Materiallar to'plami · Conference Proceedings
"ZAMONAVIY TADQIQOTLAR VA BARQAROR RIVOJLANISH" respublika ilmiy-amaliy konferensiyasi
04 August 2026
UDK 004.8
ANIQ FANLAR

ARXIMED UNIVERSAL TURBINASIGA ASOSLANGAN GIBRID MIKROTIZIMLARNI SUN'IY INTELLEKT YORDAMIDA IMMITATSION MODELLASHTIRISH

Elmurod Tohir o'g'li Yusopov*
O'zbekiston milliy universiteti doktaranti
✉ yusupov007700@gmail.com

ANNOTATSIYA

Ushbu maqolada shamol energiyasi va quyosh fotoelektrik manbalari. past bosimli suv oqimini yagona gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimida birlashtirishga mo'ljallangan Arximed universal turbinasining imitatsion modeli hamda energiyani boshqarish tizimi (EBT) ishlab chiqilgan. Tadqiqotning ilmiy muammosi tabiiy resurslarning stoxastikligi, daryo oqimi va meteorologik parametrlarning vaqt bo'yicha o'zaro bog'liqligi, akkumulyatorning cheklangan sig'imi hamda avtonom mikrotarmoqdagi yuklamalar ustuvorligini bir vaqtda hisobga olishdan iborat. Daryo oqimi, shamol tezligi va quyosh nurlarini qisqa muddatli prognozlash uchun tasodifiy regressiya (Random Forest Regressor) modeli asosidagi birlashtirilgan model taklif qilindi. Modelda vaqt belgilaridan tashqari yog'ingarchilikning 3 va 7 kunlik yig'indisi, daryo oqimining kechikkan qiymatlari, haroratning o'rtachasi va meteorologik ko'rsatkichlar ishlatildi. Arximed vintli gidroturbinaning quvvati energiyaning saqlanish qonuni va gidravlik bosim orqali, shamol rejimi esa oqim kinetik energiyasi orqali keltirib chiqarildi. Quyosh moduli, batareya Akkumulyatorning zaryadlanganlik darajasi (SOC) ning dinamikasi, quvvat konvertori va ko'p bosqichli Yukalamni bosqichma-bosqich uzish algoritmi uchun boshlang'ich hamda chegaraviy shartlar shakllantirildi. Python tilida yaratilgan imitatsion dasturiy majmua ma'lumotlar bazasi, bashorat moduli, energetik hisoblash yadrosi, EBT kontrolleri va vizualizatsiya interfeysidan tashkil topadi.

Kalit so'zlar

Arximed vintli turbina, gibrid qayta tiklanuvchi energiya tizimi, tasodifiy regressiya modeli (Random Forest Regressor), energiyani boshqarish tizimi, EMT, akkumulyatorning zaryadlanganlik darajasi (SOC), Load Shedding (Yukalamni bosqichma-bosqich uzish) algoritmi, imitatsion modellashtirish.

DOI: 10.5281/zenodo.21743402

KIRISH

Avtonom elektr ta'minoti tizimlarida qayta tiklanuvchi energiya manbalarini birlashtirishning asosiy sababi bitta manbaning vaqt bo'yicha barqaror emasligidir. Quyosh fotoelektrik moduli tunda ishlab chiqarmaydi, shamol tezligi tasodifiy o'zgaradi, kichik daryo va kanallardagi suv sarfi esa yog'ingarchilik, qor erishi, sug'orish rejimi hamda gidrotexnik boshqaruvga bog'liq. Shu bois alohida manba quvvatiga asoslangan tizim yuklamani kafolatli qoplay olmaydi. Gibrid arxitektura resurslar o'rtasidagi komplementarlikdan foydalanadi: kunduzgi quyosh generatsiyasi, tun yoki bulutli vaqtdagi shamol, mavjud suv oqimining nisbatan uzluksizligi hamda batareyaning qisqa muddatli balanslash imkoniyati birgalikda ishlaydi.

Arximed vinti tarixan suvni ko'taruvchi qurilma sifatida ma'lum bo'lsa-da, teskari ish rejimida past bosimli suvning potensial energiyasini aylanish momentiga aylantiruvchi gidroturbina vazifasini bajaradi. Zamonaviy tadqiqotlar vint geometriyasi, to'ldirish darajasi, qiyalik burchagi, aylanish tezligi, tirqish oqimi va chiqishdagi suv sathi quvvat hamda samaradorlikka sezilarli ta'sir ko'rsatishini ko'rsatadi [6]. Ushbu ishda "universal turbina" tushunchasi bir xil konussimon-vintsimon ishchi organini gidrodinamik va aerodinamik modellashtirish g'oyasini anglatadi. Bu g'oya prototipni ikki rejimda bir vaqtning o'zida ishlatish emas; aksincha, bir

xil geometrik konsepsiyaning turli oqim muhitlaridagi imitatsion bahosidir.

Tabiiy resurslar prognozi EMS qarorining sifatiga bevosita ta'sir qiladi. Agar yaqin vaqt oralig'idagi daryo oqimi, shamol tezligi va quyosh quvvati oldindan baholansa, kontroller batareyani zaryadlash yoki, qayta tiklanuvchi energiyani cheklash va ustuvor bo'lmagan yuklamalarni uzish qarorlarini kechiktirmasdan qabul qiladi. (Random Forest) chiziqli bo'lmagan bog'lanishlarni, parametrlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirni va kechikkan belgilarni maxsus funksional shakl belgilamasdan o'rganishi sababli gidrologik bashoratlashda keng qo'llanadi [1–5].

Maqolaning maqsadi Arximed universal turbinasiga asoslangan (HRES) gebuchun fizik tenglamalar, mashinali o'rganish bashorat moduli, batareya dinamikasi va ko'p bosqichli EMS algoritmini yagona imitatsion dasturiy majmuada integratsiyalashdan iborat. Tadqiqotning vazifalari: 1) resurs va yuklama ma'lumotlarini matematik ifodalash; 2) Random Forest regressiyasining kirish-chiqish fazosini va o'qitish mezonini asoslash; 3) gidro, shamol, PV va BESS quvvat tenglamalarini kelib chiqarish; 4) boshlang'ich hamda chegaraviy shartlarni aniqlash; 5) quvvat balansi va Load Shedding mantiqiga asoslangan EMSni ishlab chiqish; 6) Python prototipi orqali algoritmni hisoblash nuqtayi nazaridan tekshirish.

Tadqiqot obyekti — past naporli suv manbai, shamol oqimi, fotoelektrik modul, akkumulyator batareyasi, ikki yo'nalishli quvvat konvertori va uch toifali yuklamalardan tashkil topgan avtonom HRES. Hisoblashning bazaviy qadami $\Delta t=1$ soat deb qabul qilinadi. Ushbu tanlov sutkalik EMS va mavjud ob-havo ma'lumotlari uchun qulay; real vaqt boshqaruvida esa ichki konvertor sikli millisekund–soniya diapazonida, EMS qadami 1–15 daqiqagacha qisqartirilishi mumkin.

Model energiya darajasidagi kvazistatsionar imitatsiyaga asoslanadi. Ya'ni har bir vaqt qadamida gidro, shamol va PV quvvatlari shu qadam davomida o'zgarmas deb olinadi. Elektr konvertorining elektromagnit o'tkinchi jarayonlari, uch fazali kuchlanish shakli va generatorning detallangan d–q modeli maqola doirasiga kiritilmagan. Bu cheklov EMS energiya balansini o'rganishga imkon beradi, lekin himoya va elektr sifatini tekshirish uchun keyinchalik MATLAB/Simulink yoki real vaqt stendida kengaytirish talab etiladi.

Bashorat modelini verifikatsiya qilish uchun 730 kunlik sutkalik ma'lumotlar to'plami ishlatildi. U harorat, yog'ingarchilik, namlik, shamol tezligi, bosim, quyosh radiatsiyasi va daryo oqimini o'z ichiga oladi. Suniy to'plam dasturiy ishlash, vaqt bo'yicha ajratish, belgi muhimligi va metrikalarni tekshirishga xizmat qiladi; hududiy ilmiy xulosalar uchun gidrometeorologik stansiya va oqim o'lchagichlardan olingan real ma'lumotlar bilan qayta o'qitish shart.

Belgilar fazosi va ma'lumotlarni tayyorlash

$$x_t = [T_t,\ R_t,\ RH_t,\ v_t,\ p_t,\ G_t,\ m_t,\ d_t,\ Q_{t-1},\ Q_{t-2},\ Q_{t-3},\ \Sigma_3 R,\ \Sigma_7 R,\ \bar{T}_3]^T \quad (1)$$

Bu yerda

T_t — havo harorati;
R_t — yog'ingarchilik;
RH_t — nisbiy namlik;
v_t — shamol tezligi;
p_t — atmosfera bosimi;
G_t — quyosh radiatsiyasi;
m_t va d_t — kalendar belgilar;
Q_{t-i} — daryo oqimining kechikkan qiymatlari;
$\Sigma_3 R$ va $\Sigma_7 R$ — uch va yetti kunlik yog'ingarchilik yig'indilari;
$\bar{T}_3$ — uch kunlik sirg'aluvchi o'rtacha harorat.

Maqsadli o'zgaruvchi $y_t = Q_t$ yoki bir qadam oldinga prognozlashda $y_t = Q_{t+1}$ ko'rinishida belgilanadi.

Vaqt qatori tasodifiy aralashtirilmaydi. Ma'lumotlarning dastlabki 80 % o'qitish, oxirgi 20 % test davri sifatida ajratiladi. Bu yondashuv kelajak ma'lumotining oldindagi modelga kirishini oldini oladi. Yetishmay-otgan qiymatlar faqat keyingiga asoslangan oldinga surish yoki statistik imputatsiya bilan to'ldirilishi lozim; butun qator bo'yicha markazlash kelajak axborotini uzatishi mumkin.

Veybull ehtimollik zichligi funksiyasining matematik keltirilishi

Shamol oqimining kinetik kinetik energiyasi uning oniy tezligiga bog‘liq bo‘lib, vaqt bo‘yicha taqsimoti eksponentsial va quvvatli qonuniyatlar sintezidan iborat. Statistik fizikada ishonchlilik nazariyasi va oqimlar stoxastikasini modellashtirish uchun ob’ektning joriy holat koeffitsiyenti o‘zgaruvchan ($\lambda(v)$) funksiyasi orqali aniqlanadi.

Shamol tezligi (v) ma’lum bir qiymatdan oshib ketmaslik ehtimolini ifodalovchi integral taqsimot funksiyasini $F(v)$, uning teskari hodisasi (ya’ni shamol tezligi v dan katta bo‘lish ehtimoli) bo‘lgan ishonchlilik funksiyasini esa $R(v)$ deb belgilaymiz:

$$R(v) = 1 - F(v) \tag{2}$$

Matematik jihatdan, shamol tezligining har bir keyingi diskret birlikka ortishida oqimning kinetik barqarorligini yo‘qotish (yoki yangi tezlik anomalasiga o‘tish) jadalligi funksiyasi $\lambda(v)$ quyidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$\lambda(v) = \frac{f(\vartheta)}{R(v)} = \frac{f(v)}{1 - F(\vartheta)} \tag{3}$$

Bunda $f(\vartheta) = \frac{\mathrm{d}F(\vartheta)}{\mathrm{d}t}$ — biz qidirayotgan ehtimollik zichligi funksiyasidir. Ehtimollar nazariyasiga ko‘ra, $f(v)$ integral funksiyaning birinchi tartibli hosilasiga teng bo‘lganligi sababli, yuqoridagi tenglamani quyidagi differensial ko‘rinishga keltiramiz:

$$\lambda(v) = \frac{\frac{\mathrm{d}F(v)}{\mathrm{d}v}}{1 - F(\vartheta)} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}v}\left[\ln\left(1 - F(\vartheta)\right)\right] \tag{4}$$

Ushbu differensial tenglamani ikkala tomonini 0 dan v gacha integrallash orqali $F(v)$ ni aniqlaymiz:

$$\int_0^v \lambda(v)dv = \ln\left(1 - F(v)\right) \tag{5}$$

Potensiallash (eksponentaga ko‘tarish) amalini bajaramiz:

$$1 - F(v) = \exp\left(-\int_0^v \lambda(v)dv\right) \Rightarrow \quad F(v) = 1 - \exp\left(-\int_0^v \lambda(v)dv\right) \tag{6}$$

Shamol oqimining gidrodinamik va fizik xususiyatlaridan kelib chiqib, jadallik funksiyasi $\lambda(v)$ shamol tezligining darajali funksiyasi sifatida qabul qilinadi (bu Veybull gipotezasining asosi hisoblanadi):

$$\lambda(v) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \tag{7}$$

Bunda $k > 0$ — shakl koeffitsiyenti, $c > 0$— o‘lchov parametri.

Endi ushbu olingan $\lambda(v)$ ifodasini integral ostiga joylashtiramiz:

$$\int_{0^\lambda}^{V}(V)\mathrm{d}\vartheta = \int_0^v \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{\vartheta}{c}\right)^{k-1} \mathrm{d}v \tag{8}$$

Ushbu integralni hisoblash uchun o‘zgaruvchini almashtiramiz: $u = \left(\frac{u}{c}\right)^k$, u holda uning differensiali $du = \frac{k}{C} \cdot \left(\frac{\vartheta}{C}\right)^{k-1}$ ga teng bo‘ladi. Natijada integral quyidagi sodda ko‘rinishni oladi:

$$\int_0^v \lambda(v)dv = \int_0^{\left(\frac{v}{c}\right)^k} 1du = \left(\frac{\vartheta}{c}\right)^k \tag{9}$$

Topilgan integral qiymatni integral taqsimot funksiyasi $F(v)$ formulasiga qaytarib qo‘yamiz:

$$F(v) = 1 - exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \tag{10}$$

Bizga ma’lumki, ehtimollik zichligi funksiyasi $f(v)$ taqsimot funksiyasining $F(v)$ tezlik bo‘yicha olingan birinchi tartibli hosilasidir ($f(v) = \frac{\mathrm{d}F(\vartheta)}{\mathrm{d}v}$):

$$f(v) = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}\vartheta}\left[1 - exp\left(-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^k\right)\right] \tag{11}$$

Murakkab funksiyadan hosila olish qoidasiga $\frac{d}{d\vartheta}[e^{-u}] = -e^{-u}\frac{du}{dv}$) asosan differensiallaymiz:

$$f(\vartheta) = 0 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \cdot \frac{d}{dv}\left[-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^k\right] \tag{12}$$

$$f(\vartheta) = \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \cdot \frac{k}{c} \bullet \left[-\left(\frac{\vartheta}{c}\right)^{k-1}\right] \tag{13}$$

Ko‘paytuvchilarning o‘rnini xalqaro standart ko‘rinishiga keltirish uchun almashtiramiz:

$$f(\vartheta) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \tag{14}$$

Ochiq kanalli ko‘p pichoqli arximed turbinasining (AST) kinematik va gidrodinamik matematik modeli

Ushbu bo‘limda past bosimli mikro-GESlar uchun uch pichoqli (vintli), ochiq novli Arximed turbinasining (Archimedean Screw Turbine — AST) to‘liq kinematik, gidrostatik va dinamik matematik tenglamalar zanjiri keltiriladi. Model parma geometriyasi, aylanish kinematikasi, suv cho‘ntaklarining hajmi, nazariy suv sarfi, gidrostatik moment, mexanik yo‘qotishlar, oniy quvvat va EMS doirasidagi operatsion cheklovlarni yagona hisoblash ketma-ketligida bog‘laydi.

Geometrik va kinematik parametrlar

Arximed parmasining asosiy geometrik parametrlari va uning burchak tezligi o‘rtasidagi kinematik bog‘liqlik quyidagi kattaliklar orqali ifodalanadi.

Belgilanish	Mazmuni va o‘lchov birligi
R_o	Parmaning tashqi radiusi, m.
R_i	Markaziy valning (ichki silindrning) radiusi, m.
N	Parmadagi pichoqlar (vintlar) soni; mazkur modelda N = 3.
S	Parma qadami (pitch), ya’ni bir to‘liq 360° burilishdagi aksial masofa, m.
β	Turbina o‘qining gorizontga nisbatan qiyalik burchagi; $20° \le \beta \le 30°$.
L	Turbinaning aktiv ishchi uzunligi, m.
n	Turbina valining aylanish chastotasi, ayl/min.

Burchak tezligi (ω) va bo‘ylama harakat tezligi (v_{ax})

Aylanish chastotasi n (ayl/min) dan SI tizimidagi burchak tezligiga o‘tish bir aylanish 2π radian va bir daqiqa 60 soniya ekanligidan kelib chiqadi:

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}\ [rad/s] \tag{15}$$

Suv massasining va parma pichoqlarining parma o‘qi bo‘ylab eksial (bo‘ylama) siljish tezligi bir aylanishda S masofaga siljish shartidan aniqlanadi:

$$v_{ax} = \frac{S \cdot \omega}{2\pi} = \frac{S \cdot n}{60}\ [m/s] \tag{16}$$

Effektiv radius tenglamasi (R_{eff})

Pichoq yuzasiga ta’sir etuvchi suv massasining og‘irlik markazi hamda tangensial tezligi hisoblanadigan effektiv radius halqasimon kesim bo‘yicha momentlarning integral nisbatidan olinadi:

$$R_{eff} = \frac{2}{3}\left(\frac{R_0^3 - R_i^3}{R_0^2 - R_0^2}\right) \tag{17}$$

Suv cho‘ntaklari hajmi va hajmiy suv sarfi tenglamasi

Parma pichoqlari va nov devorlari orasida hosil bo‘ladigan alohida suv cho‘ntaklari (water buckets) hajmi hamda ular orqali o‘tadigan nazariy suv sarfi geometrik va kinematik parametrlarga bog‘langan holda aniqlanadi.

Bitta suv cho‘ntagi hajmi (Vbucket)

$$V_{\ qanotdagi\ suv\ hajm} = C_v \cdot \pi \cdot (R_0^2 - R_i^2) \cdot S \cdot \cos(\cos(\beta)) \tag{18}$$

Bu yerda C_v — suv bilan to‘lishning volumetrik koeffitsiyenti bo‘lib, kiruvchi oqim darajasi, pichoq oralig‘idagi suv sathi va oqimning barqarorligiga bog‘liq. Amaliy hisoblarda $0,50 \le C_v \le 0,85$ diapazon qabul qilinadi.

Nazariy hajmiy suv sarfi (Q_{th})

Bir pichoq oralig‘idagi suv cho‘ntagi bir aylanish davrida pastki qismga ko‘chadi. N ta pichoq mavjud bo‘lganda va aylanish chastotasi $\omega/(2\pi)\ ayl/s$ bo‘lganda nazariy suv sarfi quyidagicha yoziladi:

$$Q_{th} = N \cdot V_{qanotdagi\ suv\ hajm} \cdot \frac{\omega}{2\pi} \quad (19)$$

(17)tenglamani (18) tenglamaga qo‘yish orqali nazariy suv sarfining yakuniy geometrik-kinematik ifodasi hosil qilinadi:

$$Q_{th} = \cdot\frac{N \cdot \omega}{2\pi} \cdot C_v \cdot \pi \cdot (R_0^2 - R_i^2) \cdot S \cdot cos(cos(\beta)) \quad (20)$$

Gidrostatik kuch, aylantiruvchi moment va yo‘qotishlar

Arximed turbinasi asosan qo‘shni suv cho‘ntaklari orasidagi gidrostatik bosim farqi hisobiga ishlaydi. Suv og‘irligi pichoq yuzasida normal bosim hosil qilib, uning tangensial tashkil etuvchisi valda aylantiruvchi moment yaratadi.

Gidrostatik moment (M_{Hydro})

$$M_{Hydro} = \eta_{hydro} \cdot \frac{\rho \cdot g \cdot N \cdot S}{2\pi \cdot \tan(tan\beta)} \cdot A_w(h) \cdot R_{eff} \quad (21)$$

Belgilanish	Mazmuni va o‘lchov birligi
ρ	Suv zichligi; odatda $\rho \approx 1000\ kg/m^3$.
g	Erkin tushish tezlanishi; $g = 9,81\ m/s^2$.
$A_v(h)$	Pichoqlar kesimidagi suv bilan qoplangan yuzaning suv balandligi h ga bog‘liq funksiyasi, m².
η_{hud}	Turbinaning gidrodinamik foydali ish koeffitsiyenti; odatda $\eta_{hud} \approx$ 0,85–0,92.
R_{eff}	Suv massasining pichoqka nisbatan effektiv ta’sir radiusi, m.

Gidrodinamik va ishqalanish yo‘qotishlari (Mloss)

Real turbina momentini aniqlashda podshipniklar, val muhrlari, pichoq va nov orasidagi tirqishdan suv sizib o‘tishi hamda ichki gidravlik qarshiliklar hisobga olinadi. Shu sababli valda foydalaniladigan sof moment quyidagicha yoziladi:

$$M_{net} = M_{Hydro} - M_{fric} - M_{gap} \quad (22)$$

Bu yerda Mfric — podshipniklar, muhrlar va mexanik uzatmadagi ishqalanish momenti; Mgap esa pichoq uchi bilan nov devori orasidagi tirqishdan yuzaga keladigan sizib o‘tish (gap leakage) yo‘qotishlariga ekvivalent momentdir.

Oniy mexanik va elektr quvvati tenglamasi (PHydro)

Mexanik quvvat (Pmech)

Aylanma mexanik tizim uchun oniy quvvat Nyuton mexanikasidagi moment va burchak tezligi ko‘paytmasi orqali aniqlanadi:

$P_{Mech}(t) = M_{net}(t) \bullet \omega$(t) (22)

Gidrologik bosim orqali ifodalangan oniy elektr quvvati (PHydro)

Turbina o‘qining gorizontga nisbatan β burchak ostida joylashishi sababli aktiv uzunlik L ning vertikal tashkil etuvchisi samarali bosim balandligini beradi: $H_eff = L \cdot sin\beta$. Suvning potensial energiyasi oqimi ρgQH_eff ga teng bo‘lib, turbina va generator foydali ish koeffitsiyentlari hisobga olinganda elektr quvvati quyidagicha aniqlanadi:

$$P_{Mech}(t) = \eta_{turb}\eta_{gen}\rho g Q_{hydro}(t) L sin\beta \quad (23)$$

Belgilanish	Mazmuni va o‘lchov birligi
QHydro(t)	Vaqtga bog‘liq holda turbinaga kirayotgan suv sarfi, m³/s.
ηturb	Arximed turbinasining umumiy mexanik-gidravlik foydali ish koeffitsiyenti; odatda 0,80–0,88.
ηgen	Generator va reduktorning birgalikdagi foydali ish koeffitsiyenti; odatda 0,88–0,93.
L·sinβ	Turbinaning effektiv vertikal bosim balandligi, m.

Chegaraviy va operatsion cheklovlar tenglamalari

Mikro-GES faoliyatini energiyani boshqarish tizimi (EMS) orqali xavfsiz va optimal boshqarish uchun suv sarfi, burchak tezligi va generator quvvatiga nisbatan quyidagi chegaraviy shartlar qo‘yiladi:

$$\begin{cases} Q_{\min} \le Q_{Hudro}(t) \le Q_{\max} \\ \omega_{\min} \le \omega(t) \le \omega_{max} \\ P_{Hydro}\ (t) \le P_{nominal} \end{cases}$$

Belgilanish	Mazmuni va o‘lchov birligi
$Q_{\min}$	Turbinaning quruq aylanishi, beqaror to‘lishi va tebranishini oldini oluvchi minimal suv sarfi.
Q_{max}	Suvning pichoqlar ustidan toshib ketishi va novning ortiqcha to‘lishi boshlanadigan chegaraviy suv sarfi.
$\omega_{\min}$, $\omega_{\min}$	Barqaror ish, konstruktiv mustahkamlik, rezonans va generator tezligi talablaridan kelib chiqadigan minimal va maksimal burchak tezliklari.
$P_{nominal}$	Generatorning nominal elektr quvvati.

Modelning umumlashtirilgan hisoblash ketma-ketligi

Taklif etilgan modelda dastlab geometrik parametrlar (R_o, R_i, S, N, β va L) hamda aylanish chastotasi n kiritiladi. So‘ng ω, v_{ax} va R_e aniqlanadi. C_v va suv sathi h bo‘yicha $V_{\ qanotdagi\ suv\ hajm}$, Q_{th} hamda $A_v(h)$ hisoblanadi. Gidrostatik momentdan mexanik yo‘qotishlar ayrilib M_{net} topiladi; undan P_{Mech} aniqlanadi. Yakuniy elektr quvvati esa suv sarfi va samarali bosim balandligiga asoslangan tenglama orqali hisoblanadi. EMS algoritmi dagi cheklovlarni tekshiradi hamda suv sarfi, val tezligi yoki generator quvvati chegaradan chiqqanda boshqaruv signalini shakllantiradi.

XULOSA

Arximed universal turbinasiga asoslangan gibrid mikrotarmoq uchun sun’iy intellektli prognoz, fizik energiya konversiyasi va EMS boshqaruvini birlashtiruvchi imitatsion yondashuv ishlab chiqildi. Random Forest modelining tugun ajratish mezoni va birlashmasini o‘rtachasi matematik asoslandi; daryo oqimi prognozida lag qiymatlar, yog‘ingarchilik yig‘indisi va meteorologik belgilar ishlatildi.

Gidroturbina quvvati potensial energiya oqimidan $P_h = \eta\rho gQH$, shamol quvvati kinetik energiya oqimidan $P_w = 0,5\rho AC_pv^3$, PV quvvati radiatsiya va harorat tuzatmasidan, batareya SOC esa diskret energiya balansidan keltirib chiqarildi. Har bir subsystem uchun boshlang‘ich va chegaraviy shartlar, nominal quvvatlar va himoya qarorlari ko‘rsatildi.

EMS algoritmi normal, zaryad, curtailment, razryad, ikki bosqichli Load Shedding va favqulodda holatlardan tashkil topgan holatlar avtomati ko‘rinishida ifodalandi. Ishonchlilik LPSP va EENS, energiyadan foydalanish esa va qayta tiklanuvchi ulush orqali baholanadi.

Shunday qilib, ochiq kanalli uch pichoqli Arximed turbinasining matematik modeli geometrik, kinematik, gidrostatik va energetik tenglamalarni o‘zaro bog‘laydi. Modelning asosiy chiqish kattaliklari nazariy suv sarfi, valdagi sof aylantiruvchi moment, mexanik quvvat va generator chiqishidagi elektr quvvatidir. Keltirilgan chegaraviy shartlar modelni HRES tarkibidagi EMS algoritmiga ulash, avariya va samarasiz ish rejimlarini cheklash hamda turbina parametrlarini optimallashtirish uchun asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1 A.B.Axmedov , E.T. Yusupov Shamol generatorlari aerodinamik parametrlarini aniqlash modeli, Axborot- komunikatsiya texnologiyalari va aloqa harbiy instituti VI xalqaro ilmiy konfrensiya 2024, 17.04 : 359-263.

2. Ахмедов А.Б., Юсупов Э.Т Альтернативное имитационное математическое моделирование для получения ветровой и всех альтернативных видов энергии из регионов Узбекистана, Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека Международный симпозиум «Рахматулинские чтения»:2025, 23.10 : 184-185.2. Liaw A., Wiener M. Classification and Regression by randomForest. R News. 2002;2(3):18–22.

3. Pham L.T., Luo L., Finley A. Evaluation of random forests for short-term daily streamflow forecasting in rainfall- and snowmelt-driven watersheds. Hydrology and Earth System Sciences. 2021;25:2997–3015. doi:10.5194/hess-25-2997-2021.

4. Moges D.M. et al. Streamflow Prediction with Time-Lag-Informed Random Forest Models. Water. 2024;16(19):2805.

5. Tongal H., Booij M.J. Simulation and forecasting of streamflows using machine learning models. Journal of Hydrology. 2018;564:404–415.

6. Lubitz W.D., Lyons M., Simmons S. Performance Model of Archimedes Screw Hydro Turbines with Variable Fill Level. Journal of Hydraulic Engineering. 2014;140(10):04014050. doi:10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000922.

7. Dellinger G., Terfous A., Garambois P.-A., Ghenaim A. Experimental investigation and performance analysis of Archimedes screw generator. Journal of Hydraulic Research. 2016;54(2):197–209. doi:10.1080/00221686.2015.1136706.

8. Rohmer J., Knittel D., Sturtzer G., Flieller D., Renaud J. Modeling and experimental results of an Archimedes screw turbine. Renewable Energy. 2016;94:136–146. doi:10.1016/j.renene.2016.03.044.

9. Kozyn A., Lubitz W.D. A power loss model for Archimedes screw generators. Renewable Energy. 2017;108:260–273. doi:10.1016/j.renene.2017.02.062.

10. Dedić-Jandrek H., Nižetić S. Small scale Archimedes hydro power plant test station: Design and experimental investigation. Journal of Cleaner Production. 2019;231:756–771.

11. Erinofiardi et al. Influence of Blade Number on Flow and Performance of an Archimedes Screw Turbine. Sustainability. 2022;14(23):15948. doi:10.3390/su142315948.