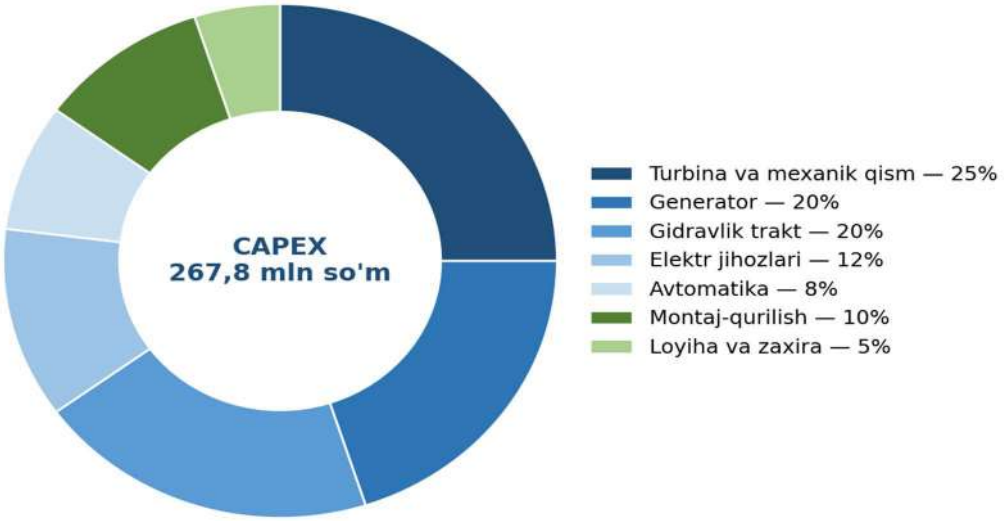
Smeta qiymatining shakllanishi

Ko‘rsatkich	Summa, so‘m
To‘g‘ridan-to‘g‘ri xarajatlar	186 640 000
Ustama xarajatlar (14 %)	26 129 600
Reja foydasi (8 %)	14 931 200

ISSN 3030-3907

Ko‘rsatkich	Summa, so‘m
Kutilmagan xarajatlar zaxirasi (5 %)	11 385 040
QQSsiz jami	239 085 840
QQS (12 %)	28 690 301
Jami smeta qiymati (CAPEX)	267 776 141

CAPEX ning yo‘nalishlar bo‘yicha taqsimoti 3-rasmda keltirilgan: eng katta ulush turbina-mexanik qism (25 %), generator va gidravlik trakt (har biri 20 %) hissasiga to‘g‘ri keladi. Asosiy texnik-iqtisodiy va ekologik ko‘rsatkichlar 10-jadvalda jamlangan.



3-rasm. CAPEX ning yo‘nalishlar bo‘yicha taqsimoti, %

10-jadval.

Texnik-iqtisodiy va ekologik ko‘rsatkichlar

Ko‘rsatkich	Qiymat	Izoh
OPEX	8 033 284 so‘m	Yillik ekspluatatsion xarajat
Yillik daromad	65 577 147 so‘m	E_{yil} × tarif
Sof pul oqimi	57 543 862 so‘m	Daromad − OPEX
Oddiy qoplanish	4,65 yil	CAPEX / sof pul oqimi
NPV	169 907 052 so‘m	Diskontlangan sof qiymat
IRR	20,1 %	NPV = 0 bo‘ladigan stavka
DPP	6,58 yil	Chegirmali qoplanish
LCOE	659 so‘m/kVt·soat	Tekislangan energiya tannarxi
CO_2 kamayishi	29,5 t/yil	E_{yil} × emissiya koeffitsienti

ISSN 3030-3907

Loyiha samaradorligining asosiy noaniqlik manbalari — elektr tarifi va CAPEX — bo‘yicha sezgirlik tahlili 11-jadvalda keltirilgan.

11-jadval.

Asosiy ko‘rsatkichlarning tarif va CAPEX o‘zgarishiga sezgirligi

Stsenariy	Yillik daromad, mln so‘m	Sof pul oqimi, mln so‘m	Oddiy qoplanish, yil	LCOE yo‘nalishi
Bazaviy	*65,6*	*57,5*	*4,65*	*659 so‘m/kVt·soat*
Tarif −15 %	*55,7*	*47,7*	*5,61*	*o‘zgarmaydi*
Tarif +15 %	*75,4*	*67,4*	*3,97*	*o‘zgarmaydi*
CAPEX −10 %	*65,6*	*57,5*	*4,19*	*↓ ≈ 609*
CAPEX +10 %	*65,6*	*57,5*	*5,12*	*↑ ≈ 709*

Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, loyiha tarifning 15 % ga pasayishiga ham bardosh beradi: bunday holatda oddiy qoplanish 4,65 yildan 5,61 yilga uzayadi, biroq IRR diskont stavkasidan yuqori va NPV musbatligicha qoladi. CAPEX 10 % ga oshsa, qoplanish 5,12 yilga cho‘ziladi va LCOE ≈ 709 so‘m/kVt·soatga ko‘tariladi. Demak loyihaning iqtisodiy barqarorligi asosan elektr tarifiga, kamroq darajada CAPEXga bog‘liq; har ikki parametrning maqbul oralig‘ida loyiha foydaliligicha qoladi.

Hisob-kitoblar mikroGES loyihasini moliyaviy jihatdan ishonchli ko‘rsatadi: NPV musbat, IRR diskont stavkasidan yuqori, qoplanish muddati esa nisbatan qisqa — uchchala belgi ham mablag‘ sarflashga arziydigan loyihaga ishora qiladi. Ekologik tarafdan ham yutuq bor: inshoot mavjud kanalga o‘rnatilgani uchun alohida suv ombori talab qilmaydi va yiliga taxminan 29,5 t CO_2 chiqindisini kamaytiradi. Muhim shart shuki, kanalning birlamchi vazifasi — sug‘orish saqlanadi: avariya yoki ta‘mirlash paytida suv bypass tarmog‘i orqali o‘tkaziladi, demak obyektning suv xo‘jaligidagi roli xavf ostida qolmaydi.

Tadqiqotning chegarasini ham ochiq aytib o‘tish kerak: barcha raqamlar loyiha oldi hisoblariga tayanadi. Yakuniy yechim dala geodeziyasi, gidrologik va geologik ma‘lumotlar hamda CFD modellashtirish natijalari bilan aniqlanishi shart. CFD tahlili oqimning trakt bo‘ylab barqaror taqsimlanishini tekshiradi; analitik Q/A qiymatlaridan og‘ish 5 % dan oshmasligi nazoratga olinadi.

XULOSA.

Qashqadaryo viloyatidagi namunaviy sug‘orish kanali misolida past naporli mikroGESni loyihalashning kompleks metodikasi ishlab chiqildi va sonli natijalar

ISSN 3030-3907

bilan asoslandi. Gidravlik hisoblarda foydali napor 1,68 m, yo‘qotishlar ulushi 6,9 %, oqim rejimi esa subkritik (Fr = 0,452) chiqdi. Ko‘p mezonli og‘irlangan baholash past napor va o‘zgaruvchan sarf sharoitida Banki turbinasini optimal variant (86,6 ball) sifatida ko‘rsatdi; unga mos hisobiy elektr quvvati 7,10 kVt, yillik energiya 65 577 kVt·soat va quvvatdan foydalanish koeffitsienti 74,9 % ni tashkil etdi.

Texnik-iqtisodiy baholashda investitsiya qiymati 267,8 mln so‘m, IRR 20,1 %, LCOE 659 so‘m/kVt·soat va oddiy qoplanish muddati 4,65 yil bo‘lib, loyiha iqtisodiy jihatdan maqsadga muvofiq. Inshoot mavjud kanalga o‘rnatilgani uchun qo‘shimcha yer va suv ombori talab qilmaydi va yiliga ≈ 29,5 t CO_2 chiqindisini kamaytiradi. Taklif etilgan metodika o‘xshash kanal obyektlariga moslashtirilishi mumkin; yakuniy yechim dala o‘lchovlari, gidrologik kuzatuvlar va CFD validatsiyasi bilan aniqlashtirilishi tavsiya etiladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2025-yil 28-martdagi PQ-129-son qarori.
2. “Suv va suvdan foydalanish to‘g‘risida”gi O‘zbekiston Respublikasi Qonuni.
3. ShNQ 2.06.01-24. Gidrotexnika inshootlari. – Toshkent: O‘zbekiston Respublikasi Qurilish vazirligi.
4. IEC 61116:1992. Electromechanical equipment guide for small hydroelectric installations. – Geneva: IEC.
5. IEC 60041:1991. Field acceptance tests to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines. – Geneva: IEC.
6. Mockmore C.A., Merryfield F. The Banki Water Turbine. Bulletin Series No. 25. – Corvallis: Oregon State College, Engineering Experiment Station, 1949.
7. Paish O. Small hydro power: technology and current status // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2002. – Vol. 6, No. 6. – P. 537–556.
8. Williamson S.J., Stark B.H., Booker J.D. Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis // Renewable Energy. – 2014. – Vol. 61. – P. 43–50.
9. European Small Hydropower Association (ESHA). Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. – Brussels: ESHA, 2004.

ISSN 3030-3907