

UO'K: 621.311.21

 10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.22

© 2026 Authors. Licensed under CC BY 4.0

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

IRRIGATSIYA KANALLARIDA MIKROGES ENERGIYA ISHLAB CHIQUARISHINI GIDROLOGIK STATISTIKA VA OPTIMALLASHTIRISH MODELI ASOSIDA BAHOLASH



Urishev Boboraim

Texnika fanlari doktori, professor,
Qarshi davlat texnika universiteti,
Qarshi, O'zbekiston
E-mail: bob-urishhev@mail.ru
ORCID ID: 0009-0004-6546-8226
Science ID: DQD-0525-0043



**Quvatov Ulug'bek
Jalolovich**

Texnika fanlari bo'yicha falsafa
doktori (PhD), Qarshi davlat
texnika universiteti, Qarshi,
O'zbekiston
E-mail: u.quvvatov@gmail.com
ORCID ID: 0009-0002-3138-963X
Science ID: FQD-0525-0005



**Ochilov Obid Boymurod
o'g'li**

Tadqiqotchi, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston
E-mail: obidbekochilov@bk.ru
ORCID ID: 0000-0002-1172-4747
Science ID: MQD-0625-0018



**Qulmatov Sanjar
Xolmumin o'g'li**

Tadqiqotchi, Qarshi davlat texnika
universiteti, Qarshi, O'zbekiston
E-mail: sanjarqulmatov0327@gmail.com
ORCID ID: 0009-0004-9748-6103
Science ID: MQD-0825-0060

Annotatsiya. Maqolada irrigatsiya kanallari va gidrotexnik inshootlarda mavjud suv oqimi energetik potensialidan mikroGESlar yordamida foydalanishni suv resurslarini boshqarish nuqtai nazaridan optimallashtirish masalalari tadqiq etilgan. R-10 kanalining 2016–2025-yillardagi gidrologik ma'lumotlari Pirson III tipidagi taqsimot yordamida statistik qayta ishlangan, variatsiya va asimmetriya koeffitsiyentlari hamda turli ta'minlanganlik darajalariga mos hisobiy suv sarflari aniqlangan. Sug'orish talabini ustuvor cheklov sifatida saqlagan holda gidroenergetik potensialdan foydalanishni maksimumlashtirishga qaratilgan optimallashtirish modeli ishlab chiqilgan. Suv sarfi, napor va quvvat balanslariga asoslangan mikroGES matematik modeli taklif etilgan, u energiya ishlab chiqarishni vaqt bo'yicha o'zgaruvchan gidrologik sharoitlarda prognozlash imkonini beradi.

Kalit so'zlar: mikroGES, gidrotexnik inshoot, irrigatsiya kanali, suv sarfi, Pirson III taqsimoti, ta'minlanganlik, optimallashtirish, suv-energiya balansi.

Received: 28.08.2026

Accepted: 05.09.2026

Issue publication: 28.09.2026

ОЦЕНКА ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ МИКРОГЭС В ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ НА ОСНОВЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ И МОДЕЛИ ОПТИМИЗАЦИИ

Уришев Бобораим

Доктор технических наук,
профессор, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

**Куватов Улугбек
Жалолович**

Доктор философии по
техническим наукам (PhD),
Каршинский государственный
технический университет,
Карши, Узбекистан

**Очилов Обид Боймурод
угли**

Исследователь, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

**Кулматов Санжар
Холмумин угли**

Исследователь, Каршинский
государственный технический
университет, Карши,
Узбекистан

Аннотация. В статье исследованы вопросы оптимизированного использования энергетического потенциала водного потока в оросительных каналах и гидротехнических сооружениях посредством микроГЭС с точки зрения управления водными ресурсами. Для статистической обработки гидрологических данных канала Р-10 за 2016–2025 гг. использовано распределение Пирсона III типа, определены коэффициенты вариации и асимметрии, а также расчётные расходы воды при различных уровнях обеспеченности. Разработана математическая модель оптимизации, максимизирующая выработку электроэнергии при сохранении приоритетного водообеспечения ирригационной системы. Предложена математическая модель на основе балансов расхода воды, напора и мощности, позволяющая прогнозировать выработку энергии в изменяющихся гидрологических условиях.

Ключевые слова: микроГЭС, гидротехническое сооружение, оросительный канал, расход воды, распределение Пирсона III, обеспеченность, оптимизация, водно-энергетический баланс.

ASSESSING MICRO HYDROPOWER GENERATION IN IRRIGATION CANALS BASED ON HYDROLOGICAL STATISTICS AND AN OPTIMIZATION MODEL

Urishev Boboraim

Doctor of Technical Sciences,
Professor, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

**Quvatov Ulugbek
Jalolovich**

Doctor of Philosophy (PhD) in
Technical Sciences, Karshi State
Technical University, Karshi,
Uzbekistan

**Ochilov Obid Boymurod
ugli**

Researcher, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

**Qulmatov Sanjar
Xolmumin ugli**

Researcher, Karshi State Technical
University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. The paper investigates the optimized utilization of hydropower potential available at irrigation canals and hydraulic structures by means of micro hydropower plants, from a water-resource management perspective. Pearson Type III distribution is applied to process the hydrological observations of the R-10 irrigation canal for 2016–2025, yielding the variation and skewness coefficients and the design water discharges for various levels of assurance. An optimization model is developed to maximize electricity generation while maintaining the required irrigation water supply as a priority constraint. A mathematical model based on water discharge, hydraulic head and power balances is proposed, enabling forecasting of energy generation under time-varying hydrological conditions.

Keywords: micro hydropower plant, hydraulic structure, irrigation canal, water discharge, Pearson Type III, assurance level, optimization, water-energy balance.

Kirish. Sugʻorish tizimlaridagi gidrotexnik inshootlar asosan suvni isteʼmolchilarga belgilangan miqdorda yetkazish, suv sathini boshqarish va oqimni taqsimlash vazifalarini bajaradi. Biroq bunday inshootlarning yuqori va pastki byeflari orasida shakllanadigan sathlar farqi maʼlum gidroenergetik potensialni yuzaga keltiradi [1, 2]. Ushbu potensialdan mikroGESlar yordamida foydalanish irrigatsiya tizimining asosiy funksiyasiga taʼsir qilmagan holda qoʻshimcha elektr energiyasi ishlab chiqarish imkonini beradi [3, 4].

Irrigatsiya kanallari hamda ulardagi suv taqsimlash, dimlash va suv tashlash inshootlari uchun naporning odatda 1,5–6,0 m diapazonda boʻlishi va suv sarfining mavsum davomida

oʻzgarishi xarakterlidir. Shu sababli mikroGES uchun energiya ishlab chiqarishni baholashda koʻp yillik gidrologik maʼlumotlarning statistik xarakteristikalari va suv sarfining taʼminlanganlik darajasi hisobga olinishi zarur.

Tadqiqotning maqsadi irrigatsiya kanalidagi koʻp yillik gidrologik rejimni statistik baholash, hisobiy va kafolatlangan suv sarflarini aniqlash hamda sugʻorish talabini ustuvor cheklov sifatida saqlagan holda mikroGES energiya ishlab chiqarishini suv sarfi–napor–quvvat balanslari asosida optimallashtirish va prognozlashdan iborat.

Tadqiqot usullari. R-10 kanalining gidrologik rejimini statistik baholash. MikroGESning yillik energiya ishlab chiqarishini

ishonchli aniqlash uchun R-10 kanalining 2016–2025-yillardagi ko‘p yillik gidrologik kuzatuv ma’lumotlari statistik qayta ishlandi. Hisobiy suv sarflarining ta’minlanganligini aniqlashda Pirson III tipidagi taqsimot qabul qilindi [5, 6]. λ masshtab parametri sifatida qabul qilinganda taqsimotning ehtimollik zichligi:

$$f(x) = \frac{(x-x_0)^{\alpha-1} \exp[-(x-x_0)/\lambda]}{\Gamma(\alpha)\lambda^\alpha}, \quad x > x_0 \quad (1)$$

bu yerda x_0 – taqsimotning quyi chegarasi; λ – masshtab parametri; α – shakl parametri; $\Gamma(\alpha)$ – Eyler gamma-funksiyasi.

Ko‘p yillik qatordagi har bir qiymat uchun modul koeffitsiyenti $K_{Ri} = Q_i/\bar{Q}$ aniqlanadi. Variatsiya koeffitsiyenti:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_{Ri}-1)^2}{n-1}} \quad (2)$$

Taqsimotning nosimmetrikligini tavsiflovchi asimmetriya koeffitsiyenti:

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (K_{Ri}-1)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3} \quad (3)$$

Suv sarfi qatorining o‘rta kvadratik og‘ishi:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} \quad (4)$$

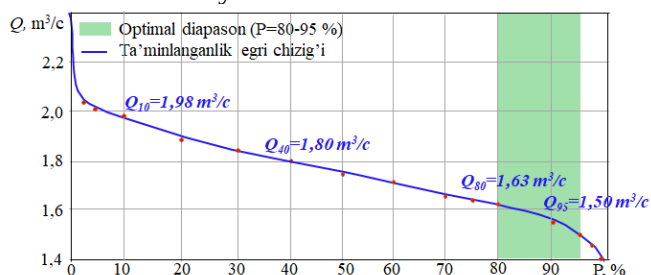
Berilgan P ta’minlanganlikdagi hisobiy suv sarfi:

$$Q_P = \bar{Q} K_P \quad (5)$$

Pirson III taqsimoti uchun modul koeffitsiyenti:

$$K_P = 1 + \psi_P C_v \quad (6)$$

bu yerda ψ_P – berilgan P ta’minlanganlik va C_s asimmetriya koeffitsiyentiga mos ravishda maxsus Pirson III jadvallardan aniqlanadigan ordinata koeffitsiyenti.



1-rasm. R-10 kanali suv sarfining Pirson III taqsimoti bo‘yicha ta’minlanganlik egri chizig‘i.

Empirik ta’minlanganlik Chegodayev formulasi yordamida hisoblandi [7, 8]:

$$P = \frac{m-0.3}{n+0.4} \cdot 100\% \quad (7)$$

bu yerda m – kamayish tartibida

joylashtirilgan qator elementining tartib raqami; n – kuzatuvlar soni. Hosil qilingan ta’minlanganlik egri chizig‘i mikroGES uchun o‘rtacha, hisobiy va kafolatlangan suv sarflariga mos energiya ishlab chiqarish miqdorlarini baholash imkonini beradi.

Irrigatsiya va energiya ishlab chiqarishni birgalikda optimallashtirish. MikroGES irrigatsiya tizimiga integratsiya qilinganda suvni sug‘orish uchun yetkazib berish asosiy ustuvor vazifa bo‘lib qoladi [9, 10]. Shuning uchun optimallashtirish masalasi minimal sug‘orish talabini ta’minlagan holda elektr energiyasi ishlab chiqarishni maksimumlashtirish shaklida qo‘yildi [11, 12]:

$$F = \max \sum_{t=1}^T \rho g Q_{GES}(t) H_{GES}(t) \eta_{GES}(t) \Delta t \quad (8)$$

Mavjud suv energiyasidan foydalanish darajasini baholash uchun [13]:

$$K_{s.en} = \frac{\sum E_{MG}}{E_E} \quad (9)$$

bu yerda $\sum E_{MG}$ – gidrotexnik inshootda mikroGESlar tomonidan ishlab chiqarilgan jami elektr energiyasi; E_E – gidrotexnik inshoot orqali o‘tayotgan suv oqimining hisobiy potensial energiyasi.

Boshqaruv texnologiyasining darajasi (an’anaviy rejalashtirishdan real vaqt avtomatik boshqaruvgacha) mavjud suv energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti, $K_{s.en}$ qiymatiga bevosita ta’sir qiladi, biroq bu maqolada bosh e’tibor gidrologik ta’minlanganlik va optimallashtirish modeliga qaratilgan [14]. Qabul qilingan $\eta = 0,78$ umumiy FIK sharoitida $K_{s.en} \approx 0,78$ (ya’ni gidravlik quvvatning taxminan 78%i elektr energiyasiga aylantiriladi), qolgan 22% esa turbina-generator agregatidagi energetik yo‘qo-tishlarga to‘g‘ri keladi.

MikroGESning suv sarfi, napor va quvvat balanslari. MikroGESning real ekspluatatsiya sharoitidagi energiya ishlab chiqarishini aniqlash uchun gidrotexnik inshootdagi suv sarfi, foydali napor va energetik yo‘qotishlar vaqt bo‘yicha birgalikda hisobga olinadi [15]. Turbina orqali o‘tayotgan suv sarfi:

$$Q_{GES}(t) = Q_{k1}(t) - Q_s(t) - Q_{b2}(t) - Q_{f2}(t) - Q_d(t) \quad (10)$$

Foydali naporni hisoblashda yuqori va pastki byef suv sathlari farqi hamda panjara, zatvor, suv berish moslamasi va suv olib ketish qismlaridagi gidravlik yo‘qotishlar hisobga olinadi:

$$H_{GES}(t) = (ZYB(t) - ZPB(t)) - \Sigma \Delta H_i(t) \quad (11)$$

bu yerda ZYB(t) va ZPB(t) – mos ravishda yuqori va pastki byeflarning vaqt bo'yicha suv sathi belgisi; $\Sigma \Delta H_i(t)$ – gidravlik yo'qotishlar yig'indisi.

MikroGES kirishidagi mavjud gidravlik quvvat:

$$N_{gid}(t) = \rho g Q_{GES}(t) H_{GES}(t) \quad (12)$$

Agar Q m³/s, H metrda va $\rho \approx 1000$ kg/m³ deb olinsa, gidravlik quvvatni kW da $N_{gid}(t) = 9,81 \cdot Q_{GES}(t) \cdot H_{GES}(t)$ ko'rinishida hisoblash mumkin. Generator chiqishidagi elektr quvvat:

$$N_{el}(t) = \rho g Q_{GES}(t) H_{GES}(t) \eta_T(t) \eta_G(t) \quad (13)$$

Hisobiy davrdagi elektr energiyasi:

$$E_{el} = \int_0^T N_{el}(t) dt \quad (14)$$

Mazkur model suv sarfi, napor, turbina va generator FIKlarining vaqt bo'yicha o'zgarishini hisobga olgani sababli mikroGESning sutkalik, mavsumiy va yillik energiya ishlab chiqarishini nominal quvvatga asoslangan statik yondashuvga nisbatan aniqroq baholash imkonini beradi.

Natijalar va ularning muhokamasi. R-10 kanalining 2016–2025-yillardagi kuzatuv ma'lumotlarini statistik qayta ishlash natijasida quyidagi asosiy gidrologik ko'rsatkichlar aniqlandi (1-jadval).

1-jadval

R-10 kanalining asosiy gidrologik statistik ko'rsatkichlari (2016–2025)

Ko'rsatkich	Birlik	2016–2020 yillar	2021–2025 yillar	O'rtacha (10 yil)
Yillik o'rtacha suv sarfi, Q _{yil}	m ³ /s	1,703	1,831	1,767
Yillik maksimal suv sarfi, Q _{maks}	m ³ /s	4,793	4,781	4,787
Yillik minimal suv sarfi, Q _{min}	m ³ /s	0,118	0,120	0,119
Standart og'ish, σ_Q	m ³ /s	1,216	1,175	1,195
Variatsiya koeffitsiyenti, C _v	–	0,038	0,119	0,094
Asimmetriya koeffitsiyenti, C _s	–	–0,88	0,61	1,45
Energetik faol kunlar soni	kun/yil	287	263	275
Sug'orish mavsumi davomiyligi	oy	10	11	10,5

Pirson III taqsimoti asosida qurilgan ta'minlanganlik egri chizig'idan olingan hisobiy suv

sarflari 2-jadvalda keltirilgan.

2-jadval

Turli ta'minlanganlik darajalariga (P, %) mos hisobiy suv sarflari (Pirson III taqsimoti)

P, %	1	5	10	25	50	75	90	95	99
K _p	1,231	1,159	1,122	1,062	0,997	0,935	0,882	0,851	0,795
Q _p , m ³ /s	2,176	2,049	1,984	1,877	1,763	1,653	1,559	1,504	1,405

R-10 kanalining 2016–2025-yillardagi ko'p yillik gidrologik ma'lumotlarini Pirson III taqsimoti asosida qayta ishlash suv sarfi qatorining variatsiya (C-v.) va asimmetriya (C-s.) koeffitsiyentlarini, shu asosda esa turli ta'minlanganlik darajalariga mos hisobiy suv sarflarini aniqlash imkonini berdi. Chegodayev formulasi bo'yicha qurilgan ta'minlanganlik egri chizig'i mikroGES uchun o'rtacha, hisobiy va kafolatlangan suv sarflariga mos energiya ishlab chiqarish miqdorlarini baholashga asos bo'ldi.

Sug'orish talabini ustuvor cheklov sifatida saqlagan holda elektr energiyasi ishlab chiqarishni maksimumlashtirishga qaratilgan optimallashtirish modeli (8)–(9) formulalar orqali ifodalanadi. Model sug'orish uchun ajratiladigan minimal suv sarfini ustuvor cheklov sifatida saqlagan holda, irrigatsiya funksiyasiga zarar yetkazmasdan gidroenergetik potensialdan foydalanish darajasini oshirish imkonini beradi. Amaldagi ko'p yillik oqim rejimida maksimumlashtirilgan maqsad funksiyasi qiymati $F \approx 210\,920$ kWt·soat/yil (o'rtacha 10 yillik davr uchun) ni tashkil etadi.

MikroGESning suv sarfi, napor va quvvat balanslarini (10)–(14) formulalar asosida yagona matematik tizimga birlashtirish gidrotexnik inshootning real ekspluatatsiya rejimida energiya ishlab chiqarishning vaqt bo'yicha o'zgarishini nominal quvvatga asoslangan statik yondashuvga nisbatan aniqroq baholash imkonini beradi. Bu, o'z navbatida, gidrologik ta'minlanganlik darajasi past bo'lgan davrlarda ham optimal suv taqsimotini rejalashtirish uchun zarur bo'ladi. $H = 2,0$ m va $\eta = 0,78$ sharoitida (10)–(14) formulalar bo'yicha hisoblangan o'rtacha 10 yillik quvvat 6,22 kVt (yanvar, minimal) dan 50,57 kVt (iyul, maksimal) gacha o'zgaradi, yillik o'rtacha quvvat esa 23,90 kVt ni, hisobiy davrdagi jami elektr energiyasi E_{el} esa 210 920 kVt·soat/yil ni tashkil etadi.

Xulosa. Ko'p yillik gidrologik ma'lumotlarni Pirson III taqsimoti asosida qayta ishlash mikroGES uchun hisobiy va kafolatlangan suv sarflarini hamda ularga mos energiya ishlab chiqarish miqdorini

aniqlash imkonini beradi.

Sugʻorish talabini ustuvor cheklov sifatida qabul qilgan holda elektr energiyasi ishlab chiqarishni maksimumlashtirishga asoslangan optimallashtirish modeli suv resursidan kompleks foydalanish samaradorligini oshiradi.

Taklif etilgan suv sarfi–napor–quvvat balans modeli mikroGESning oʻzgaruvchan rejimdagi

quvvati va ishlab chiqaradigan elektr energiyasini vaqt boʻyicha hisoblash uchun matematik asos boʻlib xizmat qiladi hamda hisobiy davrlarni kengroq qamrab olishga imkon beradi.

FODALANILGAN ADABIYOTLAR ROʻYXATI

- [1] United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), & International Center on Small Hydro Power (ICSHP). (2022). World Small Hydropower Development Report 2022. Vienna; Hangzhou.
- [2] Azimov, U., & Avezova, N. (2022). Sustainable small-scale hydropower solutions in Central Asian countries for local and cross-border energy/water supply. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112726. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112726>
- [3] World Bank. (2025, June 25). Uzbekistan to enhance energy production through hydropower with World Bank support [Press release].
- [4] Urishev, B., Ochilov, O. O., & Quvatov, U. J. (2026). Sugʻorish kanallarida past naporli mikrogidroelektrostansiyalarni loyihalash: Gidravlik-energetik hisoblar va texnik-iqtisodiy asoslash. *Development of Science*, (6), 119–130.
- [5] Interagency Advisory Committee on Water Data. (1967). Bulletin 15: A uniform technique for determining flood flow frequencies. Hydrology Committee, Water Resources Council.
- [6] Interagency Advisory Committee on Water Data. (1982). Guidelines for determining flood flow frequency (Bulletin 17B). U.S. Geological Survey.
- [7] England, J. F., Cohn, T. A., Faber, B. A., Stedinger, J. R., Thomas, W. O., Veilleux, A. G., Kiang, J. E., & Mason, R. R. (2019). Guidelines for determining flood flow frequency—Bulletin 17C (Techniques and Methods 4-B5). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/tm4B5>
- [8] SNiP 2.01.14-83. Opređenje raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. (1983).
- [9] Adhau, S. P., Moharil, R. M., & Adhau, P. G. (2012). Mini-hydro power generation on existing irrigation projects: Case study of Indian sites. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4785–4795. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.066>
- [10] Kamran, M., Asghar, R., Mudassar, M., & Abid, M. I. (2019). Designing and economic aspects of run-of-canal based micro-hydro system on Balloki-Sulaimanki Link Canal-I for remote villages in Punjab, Pakistan. *Renewable Energy*, 141, 76–87. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.126>
- [11] Pérez-Sánchez, M., Sánchez-Romero, F. J., Ramos, H. M., & López-Jiménez, P. A. (2017). Optimization strategy for improving the energy efficiency of irrigation systems by micro hydropower: Practical application. *Water*, 9(10), 799. <https://doi.org/10.3390/w9100799>
- [12] Pérez-Sánchez, M., Sánchez-Romero, F. J., López-Jiménez, P. A., & Ramos, H. M. (2018). PATs selection towards sustainability in irrigation networks: Simulated annealing as a water management tool. *Renewable Energy*, 116(A), 234–249. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.09.043>
- [13] Choudhury, S., Parida, A., Pant, R. M., & Chatterjee, S. (2019). GIS augmented computational intelligence technique for rural cluster electrification through prioritized site selection of micro-hydro power generation system. *Renewable Energy*, 142, 487–496. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.125>
- [14] Ochilov, O. O., & Safarova, S. U. (2023). Oʻzbekistonda muqobil energiya manbalari istiqbollari. *Iqtisodiyot va sotsium / Экономика и социум*, (9/112), 203–208.

- [15] Ochilov, O. O. (2024). Zatvordan chiqayotgan suv energiyasidan foydalanish. “Qishloq xo‘jaligi mahsulotlarini ishlab chiqarish samaradorligini oshirishda innovatsion texnika va texnologiyalardan foydalanishning muammolari va istiqbollari” Respublika ilmiy-amaliy anjumani maqolalar va tezislar to‘plami (pp. 256–258).

Maqolaga iqtibos keltirish | Как цитировать статью | How to cite this article

Urishev, B., Quvatov, U. J., Ochilov, O. B., & Qulmatov, S. X. (2026). Irrigatsiya kanallarida mikroGES energiya ishlab chiqarishini gidrologik statistika va optimallashtirish modeli asosida baholash. Sanoatda raqamli texnologiyalar, 4(3). <https://doi.org/10.70769/3030-3214.SRT.4.3.2026.22>
