GIDROELEKTR STANSIYALARDA TURBINA TURINI TANLASH MEZONLARI VA GIDROAGREGATLARNING ASOSIY PARAMETRLARI TAHLILI

Buxoro Innovatsiyalar Universiteti,

“Muhandislik va logistika” kafedrasi v.v.b. dotsenti,

G‘afurov Mirzohid Orifovich

Annotatsiya

Ushbu maqolada gidroelektr stansiyaning (GES) asosiy tarkibiy qismlari – suv olish inshootlari, bosimli suv o‘tkazgichlar (truboprovodlar), gidroturbinalar, generatorlar, gidroagregatlar va yordamchi uskunalar – muhandislik tahlili amalga oshirilgan. Gidroturbinalarning reaktiv va impulsli turlari ularning asosiy texnik ko‘rsatkichlari – napor diapazoni, FIK, solishtirma tezlik va qo‘llanilish sohasi bo‘lича taqqoslangan. Turbinalarning hisoblash formulalari, kavitatsiya hodisasi, so‘ruvchi trubalar va spiralli kameralarning roli ko‘rib chiqilgan. Gidrogeneratorlarning sovitish usullari taqqoslab tahlil qilingan. Maqola xalqaro va mahalliy adabiyotlar asosida tuzilgan bo‘lib, GES loyihalash va ekspluatatsiyasi sohasidagi dolzarb texnik masalalarni yoritadi.

Kalit so‘zlar: *gidroelektr stansiya (GES), gidroturbina, Frensis turbinasi, Kaplan turbinasi, Pelton turbinasi, gidroagregat, gidrogenerator, spiralli kamera, so‘ruvchi truba, FIK, napor, suv sarfi, kavitatsiya, sovitish tizimi.*

Gidroelektr stansiya (GES) – suv oqimining energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi murakkab muhandislik inshootlar majmuasidir. Dunyo bo‘yicha umumiy

o‘rnatilgan gidroenergetika quvvati 1 300 GVt dan oshgan bo‘lib, bu barcha qayta tiklanuvchi energiya manbalarining eng katta ulushini tashkil etadi (IEA, 2023). O‘zbekistonda ham Toktog‘ul, Charvak va Nurek GESlari mintaqaviy energetika tizimining muhim tayanchi hisoblanadi. GESning samarali ishlashi uning barcha tarkibiy qismlarining muvofiqlashtirilgan hamkorligiga bog‘liq: suv olish inshootidan boshlab, truboprovodlar, gidroturbinalar, generatorlar va yordamchi uskunalargacha – har bir element yagona texnologik zanjirning ajralmas bo‘g‘inidir. Ushbu maqolada ushbu tarkibiy qismlarning tuzilishi, ishlash printsipi, asosiy parametrlari va o‘zaro bog‘liqlik masalalari ko‘rib chiqiladi.

GESning birinchi bo‘g‘ini suv olish inshooti bo‘lib, u daryodagi yoki suv omboridagi suvni tegishli miqdorda qabul qilib, bosimli truboprovodlarga yo‘naltiradi. Inshoot turi gidrouzel turiga qarab farqlanadi: to‘g‘on tipidagi (bevosita to‘g‘on tanasida joylashgan), qirg‘oq tipidagi (derivatsiyali GESlarda) va tog‘ daryolari uchun tirolean tipidagi inshootlar mavjud. Axlat panjaralar (sterjenlar orasi 50–150 mm), zatvorlar, cho‘ktirish havzasi va aerotsiya qurilmasi asosiy elementlar hisoblanadi. Bosimli suv o‘tkazgichlar (truboprovodlar) suvni turbinalarga bosim ostida yetkazib beradi. Truboprovoddagi bosim yo‘qotishlari Darsi-Veysbach formulasi bilan hisoblanadi: $h_0 = \lambda \times (\frac{L}{d}) \times (\frac{v^2}{2g})$. Suv tezligi odatda 3–6 m/s oralig‘ida tanlanadi. Gidravlik zarba xavfini bartaraf etish uchun Jukovskiy formulasi ($\Delta P = \rho \times c \times \Delta v$) asosida hisob’kitob o‘tkazilib, suv minorasi (surge tank) va sekin yopiluvchi zatvorlar loyihalanadi.

Gidroturbina – suv oqimining kinetik va potentsial energiyasini valning aylanma mexanik energiyasiga aylantiruvchi GESning asosiy energetik uskunasidir. Turbinalar ishlash printsipiga ko‘ra ikki guruhga bo‘linadi: reaktiv (bosimli) va impulsli (aktiv). Reaktiv turbinalarda suv ishchi g‘ildirak kanallarini to‘ldirgan holda bosim va tezlik

energiyasining har ikkalasini uzatadi; impulsli turbinalarda esa suv maxsus soplo orqali atmosfera bosimida kosachalarga ta’sir qiladi. Turbina turi va o‘lchami solishtirma tezlik $n_s = n\sqrt{N} / H^{(5/4)}$ formulasi va napor diapazoni asosida tanlanadi. Quyidagi jadvalda asosiy turbina turlari va ularning texnik ko‘rsatkichlari keltirilgan:

1-jadval. Gidroturbinalar turlari va asosiy texnik ko’rsatkichlari

Turbina turi	Ishlash printsipi	Napor H (m)	FIK η (%)	nS	Suv oqimi yo‘nalishi	Asosiy qo‘llanilishi
Kaplan	Reaktiv (bosimli)	5 – 80	90 – 93	400–900	Aksial	Past naporli GES
Frensis	Reaktiv (bosimli)	30 – 700	93 – 95	60–400	Radial-aksial	O‘rta/yuqori naporli GES
Diagonal	Reaktiv (bosimli)	30 – 200	91 – 93	150–400	Qiya	O‘rta naporli GES
Pelton	Impulsli (aktiv)	300 – 2000	89 – 92	5–50	Tangensial	Yuqori naporli GES (tog‘)
Turgo	Impulsli (aktiv)	50 – 250	85 – 90	50–200	Qiya-tangensial	O‘rta naporli, tog‘ GES

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, eng keng tarqalgan Frensis turbinasi keng napor diapazonida (30–700 m) eng yuqori FIKga (93–95%) ega. Kaplan turbinasi buriladigan pallar tufayli turli suv sarflarida ham yuqori samaradorlikni saqlaydi. Pelton turbinalari O‘zbekistonning tog‘ daryolari (Pamir-Oloy) uchun va Toktog‘ul tipidagi yuqori naporli ob’ektlar uchun istiqbolli hisoblanadi (Haminov, 2010).

Gidroturbinaning ishlashini ifodalovchi asosiy parametrlar quyidagi jadvalda keltirilgan:

2-jadval. Gidroturbinaning asosiy parametrlari va formulalari

Parametr	Belgisi	Ta’rifi	Formulasi / qiymatlari
Napor	H (m)	Turbina kirishi va chiqishidagi suv sathlarining energetik farqi	Nominal, maksimal va minimal napor farqlanadi
Suv sarfi	Q (m³/s)	Turbina orqali o‘tadigan suv hajmi birlik vaqtda	$Q = v \times A$ (v – tezlik, A – kesim yuzasi)
Quvvat	N (kVt)	Turbina vali orqali generatorga uzatiladigan mexanik quvvat	$N = 9{,}81 \times Q \times H \times \eta_t$
FIK	η_t	Foydali quvvatning umumiy suv quvvatiga	Zamonaviy turbinalarda 0,88 – 0,95

		nisbati	
Aylanish tezligi	n (ayl/min)	Ishchi g‘ildirak valining sinxron chastotasi	$n = \frac{60f}{p}$ (f – 50 Gts, p – qutb juftlari)
Solishtirma tezlik	n_s	Turbina turini aniqlashdagi solishtirma parametr	$n_s = \frac{n\sqrt{N}}{H^{\frac{5}{4}}}$
So‘rish balandligi	H_s (m)	Turbina o‘qi va quyi byef suv sathi orasidagi masofa	Kavitatsiyaga bog‘liq chegaralangan qiymat
Gidroagregat FIK	η_a	Turbina, generator va mexanik uzatish FIKlari ko‘paytmasi	$\eta_a = \eta_t \times \eta_e \times \eta_m$; qiymati 0,85 – 0,93

Turbina va generatorni birlashtiradigan gidroagregat umumiy FIKi $\eta_a = \eta_t \times \eta_e \times \eta_m$ formulasi bilan hisoblanadi. Zamonaviy gidroagregatlarda bu ko‘rsatkich 0,85–0,93 oralig‘ida bo‘lib, GES quvvati $N = 9{,}81 \times Q \times H \times \eta_a$ formulasi bilan aniqlanadi. So‘ruvchi truba turbinani quyi byef sathidan yuqoriroqqa o‘rnatish imkonini beradi va chiqqan suvning qoldiq kinetik energiyasini bosim energiyasiga aylantiradi; kengayish burchagi odatda 6–8 daraja qilib tanlanadi (Krivchenko, 1983).

Gidrogenerator – gidroturbina tomonidan aylantiriluvchi sinxron elektr mashinasi bo‘lib, uch fazali o‘zgaruvchan tok ishlab chiqaradi. Vertikal o‘qli generatorlar

ko‘pchilik GESlarda qo‘llaniladi. Gorizontal o‘lchamlar kichikroq bo‘lgan rotor aniq qutbli (salient pole) konstruktsiyaga ega bo‘lib, past aylanish tezligiga (n = 60–150 ayl/min) mos keladi; qutblar soni ko‘p bo‘ladi (masalan, n = 75 ayl/min da 40 juft qutb). Generator ishlashida chulg‘amlar va magnit o‘zakdagi yo‘qotishlar natijasida ajraladigan issiqlikni chiqarish uchun samarali sovitish tizimi zarur. Asosiy sovitish usullari quyidagi jadvalda taqqoslangan:

3-jadval. Gidrogeneratorlarning sovitish usullari taqqoslovi

Sovitish usuli	Samaradorlik	Quvvat diapazoni	Afzalliklari	Kamchiliklari
Havo bilan	O‘rtacha	100 MVt gacha	Oddiy, arzon, keng tarqalgan	Katta generatorda samarasiz
Vodorod bilan	Yuqori	100 – 500 MVt	Issiqlik o‘tkazuvchanligi 7x yuqori; ventilatsiya yo‘qotishlari kichik	Portlash xavfi, germetik korpus, maxsus tizim zarur
Suv bilan (bevosita)	Eng yuqori	200 MVt dan ortiq	Solishtirma quvvat sezilarli oshadi	Murakkab, statorga suv kirish kanallari kerak

Kombinatsiyalangan	Juda yuqori	300 MVt dan ortiq	Rotor – havo/vodorod, stator – suv; zamonaviy standart	Murakkab loyiha va xizmat ko‘rsatish

O‘zbekiston GESlari uchun, xususan Charvak GES (620 MVt) kabi yirik ob’ektlarda, kombinatsiyalangan sovitish tizimlari maqsadga muvofiqdir. Zamonaviy gidrogeneratorlarda raqamli monitoring va avtomatik boshqaruv tizimlari sovitish rejimini optimal saqlashga imkon beradi.

Turbina regulyatori elektrogidravlik tipda bo‘lib, tarmoq yuklanishi o‘zgarganda yo‘naltiruvchi apparat ochilishini avtomatik o‘zgartirib, quvvatni muvozanatlaydi. Moy bosimi stansiyasining bosim akkumulyatorlari (25–63 atm) favqulodda holatlarda, nasoslar to‘xtaganda ham zatvorlarni yopish uchun energiya zaxirasini saqlaydi. Ishga tushirish jarayoni to‘rt bosqichda amalga oshiriladi: tayyorgarlik, turbinani suv bilan to‘ldirish, sinxron tezlikka tezlashtirish va tarmoqqa ulash sinxronizatsiyasi. Favqulodda to‘xtatishda yo‘naltiruvchi apparat darhol yopiladi va gidravlik zarba xavfini kamaytirish uchun so‘ndirish klapanlari ishga tushadi.

GES samarali ishlashi uchun asosiy uskunalardan tashqari yordamchi tizimlar ham zarur. Ular quyidagi jadvalda keltirilgan:

4-jadval. GES yordamchi uskunalari va ularning vazifalari

Uskuna / tizim	Vazifasi va asosiy xususiyatlari

Qo‘zg‘atish tizimi	Generator rotorining magnit maydonini hosil qiladi; doimiy tok manbai orqali rotor chulg‘amlariga tok uzatiladi
Moylash tizimi	Podshipniklar va boshqa ishqalanuvchi qismlarni moylaydi; moy sovitgichlar va filtrlash tizimini o‘z ichiga oladi
Kompressor stansiyasi	Siqilgan havo ishlab chiqaradi (25–63 atm); tormozlash, zatvorlarni boshqarish va gidravlik tizimlar uchun zarur
Moy bosimi stansiyasi (MBS)	Gidravlik mexanizmlar uchun yuqori bosimli moy ishlab chiqaradi; nasoslar, bak, filtrlar va bosim akkumulyatorlarini o‘z ichiga oladi
Ko‘prikli kran	Uskunalarni montaj qilish, ta’mirlash va almashtirish uchun; GES mashinalar zalining asosiy yuk ko‘tarish vositasi
Transformator	Generator kuchlanishini (6–20 kV) uzatish uchun zarur bo‘lgan yuqori kuchlanishga o‘zgartiradi (110–500 kV)
Avtomatik boshqaruv tizimi	GES ishlashini nazorat qiladi, himoya funksiyalarini bajaradi, ish rejimlarini tartibga soladi va monitoring o‘tkazadi
Turbina regulyatori	Turbina aylanish tezligini (chastotasini) elektrogidravlik usulda avtomatik tartibga soladi; tarmoq yuklanishi o‘zgarganda yo‘naltiruvchi apparat ochilishini boshqaradi

Turbina regulyatori elektrogidravlik tipda bo‘lib, tarmoq yuklanishi o‘zgarganda yo‘naltiruvchi apparat ochilishini avtomatik o‘zgartirib, quvvatni muvozanatlaydi. Moy bosimi stansiyasining bosim akkumulyatorlari (25–63 atm) favqulodda holatlarda, nasoslar to‘xtaganda ham zatvorlarni yopish uchun energiya zaxirasini saqlaydi. Ishga tushirish jarayoni to‘rt bosqichda amalga oshiriladi: tayyorgarlik, turbinani suv bilan to‘ldirish, sinxron tezlikka tezlashtirish va tarmoqqa ulash sinxronizatsiyasi. Favqulodda to‘xtatishda yo‘naltiruvchi apparat darhol yopiladi va gidravlik zarba xavfini kamaytirish uchun so‘ndirish klapanlari ishga tushadi.

Gidroelektr stansiyaning samarali ishlashi uning barcha tarkibiy qismlarining muvofiqlashtirilgan hamkorligiga bog‘liq. Gidroturbina turini tanlashda napor diapazoni, solishtirma tezlik n_s va suv sarfiga ko‘ra optimal qaror qabul qilish GES samaradorligini belgilovchi asosiy mezon hisoblanadi. Spiralli kamera suv oqimini turbina perimetrida tekis taqsimlab, FIKni oshiradi; so‘ruvchi truba esa turbina o‘rnini iqtisodiy jihatdan qulay balandlikda joylashtirishga imkon beradi. Zamonaviy GESlarda raqamli boshqaruv tizimlari, ilg‘or sovitish va gidravlik mexanizmlar stansiyalarning samaradorligi va ishonchliligini yangi darajaga olib chiqmoqda. O‘zbekistondagi mavjud va qurilayotgan GESlarda ushbu texnik yechimlarni qo‘llanilishi milliy energetika xavfsizligini mustahkamlashga sezilarli hissa qo‘shadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Krivchenko G.I. Gidravlicheskie mashiny (turbiny i nasosy). – M.: Energoatomizdat, 1983. – 320 b.
2. Shchavelev D.S., Gubin F.F. Gidroenergetika. – M.: Energoatomizdat, 1988. – 415 b.
3. N.N. Sadullayev., G‘afurov M.O. Sanoat korxonasining kompleks energiya

4. samaradorlik ko‘rsatkichini aniqlash. “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” jurnali, №2/2023,124-128 b.
5. N.N. Sadullayev., G‘afurov M.O. Gibrid energiya manbali energiya iste’moli obyektini umumlashgan samaradorlik ko‘rsatkichini aniqlash. Muqobil energetika jurnali, №2. 2023 y.35-40 b.
6. N.N. Sadullayev., Nematov Sh.N., G‘afurov M.O. Xorijiy davlatlar tahlili asosida O‘zbekistonda elektr energiyasi narxlarini aniqlash. “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti”jurnali, №4/2023, 127-130 b.
7. Sadullayev N.N., G‘afurov M.O., Ne’matova Z.N. O‘zbekistonda elektr energiyasi narxlarini oshirish va tabaqalashtirilgan ta’rifni joriy etishga oid tahliliy xulosalalar. FarPI ilmiy-texnika jurnali, 2024 y. №10. 86-90 b.
8. Bernshtein L.B. Gidroelektricheskie stantsii. – M.: Energiya, 1994. – 512 b.
9. Kovalev N.N. Gidroturbiny: konstruktsiya i voprosy proektirovaniya. – M.: Mashinostroenie, 1984. – 384 b.
10. Brekke H. Hydraulic Turbines: Design, Erection and Operation. – NTNU, 2001. – 196 b.