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

MIKRO GIDROELEKTR STANSIYALARIDA GIDROTURBINA ISH REJIMLARINI AVTOMATIK BOSHQARISH TIZIMLARINING TAHLILI VA RIVOJLANISH TENDENSIYALARI

Qodirov D.B.
Texnika fanlari doktori, professor, Energetika fakulteti dekani, "TIIAME" Milliy tadqiqot universiteti.
Arzikulov X.M.
Tayanch doktorant, Andijon davlat texnika instituti.
E-mail: arzikulovkhusnidin@gmail.com

Annotatsiya. Mazkur maqolada mikro gidroelektr stansiyalarida gidroturbina ish rejimlarini avtomatik boshqarish tizimlarining rivojlanish tendensiyalari tahlil qilingan. Governor, ELC, PI, PID, Fuzzy Logic va sun'iy intellektga asoslangan boshqaruv usullarining afzalliklari hamda cheklovlari qiyosiy baholangan. Mavjud boshqaruv tizimlarining optimal ish nuqtasini saqlashdagi muammolari aniqlanib, real vaqt monitoringi, IoT va Digital Twin texnologiyalarining istiqbollari yoritilgan. Tadqiqot natijalari mikroGESlarda energiya samaradorligini oshirish uchun intellektual avtomatik boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish zarurligini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: mikroGES, gidroturbina, avtomatik boshqaruv, PID regulator, Fuzzy Logic, energiya samaradorligi, real vaqt monitoringi, IoT, Digital Twin, optimal ish rejimi.

Аннотация. В статье проанализированы тенденции развития систем автоматического управления режимами работы гидротурбин микроГЭС. Проведена сравнительная оценка преимуществ и ограничений методов governor, ELC, PI, PID, Fuzzy Logic и систем на основе искусственного интеллекта. Выявлены проблемы поддержания оптимальной рабочей точки существующими системами управления, а также рассмотрены перспективы применения технологий мониторинга в реальном времени, IoT и Digital Twin. Полученные результаты подтверждают необходимость разработки интеллектуальных систем управления для повышения энергоэффективности микроГЭС.

Ключевые слова: микроГЭС, гидротурбина, автоматическое управление, PID-регулятор, нечеткая логика, энергоэффективность, мониторинг в реальном времени, IoT, Digital Twin, оптимальный режим работы.

Abstract. This paper analyzes the development trends of automatic control systems for hydroturbine operating modes in micro hydropower plants. The advantages and limitations of governor, ELC, PI, PID, Fuzzy Logic, and artificial intelligence-based control approaches are comparatively evaluated. The limitations of existing systems in maintaining the optimal operating point are identified, while the

ISSN 3030-3907

prospects of real-time monitoring, IoT, and Digital Twin technologies are discussed. The results highlight the need for intelligent automatic control systems to improve energy efficiency in micro hydropower plants.

Keywords: micro hydropower plant, hydroturbine, automatic control, PID controller, Fuzzy Logic, energy efficiency, real-time monitoring, IoT, Digital Twin, optimal operating mode.

KIRISH.

Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish hajmining ortib borishi mikro gidroelektr stansiyalarga (mikroGES) bo‘lgan qiziqishni kuchaytirmoqda. MikroGESlar kichik daryolar, irrigatsiya kanallari va suv xo‘jaligi inshootlarining gidroenergetik salohiyatidan foydalanish imkonini beruvchi istiqbolli texnologiyalardan biri hisoblanadi. So‘nggi yillarda ushbu yo‘nalishda olib borilgan tadqiqotlarning sezilarli ortishi energiya samaradorligini oshirish hamda avtomatik boshqaruv tizimlarini takomillashtirish masalalarining dolzarbligini tasdiqlaydi.

MikroGESlarning energiya samaradorligi nafaqat gidroturbina konstruksiyasi, balki turbina–generator–yuklama tizimining ish rejimini boshqarish sifati bilan ham belgilanadi. Amaliy ekspluatatsiya sharoitida suv sarfi va elektr yuklamasining o‘zgarishi natijasida gidroturbinaning ish nuqtasi optimal holatdan chetlashadi, bu esa energiya ishlab chiqarish samaradorligining pasayishi hamda chastota va kuchlanish barqarorligining buzilishiga olib keladi. Shu sababli gidroturbinaning optimal ish rejimini aniqlash va uni real vaqt rejimida saqlab turuvchi boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish muhim ilmiy vazifa hisoblanadi.

Hozirgi kunda mikroGESlarda governor, ELC, PI, PID, Fuzzy Logic va sun’iy intellektga asoslangan boshqaruv usullari qo‘llanilmoqda. Biroq mavjud tadqiqotlarning aksariyati chastota va kuchlanish parametrlarini boshqarishga qaratilgan bo‘lib, gidroturbinaning optimal ish nuqtasini real vaqt rejimida saqlash masalasi yetarli darajada o‘rganilmagan. Shu munosabat bilan mazkur maqolaning maqsadi mikro gidroelektr stansiyalarida qo‘llanilayotgan avtomatik boshqaruv tizimlarini tahlil qilish, ularning energiya samaradorligiga ta’sirini baholash hamda istiqbolli boshqaruv yondashuvlarini aniqlashdan iborat.

Tadqiqotning ilmiy yangiligi mikroGESlarda qo‘llanilayotgan avtomatik boshqaruv tizimlarini energiya samaradorligi nuqtai nazaridan kompleks baholash va istiqbolli boshqaruv yo‘nalishlarini aniqlashdan iborat.

ADABIYOTLAR TAHLILI.

MikroGESlarda avtomatik boshqaruv tizimlarining rivojlanishi

Mikro gidroelektr stansiyalarida energiya ishlab chiqarish samaradorligi gidroturbina ish rejimini barqaror saqlash bilan chambarchas bog‘liq. Suv sarfi va elektr yuklamasining o‘zgarishi generator aylanish tezligi, chastota hamda

ISSN 3030-3907

kuchlanish parametrlarining tebranishiga olib keladi. Shu sababli mikroGESlarda avtomatik boshqaruv tizimlari gidroturbina–generator majmuasining ajralmas qismi sifatida rivojlanib bormoqda.

Dastlabki tadqiqotlarda mexanik governor tizimlari qo‘llanilgan bo‘lib, ular turbina klapanlari holatini o‘zgartirish orqali aylanish tezligini boshqargan. Keyinchalik governor tizimlari elektron boshqaruv elementlari bilan integratsiyalanib, chastota barqarorligini yaxshilash imkoniyatiga ega bo‘ldi [4], [5], [6]. Off-grid mikroGESlarda esa Electronic Load Controller (ELC) texnologiyasi generator yuklanishini deyarli o‘zgarmas saqlash orqali chastotani barqarorlashtirishga xizmat qildi. Biroq ortiqcha energiyaning ballast yuklamalarda sarflanishi energiyadan foydalanish samaradorligini cheklab qo‘yadi [1], [4], [5].

Boshqaruv aniqligini oshirish maqsadida PI va PID regulatorlari keng joriy etildi. Tadqiqotlar PID algoritmlari o‘tkinchi jarayonlarni qisqartirishi va chastota tebranishlarini kamaytirishini ko‘rsatgan [1], [3], [7]. Xususan, Grey Wolf Optimizer asosida optimallashtirilgan PID regulatorlar yuklama o‘zgarishlarida yuqori boshqaruv sifatini namoyish etgan [3]. Biroq mavjud ishlarda parametrlar asosan nominal ish nuqtasi uchun tanlangan bo‘lib, suv sarfi va yuklama o‘zgaruvchan sharoitlarda ularning samaradorligi pasayishi mumkin [2], [3], [7]. Shu sababli gidroturbinaning optimal ish nuqtasini real vaqt rejimida saqlash masalasi dolzarbligicha qolmoqda.

Zamonaviy intellektual boshqaruv usullari

MikroGESlarning nolinear va parametrik jihatdan o‘zgaruvchanligi sababli so‘nggi yillarda intellektual boshqaruv algoritmlariga qiziqish ortmoqda. Fuzzy Logic Controller (FLC) tizimlari ekspert bilimlariga asoslangan holda boshqaruv signallarini shakllantirib, yuklama va suv sarfi o‘zgarishlarida PID regulatorlarga nisbatan yuqori moslashuvchanlikni namoyish etgan [8], [9], [10]. Adaptive fuzzy yondashuvlari esa boshqaruv parametrlarini avtomatik moslashtirish orqali tizim barqarorligini oshiradi, biroq ularning hisoblash murakkabligi yuqori hisoblanadi [9], [10].

Sun’iy intellektga asoslangan ANN va ANFIS texnologiyalari gidroturbina hamda generatorning murakkab nolinear bog‘lanishlarini modellashtirish va prognozlash imkonini beradi [11], [12]. Biroq mavjud tadqiqotlarning aksariyatida ushbu algoritmlar alohida boshqaruv bloklari sifatida qo‘llanilgan bo‘lib, gidroturbinaning samaradorlik xaritasi, suv sarfi, generator yuklamasi va energiya ishlab chiqarish ko‘rsatkichlarini yagona optimallashtirish mezoni sifatida integratsiyalash masalasi yetarlicha yoritilmagan. Natijada optimal ish nuqtasini aniqlash va uni real vaqt rejimida saqlash muammosi hanuzgacha dolzarb bo‘lib qolmoqda. Shu sababli real vaqt monitoringi va intellektual boshqaruv

ISSN 3030-3907

algoritmlarini birlashtiruvchi yondashuvlar mikroGESlar rivojlanishining istiqbolli yo‘nalishi sifatida qaralmoqda [10], [11], [12].

TADQIQOT METODOLOGIYASI.

Mazkur tadqiqotda mikro gidroelektr stansiyalarida gidroturbina ish rejimlarini avtomatik boshqarish tizimlariga oid ilmiy adabiyotlar tizimli va qiyosiy tahlil usullari asosida o‘rganildi. Tadqiqotda klassik (governor, ELC, PI, PID) hamda zamonaviy intellektual (Fuzzy Logic, Adaptive Fuzzy, ANN, ANFIS) boshqaruv usullarining mikroGESlar energiya samaradorligiga ta’siri baholandi.

Tahlil jarayonida boshqaruv usullarining aniqligi, moslashuvchanligi, chastota va kuchlanish barqarorligini ta’minlash qobiliyati hamda optimal ish rejimini saqlash imkoniyatlari qiyosiy baholandi. Olingan natijalar asosida mavjud boshqaruv yondashuvlarining afzalliklari, cheklovlari va istiqbolli rivojlanish yo‘nalishlari aniqlandi.

MUHOKAMA VA NATIJALAR.

Mikro gidroelektr stansiyalarda energiya ishlab chiqarish samaradorligi ko‘plab texnik omillarga bog‘liq bo‘lsa-da, so‘nggi yillardagi tadqiqotlar boshqaruv tizimining ahamiyati gidroturbina konstruksiyasi bilan teng darajaga yetganini ko‘rsatmoqda. Adabiyotlar tahlili natijalariga ko‘ra, zamonaviy mikroGESlarda energiya samaradorligining pasayishi ko‘pincha suv sarfi, napor va elektr yuklamaning o‘zgaruvchanligi sababli yuzaga keladi. Bunday sharoitlarda gidroturbina ko‘p vaqt optimal ish nuqtasidan chetda ishlaydi, natijada foydali ish koeffitsienti pasayadi va energiya yo‘qotishlari ortadi [1], [2], [3].

Tahlil qilingan ilmiy ishlarda mikroGESlarni boshqarish uchun PI, PID, Fuzzy Logic va sun’iy neyron tarmoqlari (ANN) asosidagi algoritmlar keng qo‘llanilganligi aniqlandi. Ushbu usullarning asosiy afzallik va cheklovlari 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

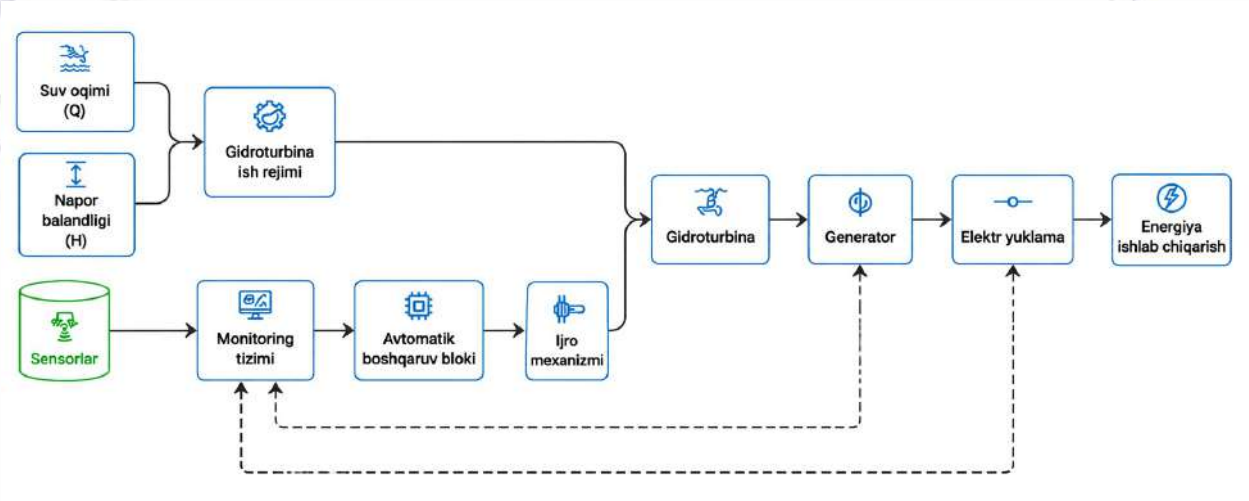
MikroGESlarda qo‘llaniladigan boshqaruv usullarining qiyosiy tahlili (mualliflar tomonidan tuzilgan).

Boshqaruv usuli	Afzalliklari	Kamchiliklari
PI	Tuzilishi sodda, amaliyotda keng qo‘llaniladi	Parametrlar o‘zgarishiga moslashuvchan emas
PID	Yuqori aniqlik va tezkor javob	Koeffitsientlarni sozlash talab etiladi
Fuzzy Logic	Nolinear tizimlarda samarali ishlaydi	Hisoblash murakkabligi yuqori

ISSN 3030-3907

ANN	O‘z-o‘zini o‘rganish va prognozlash imkoniyati mavjud	Katta hajmdagi ma’lumotlar talab qiladi

Jadvaldan ko‘rinadiki, klassik PI va PID boshqaruvchilari sanoatda keng tarqalgan bo‘lishiga qaramasdan, ular parametrlarning keskin o‘zgarishlariga yetarli darajada moslasha olmaydi. Fuzzy va ANN asosidagi yondashuvlar esa murakkab va nolinear tizimlarda yuqori samaradorlik ko‘rsatadi, biroq ularning hisoblash xarajatlari hamda real vaqt rejimida qo‘llash murakkabligi amaliy joriy etishni cheklaydi [4], [5], [6].



1-rasm. Mikro gidroelektr stansiyada turbina–generator–yuklama tizimining avtomatik boshqaruv va monitoring blok-sxemasi (muallif tomonidan ishlab chiqilgan).

1-rasmda mikroGESning asosiy elementlari – gidroturbina, generator, yuklama, sensorlar, monitoring moduli va boshqaruv bloki o‘rtasidagi o‘zaro bog‘lanish ko‘rsatilgan. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, mavjud tadqiqotlarning katta qismi generator chiqishidagi kuchlanish va chastotani barqarorlashtirishga qaratilgan bo‘lib, gidroturbinaning ichki ish rejimini optimallashtirish masalasi yetarli darajada o‘rganilmagan [7], [8].

Shuningdek, adabiyotlarni chuqur tahlil qilish natijasida mikroGESlarda optimal ish nuqtasini saqlash muammosi dolzarb ekanligi aniqlandi. Gidroturbinalarda maksimal samaradorlik ma’lum suv sarfi va napor qiymatlarida kuzatiladi. Biroq amaliy ekspluatatsiyada ushbu parametrlar doimiy ravishda o‘zgarib turadi. Natijada turbina optimal ish nuqtasidan chetlashadi va energiya ishlab chiqarish samaradorligi pasayadi [2], [8], [9]. Mavjud boshqaruv tizimlari asosan chastota va kuchlanishni barqarorlashtirish vazifasini bajaradi, biroq maksimal samaradorlik nuqtasini real vaqt rejimida kuzatish va ushlab turish imkoniyatiga ega emas.

ISSN 3030-3907

Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, zamonaviy sensor texnologiyalari va real vaqt monitoring tizimlari ushbu muammoni hal qilish uchun muhim vosita hisoblanadi. Suv sarfi, bosim, turbina aylanish tezligi, generator quvvati va yuklama holatini uzluksiz nazorat qilish orqali boshqaruv algoritmlariga zarur ma’lumotlarni uzatish mumkin. Natijada boshqaruv tizimi gidravlik va elektr parametrlaridagi o‘zgarishlarga tezkor moslasha oladi hamda energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirish imkoniyati yaratiladi [10], [11].

So‘nggi yillarda IoT (Internet of Things) va Digital Twin texnologiyalarining rivojlanishi mikroGESlarni boshqarish sohasida yangi imkoniyatlarni yuzaga keltirmoqda. IoT texnologiyasi yordamida tarqoq joylashgan mikroGESlardan real vaqt ma’lumotlarini masofadan yig‘ish va tahlil qilish mumkin. Digital Twin texnologiyasi esa fizik qurilmaning virtual nusxasini yaratish orqali tizim holatini prognozlash, nosozliklarni oldindan aniqlash va optimal boshqaruv strategiyalarini ishlab chiqishga imkon beradi [11], [12]. Biroq mavjud tadqiqotlarda ushbu texnologiyalar asosan monitoring yoki energiya menejmenti darajasida qo‘llanilgan bo‘lib, gidroturbina–generator–yuklama tizimini yagona integratsiyalashgan boshqaruv modeli sifatida qo‘llash yetarli darajada o‘rganilmagan.

Natijada olib borilgan tahlillar mikroGESlarda energiya samaradorligini oshirishning asosiy yo‘nalishi sifatida gidroturbina, generator va yuklama parametrlarini real vaqt rejimida kuzatib boruvchi hamda optimal ish nuqtasini avtomatik saqlovchi aqlli boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish zarurligini ko‘rsatdi. Tahlillar shuni ko‘rsatdiki, mavjud boshqaruv tizimlarining aksariyati generator parametrlarini barqarorlashtirishga yo‘naltirilgan bo‘lib, gidroturbinaning maksimal samaradorlik nuqtasini real vaqt rejimida kuzatish va saqlash masalasi yetarli darajada hal etilmagan. Aynan ushbu ilmiy bo‘shliq mazkur tadqiqotning asosiy mazmunini tashkil etadi va kelgusida IoT hamda Digital Twin texnologiyalari bilan integratsiyalashgan avtomatik boshqaruv algoritmlarini yaratish uchun nazariy asos bo‘lib xizmat qiladi [7], [10], [12].

XULOSA VA TAKLIFLAR.

O‘tkazilgan tahlillar mikro gidroelektr stansiyalarida energiya ishlab chiqarish samaradorligi nafaqat gidroturbina konstruksiyasi, balki uning ish rejimini boshqarish sifati bilan ham bevosita bog‘liqligini ko‘rsatdi. Adabiyotlar tahlili natijalariga ko‘ra, governor, ELC, PI va PID asosidagi an’anaviy boshqaruv tizimlari chastota hamda kuchlanish barqarorligini ta’minlashda samarali bo‘lsa-da, o‘zgaruvchan gidravlik sharoitlarda gidroturbinaning optimal ish nuqtasini uzoq muddat saqlash imkoniyatlari cheklangan. Fuzzy Logic, Adaptive Fuzzy, ANN va ANFIS kabi intellektual boshqaruv usullari esa tizimning moslashuvchanligini oshirish va boshqaruv sifatini yaxshilash imkonini beradi.

ISSN 3030-3907

Tahlillar natijasida mikroGESlarda energiya samaradorligini oshirishning istiqbolli yo‘nalishi sifatida real vaqt monitoringi, IoT va Digital Twin texnologiyalari bilan integratsiyalashgan intellektual avtomatik boshqaruv tizimlarini ishlab chiqish zarurligi aniqlandi. Gidroturbinaning optimal ish rejimini suv sarfi, napor va elektr yuklamasi o‘zgarishlariga mos ravishda avtomatik saqlab turuvchi boshqaruv algoritmlarini yaratish mikroGESlarda energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirishga qaratilgan keyingi tadqiqotlarning muhim yo‘nalishi hisoblanadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Gil-González W., Montoya O.D., Garces A. Modeling and control of a small hydro-power plant for a DC microgrid // Electric Power Systems Research. – 2020. – Vol. 180. – Article 106104. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.epsr.2019.106104
2. Naik K.R., Rajpathak B., Mitra A., Kolhe M.L. Assessment of energy management technique for achieving the sustainable voltage level during grid outage of hydro generator interfaced DC Micro-Grid // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2021. – Vol. 46. – Article 101231. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101231
3. Novendra I.I., Wirawan I.M., Kusumawardana A., Latt A.K. Optimization of load frequency control using grey wolf optimizer in micro hydro power plants // Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology. – 2023. – Vol. 14, No. 2. – P. 166–176. – DOI: https://doi.org/10.14203/j.mev.2023.v14.166-176
4. Chatterjee H.S., Mahato S.N. Development of modified P&O algorithm based simple controller for constant voltage and frequency operation of three-phase IIG for micro-hydro application // e-Prime – Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy. – 2024. – Vol. 7. – Article 100456. – DOI: https://doi.org/10.1016/j.prime.2024.100456
5. Fan Y., Zhang D., Li J. A control scheme for variable-speed micro-hydropower plants // Sustainability. – 2018. – Vol. 10, No. 11. – Article 4333. – DOI: https://doi.org/10.3390/su10114333
6. Hardi S., Safitri N., Yaman, Radhiah, Jamaluddin. Innovation of control valve motorization method for regulating turbine rotation in micro hydro generators // International Journal of Applied Power Engineering. – 2025. – Vol. 14, No. 1. – P. 90–100. – DOI: https://doi.org/10.11591/ijape.v14.i1.pp90-100
7. Pawawoi A., Muslyadi W.R., Akbar F., Nazir R. Analysis of Electronic Load Controller with Bidirectional Converter in Self-Excited Induction Generator // Jurnal Nasional Teknik Elektro. – 2022. – Vol. 11, No. 2. – P. 76–83. – DOI: https://doi.org/10.25077/jnte.v11n2.1003.2022

ISSN 3030-3907

8. Perng J.-W., Kuo Y.-C., Lu K.-C. Design of the PID controller for hydro-turbines based on optimization algorithms // International Journal of Control, Automation and Systems. – 2020. – Vol. 18, No. 7. – P. 1758–1770. – DOI: https://doi.org/10.1007/s12555-019-0254-7
9. Salhi I., Doubabi S., Essounbouli N. Fuzzy control of micro hydro power plants // Proceedings of the 5th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2010). – Brighton, United Kingdom, 2010. – DOI: https://doi.org/10.1049/cp.2010.0084
10. El Hamdaouy A., Salhi I., Doubabi S. Load frequency controller based on PI fuzzy self-tuning for a three-phase micro hydroelectric power plant // Soft Computing and Electrical Engineering. – 2019. – Vol. 1, No. 2. – P. 26–39.
11. Özbay Karaköse E., Gençoğlu M.T. Load frequency control for small hydro power plants using adaptive fuzzy controller // Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC). – Istanbul, Turkey, 2010. – DOI: https://doi.org/10.1109/ICSMC.2010.5642495
12. Bozarov O., Aliyev R., Kodirov D., Bozorov D., Saidullaeva S. Analysis of the efficiency of a counter-rotary hydraulic unit with a jet hydro turbine based on a Segner wheel // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 497. – Article 01017. – DOI: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449701017

ISSN 3030-3907