GIDROELEKTR STANSIYALARINING ELEKTR ENERGIYASI ISHLAB CHIQARISH JARAYONIDA ENERGIYA YO‘QOTISHLARINI KAMAYTIRISH USULLARINI ISHLAB CHIQISH

Eshbekov Muxriddin Mashrab o‘g‘li
Termiz davlat muhandislik va agrotexnologiyalar universiteti,
“Elektr Energetikasi” yo’nalishi 3-bosqich talabasi
ORCID: 0009-0008-7076-3448
E-mail: mukhriddin7804@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada gidroelektr stansiyalarida elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan energiya yo‘qotishlarining asosiy sabablari tahlil qilingan hamda ularni kamaytirishning zamonaviy usullari ishlab chiqilgan. Tadqiqot davomida gidravlik, mexanik va elektr yo‘qotishlarning kelib chiqish omillari o‘rganilib, turbina va generatorlarning samaradorligini oshirish, raqamli monitoring tizimlarini joriy etish, avtomatik boshqaruv texnologiyalaridan foydalanish hamda ekspluatatsiya jarayonlarini optimallashtirish bo‘yicha takliflar ishlab chiqilgan. Tadqiqot natijalari gidroelektr stansiyalarining foydali ish koeffitsientini oshirish, elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligini yaxshilash va energiya resurslaridan oqilona foydalanishga xizmat qiladi.

Kalit so‘zlar: gidroelektr stansiyasi, elektr energiyasi, energiya yo‘qotishlari, gidravlik yo‘qotishlar, turbina, generator, foydali ish koeffitsienti, avtomatik boshqaruv, raqamli monitoring, energiya samaradorligi.

Аннотация. В статье проанализированы основные причины потерь энергии при производстве электроэнергии на гидроэлектростанциях и разработаны современные методы их снижения. Исследованы гидравлические, механические и электрические потери, возникающие в процессе эксплуатации гидроэлектростанций. Предложены пути повышения эффективности работы гидротурбин и генераторов, внедрения цифровых систем мониторинга, автоматизированного управления и оптимизации эксплуатационных процессов. Полученные результаты способствуют повышению коэффициента полезного действия гидроэлектростанций, увеличению эффективности производства электроэнергии и рациональному использованию энергетических ресурсов.

Ключевые слова: гидроэлектростанция, электроэнергия, потери энергии, гидравлические потери, гидротурбина, генератор, коэффициент полезного действия, автоматизированное управление, цифровой мониторинг, энергоэффективность.

Abstract. This article analyzes the main causes of energy losses in the electricity generation process at hydroelectric power plants and proposes modern methods for reducing these losses. The study investigates hydraulic, mechanical, and electrical losses occurring during power generation and operation. Recommendations are developed to improve the efficiency of hydraulic turbines and generators through digital monitoring systems, automated control technologies, and optimized operational processes. The research findings contribute to increasing the efficiency of hydroelectric power plants, improving electricity generation performance, and promoting the rational use of energy resources.

Keywords: hydroelectric power plant, electricity generation, energy losses, hydraulic losses, turbine efficiency, generator, efficiency coefficient, automated control, digital monitoring, energy efficiency.

Kirish. Bugungi kunda dunyo miqyosida elektr energiyasiga bo‘lgan talabning izchil ortib borishi, energiya resurslaridan samarali foydalanish hamda ekologik toza energiya manbalarini rivojlantirish masalalari dolzarb ahamiyat kasb etmoqda. Shu nuqtai nazardan, qayta tiklanuvchi energiya manbalari tarkibida muhim o‘rin egallaydigan gidroelektr stansiyalarining (GES) samaradorligini oshirish va elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan energiya yo‘qotishlarini kamaytirish ustuvor ilmiy-amaliy vazifalardan biri hisoblanadi.

Gidroelektr stansiyalarida energiya ishlab chiqarish jarayoni suv oqimining potensial energiyasini mexanik energiyaga, undan esa elektr energiyasiga aylantirishga asoslanadi. Ushbu jarayonning har bir bosqichida gidravlik qarshiliklar, turbina va generatorlarning texnik holati, transformatorlar hamda elektr uzatish tizimlaridagi yo‘qotishlar natijasida umumiy foydali ish koeffitsienti pasayadi. Natijada ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasi hajmi kamayadi, ekspluatatsiya xarajatlari ortadi va mavjud suv resurslaridan foydalanish samaradorligi pasayadi.

Zamonaviy gidroelektr stansiyalarida energiya yo‘qotishlarini kamaytirish uchun yuqori samaradorlikka ega turbinalardan foydalanish, generatorlarning ish rejimlarini optimallashtirish, avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlarini joriy etish, raqamli monitoring va diagnostika texnologiyalarini qo‘llash hamda ekspluatatsiya jarayonlarini ilmiy asosda tashkil etish muhim ahamiyatga ega. Shuningdek, real vaqt rejimida ishlovchi nazorat tizimlari uskunalarning texnik holatini baholash, nosozliklarni oldindan aniqlash va energiya isroflarini minimallashtirish imkonini beradi.

Adabiyotlar tahlili. Gidroelektr stansiyalarida elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligini oshirish va energiya yo‘qotishlarini kamaytirish masalalari so‘nggi yillarda energetika sohasidagi eng muhim ilmiy yo‘nalishlardan biriga aylangan. M. M. Rashid elektr energetikasi tizimlari bo‘yicha olib borgan tadqiqotlarida gidroelektr stansiyalarida energiya yo‘qotishlari nafaqat generator va transformatorlarda, balki elektr uzatish tizimlarida ham yuzaga kelishini ta'kidlaydi. Muallif energiya samaradorligini oshirish uchun yuqori foydali ish koeffitsientiga ega elektr uskunalaridan foydalanish, reaktiv quvvatni boshqarish hamda avtomatlashtirilgan nazorat tizimlarini joriy etish zarurligini qayd etadi [1].P. Kundur elektr energetika tizimlarining barqaror ishlashini ta'minlash bo‘yicha olib borgan tadqiqotlarida gidroelektr stansiyalarining optimal ish rejimini tanlash elektr energiyasi yo‘qotishlarini sezilarli darajada kamaytirishini ilmiy asoslab bergan. Uning fikricha, generator yuklamasini optimal boshqarish, kuchlanish va chastotani barqaror saqlash energiya samaradorligini oshirishning muhim omillaridan hisoblanadi [2]. L. Dixon tomonidan gidroturbinalarning konstruktiv xususiyatlari va ishlash samaradorligi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlarda turbina kuraklarining shakli, suv oqimining yo‘nalishi hamda gidravlik qarshiliklar energiya yo‘qotishlariga bevosita ta'sir qilishi ko‘rsatilgan. Muallif zamonaviy turbinalarni qo‘llash va oqim parametrlarini optimallashtirish orqali gidravlik yo‘qotishlarni kamaytirish mumkinligini asoslaydi [3]. I. Armanini va hamkorlar gidravlik jarayonlarni modellashtirish bo‘yicha olib borgan ilmiy izlanishlarida suv oqimining turbulentligini kamaytirish, suv o‘tkazuvchi inshootlarning geometrik parametrlarini optimallashtirish hamda gidravlik qarshiliklarni pasaytirish gidroelektr stansiyalarining umumiy samaradorligini oshirishini ta'kidlaydilar. [4]. B. K. Sovacool qayta tiklanuvchi energetika texnologiyalarini tahlil qilar ekan, gidroelektr stansiyalarida raqamli monitoring, aqlli sensorlar va real vaqt rejimidagi boshqaruv tizimlarini joriy etish uskunalar samaradorligini oshirishi hamda ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirishini qayd etadi. [5]. Xalqaro Energetika Agentligi (IEA) hisobotlarida gidroelektr energetikasi elektr energiyasi ishlab chiqarishda eng muhim qayta tiklanuvchi manbalardan biri ekanligi ta'kidlanadi. [6]. Xalqaro Gidroenergetika Assotsiatsiyasi (IHA) tomonidan e'lon qilingan ilmiy hisobotlarda gidroelektr stansiyalarining texnik holatini

uzluksiz monitoring qilish, profilaktik diagnostika, sun'iy intellekt elementlariga asoslangan. [7].

Materiallar va usullar. Mazkur tadqiqotda gidroelektr stansiyalarida elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan energiya yo‘qotishlarini aniqlash va ularni kamaytirish usullarini ishlab chiqishga qaratilgan ilmiy-tadqiqot metodlaridan foydalanildi. Tadqiqotning nazariy asosini gidroenergetika, elektr energetikasi va energiya samaradorligi sohasidagi mahalliy hamda xorijiy olimlarning ilmiy ishlari, xalqaro tashkilotlar (IEA, IHA) hisobotlari va me'yoriy-texnik hujjatlar tashkil etdi. Tadqiqot davomida ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish, qiyosiy tahlil, tizimli yondashuv va statistik tahlil usullaridan foydalanildi. Dastlab gidroelektr stansiyalarida energiya yo‘qotishlariga ta'sir etuvchi asosiy omillar – gidravlik yo‘qotishlar, turbina va generatorlardagi mexanik hamda elektr yo‘qotishlar, transformator va elektr uzatish qurilmalaridagi quvvat yo‘qotishlari o‘rganildi. Olingan ma'lumotlar asosida energiya yo‘qotishlarining texnik va texnologik sabablari guruhlarga ajratildi hamda ularning ishlab chiqarish samaradorligiga ta'siri baholandi.

1-jadval. Gidroelektr stansiyalarida energiya yo‘qotishlarini kamaytirish usullarining samaradorligi

Energiya yo‘qotish manbai	Dastlabki yo‘qotish (%)	Taklif etilgan usul	Takomillashtirilgandan keyingi yo‘qotish (%)	Kamayish (%)
Gidravlik yo‘qotishlar	8,5	Suv o‘tkazuvchi inshootlarni optimallashtirish	5,2	3,3
Turbinadagi mexanik yo‘qotishlar	5,8	Yuqori samarali turbina va texnik xizmat ko‘rsatish	3,6	2,2
Generator yo‘qotishlari	3,9	Generatorni modernizatsiya qilish va sovutish tizimini takomillashtirish	2,5	1,4
Transformator yo‘qotishlari	2,4	Energiya tejamkor transformatorlardan foydalanish	1,5	0,9
Boshqaruv tizimidagi yo‘qotishlar	4,3	Avtomatlashtirilgan boshqaruv va raqamli monitoring tizimini joriy etish	2,0	2,3
Ekspluatatsion yo‘qotishlar	3,1	Rejali texnik xizmat ko‘rsatish va diagnostikani takomillashtirish	1,8	1,3
Umumiy energiya yo‘qotishlari	28,0	Kompleks optimallashtirish	16,6	11,4

Izoh: Jadvaldagi qiymatlar ilmiy adabiyotlar tahlili va gidroelektr stansiyalarining texnik ko‘rsatkichlari asosida shakllantirilgan namunaviy hisob-kitob natijalarini aks ettiradi. Taklif etilgan chora-tadbirlarni joriy etish natijasida umumiy energiya yo‘qotishlari 28,0 % dan 16,6 % gacha, ya'ni 11,4 foiz punktga (40,7 %) kamayishi mumkin. Bu esa gidroelektr

stansiyasining foydali ish koeffitsienti va elektr energiyasi ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga xizmat qiladi.

Tadqiqot natijalari va muhokamasi. Tadqiqot davomida gidroelektr stansiyalarida elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonida energiya yo‘qotishlarini keltirib chiqaruvchi asosiy omillar tahlil qilindi. Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, energiya yo‘qotishlarining asosiy qismi gidravlik, mexanik va elektr yo‘qotishlar hissasiga to‘g‘ri keladi. Gidravlik yo‘qotishlar asosan suv oqimining notekis harakati, suv o‘tkazuvchi inshootlardagi qarshiliklar hamda turbina kirish qismida yuzaga keladigan bosim yo‘qotishlari bilan bog‘liq. Mexanik yo‘qotishlar podshipniklar, aylanuvchi qismlar va ishqalanish jarayonlari natijasida yuzaga keladi, elektr yo‘qotishlari esa generator chulg‘amlari, magnit o‘zak hamda transformatorlarda sodir bo‘ladi.

O‘tkazilgan tahlillar gidroagregatlarning optimal ish rejimida ishlashi energiya samaradorligini sezilarli darajada oshirishini ko‘rsatdi. Suv sarfi va bosim parametrlarini me'yoriy qiymatlarda ushlab turish, turbina yuklanishini moslashtirish hamda generatorning nominal ish rejimini ta'minlash orqali foydali ish koeffitsienti oshadi va energiya yo‘qotishlari kamayadi. Ayniqsa, eskirgan uskunalarni yuqori samaradorlikka ega zamonaviy turbina va generatorlar bilan almashtirish elektr energiyasi ishlab chiqarish hajmini oshirish bilan birga ekspluatatsiya xarajatlarini ham kamaytiradi.

2- Jadval. Gidroelektr stansiyalarining elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonida energiya yo‘qotishlarini kamaytirish usullarining tahliliy taqqoslanishi

Energiya yo‘qotish manbai	**Zamonaviy texnik yechim**	**Ishlash prinsipi**	**Kutilayotgan samaradorlik**
Gidravlik yo‘qotishlar	Turbina oqim qismlarini gidrodinamik optimallashtirish	Suv oqimining qarshiligini kamaytirish va oqimni samarali yo‘naltirish	2–5 % FIK oshishi
Turbina parraklarining eskirishi va kavitatsiya	Kavitatsiyaga chidamli qoplamalar va yuqori mustahkam qotishmalar	Parraklarning yeyilishini kamaytirish va ish unumdorligini saqlash	15–30 % xizmat muddati oshadi
Generatorning elektr yo‘qotishlari	Yuqori samarali generatorlar va zamonaviy magnit materiallar	Mis va magnit yo‘qotishlarini kamaytirish	1–3 % FIK oshishi
Transformator yo‘qotishlari	Amorf yadroli energiya tejamkor transformatorlar	Magnit yadrodagi yo‘qotishlarni kamaytirish	20–40 % transformator yo‘qotishlari kamayadi
Mexanik ishqalanish	Yuqori sifatli podshipniklar va moylash tizimlari	Ishqalanish kuchlarini kamaytirish	1–2 % energiya tejaladi
Ish rejimining noto‘g‘ri tanlanishi	SCADA va avtomatlashtirilgan boshqaruv tizimlari	Real vaqt rejimida optimal boshqaruvni ta'minlash	3–6 % energiya tejaladi
Rejalashtirilmagan nosozliklar	Sun'iy intellekt asosidagi prediktiv diagnostika	Sensor ma'lumotlari asosida nosozliklarni oldindan aniqlash	20–40 % nosozliklar kamayadi

Xulosa. Mazkur tadqiqotda gidroelektr stansiyalarida elektr energiyasi ishlab chiqarish jarayonida yuzaga keladigan energiya yo‘qotishlarining asosiy sabablari kompleks tahlil qilindi hamda ularni kamaytirishning samarali usullari ishlab chiqildi. Tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatdiki, energiya yo‘qotishlarining asosiy qismi gidravlik, mexanik va elektr yo‘qotishlar hissasiga to‘g‘ri keladi. Ushbu yo‘qotishlarni kamaytirish uchun gidroagregatlarning optimal ish rejimini ta’minlash, yuqori samaradorlikka ega turbina va generatorlardan foydalanish, avtomatlashtirilgan boshqaruv hamda raqamli monitoring tizimlarini joriy etish muhim ahamiyat kasb etadi. Tadqiqot natijalari asosida ishlab chiqilgan tavsiyalarni amaliyotga joriy etish gidroelektr stansiyalarining foydali ish koeffitsientini oshirish, elektr energiyasi ishlab chiqarish hajmini ko‘paytirish, ekspluatatsiya xarajatlarini kamaytirish hamda mavjud suv-energetika resurslaridan oqilona va samarali foydalanishga xizmat qiladi. Mazkur tadqiqot natijalari gidroenergetika tarmog‘ida energiya samaradorligini oshirishga qaratilgan keyingi ilmiy izlanishlar uchun ham nazariy va amaliy asos bo‘lib xizmat qiladi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati

1. Rashid M.H. Electric Power Systems. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2017. – 1042 p.
2. Kundur P. Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill Education, 1994. – 1176 p.
3. Dixon S.L., Hall C.A. Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery. 7th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2014. – 538 p.
4. Armanini A. Principles of Hydraulic Engineering. Cham: Springer International Publishing, 2018. – 327 p.
5. Sovacool B.K. Renewable energy: Economically, socially, and environmentally sustainable energy systems // Energy Policy. Elsevier. Turli sonlar (energiya samaradorligi va qayta tiklanuvchi energetikaga oid ilmiy maqolalar).
6. International Energy Agency (IEA). Hydropower – Analysis and Outlook. Paris: International Energy Agency. https://www.iea.org/reports/hydropower
7. International Hydropower Association (IHA). 2024 Hydropower Status Report. London: International Hydropower Association, 2024. https://www.hydropower.org/status-report