

**QARSHI MUHANDISLIK-IQTISODIYOT INSTITUTI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI**

**QO‘ZIYEV ZAFARBEK ESANOVICH**

**NASOS AGREGATLARI UCHUN SUV OQIMLARIGA  
MOSLASHTIRILGAN VERTIKAL O‘QLI MIKRO GIDROELEKTR  
STANSIYASINI ISHLAB CHIQISH**

**05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari  
asosidagi energiya qurilmalari**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Qarshi – 2024**

**Texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi  
avtoreferati mundarijasi**

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)  
по техническим наукам**

**Contents of the dissertation abstract of doctor of philosophy (PhD)  
on technical sciences**

**Qo‘ziyev Zafarbek Esanovich**

Nasos agregatlari uchun suv oqimlariga moslashtirilgan vertikal o‘qli  
mikro gidroelektr stansiyasini ishlab chiqish ..... 3

**Кузиев Зафарбек Эсанович**

Разработка микрогидроэлектростанции с вертикальной осью  
вращения, адаптированной к потокам воды для насосных агрегатов .... 25

**Kuziev Zafarbek Esanovich**

Development of a micro hydro power plant with a vertical axis of rotation,  
adapted to watercourses for pumping units ..... 49

**E‘lon qilingan ishlar ro‘yxati**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 53

**QARSHI MUHANDISLIK-IQTISODIYOT INSTITUTI  
HUZURIDAGI ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
PhD.03/30.09.2020.T.111.03 RAQAMLI ILMIY KENGASH**  

---

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI**

**QO‘ZIYEV ZAFARBEK ESANOVICH**

**NASOS AGREGATLARI UCHUN SUV OQIMLARIGA  
MOSLASHTIRILGAN VERTIKAL O‘QLI MIKRO GIDROELEKTR  
STANSIYASINI ISHLAB CHIQISH**

**05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari  
asosidagi energiya qurilmalari**

**TEXNIKA FANLARI BO‘YICHA FALSAFA DOKTORI (PhD)  
DISSERTATSIYASI AVTOREFERATI**

**Qarshi – 2024**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.3.PhD/T1950 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Buxoro muhandislik-texnologiya institutida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida (kiei\_info@edu.uz) va "Ziyonet" Axborot ta'lim portalida (www.ziyonet.uz) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Uzoqov G'ulom Norboyevich**  
texnika fanlari doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Urishev Bobaraim**  
texnika fanlari doktori, professor

**Qodirov Dilshod Botirovich**  
texnika fanlari doktori, dotsent

**Yetakchi tashkilot:**

**O'zbekiston Respublikasi Fanlar akademiyasi  
Energetika muammolari instituti**

Dissertatsiya himoyasi Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti huzuridagi PhD.03/30.09.2020.T.111.03 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil "20" 08 soat 15<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. (Manzil: 180100, Qarshi sh., Mustaqillik shoh ko'chasi, 225 uy. Tel: (75) 224-02-89, faks: (75) 224-13-95 e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

Dissertatsiya bilan Qarshi muhandislik-iqtisodiyot institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№111 raqami bilan ro'yxatga olingan). (Manzil: 180100, Qarshi shahri., Mustaqillik ko'chasi, 225-uy. Tel: (75)-224-02-89, faks: (75) 224-13-95 e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz)).

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil "05" 08 kuni tarqatildi.  
(2024 yil "05" 08 dagi №23 raqamli reestr bayonnomasi)



**B.E. Xayriddinov**  
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy  
kengash raisi v.v.b., t.f.d., professor

**X.A. Davlonov**  
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash  
ilmiy kotibi, t.f.f.d., dotsent

**B. Urishev**  
Ilmiy darajalar beruvchi ilmiy kengash  
qoshidagi ilmiy seminar raisi,  
t.f.d., professor

## **KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi annotatsiyasi)**

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati.** Jahonda gidroenergetika sohasida xususan, mikro gidroelektr stansiyalarining past naporli suv oqimlarida ishlash samardorligini oshirish va rivojlantirish masalalariga alohida ahamiyat berilmoqda. “Yevropa ittifoqining energetika sohasini rivojlantirish strategiyasida 2021 yildan 2030 yilgacha bo‘lgan davrda kichik quvvatli gidroenergetik qurilmalarini o‘rnatishga 2,56 milliard AQSh dollari yo‘naltirish va foydalanish ko‘rsatkichlarini 2,8 % ga oshirish rejalashtirilgan<sup>1</sup>”. Shu sababli, past naporli suv oqimlarini turbina parraklariga bir tekis uzatish imkonini beradigan yo‘naltiruvchi apparat, vertikal o‘qli turbina va takomillashtirilgan aksial elektr generator bilan jihozlangan vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyalari ishlab chiqarish va amaliyotga tadbiiq qilish muhim ahamiyatga ega hisoblanadi.

Jahonda suv sarfi va nabori o‘zgaruvchan suv oqimlariga moslashtirilgan samarador vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyalari ishlab chiqarish, mexanik, energetik, gidrologik va konstruktiv parametrlarini asoslash hamda samaradorligini oshirishga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada, past naporli suv oqimlarida ishlaydigan propeller tipli gidroturbinaga ega mikro gidroelektr stansiyalari ishlab chiqarish, konstruktiv va ish rejimi parametrlarini modellashtirish bo‘yicha tadqiqotlar ustuvor hisoblanadi. Shu bilan birga, gidroenergetik qurilmalar uchun ko‘p qutbli magnitoelektrik generatorlarni samaradorligini oshirish usulini takomillashtirish, suv oqimini suv g‘ildiragi parraklariga bir tekis yo‘naltiruvchi apparat konstruksiyasini ishlab chiqish, gidroenergetik qurilmalar parraklarining optimal o‘rnatilish burchagini aniqlash algoritmi asosida suv g‘ildiragi aylanish tezligining optimal qiymati va foydali ish koeffitsientining maksimal qiymatini aniqlash matematik modelini ishlab chiqish, ularning asosiy energetik parametrlarini asoslashga alohida e‘tibor qaratilmoqda.

Respublikamizdagi nasos agregatlari va fermer xo‘jaliklarining energiya ta‘minoti tizimida qayta tiklanadigan energiya manbalari qurilmalaridan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish, jumladan, past naporli suv oqimlariga moslashtirilgan mikro gidroelektr stansiyalarni ishlab chiqish bo‘yicha keng qamrovli ishlar amalga oshirilib muayyan natijalarga erishilmoqda. O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 30 martdagi PQ-104-son “Gidroenergetika sohasini yanada isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarorining 7-bandida 2023 yil 1 avgustdan boshlab respublika hududidagi past naporli suv oqimlarida ishlaydigan innovatsiya texnologiyalarini keng joriy etish orqali qo‘shimcha elektr energiyasini ishlab chiqarishni boshlash, tizimdagi korxonalar ishlab chiqarish bazasida 2024 yil 1 yanvarga qadar quvvati 1 MWgacha bo‘lgan, 2025 yil 1 yanvarga qadar quvvati 15 MWgacha bo‘lgan gidroagregatlarni ishlab chiqishni amalga oshirish bo‘yicha muhim vazifalar belgilab berilgan<sup>2</sup>. Mazkur vazifani amalga oshirish, jumladan, past naporli suv oqimlariga moslashtirilgan samarador vertikal o‘qli mikro gidroelektr

<sup>1</sup> International Renewable Energy Agency. URL: // <https://www.irena.org/europe>

<sup>2</sup> O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 30 martdagi PQ-104-son “Gidroenergetika sohasini yanada isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori. URL: // <https://lex.uz/uz/docs/6420310#6420486>

stansiyalarni yaratishning ilmiy-texnik yechimlarini ishlab chiqish muhim hisoblanadi.

O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 16 fevraldagi PQ-57-son “2023 yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to‘g‘risida” gi qarori, 2023 yil 30 martdagi PQ-104-son “Gidroenergetika sohasini yanada isloh qilish chora-tadbirlari to‘g‘risida”gi qarori va boshqa ushbu yo‘nalishdagi hukumatimizning me‘yoriy-huquqiy hujjatlarida belgilab berilgan vazifalarni bajarishda mazkur dissertatsiya ishi muayyan miqdorda xizmat qiladi..

**Tadqiqotning respublika va fan texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo‘nalishlariga mosligi.** Dissertatsiya ishi bo‘yicha tadqiqotlar fan va texnologiyalar rivojlanishining IV «Qayta tiklanuvchan energiya manbalaridan foydalanish usullarini rivojlantirish, nanotexnologiyalar, fotonika va boshqa zamonaviy ilg‘or texnologiyalar asosida qurilmalar va texnologiyalarni yaratish» ustuvor yo‘nalishiga mos keladi.

**Muammoning o‘rganilganlik darajasi.** Nasos agregatlari va fermer xo‘jaliklari iste‘molchilarining elektr energiyasi ta‘minoti tizimida vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyalardan foydalanishni rivojlantirish, past naporli suv oqimlarida samarador ishlovchi vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyalari yaratishning ilmiy-texnik yechimlarini ishlab chiqish bo‘yicha mashhur olimlar Kovalev N.N., Bezrukix P.P., Borkovskiy D., Kim S., Xueymn S., Yun-Man J., Kim X., Bach S., Yelistratov V.V., Malinin N.K., Satoshi H., Ivanov V.M., Zhang Jian, Belhadji L., Sritram P., Zahidov R.A., Allayev Q.R., Muhammadiyev M.M., Urishev B.U., Qodirov D.B., Bozarov O.O., Mamedov R.A., Mamadjanov A.B. va boshqalar katta hissa qo‘shgan.

Erishilgan muvaffaqiyatlarga qaramasdan, suv sarfi va nabori o‘zgaruvchan suv oqimlariga moslashtirilgan, suv oqimini qurilma parraklariga bir tekisda uzatishda suv oqimlarini turbina parraklariga bir tekis uzatish imkonini beradigan yo‘naltiruvchi apparat, ko‘p qutbli takomillashtirilgan magnitoelektrik generator va gidravlik qarshilik kuchlarini kamaytirishda parraklari optimal burchak ostida o‘rnatilgan vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyasi ishlab chiqish va parametrlarini asoslash bo‘yicha tadqiqotlar yetarlicha o‘rganilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya bajarilgan oliy ta‘lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasi bilan bog‘liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Buxoro muhandislik-texnologiya institutining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq “Qayta tiklanadigan energiya manbalaridan sanoat, qishloq xo‘jaligi va maishiy-kommunal sohalarda samarali foydalanishning ilmiy-texnik va energiya tejamkor usullarini ishlab chiqish” (2022 – 2024 yillar) loyihasi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** past naporli suv oqimlariga moslashtirilgan vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyasi konstruksiyasining energetik parametrlarini asoslashdan iborat.

### **Tadqiqotning vazifalari:**

past naporli suv oqimlariga moslashtirilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasi konstruksiyasini ishlab chiqish;

mikro gidroelektr stansiyasining konstruktiv o'lchamlari, mexanik, energetik parametrlarining suv oqimi sarfi va gidroturbina aylanma tezligiga bog'liqligini tavsiflovchi matematik modelini ishlab chiqish;

mikro gidroelektr stansiyasining past naporli suv oqimlarida samaradorligini oshirishda suv oqimini suv g'ildiragi parraklariga bir tekis yo'naltiruvchi apparat konstruksiyasini ishlab chiqish va o'lchamlarini asoslash;

past naporli suv oqimlaridan foydalanib ishonchli elektr energiyasini olishda kichik tezlikli magnitoelektrik generator modelini ishlab chiqish;

gidroenergetik qurilma foydali ish koeffitsienti va mexanik quvvatining suv oqimi sarfi, nabori, gidroturbina aylanish tezligiga va parraklarning optimal o'rnatilish burchaklari o'zgarishiga bog'liqligini aniqlash;

vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasining texnik-iqtisodiy va ekologik samaradorligini baholash.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida past naporli suv oqimlariga moslashtirilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasi va uning energetik parametrlari olingan.

**Tadqiqotning predmeti** past naporli suv oqimlarida ishlovchi vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasining parametrlari, suv g'ildiragi parraklarini optimal o'rnatish burchagini aniqlash geometrik qonuniyatlari, mexanik energiyani elektr energiyaga aylantirish jarayonlaridan iborat.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida matematik va kompyuter modellashtirish, polinomial approksimatsiyalash usuli, optimallashtirishning sonli usuli, tajriba natijalarni qayta ishlashda darajali polinom yordamida approksimatsiyalash va iqtisodiy samaradorlikni aniqlashda sof diskontlangan foyda usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

- ilk marotaba past naporli suv oqimlarini qurilma parraklariga bir tekis uzatish imkonini beradigan yo'naltiruvchi apparat, ko'p qutbli takomillashtirilgan magnitoelektrik generator bilan jihozlangan va gidravlik qarshilik kuchlarini kamaytirishda parraklari optimal burchak ostida o'rnatilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasi ishlab chiqilgan (№ IAP 07462);

- gidroturbinada o'rnatilgan suv oqimi aylanma harakatlanuvchi maxsus havza ichida joylashtirilgan kurakchalarning balandligi, o'rnatilish burchagi, yo'naltiruvchi apparatning ichki radiusiga bog'liq suv oqimini yo'naltiruvchi kurakchalardan oqib o'tuvchi suv sarfini maksimal qiymatining o'zgarish chegaralarini aniqlaydigan matematik model ishlab chiqilgan;

- suv oqimi sarfi va nabori o'zgarishini hisobga olgan holda, gidroenergetik qurilma parraklarining optimal o'rnatilish burchagi, suv g'ildiragining optimal aylanish tezligi va maksimal foydali ish koeffitsientini aniqlash usuli ishlab chiqilgan;

- past naporli suv oqimlariga moslashtirilgan vertikal o'qli gidroenergetik qurilmasida o'tkazilgan tajriba tadqiqotlari umumlashtirilib, gidroturbina mexanik

quvvatining qurilma konstruktiv o'lchamlari, suv oqimi sarfi va gidroturbina aylanish tezligi o'zgarishiga bog'liqligini ifodalovchi regressiya tenglamasi olingan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari quyidagilardan iborat:**

nasos agregatlari va fermer xo'jaliklari uchun past naporli suv oqimlarida samarador ishlovchi vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasi ishlab chiqilgan;

gidroturbinada gidravlik qarshilik kuchlarini kamaytirishda parraklari optimal burchak ostida o'rnatilgan bo'lib, bunda qurilma hajmining ixchamlashishi, energiya va resurs sarflarining kamayishi aniqlangan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi amalga oshirilgan izlanishlarni zamonaviy o'lchash asboblari va usullar orqali o'tkazilganligi, tajriba-sinovlarining natijalarini tekshirish va qayta ishlash jarayonida matematik modellashtirish usullaridan foydalanilganligi, tajriba ishlarini o'tkazishda tabiiy sharoit qo'llanilganligi, nazariy va tajriba tadqiqotlari o'zaro monandligi, bajarilgan tadqiqotlar asosida ishlab chiqilgan past naporli suv oqimlariga moslashtirilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasi sinovlarining ijobiy natijalari va amaliyotga joriy etilganligi bilan asoslanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy-amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalari ilmiy ahamiyati sifatida gidroturbinada o'rnatilgan yo'naltiruvchi kurakchalardan oqib o'tuvchi suv sarfining maksimal qiymatining o'zgarish chegaralari, energetik qurilmaning parraklari o'rnatilish burchagi va turbina aylanish tezliklarining optimal qiymati hamda foydali ish koeffitsientining maksimal qiymatini matematik modellar va analitik bog'lanishlarni boshqa turdosh qurilmalarning parametrlarini asoslashda qo'llash mumkinligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot natijalarining amaliy ahamiyati ishlab chiqilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasi past naporli suv oqimlariga ega bo'lgan hududlarda talab darajasida ishlashi, bunda 5...10 % gacha yoqilg'i-energetika resurslari xarajatlarini kamaytirishi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Suv sarfi va nabori o'zgaruvchan suv oqimlariga moslashtirilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasini ishlab chiqish, parametrlarini asoslash hamda joriy etish bo'yicha olingan natijalar asosida:

Vertikal o'qli gidroenergetik qurilma uchun O'zbekiston Respublikasi Adliya Vazirligidan ixtiroga patent olingan (№ IAP 07462). Natijada, qurilmaning past naporli suv oqimlarda ishlash samaradorligi (FIK) ni 3...5 % gacha oshirish imkoniyati yaratilgan;

past naporli suv oqimlarini qurilma parraklariga bir tekis uzatish imkonini beradigan yo'naltiruvchi apparat, ko'p qutbli takomillashtirilgan magnitoelektrik generator bilan jihozlangan va gidravlik qarshilik kuchlarini kamaytirishda parraklari optimal burchak ostida o'rnatilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasi ishlab chiqilgan ("Energetika Vazirligi"ning 2023 yil 6 noyabrdagi 04-13/6781-son ma'lumotnomasi). Natijada, past naporli suv oqimlarida energiya ishlab chiqarish hajmi 25...30 % gacha oshirish imkoni yaratilib, elektr energiyasi iste'moli ishonchliligi va uzluksizligi ta'minlanishiga erishilgan;

yaratilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasini Buxoro viloyati Buxoro tumanidagi "Buxoro Chorvo Omad" MChJga qarashli fermer xo'jaligida joriy

etilgan (“Energetika Vazirligi”ning 2023 yil 6 noyabrdagi 04-13/6781-son ma’lumotnomasi). Natijada, 3 kW quvvatli vertikal o’qli mikro gidroelektr stansiyasi yordamida yiliga 19 500 kW·h elektr energiyasi ishlab chiqarildi, bir yilda o’rtacha 14,53 t.sh.y. tejalishi (3 kW quvvatli benzin generatoriga nisbatan) va 28,5 tonnadan ortiq karbonat angidrid (CO<sub>2</sub>) gazi atmosferaga chiqarib yuborilishining oldini olishga erishilgan, elektr ta’minotiga nisbatan (“Sof diskontlangan foyda” usulidan foydalanib hisoblashlar amalga oshirilgan, elektr energiyasi narxi 900 so‘m/kW·h qabul qilingan) 68,96 mln. so‘m mablag‘ni iqtisod qilishga erishilgan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Tadqiqot ishining natijalari 8 ta ilmiy-amaliy anjumanlarida, jumladan, 4 ta xalqaro va 4 ta respublika anjumanlarda muhokama qilingan.

**Tadqiqot natijalarining e’lon qilinganligi.** Dissertatsiyaning natijalari asosida jami 21 ta ilmiy ish nashr etilgan bo’lib, shulardan, O’zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalari nashr etishga tavsiya qilgan ilmiy-texnik nashrlarda 7 ta maqola, jumladan 5 ta Respublika va 2 ta xorijiy jurnallarida chop qilingan, O’zbekiston Respublikasi Adliya vazirligining EHM uchun 3 ta dasturiy mahsulotiga mualliflik guvohnomasi hamda ixtiroga 1 ta patent olingan.

**Dissertatsiya tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya ishi kirish, to’rtta bob, umumiy xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro’yxati va ilovadan tashkil topgan. Dissertatsiya hajmi 117 betdan iborat.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

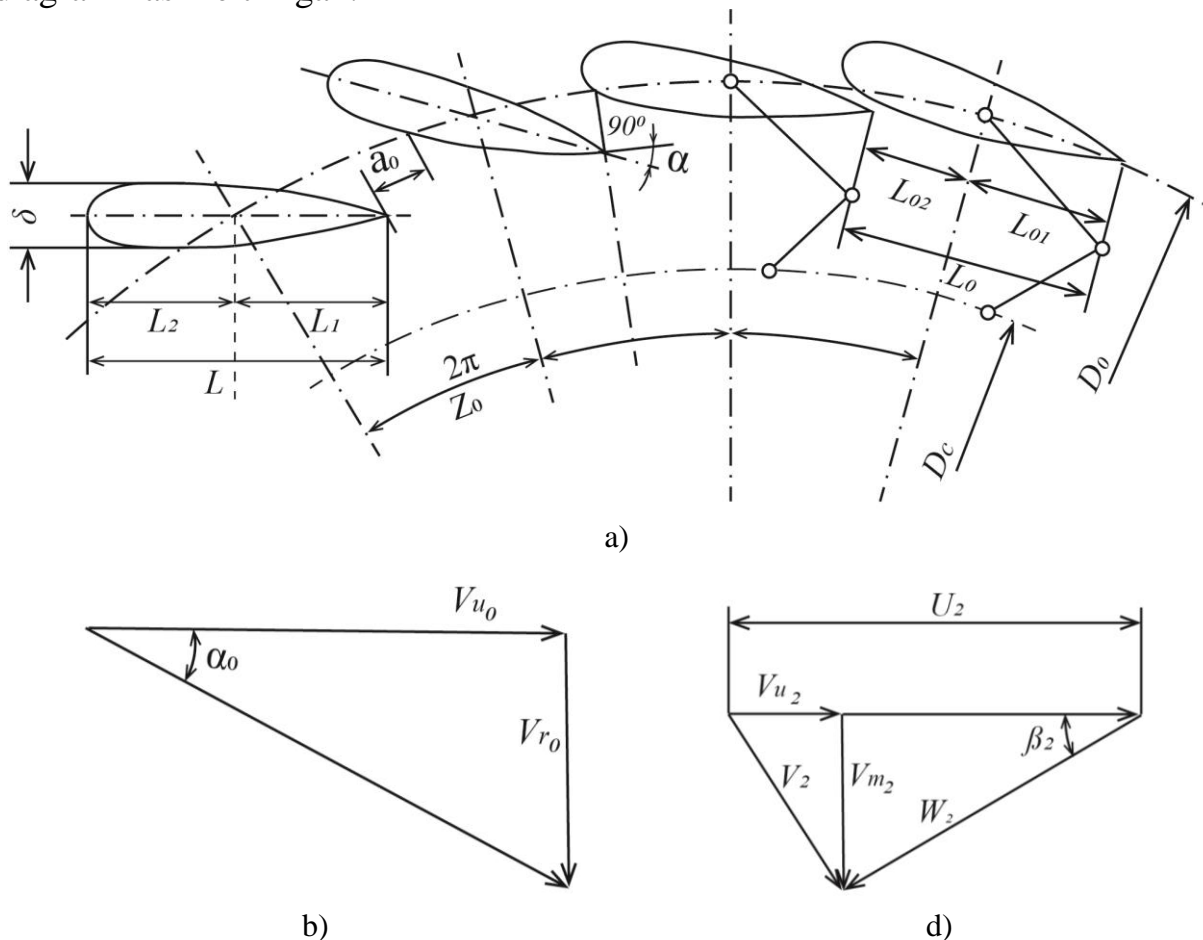
Kirish qismida o’tkazilgan tadqiqotlarning dolzarbligi va zaruriyati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari, obyekt va predmetlari tavsiflangan, respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo’nalishlariga mosligi ko’rsatilgan, dissertatsiya mavzusi bo’yicha xorijiy va mahalliy ilmiy tadqiqotlar sharhi keltirilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, nashr etilgan ishlar va dissertatsiya tuzilishi bo’yicha ma’lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Vertikal o’qli mikro gidroelektr stansiyalaridan foydalanishning zamonaviy holati tahlili”** deb nomlangan birinchi bobida jahonda mikro gidroelektr stansiyalaridan foydalanishning hozirgi holati va rivojlanish tendensiyalari, o’zgaruvchan va past naporli suv oqimlarida ishlovchi vertikal o’qli mikro gidroelektr stansiyalarini ishlab chiqish va samaradorligini oshirish bo’yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlar, konstruktiv yechimlar tahlili natijalari, markazlashtirilgan elektr ta’minoti tizimiga ulanmagan elektr iste’molchilarning elektr energiyasi uzluksizligini ta’minlash va ishonchliligini oshirishda mikro gidroelektr stansiyalaridan foydalanish imkoniyatlari, mikro gidroelektr stansiyalarda kichik tezlikli magnitoelektrik generatorlarni qo’llash tahlillari keltirilgan. Erishilgan muvaffaqiyatlarga qaramasdan, suv sarfi va nabori o’zgaruvchan suv oqimlariga moslashtirilgan, suv oqimini qurilma parraklariga bir

tekisda uzatishda suv oqimi aylanma harakatlanuvchi maxsus havza ichida joylashtirilgan suv oqimini yoʻnaltiruvchi apparat, kichik tezlikli takomillashtirilgan magnitoelektrik generator va gidravlik qarshilik kuchlarini kamaytirishda parraklari optimal burchak ostida oʻrnatilgan vertikal oʻqli mikro gidroelektr stansiyasini ishlab chiqish va parametrlarini asoslashda dissertatsiyaning maqsad va vazifalari shakillantirildi.

Dissertatsiyaning “**Vertikal oʻqli mikro gidroelektr stansiyasining nazariy tadqiqoti**” deb nomlangan ikkinchi bobida mikro gidroelektr stansiyasida qoʻllanilgan suv oqimini yoʻnaltiruvchi apparat konstruksiyasini nazariy hisoblash uslubiyoti, oʻzgaruvchan va past naporli suv oqimlarida ishlovchi vertikal oʻqli gidroturbinaning kompyuter modeli, suv gʻildiragi parraklari suv bilan taʼsirlashish burchagining optimal qiymatini aniqlashning nazariy hisobi, mikro gidroelektr stansiyasiga qoʻllanilgan kichik tezlikli takomillashtirilgan magnitoelektrik generatorning analitik ifodalari keltirilgan.

Taklif etilgan mikro gidroelektr stansiyasida qoʻllanilgan suv oqimini yoʻnaltiruvchi apparat kurakchalarining asosiy geometrik oʻlchamlari 1 (a) rasmda keltirilgan. 1 (b) rasmda yoʻnaltiruvchi apparatdan chiquvchi suv oqimining tezlik diagrammasi, 1 (d) rasmda esa suv gʻildiragidan chiquvchi suv oqimining tezlik diagrammasi keltirilgan.



a – yoʻnaltiruvchi kurakchalar; b – yoʻnaltiruvchi apparatdan chiquvchi suv oqimining tezlik diagrammasi; d – suv gʻildiragidan chiquvchi suv oqimining tezlik diagrammasi.

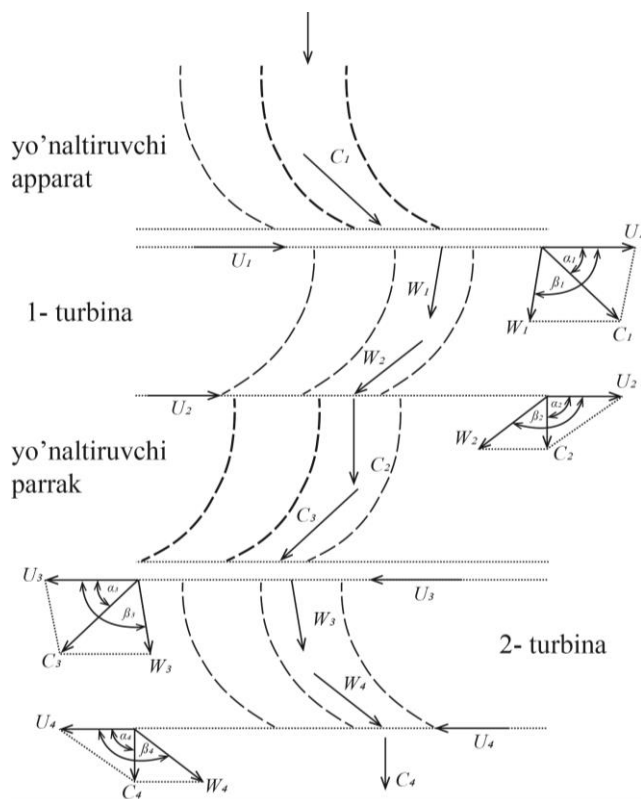
**1-rasm. Yoʻnaltiruvchi apparatning asosiy geometrik oʻlchamlari.**

Mikro gidroelektr stansiyasida qo‘llanilgan suv oqimini yo‘naltiruvchi apparat kurakchalaridan oqib o‘tuvchi suv sarfini maksimal qiymatini aniqlashda yo‘naltiruvchi kurakchalarning balandligi, yo‘naltiruvchi kurakchalardan suv oqimini chiqish burchagi va suv g‘ildiragidan suv oqimini chiqish burchagiga bog‘liq holda aniqlash imkonini beradigan analitik ifodasi quyidagicha:

$$Q = \frac{\frac{\eta g H}{\omega} - u_2 r_2}{\frac{1}{2\pi b_0} ctg \alpha_0 + \frac{r_2}{F_2} ctg \beta_2} \quad (1)$$

bu yerda,  $\eta$  – turbinaning foydali ish koeffitsienti;  $g$  – erkin tushish tezlanishi,  $m/s^2$ ;  $H$  – gidravlik napor, m;  $u_2$  – parraklarning chiqish qismidagi aylanma (ko‘chma) tezlik, m/s;  $r_2$  – suv g‘ildiragining ichki radiusi, m;  $b_0$  – yo‘naltiruvchi apparatning balandligi, m;  $\alpha_0$  – yo‘naltiruvchi apparatdan suv oqimini chiqish burchagi, grad;  $F_2$  – suv g‘ildiragining kesim yuzasi,  $m^2$ ;  $\beta_2$  – suv g‘ildiragidan suv oqimini chiqish burchagi, grad.

2-rasmdagi vertikal o‘qli gidroturbinaning tezlik diagrammasi keltirilgan. Vertikal o‘qli gidroturbina parametrlarining suv oqimiga bog‘liqligi quyidagi tenglamalar asosida keltirib chiqarildi:



2-rasm. Vertikal o‘qli gidroturbinaning tezlik diagrammasi.

$$\eta_1 = \frac{M_1 \frac{2\pi n_1}{60}}{\rho g Q_1 H_1} = \frac{30 M_1 \pi n_1 \sin(\beta_1 - \alpha_1)}{\rho Q_1 (n_1^2 \pi^2 R_1^2 \cos \alpha_1 \sin \beta_1 + 900 g \Delta H_1 \sin(\beta_1 - \alpha_1))} \quad (4)$$

bu yerda,  $\rho$  – suvning zichligi,  $kg/m^3$ ;  $Q_1$  – 1-gidroturbinaga kiruvchi suv oqimining sarfi,  $m^3/s$ .

2-gidroturbinaning to‘la nabori quyidagi formula bilan aniqlandi.

$$H_{t2} = \frac{n_2^2 \pi^2 R_3^2 \cos \alpha_3 \sin \beta_3}{900 g \sin(\beta_3 - \alpha_3)} \quad (5)$$

1-gidroturbinaning to‘la nabori quyidagi formula bilan aniqlandi.

$$H_{t1} = \frac{n_1^2 \pi^2 R_1^2 \cos \alpha_1 \sin \beta_1}{900 g \sin(\beta_1 - \alpha_1)} \quad (2)$$

bu yerda,  $R_1$  – 1-gidroturbinaning tashqi radiusi, m;  $n_1$  – 1-gidroturbinaning aylanma tezligi, ayl/min;  $\alpha_1$  – suv oqimining 1-gidroturbinaga kirish burchagi, grad;  $\beta_1$  – suv oqimining 1-gidroturbinadan chiqish burchagi, grad;  $g$  – erkin tushish tezlanishi,  $m/s^2$ .

1-gidroturbinaga kiruvchi suv oqimining nabori quyidagi ifoda yordamida hisoblandi.

$$H_1 = \frac{n_1^2 \pi^2 R_1^2 \cos \alpha_1 \sin \beta_1}{900 g \sin(\beta_1 - \alpha_1)} + \Delta H_1 \quad (3)$$

bu yerda,  $\Delta H_1$  – 1-turbinadagi napor yo‘qotilishi, m.

1-gidroturbinaning foydali ish koeffitsienti aniqlandi.

bu yerda,  $R_3$  – 2-gidroturbina-ning tashqi radiusi, m;  $n_2$  – 2-gidroturbinaning aylanma tezligi, ayl/min;  $\alpha_3$  – suv oqimining 2-gidroturbinaga kirish burchagi, grad;  $\beta_3$  – suv oqimining 2-gidroturbinadan chiqish burchagi, grad.

2-gidroturbinaga kiruvchi suv oqimining nabori quyidagi ifoda yordamida hisoblandi.

$$H_2 = \frac{n_2^2 \pi^2 R_3^2 \cos \alpha_3 \sin \beta_3}{900 g \sin(\beta_3 - \alpha_3)} + \Delta H_2 \quad (6)$$

bu yerda,  $\Delta H_2$  – 2-turbinadagi napor yo‘qotilishi, m.

2-gidroturbinaning foydali ish koeffisienti aniqlandi.

$$\eta_2 = \frac{M_2 \frac{2\pi n_2}{60}}{\rho g Q_2 H_2} = \frac{30 M_2 \pi n_2 \sin(\beta_3 - \alpha_3)}{\rho Q_2 (n_2^2 \pi^2 R_3^2 \cos \alpha_3 \sin \beta_3 + 900 g \Delta H_2 \sin(\beta_3 - \alpha_3))} \quad (7)$$

bu yerda,  $Q_2$  – 2-gidroturbinaga kiruvchi suv oqimining sarfi, m<sup>3</sup>/s.

Magnitoelektrik aksial generatorning matematik modelini ishlab chiqishda Lagranj formulasi matritsaviy shaklidan foydalanildi.

$$\frac{d}{dt} \psi_{PM}(\varphi) = u + \left\{ L \frac{d}{dt} i + R_s \cdot i \right\} \quad (8)$$

Quyidagi muvozanat tenglamasini hosil qilindi:

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = T_L + T_{em}(\varphi, i_1, i_2, i_3) - D \frac{d\varphi}{dt} \quad (9)$$

Elektromagnit momentni quyidagi formula orqali aniqlandi:

$$T_{em}(\varphi, i_1, i_2, i_3) = i^T \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi} \psi_{PM}(\varphi) \quad (10)$$

bu yerda,  $i$  – generatorning faza chulg‘amlaridan o‘tuvchi tok, A;  $u$  – generatorning faza chulg‘amlarida induksiyanlangan kuchlanish, V.

$$i = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}; \quad u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}$$

$$L = L_{\sigma s} + L_s = \begin{bmatrix} L_{\sigma s} & & \\ & L_{\sigma s} & \\ & & L_{\sigma s} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix}$$

$$\psi_{PM}(\varphi) = \begin{bmatrix} \psi_{PM1}(\varphi) \\ \psi_{PM2}(\varphi) \\ \psi_{PM3}(\varphi) \end{bmatrix}; \quad R_s = \begin{bmatrix} R_s & & \\ & R_s & \\ & & R_s \end{bmatrix}$$

„ $a$ ” faza chulg‘amining magnit oqimi  $\psi_a$  ni quyidagicha aniqlandi.

$$\psi_a(\varphi) = \int_{R_i}^{R_o} w_s \left\{ \int_{\frac{-\varepsilon(r) + \alpha_k(r)}{2} + x_a}^{\frac{-\varepsilon(r) - \alpha_k(r)}{2} + x_a} B(x, \varphi, r) dx \right\} r dr \quad (11)$$

(16) ifodani integrallab  $B(x, \varphi, r)$  magnit induksiyaning taqsimlanishini aniqlash murakkablik tug‘diradi. Biroq, uning o‘rtacha qiymatini quyidagi soddalashtirilgan ifodadan aniqlash mumkin.

Boshlang‘ich (chulg‘amda induksion tok bo‘lmagan) holatda doimiy magnitlarning „ $a$ ” chulg‘amdagi oqim ilashuvining o‘rtacha qiymati  $\psi_{PMa}$  quyidagi ifodada keltirilgan.

$$\psi_{PMa}(\varphi) = \sum_{\zeta \in Q} \psi_{\zeta}^{PMs} \cdot e^{j\zeta \left\{ (a-1) \frac{4\pi}{3p} - \varphi \right\}} \quad \text{bunda } a = 1, 2, 3 \quad (12)$$

$\zeta^{th}$  – tartibli garmonikadagi oqim ilashuvi quyidagi ifoda yordamida hisoblandi:

$$\psi_{\zeta}^{PMs} = 2 \cdot B_{\zeta}^{PM}(r_s) \cdot W_{\zeta}^s(r_s) \cdot r_s \cdot l_c \quad (13)$$

bu yerda,  $l_c = R_o - R_i$  - chulg'am bo'yining uzunligi, m.

Mashina chulg'amlarining induktivligini aniqlash tenglamasi.

$$L_{ab} = \sum_{v \in P} L_v^{SS} \cdot e^{jv(a-b) \frac{4\pi}{3p_s}} \quad \text{bunda } a, b = 1, 2, 3 \quad (14)$$

Bitta faza chulg'amining induktivligining analitik ifodasi.

$$L_v^{SS} = \frac{2}{\pi} [W_v^s(r_s)]^2 \cdot r_s \cdot l_c \cdot \lambda_o \quad (15)$$

O'zaro induktivlikning analitik ifodasi ikkita tashkil etuvchidan iborat. Ulardan birinchisi o'tkazgichning aktiv qismidagi magnit oqimning sochilishi bilan ifodalanadi, ikkinchisi esa chulg'amning klemmlaridagi magnit oqim sochilishi hisoblanadi. O'zaro induktivlik quyidagi formula orqali aniqlandi.

$$L_{\sigma s} \approx 2\mu_o \cdot (w_s)^2 \cdot [(l_c - a_{sc}) + (a_c - a_{sc})] \cdot 0,3 / p_s \quad (16)$$

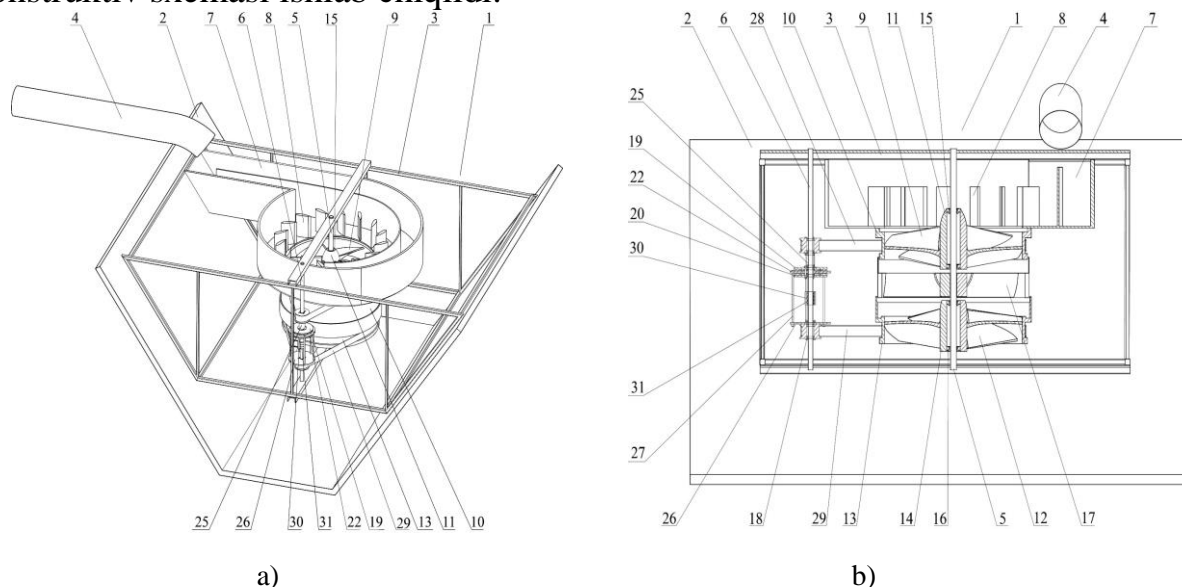
Uch fazali doimiy magnitlardan tashkil topgan generatordan olinadigan elektromagnit quvvatni hisoblash quyida keltirilgan ifodadan aniqlandi:

$$P_e = \frac{3}{2} \omega [\psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q \quad (17)$$

bu yerda,  $\omega$  – generatorning burchak tezligi, rad/s.

Taklif etilgan vertikal o'qli gidroturbina parametrlarining suv oqimiga bog'liqlik matematik modeli turbinalarning asosiy mexanik va energetik parametrlarini hisoblashda foydalaniladi. Magnitoelektrik aksial generatorning matematik modeli esa generatorning chiqish parametrlarini aniqlash imkonini beradi.

Dissertasiyaning **“Vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasini ishlab chiqish va tajriba tadqiqotlari”** deb nomlangan uchinchi bobida o'zgaruvchan va past naporli suv oqimlarida moslashtirilgan mikro gidroelektr stansiyasining konstruktiv sxemasi ishlab chiqildi.



1 - vertikal o'qli mikro GES; 2 – kanal; 3 - rama; 4 – quvur; 5,6 - val; 7 - suv oqimi harakatlanuvchi havza; 8,17 - yo'naltiruvchi apparat; 9,12 - parrak; 10,13 - suv g'ildiragi; 11,14,27 – vtulka; 15,16,18 - podshipnik; 19,20 - induktor; 21 –doimiy magnitlar; 22 – yakor; 23 – mis chulg'amlar; 24 – magnitoelektrik aksial generator; 25 – flans birikma; 26 – metal disk; 28,29 – tasmali uzatmalar; 30 – cho'tka; 31 – kollektor.

**3-rasm. Vertikal o'qli mikro GES ning umumiy ko'rinishi (a), mikro GES ning vertikal qirqimi (b).**

O‘zgaruvchan va past naporli suv oqimlariga moslashtirilgan mikro GES uchun aniqlangan talablardan kelib chiqqan holda 3 (a) rasmda ishlab chiqilgan vertikal o‘qli mikro GESning umumiy ko‘rinishi keltirilgan (№ IAP 07462). 3 (b) rasmda esa mikro GESning vertikal qirqimi ko‘rsatilgan.

Suv oqimi sarfi 0,15...0,24 m<sup>3</sup>/s va gidroturbina aylanish tezligi 0...240 ayl/min o‘zgarishini, gidroturbina g‘ildiragining tashqi diametri D<sub>1</sub> va parraklar soni Z inobatga olinib, suv oqimining gidravlik nabori H, mexanik momenti M, mexanik quvvati P va foydali ish koeffisientini η aniqlash imkonini beradigan polinomial tenglamalar Matlab/Simulink, Solidworks va Ansys Fluent tizimlarida modellashtirish hamda takomillashtirilgan vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyasi chiqish parametrlarining suv oqimi sarfi va tezligiga bog‘liqligi analitik va eksperimental tadqiqot natijalari asosida keltirilgan.

SST k-ω turbulentslik modeli gidroenergetik qurilmani modellashtirishda foydalanildi va quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

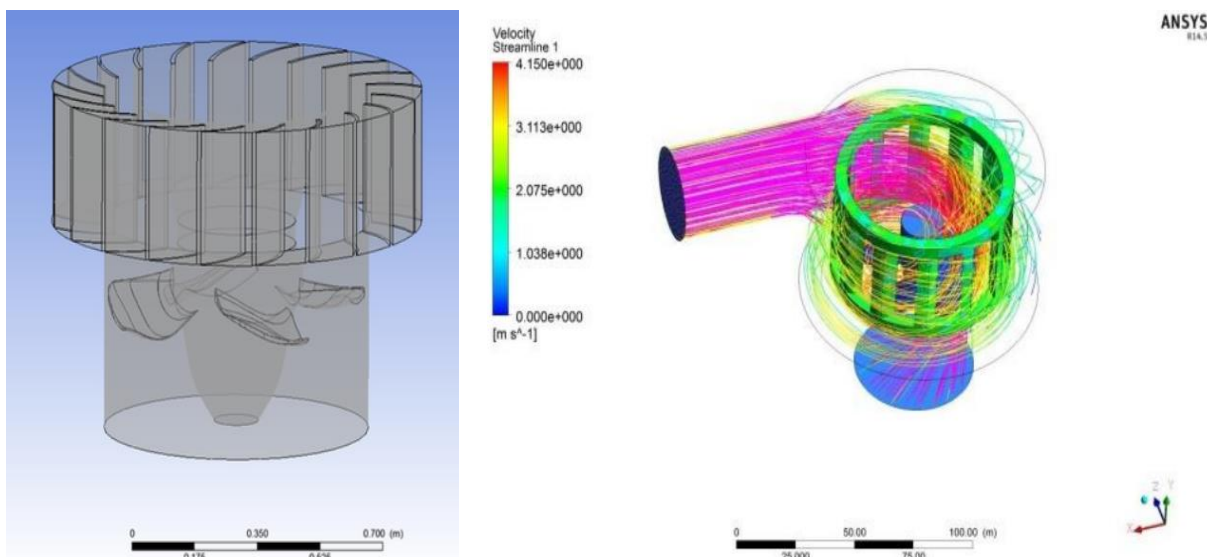
$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \end{cases} \quad (18)$$

bu yerda,  $k$  – turbulentslikning kinetik energiyasi, m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>;  $\omega$  – solishtirma tezlik;  $\rho$  – zichlik, kg/m<sup>3</sup>;  $u_i$  – (i=1,2,3) chiziqli tezlik, m/s;  $t$  – vaqt, s;  $\Gamma_k$  va  $\Gamma_\omega$  –  $k$  turbulentslikning kinetik energiyasi va  $\omega$  solishtirma tezlikning samaradorligini tavsiflovchi elementlar;  $G_k$  va  $G_\omega$  –  $k$  turbulentslikning kinetik energiyasi va  $\omega$  solishtirma tezlikni hosil bo‘lishini tavsiflovchi elementlar;  $Y_k$  va  $Y_\omega$  –  $k$  turbulentslikning kinetik energiyasi va  $\omega$  solishtirma tezlikni sarf bo‘lishini tavsiflovchi elementlar;  $D_\omega$  – ortogonal divergensiya;  $S_k$  va  $S_\omega$  – yuklamani tavsiflovchi elementlar.

4-rasmda SST k-ω turbulentslik modeli yordamida mikro GESning Ansys Fluent dasturida modellashtirildi. Modellashtirish natijalari asosida vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyasi turbinalarining asosiy mexanik va energetik ko‘rsatgichlarining suv oqimi sarfi va turbinaning aylanish tezligi o‘zgarishiga bog‘liqlik tenglamalari Matlab amaliy paketida polinomial approksimatsiyalash metodi yordamida aniqlandi. Tadqiqot ishida propeller tipidagi gidroturbina radiusi 0,5 m, unga kiruvchi suv sarfi 0,15...0,24 m<sup>3</sup>/s va turbinaning aylanish tezligi 0...240 ayl/min oraliqda bo‘lganda suv oqimi sarfi va aylanish tezliklarining asosiy kattaliklarga bog‘liqlik tenglamalari hosil qilindi.

Mikro gidroelektr stansiyasining maksimal samaradorligi (FIK)ga erishish optimallik mezoni sifatida ishlatildi:

$$\begin{cases} H(Q, n) \rightarrow \max; & \Delta H \rightarrow \min \\ P(Q, n) \rightarrow \max; & \Delta H \rightarrow \min \\ \eta(Q, n) \rightarrow \max; & \Delta H \rightarrow \min \end{cases} \quad (19)$$



**4-rasm. Mikro GESning Ansys Fluent dasturida tadqiq qilingan modellashtirish natijalari.**

Quyidagi shartlar qabul qilindi: 
$$\begin{cases} 0,15 \leq Q \leq 0,24 \text{ m}^3/\text{s} \\ 0 < n < 240 \text{ ayl/min} \\ D_1 = 0,5 \text{ m} \end{cases}$$

Gidroturbina naporining turbina aylanish tezligi va suv oqimi sarfiga bog‘liqlik tenglamasi hosil qilindi.

$$H_t(Q, n) = 19,1927 \cdot Q - 0,0063 \cdot n - 48,5963 \cdot Q^2 + 0,0957 \cdot Q \cdot n - 0,000067294 \cdot n^2 - 1,7367 \quad (20)$$

bu yerda,  $Q$  – suv oqimining sarfi,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $n$  – gidroturbinaning aylanish tezligi,  $\text{ayl/min}$ .

5 (a) rasmda gidroturbina naporining turbina aylanish tezligi va suv oqimi sarfiga bog‘liqlik grafiqi qurildi. Suv oqimi sarfi  $0,15 \dots 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$  va turbinaning aylanish tezligi  $0 \dots 240 \text{ ayl/min}$  oraliqda o‘zgarganda gidroturbinaning napori  $0,2 \dots 1,1 \text{ m}$  oraliqda o‘zgardi.

Gidroturbinaning mexanik momentining turbina aylanish tezligi va suv oqimi sarfiga bog‘liqlik tenglamasi keltirib chiqarildi.

$$M(Q, n) = 2551,4 \cdot Q - 1,5041 \cdot n - 227,7833 \quad (21)$$

Turbina mexanik momentining aylanish tezligi va suv oqimi sarfiga bog‘liqlik grafiqi hosil qilindi (5 (b) rasm). Suv oqimi sarfi  $0,15 \dots 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$  va turbinaning aylanish tezligi  $0 \dots 240 \text{ ayl/min}$  oraliqda o‘zgarganda turbinaning mexanik momenti  $396 \text{ N} \cdot \text{m}$  gacha o‘zgarishi aniqlandi.

Gidroturbina mexanik quvvatining aylanish tezligi va suv oqimi sarfiga bog‘liqlik tenglamasi Matlab amaliy paketi yordamida keltirib chiqarildi.

$$P_t(Q, n) = 28031 \cdot Q - 14,1294 \cdot n - 66613 \cdot Q^2 + 213,4498 \cdot Q \cdot n - 0,1502 \cdot n^2 - 2814,5 \quad (22)$$

5 (d) rasmda uzluksiz chiziq bilan 1-gidroturbinada suv oqimi sarfining turli qiymatlarida ( $6-Q_{11}=0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $5-Q_{12}=0,21 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $3-Q_{13}=0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ ) va siniq chiziq bilan 2-gidroturbinada suv oqimi sarfining turli qiymatlarida ( $4-Q_{21}=0,19 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $2-Q_{22}=0,17 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $1-Q_{23}=0,14 \text{ m}^3/\text{s}$ ) gidroturbinalardagi mexanik quvvatning turbina

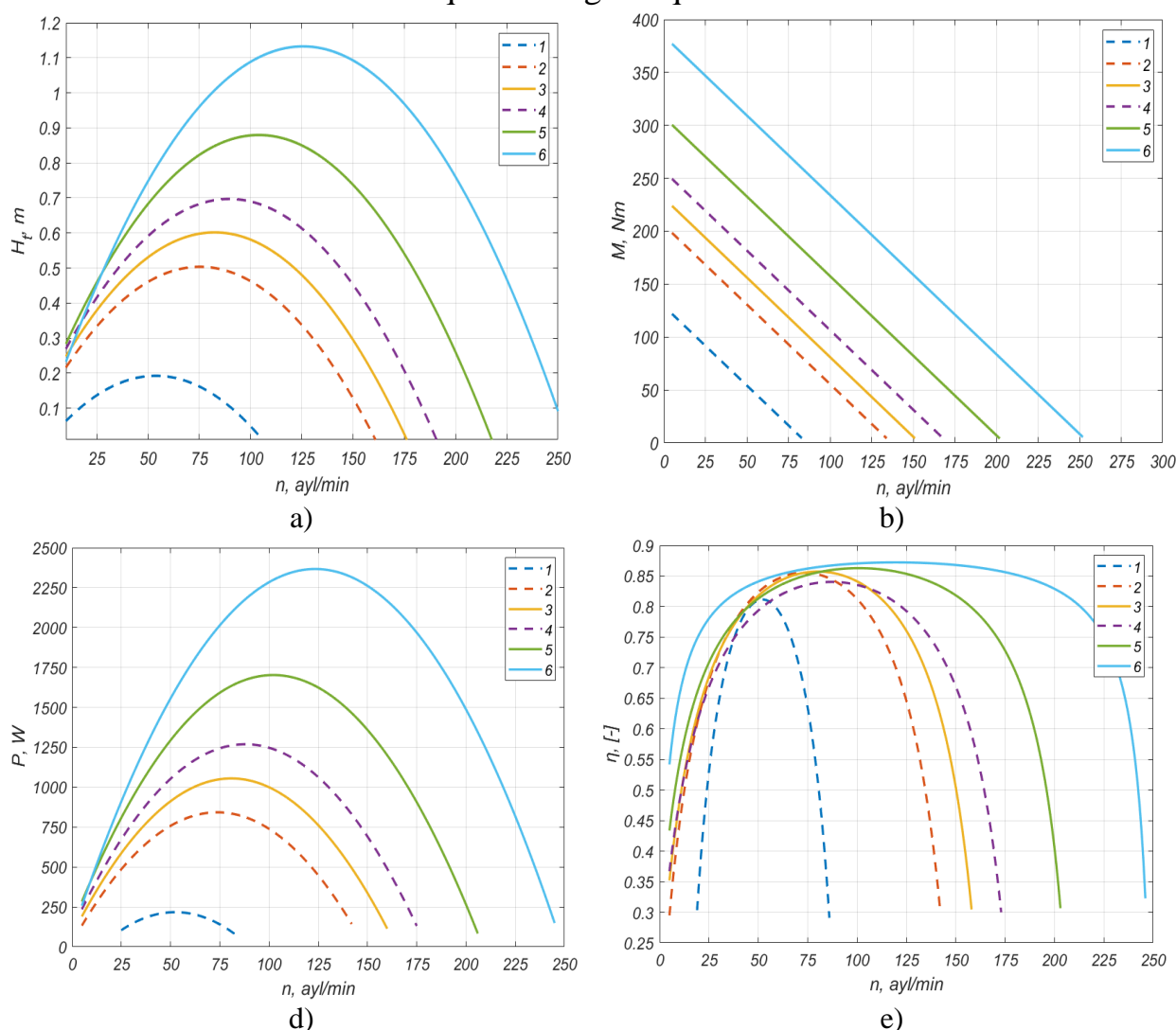
aylanish tezligiga bog'liqlik grafigi ko'rsatilgan. 1-gidroturbinada suv sarfining maksimal qiymati 0,24 m<sup>3</sup>/s bo'lganda mexanik quvvatning qiymati 2338 W va aylanish tezligi 120 ayl/min, o'z navbatida 2-gidroturbinada suv sarfining maksimal qiymati 0,19 m<sup>3</sup>/s ga tengligi hamda mexanik quvvatning qiymati 1243 W va aylanish tezligi 80 ayl/min ekanligi aniqlandi.

Gidroturbinaning mexanik quvvatining suv oqimining quvvatiga nisbatidan foydali ish koeffisientini suv sarfi va aylanish tezligiga bog'liqlik tenglamasi hosil qilindi.

$$\eta(Q, n) = \frac{28031 \cdot Q - 14,1294 \cdot n - 66613 \cdot Q^2 + 213,4498 \cdot Q \cdot n - 0,1502 \cdot n^2 - 2814,5}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot (19,1927 \cdot Q - 0,0063 \cdot n - 48,5963 \cdot Q^2 + 0,0957 \cdot Q \cdot n - 0,000067294 \cdot n^2 - 1,7367 + \Delta H)} \quad (23)$$

bu yerda:  $\rho$  – suvning zichligi, kg/m<sup>3</sup>;  $g$  – erkin tushish tezlanishi, m/s<sup>2</sup>.

Suv oqimi sarfining turli qiymatlarida foydali ish koeffisientining turbina aylanish tezligiga bog'liqligi grafigi qurildi (5 (e) rasm). Hidroturbinaning foydali ish koeffisienti 84...88 % oraliqda ekanligi aniqlandi.



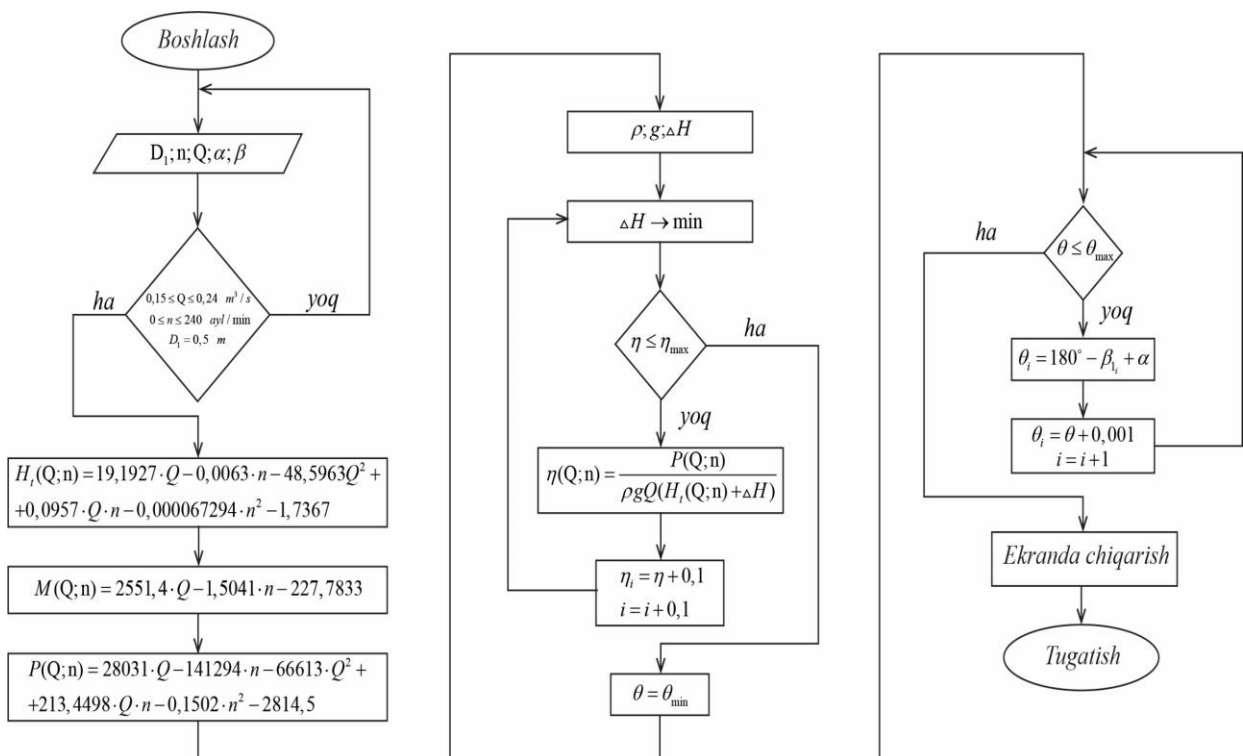
**5-rasm. Turli suv oqimi sarflarida gidroturbinaning napori (a), mexanik momenti (b), mexanik quvvati (c) va foydali ish koeffisienti (d) ning aylanish tezligiga bog'liqlik grafiglari (uzluksiz chiziq-1-gidroturbina uchun (6-Q<sub>11</sub>=0,24 m<sup>3</sup>/s, 5-Q<sub>12</sub>=0,21 m<sup>3</sup>/s, 3-Q<sub>13</sub>=0,18 m<sup>3</sup>/s), siniq chiziq-2-gidroturbina uchun (4-Q<sub>21</sub>=0,19 m<sup>3</sup>/s, 2-Q<sub>22</sub>=0,17 m<sup>3</sup>/s, 1-Q<sub>23</sub>=0,14 m<sup>3</sup>/s)).**

6-rasmda suv oqimining sarfi va turbinaning aylanma tezligi o'zgarishining gidroturbinaning napori, momenti, mexanik quvvati, foydali ish koeffitsientlarining optimal qiymatlari va parraklarining optimal o'rnatilish burchagiga bog'liqligini aniqlash algoritmi ishlab chiqildi. Optimallashtirish masalasini yechishda jarima funksiya usulidan foydalanildi.

Ushbu algoritm asosida:

1. Propeller tipli gidroturbinaning  $H_t$  napori,  $M$  momenti,  $P$  mexanik quvvati va  $\eta$  foydali ish koeffitsientlarining optimal qiymatlarini  $n$  turbina aylanish tezligi va  $Q$  suv oqimi sarfining qiymatiga bog'liq ravishda aniqlash imkoniyati mavjud.

2.  $\theta$  gidroturbina parraklarining optimal o'rnatilish burchagining turbinaning  $H_t$  napori,  $M$  momenti,  $P$  mexanik quvvati,  $n$  aylanish tezligi va  $Q$  suv oqimi sarfining qiymatiga bog'liq ravishda aniqlash imkoniyati mavjud.



**6-rasm. Suv oqimining sarfi va turbinaning aylanma tezligining ( $H$ ,  $M$ ,  $P$ ,  $\eta$ ,  $\theta$ ) parametrlarga bog'liqlik algoritmi.**

1-jadvalda taklif etilayotgan gidroenergetik qurilmaning o'zgaruvchan suv sarfi va naporiga bog'liq optimal parametrlarini aniqlash natijalari keltirilgan.

**1-jadval.**

**Ishlab chiqilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasining optimal parametrlarini aniqlash natijalari.**

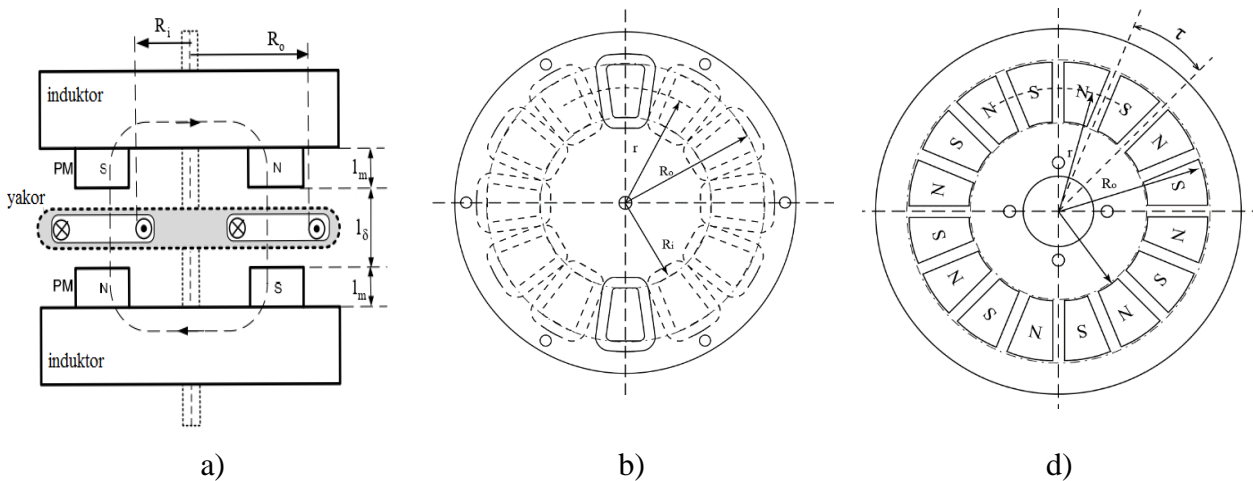
No	$Q_1$ , $m^3/s$	$n_1$ , ayl/ min	$P_1$ , W	$H_{t1}$ , m	$\alpha_1$ , grad.	$\beta_1$ , grad.	$\theta$ , grad.	$Q_2$ , $m^3/s$	$n_2$ , ayl/ min	$P_2$ , W	$H_{t2}$ , m
1	0,24	120	2338	1,1	25	95	110	0,19	80	1243	0,7

Gidroturbinalarning ichki diametri 0,5 m, parraklar soni 6 ta va maksimal suv sarfi 0,24 m<sup>3</sup>/s bo‘lganda parraklarning geometrik optimal o‘rnatilish burchagi  $\theta = 110^\circ$  bo‘lishi aniqlandi.

Taklif etilayotgan vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyasining 1-gidroturbinasiga yo‘naltiruvchi apparatdan kirayotgan suv oqimi sarfi 0,24 m<sup>3</sup>/s va gidroturbinaning napori 1,1 m bo‘lganligi sababli 1-gidroturbinaning optimal aylanish tezligi 120 ayl/min va mexanik quvvati 2338 W bo‘ladi. O‘z navbatida, 2-gidroturbinaga kirayotgan suv oqimi sarfi 0,19 m<sup>3</sup>/s va gidroturbinaning napori 0,7 m bo‘lganligi sababli 2-gidroturbinaning optimal aylanish tezligi 80 ayl/min va mexanik quvvati 1243 W bo‘ladi. Mikro gidroelektr stansiyasining mexanik qismidan elektr generatorga uzatilayotgan umumiy mexanik quvvat 3581 W ga tengligi aniqlandi. Tasmali uzatmalar yordamida o‘zaro qarama-qarshi aylanadigan gidroturbinalarning aylanish tezliklari 2 marta oshirilib, elektr generator maksimal 400 ayl/min aylanish tezligiga erishadi.

Past naporli suv oqimlarida vertikal o‘qli mikro GES ning samaradorligini oshirish uchun yakor va induktori o‘zaro qarama-qarshi tomonga aylanuvchi, doimiy magnitlardan tashkil topgan kichik tezlikli magnitoelektrik aksial generatori ishlab chiqildi.

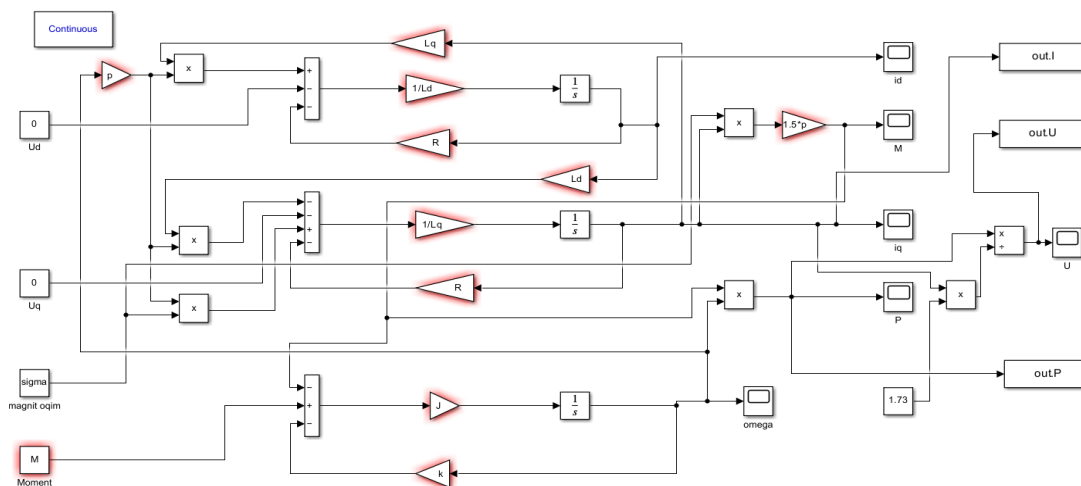
8 (a) rasmda elektr generatorning konstruksiyasi, 8 (b) rasmda yakorning uch fazali o‘zaro kesishmaydigan chulg‘amlari va 8 (d) rasmda esa induktorda magnitlarning joylashuvi keltirilgan. Elektr generator yakorining har bir faza chulg‘ami 4 ta ketma-ket ulangan o‘ramlardan tashkil topgan bo‘lib, o‘zaro yulduzcha usulida ulangan. Elektr generatorning 2 ta induktori mavjud bo‘lib, har bir induktorda 16 ta doimiy magnitlardan iborat.



a – elektr generatorning konstruksiyasi; b – yakor (uch fazali o‘zaro kesishmaydigan chulg‘amlari); d – induktorning tashqi ko‘rinishi.

**8-rasm. Elektr generatorning tuzilishi.**

9-rasmda Matlab/Simulink dasturida induktor va yakori o‘zaro qarama-qarshi harakatlanuvchi elektr generatorning imitatsion modeli keltirilgan.

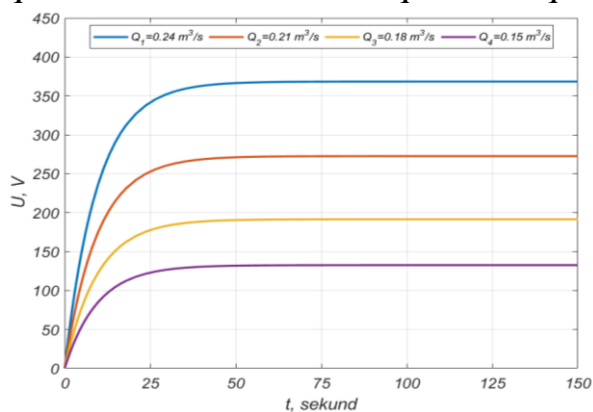


**9-rasm. Matlab/Simulink amaliy dasturida elektr generatorning elektr va energetik kattaliklarini aniqlash imitatsion modeli.**

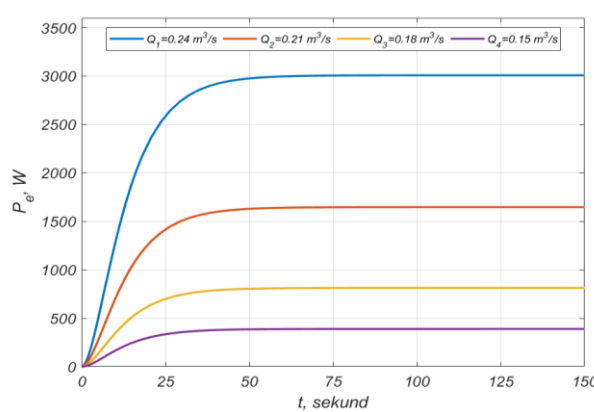
10-rasmda Matlab/Simulink amaliy dasturida elektr generatorning dinamik rejimdagi chiqish parametrlari qiymatlarining grafigi keltirilgan. Ushbu parametrlarni aniqlashda suv oqimining sarfi 0,15...0,24 m<sup>3</sup>/s oralig'ida o'zgargan.

10 (a) rasmda elektr generatorning dinamik rejimda turli suv sarflaridagi chiqish kuchlanishining qiymatlari keltirilgan. Bunga ko'ra suv oqimining sarfi 0,15 m<sup>3</sup>/s bo'lganda yakor chulg'amlaridagi kuchlanish 120 V ni, suv oqimining sarfi 0,24 m<sup>3</sup>/s da esa yakor chulg'amlaridagi kuchlanish 380 V ni tashkil qilishi aniqlandi.

10 (b) rasmdagi grafikda dinamik rejimda elektr generatorning elektromagnit quvvat qiymatlarining suv oqimi sarfi o'zgarishiga bog'liqlik egri chiziqlari qiymatlari keltirilgan. Bunga ko'ra suv oqimining sarfi 0,15 m<sup>3</sup>/s bo'lganda elektromagnit quvvat 400 W ni, suv oqimining sarfi 0,24 m<sup>3</sup>/s da elektromagnit quvvat 3000 W ni tashkil qilishi aniqlandi.



a)



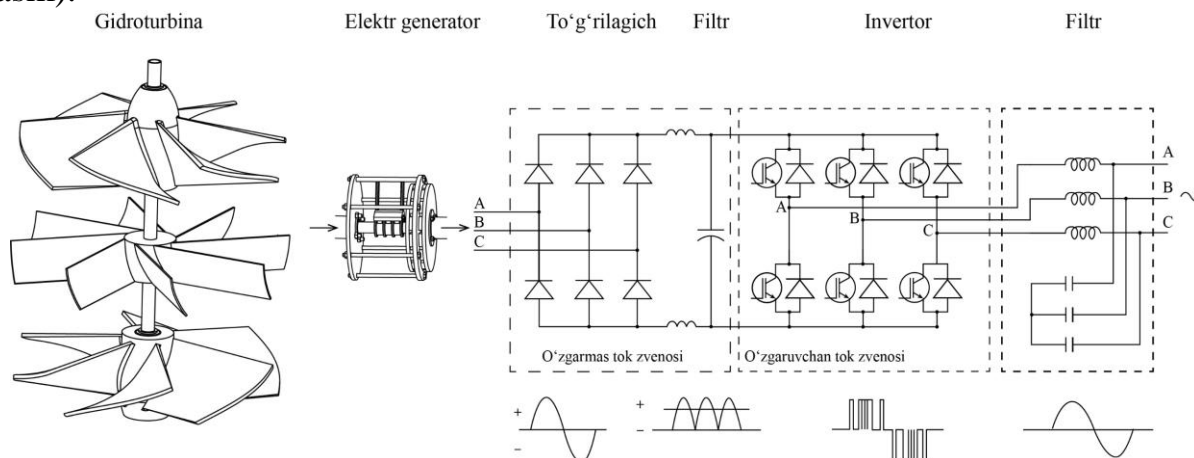
b)

a – dinamik rejimdagi chiqish kuchlanishi; b – dinamik rejimdagi elektromagnit quvvat.

**10-rasm. Elektr generatorning dinamik rejimda turli suv sarflaridagi chiqish parametrlari qiymatlari keltirilgan grafiglar.**

Mikro gidroelektr stansiyasida elektr generatorning ishlab chiqargan elektr energiyasini chastota va kuchlanishini iste'molchilarga yuqori sifat bilan ta'minlash zarurligini hisobga olish kerak. Shunga asoslanib, biz elektr generatorining chastota va kuchlanishini rostdash uchun boshqaruv tizimi ishlab chiqildi, u kontroller va invertordan tashkil topgan. Suv sarfi o'zgarganda elektr generatordan olinadigan

kuchlanish ham o'zgaradi. Kontroller yordamida o'zgaruvchan kuchlanish o'zgarmas 12 V kuchlanishga to'g'rilanib, inverter orqali 50 Hz chastotali uch fazali o'zgaruvchan 380 V ga o'zgartirilib, elektr iste'molchilariga yetkazib beriladi (11-rasm).

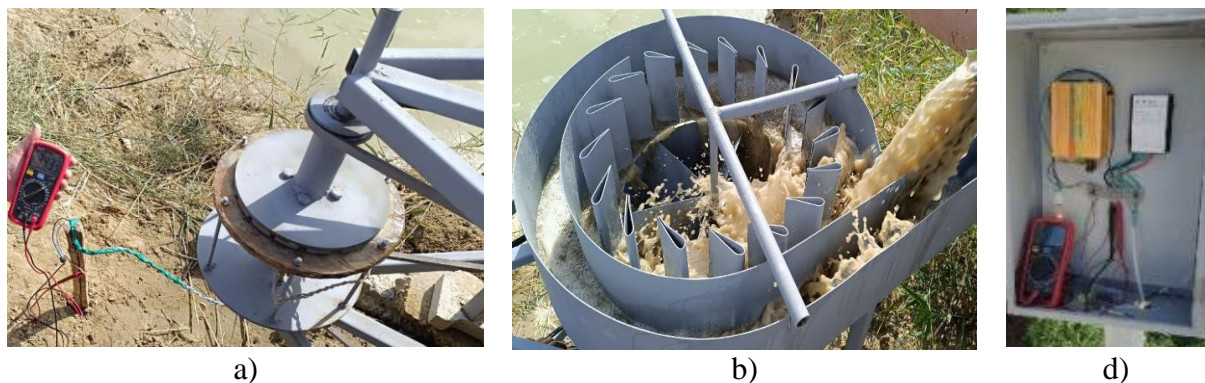


**11-rasm. Mikro gidroelektr stansiyasining elektr energiya ishlab chiqarish sxemasi.**

12 (a) rasmda vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasida foydalanilgan elektr generatorni tajriba-sinov ishlari olib borish jarayoni keltirilgan. Elektr generatorni yakor va induktorini 50 ayl/min dan 400 ayl/min gacha bo'lgan tezliklar bilan aylantirilib natijalar olingan.

12 (b) rasmda mikro gidroelektr stansiyasining mexanik qismida olib borilgan tajriba-sinov ishlari jarayoni keltirilgan. Bunda turli suv sarflarida qurilmaning ishlashi, suv oqimi ta'sirida qurilma ishlab chiqaradigan elektr energiyasini xarakterlovchi kattaliklarning qiymatlari olingan.

12 (d) rasmda mikro gidroelektr stansiyasining boshqarish tizimi keltirilgan. Bunda kontroller, asosan, uch fazali o'zgaruvchan tok kuchlanishini 12 V o'zgarmas kuchlanishga to'g'rilab beradi. To'g'rilangan o'zgarmas kuchlanish inverter orqali 50 Hz chastotali uch fazali o'zgaruvchan 380 V kuchlanishga o'zgartiriladi.



a – magnitoelektrik aksial generator; b – mikro GES ning mexanik qismi; d – boshqarish tizimi

**12-rasm. Mikro gidroelektr stansiyasi ustida olib borilgan tajriba-sinov jarayoni.**

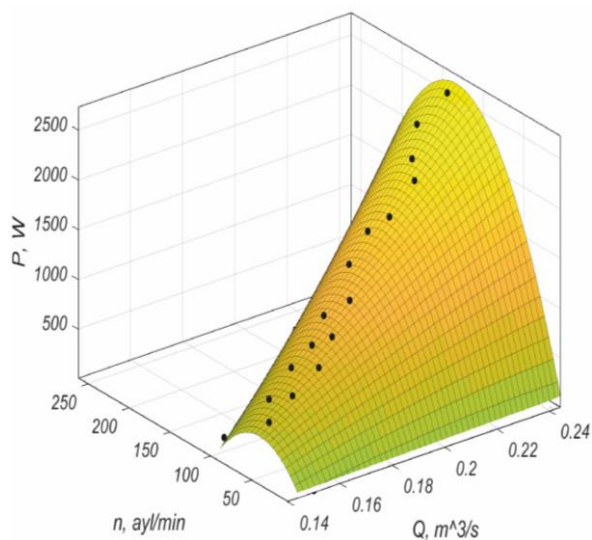
Eksperiment natijalarini qayta ishlash asosida gidroturbina mexanik quvvatining suv oqimi sarfi va turbina aylanma tezligi o'zgarishini aniqlovchi regressiya tenglamasi olindi.

$$P = 113,4 \cdot Q^{1,6} \cdot n^{1,12} \quad (24)$$

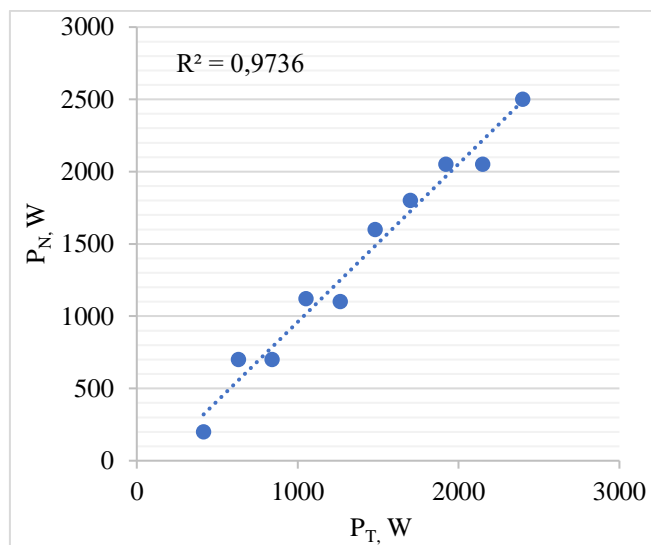
Bunda quyidagi boshlang'ich shartlar qabul qilinadi:

(24) ifoda uchun:  $0,15 \leq Q \leq 0,24 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $0 < n < 240 \text{ ayl/min}$ .

13 (a) rasmda eksperiment natijalarini qayta ishlash asosida olingan regressiya tenglamasining grafigi keltirilgan.



a)



b)

**13-rasm. Eksperiment natijalarini qayta ishlash asosida olingan regressiya tenglamasining grafigi (a), nazariy hisoblash va eksperiment o‘tkazish natijasida aniqlangan turbina quvvatlarini taqqoslash grafigi (b).**

Regressiya tenglamasining adekvatligi Fisherning F-mezoni orqali aniqlandi. Ahamiyatlik darajasining qiymati 0,05 va erkinlik darajalarining qiymati esa  $\gamma_1 = 63$  va  $\gamma_2 = 59$  sonida bo‘lganda Fisher F-mezoni hisobgan qiymati ( $F_{\text{his}} = 0,92$ ) jadvaldan olingan qiymatidan ( $F_{\text{jad}} = 3,34$ ) kichik ekanligi aniqlandi, natijada, keltirib chiqarilgan regressiya tenglamasi ahamiyatli. Hisoblash jarayonidagi nisbiy xatolik qiymati  $\pm 6\%$  ga teng.

13 (b) rasmda nazariy hisoblash va eksperiment o‘tkazish natijasida aniqlangan turbina mexanik quvvatlarini taqqoslash grafigi keltirilgan. Taqqoslash natijalariga asosan korrelyatsiya koeffitsientining qiymati 0,9736 ga tengligi aniqlandi.

Eksperiment natijasidan shunday xulosaga kelish mumkinki, ushbu qurilma o‘zgaruvchan va past naporli suv oqimlarida uzluksiz elektr energiyasini ishlab chiqaradi va shu orqali markazlashtirilgan elektr ta‘minoti tizimidan uzoqda joylashgan elektr iste‘molchilarni elektr energiya bilan ta‘minlaydi.

Dissertatsiyaning “**Vertikal o‘qli mikro gidroelektr stansiyasining texnik-iqtisodiy samaradorligini baholash**” deb nomlangan to‘rtinchi bobida elektr iste‘molchining yillik elektr energiyasi iste‘mol ko‘rsatgichlari, ishlab chiqilgan qurilmaning texnik-iqtisodiy ko‘rsatgichlarini aniqlash, iqtisodiy hamda ekologik samaradorlikni baholash natijalari keltirilgan.

Olib borilgan nazariy va eksperimental tadqiqotlar natijalariga asoslanib, yo‘naltiruvchi apparatning geometrik o‘lchamlari tashqi diametri  $D_1 = 1 \text{ m}$ , ichki diametri  $D_2 = 0,5 \text{ m}$ , yo‘naltiruvchi kurakchalar soni 16 ta bo‘lganda ishlab chiqilgan mikro gidroelektr stansiyasi o‘zgaruvchan va past naporli suv oqimlarida samarador ishlashi aniqlandi.

**Vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasining texnik ko'rsatgichlari:**

Nominal quvvati, W.....	3000
Suv oqimi sarfida ishlash diapazoni, m <sup>3</sup> /s.....	0,15-0,24
Suv g'ildiragining aylanish tezligi, ayl/min .....	40-240
Foydali ish koeffisienti, % .....	72-74
Liniya kuchlanishi, V .....	120-380
Tok, A .....	1,6-4,6
Suv g'ildiragining tashqi diametri, m .....	0,5
Qurilmaning umumiy balandligi, m .....	1,2
Bitta parrakning frontal yuzasi, m <sup>2</sup> .....	0,12
Og'irligi, kg .....	110

2-jadvalda ishlab chiqilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasining texnik mohiyati bo'yicha eng yaqin analog bilan taqqoslash natijalari keltirilgan.

**2-jadval.****Vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasini asosiy qiyosiy ko'rsatgichlari.**

№	Texnik ko'rsatgichlari	Ishlab chiqilgan vertikal o'qli mikro GES	Vertikal o'qli gidroturbina (Xitoy)
1.	Nominal quvvati, W	3000	3000
2.	Suv oqimi sarfining qiymati, m <sup>3</sup> /s	0,15...0,24	0,014...0,09
3.	Suv g'ildiragining gidravlik naporini, m	0,6...1,1	2...5
4.	Foydali ish koeffisienti, %	72...74	68...70
5.	Faza kuchlanishi, V	220 (~)	220 (~)
7.	Qurilma massasi, kg	110	155
8.	Qurilma balandligi, m	1,2	1,23

Taqqoslash natijalariga ko'ra, ishlab chiqilgan mikro gidroelektr stansiyaning samaradorligi past naporli suv oqimlarida ishlaganda eng yaqin analogga nisbatan yuqori ekanligi aniqlandi.

3-jadvalda ishlab chiqilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasini yaqin analogga nisbatan iqtisodiy ko'rsatgichlarini taqqoslash natijalari keltirilgan.

**3-jadval.****Iqtisodiy ko'rsatgichlarini taqqoslash natijalari.**

№	Ko'rsatgichlar	Ishlab chiqilgan vertikal o'qli mikro GES	Vertikal o'qli gidroturbina (Xitoy)
1.	O'rnatilgan quvvat, kW	3,0	3,0
2.	Bir yilda o'rtacha ishlab chiqariladigan elektr energiya miqdori, kW·h	19500	18750
3.	Qurilmaning balans narxi, mln. so'm	25	28
4.	Amortizatsiya ajratmalari, mln. so'm	0,725	0,812
5.	Joriy ta'mirlash xarajatlari, mln. so'm	0,75	0,84
6.	Ekspluatatsion xarajatlar, mln. so'm	1,475	1,652
7.	Ishlab chiqarilgan elektr energiyasi narxi, so'm/kW·h	76	88

Vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasini fermer xo'jaligi hududida joriy etishdagi iqtisodiy samaradorlik ko'rsatgichlari 4-jadvalga keltirilgan.

**4-jadval.**

**Qurilmani joriy etishdagi iqtisodiy samaradorlik ko'rsatgichlari.**

№	Iqtisodiy samaradorlik ko'rsatgichlari	
1.	Sof joriy qiymat (NPV), mln. so'm	68,96
2.	Foydaning ichki me'yori (IRR), %	67
3.	Foyda indeksi (PI)	4,4
4.	Elektr energiyaning me'yorlashtirilgan (keltirilgan) qiymati (LCOE), so'm/kW·h	85
5.	Statik qoplash muddati, yil	1,56
6.	Dinamik qoplash muddati, yil	2,78

Ishlab chiqilgan 3 kW quvvatli mikro gidroelektr stansiyasi bir yilda o'rtacha 14,53 t.sh.y. tejashi va 28,5 tonnadan ortiq karbonat angidrid (CO<sub>2</sub>) gazi atmosferaga chiqarib yuborishning oldini olinganligi aniqlandi.

**XULOSA**

Dissertatsiya mavzusi bo'yicha olib borilgan nazariy va amaliy tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Past naporli suv oqimlarini qurilma parraklariga bir tekis uzatish imkonini beradigan yo'naltiruvchi apparat, ko'p qutbli takomillashtirilgan magnitoelektrik generator bilan jihozlangan va gidravlik qarshilik kuchlarini kamaytirishda parraklari optimal burchak ostida o'rnatilgan yangi turdagi mikro gidroelektr stansiyasi ishlab chiqilgan (№ IAP 07462). Natijada past naporli suv oqimlarida energiya samaradorligini 3...5 % gacha oshirish imkoni yaratilgan.

2. Gidroturbinada o'rnatilgan suv oqimlarini qurilma parraklariga bir tekis uzatish imkonini beradigan yo'naltiruvchi apparat kuraklalaridan oqib o'tuvchi suv sarfi Q ning maksimal qiymatini aniqlashda yo'naltiruvchi kurakchalarning balandligi  $b_0$ , yo'naltiruvchi kurakchalardan suv oqimini chiqish burchagi  $\alpha_0$  va suv g'ildiragidan suv oqimini chiqish burchagi  $\beta_2$  larga bog'liq holda aniqlash imkonini beradigan analitik ifoda olingan.

3. Past naporli suv oqimi sarfi 0,15...0,24 m<sup>3</sup>/s va gidroturbina aylanish tezligi 0...240 ayl/min o'zgarishini, gidroturbina g'ildiragining tashqi diametri  $D_1$  va parraklar soni Z inobatga olinib, gidroturbinaning napori  $H_t$ , mexanik momenti M, mexanik quvvati P va foydali ish koeffisientini  $\eta$  aniqlash imkonini beradigan polinomial tenglamalar Matlab/Simulink, Solidworks va Ansys Fluent tizimlarida modellashtirish orqali olingan.

4. Yakori va induktori o'zaro qarama-qarshi harakatlanish imkoniga ega, ko'p qutbli magnitoelektrik generator takomillashtirildi, natijada past naporli suv oqimlarida elektr energiyasini ishlab chiqish hajmi 25...30 % ga oshirishga erishilgan.

5. Ishlab chiqilgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyada o'tkazilgan tajriba tadqiqotlari umumlashtirilib, mexanik quvvatning P suv oqimi sarfi Q,

gidroturbinaning parraklarining aylanish tezligi n o'zgarishiga bog'liq regressiya tenglamasi olingan.

6. Quvvati 3 kW bo'lgan vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyasini "Buxoro Chorvo Omad" MChJ ga qarashli chorvachilik xo'jaligida joriy etilishi hisobiga yiliga 19 500 kW·h elektr energiyasini ishlab chiqarishga, 14,53 t.sh.y. tejash (3 kW quvvatli benzin generatoriga nisbatan) va 28,5 tonnadan ortiq karbonat angidrid (CO<sub>2</sub>) gazi atmosferaga chiqarib yuborilishining oldini olishga va elektr ta'minotiga nisbatan ("Sof diskontlangan foyda" usulidan foydalanib hisoblashlar amalga oshirilgan, elektr energiyasi narxi 900 so'm/kW·h deb qabul qilingan) 68,96 mln.so'm mablag'ni iqtisod qilishga erishilgan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD. 03/30.09.2020.Т.111.03 ПО ПРИСУЖДЕНИЮ  
УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ КАРШИНСКОМ ИНЖЕНЕРНО-  
ЭКОНОМИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**КУЗИЕВ ЗАФАРБЕК ЭСАНОВИЧ**

**РАЗРАБОТКА МИКРОГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С  
ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ, АДАПТИРОВАННОЙ К  
ПОТОКАМ ВОДЫ ДЛЯ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ**

**05.05.06 – Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии**

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD)  
ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

**Карши – 2024**

Тема диссертации на соискание степени доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при министерстве Высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за №B2023.3.PhD/T1950.

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте.

Автореферат диссертации написан на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)), размещен на веб-странице Научного совета ([www.qmii.uz](http://www.qmii.uz)) и на информационно-образовательном портале «ZiyoNet» по адресу ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Научный руководитель:** Узаков Гулом Норбоевич  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** Уришев Бобарaim  
доктор технических наук, профессор

Кадиров Дилшод Ботирович  
доктор технических наук, доцент

**Ведущая организация:** Институт проблем энергетики Академии наук Республики Узбекистан

Защита диссертации состоится «20» 08 2024 года в 15<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/30.09.2020.T.111.03 при Каршинском инженерно-экономическом институте. (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz).)

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Каршинского инженерно-экономического института (зарегистрировано № 111). (Адрес: 180100, г. Карши, ул. Мустакиллик, 225. Тел: (99875) 224-02-89, факс: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz).)

Автореферат диссертации разослан «05» 08 2024 года.  
(реестр протокола рассылки № 23 от «05» 08 2024 года).

  
Вр.и.о. Председатель Научного совета по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор **Б.Э. Хайридинов**  
Ученый секретарь Научного совета по присуждению ученых степеней, д.ф.т.н., доцент **Х.А. Давлонов**  
**Б. Уришев**  
Председатель научного семинара при Научном совете по присуждению ученых степеней, д.т.н., профессор

## **ВВЕДЕНИЕ (аннотация диссертации доктора философии (PhD))**

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** В мире придается особое значение вопросам повышения и развития эффективности в сфере гидроэнергетики и, в частности, повышения эффективности микрогидроэлектростанций на низконапорных потоках воды. “В соответствии со стратегией развития энергетического сектора Евросоюза, в период с 2021 по 2030 год планируется выделить 2,56 миллиарда долларов США на установку гидроэнергетических установок малой мощности и увеличить показатели их использования на 2,8%”<sup>1</sup>. Поэтому производство и внедрение микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения, оснащенной направляющим аппаратом, позволяющим осуществлять равномерную подачу низконапорного потока воды на лопасти гидротурбины, усовершенствованным аксиальным электрогенератором и турбиной с вертикальной осью вращения, имеет важное значение.

В мире ведутся научно-исследовательские работы, нацеленные на разработку эффективных микрогидроэлектростанций с вертикальной осью вращения, адаптированных к водотокам с переменным напором и расходом потока воды, обоснование их механических, энергетических, гидрологических и конструктивных параметров и повышение эффективности. В связи с этим особое внимание уделяется разработке микрогидроэлектростанций с пропеллерной гидротурбиной, работающей в низконапорных водотоках, моделирование параметров режима их работы и конструктивных параметров являются приоритетными. Одновременно осуществляется совершенствование метода повышения эффективности многополюсных магнитоэлектрических генераторов для гидроэнергетических установок, разработка конструкции направляющего аппарата, равномерно направляющего поток воды к лопастям рабочего колеса, на основе алгоритма определения оптимального угла установки лопастей водяного колеса особое внимание уделяется разработке математической модели для определения оптимального значения скорости вращения и максимального значения коэффициента полезного действия, обоснованию их основных энергетических параметров и внедрению на практике.

В республике проводится обширная работа по расширению использования возобновляемых источников энергии в системе электроснабжения насосных агрегатов и фермерских хозяйств, достигнуты определенные результаты по принятию комплексных мер и расширению возможностей в сфере разработке микрогидроэлектростанций, адаптированных к низконапорным водотокам. В 7 пункте постановления Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему реформированию гидроэнергетической сферы» от 30.03.2023 г. № ПП-104 определены важные задачи: начало выработки с 1 августа 2023 года

---

<sup>1</sup> International Renewable Energy Agency. URL: // <https://www.irena.org/europe>

дополнительной электроэнергии путем широкого внедрения безнапорных инновационных технологий на реках и каналах в регионах республики, налаживание производства гидроагрегатов на базе подведомственных предприятий мощностью до 1 МВт — в срок до 1 января 2024 года, мощностью до 15 МВт — в срок до 1 января 2025 года<sup>2</sup>. При реализации этих задач большое значение имеет создание научно-технических решений по разработке эффективной микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения, адаптированной к низконапорным водотокам.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан № ПП-57 от 16 февраля 2023 года «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году», № ПП-104 от 30 марта 2023 года «О мерах по дальнейшему реформированию гидроэнергетической сферы», а также других нормативно-правовых документах, принятых в данной области.

**Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологии, фотоники и других передовых технологий».

**Степень изученности проблемы.** Большой вклад в разработку научно-технических решений по созданию микрогидроэлектростанций, работающих в низконапорных водотоках, повышению их эффективности и развитию использования микрогидроэлектростанций в системе электроснабжения насосных агрегатов и фермерских хозяйств, внесли такие известные ученые, как Ковалев Н.Н., Безруких П.П., Борковский Д., Ким С., Хуймин С., Юн-Ман Дж., Ким Х., Бах С., Елистратов В.В., Малинин Н.К., Сатоши Х., Иванов В.М., Чжан Цзянь, Белхаджи Л., Шритрам П., Захидов Р.А., Аллаев К.Р., Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У., Кадилов Д.Б., Бозаров О.О., Мамедов Р.А., Мамаджанов А.Б. и другие внесли.

Несмотря на достигнутые результаты, проведено недостаточно исследований по разработке и обоснованию параметров микрогидроэлектростанций с вертикальной осью, адаптированных к потокам воды с переменчивым напором и расходом воды, направляющим аппаратом, позволяющим равномерно направлять поток воды к лопастям гидротурбины, и усовершенствованным многополюсным магнитоэлектрическим генератором, лопасти которого установлены под оптимальным углом для снижения сил гидравлического сопротивления.

**Связь диссертационного исследования с планом научной работы высшего учебного заведения, в котором выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-

---

<sup>2</sup> Постановление Президента Республики Узбекистан «О мерах по дальнейшему реформированию гидроэнергетической сферы» от 30.03.2023 г. № ПП-104, <https://lex.uz/docs/6420318>

исследовательской работы Бухарского инженерно-технологического института в рамках проекта «Разработка научно-технических и энергосберегающих методов эффективного использования возобновляемых источников энергии в промышленности, сельском хозяйстве и коммунально-бытовом комплексе» (2022-2024 годы).

**Целью исследования** является обоснование энергетических параметров конструкции микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения, адаптированной к низконапорным водотокам.

**Задачи исследования:**

разработка конструкции микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения, адаптированной к низконапорным водотокам;

разработка математической модели, описывающей зависимость конструктивных размеров, механических и энергетических параметров микрогидроэлектростанции от расхода воды и скорости вращения гидротурбины;

разработка и обоснование размеров конструкции направляющего аппарата, позволяющего равномерно направлять поток воды к лопастям гидротурбины для повышения эффективной работы микрогидроэлектростанции в низконапорных водотоках;

разработка модели тихоходного магнитоэлектрического генератора для получения надежной электроэнергии в условиях низконапорных водотоков;

определение зависимости коэффициента полезного действия и механической мощности микрогидроэлектростанции от расхода воды, напора, скорости вращения гидротурбины и изменения оптимальных углов наклона лопастей гидроэнергетической установки;

оценка технико-экономической и экологической эффективности микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения.

**Объектом исследования** является микрогидроэлектростанция с вертикальной осью вращения, адаптированная к низконапорным водотокам, и её энергетические параметры.

**Предметом исследования** являются параметры микрогидроэлектростанции с вертикальной осью работающей в низконапорных водотоках, геометрические закономерности определения оптимального угла наклона лопастей рабочего колеса и преобразование механической энергии в электрическую энергию.

**Методы исследования.** В процессе исследования применены методы математического и компьютерного моделирования, полиномиальной аппроксимации, численной оптимизации, а также методы степенной полиномиальной аппроксимации при обработке результатов эксперимента и методы чистой дисконтированной прибыли при определении экономической эффективности.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

- впервые создана микрогидроэлектростанция с вертикальной осью вращения, оснащенная направляющим аппаратом, позволяющим

осуществлять равномерную подачу низконапорного водотока на лопасти установки, усовершенствованным многополюсным магнитоэлектрическим генератором, лопастями, установленными под оптимальным углом для уменьшения сил гидравлического сопротивления (№ IAP 07462);

- разработана математическая модель, определяющая пределы изменения максимального значения расхода воды, протекающей через направляющие лопасти, в зависимости от высоты лопаток, расположенных в специальном бассейне, где поток воды вращается в гидротурбине, угла наклона, внутреннего радиуса направляющего аппарата;

- разработана методика определения оптимального угла наклона лопастей гидроэнергетической установки, оптимальной скорости вращения рабочего колеса и максимального коэффициента полезного действия с учетом изменения напора и расхода потока воды;

- получено уравнение регрессии, отражающее зависимость изменения скорости вращения гидротурбины, расхода потока воды и конструктивных размеров установки от механической мощности гидротурбины на основании обобщения экспериментальных исследований гидроэнергетической установки с вертикальной осью вращения, адаптированной к низконапорным водотокам.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана микрогидроэлектростанция с вертикальной осью вращения, эффективно работающая в низконапорных водотоках для насосных агрегатов и фермерских хозяйств;

установлено снижение энерго- и ресурсозатрат и уменьшение габаритов установки за счёт размещения лопастей под оптимальным углом наклона для сокращения сил гидравлического сопротивления.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что исследования проводились с использованием современных методов и средств измерений, методов математического моделирования при обработке и проверке результатов эксперимента, для проведения экспериментов были выбраны естественные условия, вместе с тем, достоверность результатов обоснована взаимной адекватностью теоретических и экспериментальных исследований разработанной микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения, адаптированной к низконапорным водотокам, а также положительными результатами исследования и внедрением в практику.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования заключается в том, что математические модели и аналитические зависимости пределов изменения значения максимального расхода потока воды, протекающей через направляющие лопасти, установленные в гидротурбине, угла наклона лопастей энергетической установки, оптимального значения скорости вращения гидротурбины, а также максимального значения коэффициента полезного действия можно использовать для обоснования параметров других подобных установок.

Практическая значимость результатов исследований состоит в том, что разработанная микрогидроэлектростанция с вертикальной осью в районах с низконапорными водотоками работает в соответствии с установленными требованиями, что снижает затраты топливно-энергетических ресурсов до 5...10%.

**Внедрение результатов исследования.** По результатам разработки, обоснования параметров и внедрения микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения, адаптированной к низконапорным водотокам с изменчивым напором и расхода потока воды:

Получен патент на изобретение (№ IAP 07462) гидроэнергетической установки с вертикальной осью вращения от Министерства юстиции Республики Узбекистан. В результате появилась возможность увеличения эффективности (КПД) установки при работе в низконапорных водотоках до 3...5%;

разработана микрогидроэлектростанция с вертикальной осью вращения, оснащенная многополюсным магнитоэлектрическим генератором, направляющим аппаратом, позволяющим равномерно осуществлять подачу потока воды низконапорного водотока на лопасти установки. (Справка Министерства энергетики от 6 ноября 2023 года № 04-13/6781). В результате удалось увеличить объем выработки энергии в низконапорных водотоках до 25...30%, обеспечив надежность и непрерывность потребления электроэнергии;

Разработанная микрогидроэлектростанция внедрена в фермерском хозяйстве «Бухоро Чорво Омад», расположенном на территории Бухарского района Бухарской области (Справка Министерства энергетики от 6 ноября 2023 года № 04-13/6781). В результате с помощью микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения мощностью 3 кВт в течение года было выработано 19 500 кВт·ч электроэнергии, достигнута экономия в среднем 14,53 т.у.т. (по сравнению с бензиновым генератором мощностью 3 кВт), предотвращены выбросы в атмосферу более 28,5 тонн углекислого газа (CO<sub>2</sub>) и сэкономлены денежные средства в размере 68,96 млн.сум по сравнению с электроснабжением (расчеты произведены методом «Чистой дисконтированной прибыли», цена электроэнергии принята равной 900 сум/кВт·ч).

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования обсуждались на 8 научно-практических конференциях, в том числе на 4 международных и 4 республиканских научных конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликована 21 научная работа, из них 7 - в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов докторских диссертаций, в том числе 5 в республиканских и 2 в зарубежных журналах, в Министерства юстиции Республики Узбекистан получены 3 свидетельства на программы для ЭВМ и 1 патент на изобретение.

**Структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Объем диссертации составляет 117 страниц.

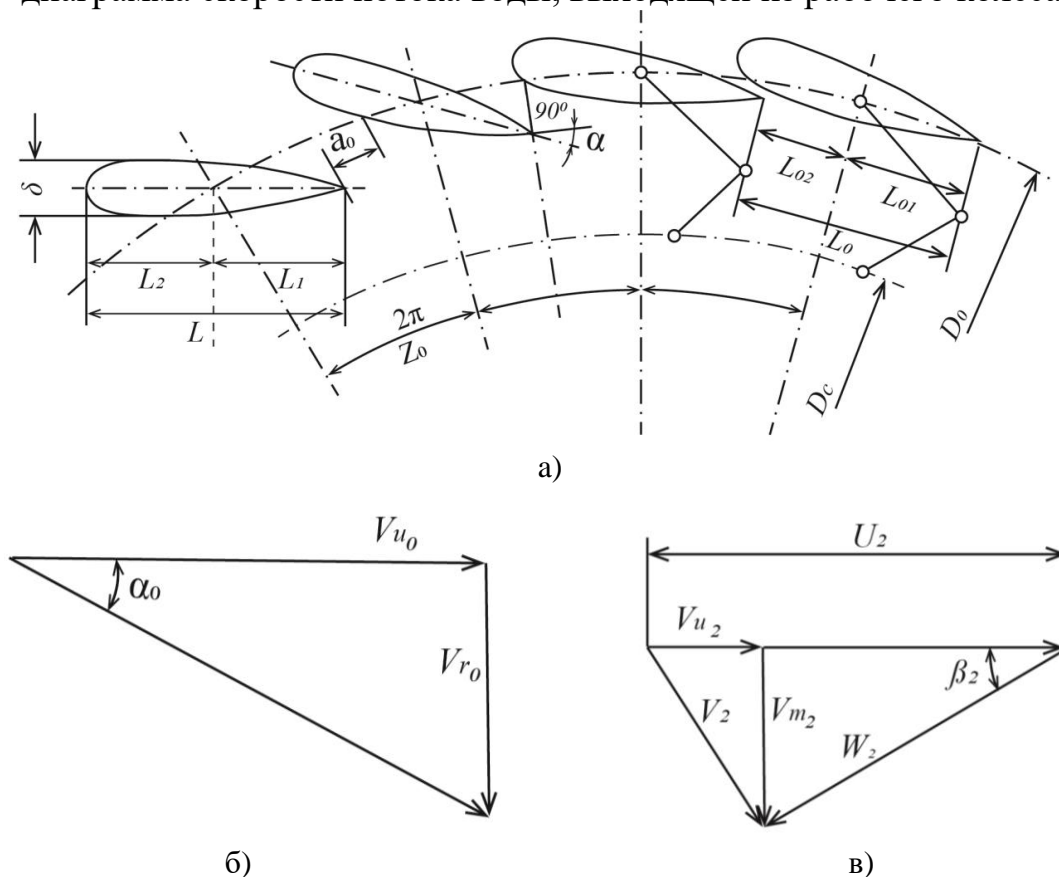
## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** приводится обоснование актуальности и востребованности исследования, формулируются цели и задачи, характеризуются объект и предмет исследования, показывается его соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий в нашей республике, приводится обзор зарубежных и отечественных исследований на тему диссертации, описываются научная новизна и практические результаты исследования, раскрывается научная и практическая значимость полученных результатов, содержатся сведения о внедрении результатов исследований на практике, а также об опубликованных работах и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием **«Анализ современного состояния использования микрогидроэлектростанций с вертикальной осью»** рассматриваются современное состояние использования микрогидроэлектростанций в мире и тенденции их развития, научные исследования по разработке и повышению эффективности микрогидроэлектростанций с вертикальной осью вращения, результаты анализа конструктивных решений, возможности использования микрогидроэлектростанций для обеспечения бесперебойности электроснабжения и повышения надежности обеспечения потребителей, не имеющих доступа к централизованной системе электроснабжения, приводится анализ применения тихоходных магнитоэлектрических генераторов в микрогидроэлектростанциях. Несмотря на достигнутые успехи в данной сфере, цели и задачи диссертации направлены на разработку и обоснование параметров микрогидроэлектростанции с вертикальной осью, адаптированной к изменчивому напору и расходу потока воды, направляющим аппаратом потока воды для равномерной подачи потока воды на лопасти установки, усовершенствованным тихоходным магнитоэлектрическим генератором и лопастями, установленными под оптимальным углом наклона для уменьшения гидравлических потерь.

Во второй главе диссертации под названием **«Теоретическое исследование микрогидроэлектростанции с вертикальной осью»** представлены методика теоретического расчета конструкции направляющего аппарата установки, применяемого в микрогидроэлектростанции, компьютерная модель гидротурбины с вертикальной осью, работающей в переменных и низконапорных водотоках, теоретический расчет определения оптимального значения угла наклона лопастей рабочего колеса при взаимодействии с водой, аналитические выражения усовершенствованного тихоходного магнитоэлектрического генератора, примененного в микрогидроэлектростанции.

На рисунке 1 (а) приведены основные геометрические размеры лопаток направляющего аппарата, примененного в предлагаемой микрогидроэлектростанции. На рисунке 1 (б) представлена диаграмма скорости потока воды, выходящей из направляющего аппарата, а на рисунке 1 (в) – диаграмма скорости потока воды, выходящей из рабочего колеса.



а - направляющие лопатки; б - диаграмма скоростей потока воды, выходящего из направляющего аппарата; в – диаграмма скоростей потока воды, выходящего из рабочего колеса.

**Рисунок 1. Основные геометрические размеры направляющего аппарата.**

Аналитическое уравнение для определения максимального значения расхода воды, протекающей через лопатки направляющего аппарата, примененного в микрогидроэлектростанции, в зависимости от высоты направляющих лопаток, угла выхода потока воды из направляющего аппарата и угла выхода потока воды из рабочего колеса, имеет следующий вид:

$$Q = \frac{\frac{\eta g H}{\omega} - u_2 r_2}{\frac{1}{2\pi b_0} \operatorname{ctg} \alpha_0 + \frac{r_2}{F_2} \operatorname{ctg} \beta_2} \quad (1)$$

где,  $\eta$  – коэффициент полезного действия турбины;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $H$  – гидравлический напор, м;  $u_2$  – скорость вращения (перемещения) на выходе лопастей, м/с;  $r_2$  – внутренний радиус рабочего колеса, м;  $\alpha_0$  – высота направляющего аппарата, м;  $\alpha_0$  – угол выхода потока воды из направляющего аппарата, град.;  $F_2$  – площадь сечения рабочего колеса, м<sup>2</sup>;  $\beta_2$  – угол выхода потока воды из водяного колеса, град.

На рисунка 2 приведена диаграмма скорости гидротурбины с вертикальной осью вращения. Зависимость параметров вертикальной осевой

гидротурбины от расхода воды была выведена на основании следующих уравнений:

Полный напор 1-й гидротурбины определялся по формуле:

$$H_{t1} = \frac{n_1^2 \pi^2 R_1^2 \cos \alpha_1 \sin \beta_1}{900 g \sin(\beta_1 - \alpha_1)} \quad (2)$$

где,  $R_1$  – внешний радиус гидротурбины, м;  $n_1$  – скорость вращения первой гидротурбины, об/мин;  $\alpha_1$  – угол входа потока воды в 1-ю гидротурбину, град;  $\beta_1$  – угол выхода потока воды из 1-й гидротурбины, град;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Напор потока воды, поступающего в 1-ю гидротурбину, рассчитывался с помощью следующего выражения.

$$H_1 = \frac{n_1^2 \pi^2 R_1^2 \cos \alpha_1 \sin \beta_1}{900 g \sin(\beta_1 - \alpha_1)} + \Delta H_1 \quad (3)$$

где,  $\Delta H_1$  – потери напора в первой турбине, м.

Коэффициент полезного действия первой гидротурбины определяется следующим образом:

$$\eta_1 = \frac{M_1 \frac{2\pi n_1}{60}}{\rho g Q_1 H_1} = \frac{30 M_1 \pi n_1 \sin(\beta_1 - \alpha_1)}{\rho Q_1 (n_1^2 \pi^2 R_1^2 \cos \alpha_1 \sin \beta_1 + 900 g \Delta H_1 \sin(\beta_1 - \alpha_1))} \quad (4)$$

где,  $\rho$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>;  $Q_1$  – расход воды, поступающей в первую гидротурбину, м<sup>3</sup>/с.

Полный напор 2-й гидротурбины определяли по формуле:

$$H_{t2} = \frac{n_2^2 \pi^2 R_3^2 \cos \alpha_3 \sin \beta_3}{900 g \sin(\beta_3 - \alpha_3)} \quad (5)$$

где,  $R_3$  – внешний радиус второй гидротурбины, м;  $n_2$  – скорость вращения второй гидротурбины, об/мин;  $\alpha_3$  – угол входа потока воды во вторую гидротурбину, град;  $\beta_3$  – угол выхода потока воды из второй гидротурбины, град.

Напор потока воды, поступающего во вторую гидротурбину, рассчитывался с помощью следующего выражения:

$$H_2 = \frac{n_2^2 \pi^2 R_3^2 \cos \alpha_3 \sin \beta_3}{900 g \sin(\beta_3 - \alpha_3)} + \Delta H_2 \quad (6)$$

где,  $\Delta H_2$  – потери напора во второй гидротурбине, м.

Коэффициент полезного действия второй гидротурбины определяется следующим образом:

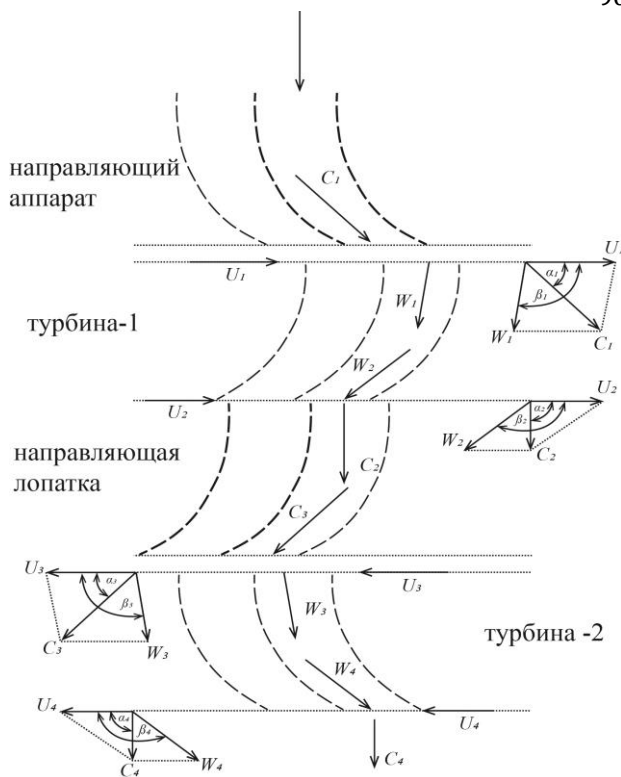


Рисунок 2. Диаграмма скорости гидротурбины с вертикальной осью.

$$\eta_2 = \frac{M_2 \frac{2\pi n_2}{60}}{\rho g Q_2 H_2} = \frac{30 M_2 \pi n_2 \sin(\beta_3 - \alpha_3)}{\rho Q_2 (n_2^2 \pi^2 R_3^2 \cos \alpha_3 \sin \beta_3 + 900 g \Delta H_2 \sin(\beta_3 - \alpha_3))} \quad (7)$$

где,  $Q_2$  – расход поступающей воды во вторую гидротурбину, м<sup>3</sup>/с.

При разработке математической модели магнитоэлектрического аксиального генератора использовалась матричная форма формулы Лагранжа.

$$\frac{d}{dt} \psi_{PM}(\varphi) = u + \left\{ L \frac{d}{dt} i + R_s \cdot i \right\} \quad (8)$$

Получено следующее уравнение равновесия:

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = T_L + T_{em}(\varphi, i_1, i_2, i_3) - D \frac{d\varphi}{dt} \quad (9)$$

Электромагнитный момент определяется по формуле:

$$T_{em}(\varphi, i_1, i_2, i_3) = i^T \cdot \frac{\partial}{\partial \varphi} \psi_{PM}(\varphi) \quad (10)$$

где,  $I$  - ток, проходящий через фазные катушки генератора,  $A$ ;  $U$  - напряжение, индуцированное на фазных катушках генератора,  $B$ .

$$i = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix}; \quad u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}$$

$$L = L_{\sigma s} + L_s = \begin{bmatrix} L_{\sigma s} & & \\ & L_{\sigma s} & \\ & & L_{\sigma s} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{11} & L_{12} & L_{13} \\ L_{21} & L_{22} & L_{23} \\ L_{31} & L_{32} & L_{33} \end{bmatrix}$$

$$\psi_{PM}(\varphi) = \begin{bmatrix} \psi_{PM1}(\varphi) \\ \psi_{PM2}(\varphi) \\ \psi_{PM3}(\varphi) \end{bmatrix}; \quad R_s = \begin{bmatrix} R_s & & \\ & R_s & \\ & & R_s \end{bmatrix}$$

Магнитный поток  $\psi_a$  катушки фазы "а" определяется следующим образом:

$$\psi_a(\varphi) = \int_{R_i}^{R_o} w_s \left\{ \int_{\frac{-\varepsilon(r) + \alpha_k(r)}{2} + x_a}^{\frac{-\varepsilon(r) - \alpha_k(r)}{2} + x_a} B(x, \varphi, r) dx \right\} r dr \quad (11)$$

Определение распределения магнитной индукции  $B(x, \varphi, r)$  путем интегрирования выражения (16) представляет определенную сложность. Однако его среднее значение можно определить из следующего упрощенного выражения.

Среднее значение тока сцепления постоянных магнитов в „а” сцепления постоянных магнитов в исходном состоянии (без индукционного тока в обмотке)  $\psi_{PMa}$  приведено в следующем выражении.

$$\psi_{PMa}(\varphi) = \sum_{\zeta \in Q} \psi_{\zeta}^{PMs} \cdot e^{j\zeta \left\{ (a-1) \frac{4\pi}{3p} - \varphi \right\}} \quad \text{где, } a = 1, 2, 3 \quad (12)$$

$\zeta^{th}$  – сцепление тока в упорядоченной гармонике рассчитывалось с использованием следующего выражения:

$$\psi_{\zeta}^{PMs} = 2 \cdot B_{\zeta}^{PM}(r_s) \cdot W_{\zeta}^s(r_s) \cdot r_s \cdot l_c \quad (13)$$

где,  $l_c = R_o - R_i$  – длина обмотки,  $m$ .

Уравнение для определения индуктивности обмоток машины.

$$L_{ab} = \sum_{v \in P} L_v^{SS} \cdot e^{jv(a-b) \frac{4\pi}{3ps}} \quad \text{где, } a, b = 1, 2, 3 \quad (14)$$

Аналитическое выражение индуктивности однофазной цепи.

$$L_v^{SS} = \frac{2}{\pi} [W_v^s(r_s)]^2 \cdot r_s \cdot l_c \cdot \lambda_o \quad (15)$$

Аналитическое выражение взаимной индуктивности состоит из двух составляющих. Первое из них представлено рассеянием магнитного потока в активной части проводника, а второе – рассеянием магнитного потока в клеммах проводника. Взаимная индуктивность определялась по формуле:

$$L_{\sigma s} \approx 2\mu_o \cdot (w_s)^2 \cdot [(l_c - a_{sc}) + (a_c - a_{sc})] \cdot 0,3 / p_s \quad (16)$$

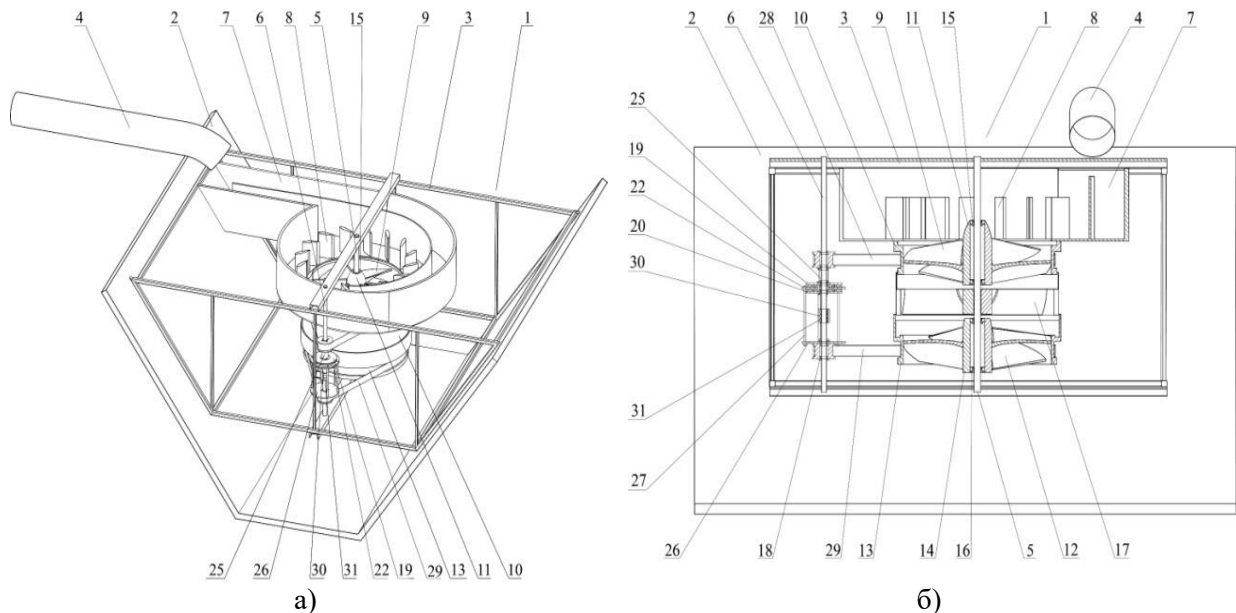
Расчет электромагнитной мощности, получаемой от генератора, состоящего из трехфазных постоянных магнитов, был определен из выражения, приведенного ниже:

$$P_e = \frac{3}{2} \omega [\psi_{PM} + (L_d - L_q)i_d]i_q \quad (17)$$

где,  $\omega$  – угловая скорость генератора, рад/с.

Предложенная математическая модель зависимости параметров гидротурбины с вертикальной осью от расхода воды используется при расчете основных механических и энергетических параметров турбин. С другой стороны, математическая модель магнитоэлектрического осевого генератора позволяет определить выходные параметры генератора.

В третьей главе диссертации, озаглавленной **“Разработка и экспериментальные исследования микрогидроэлектростанции с вертикальной осью”**, была разработана конструктивная схема микрогидроэлектростанции, адаптированной к изменчивым и низконапорным водотокам.



1 – микро ГЭС с вертикальной осью; 2 - канал; 3 – рама; 4 - труба; 5,6 - вал; 7 - водосливной подвижный бассейн; 8,17 - направляющий аппарат; 9,12 - поплавок; 10,13 – водяное колесо; 11,14,27 - втулка; 15,16,18 - подшипник; 19,20 –индуктор; 21-постоянные магниты; 22-якорь; 23 – медная обмотка; 24 – магнитоэлектрический аксиальный генератор; 25 – фланцевое соединение; 26 – металлический диск; 28,29 – ременная передачи; 30 – щетка; 31-коллектор.

**Рисунок 3. Общий вид микро-ГЭС с вертикальной осью (а), вертикальный разрез микро-ГЭС (б).**

На рисунке 3 (а) представлен общий вид разработанной микрогидроэлектростанции с вертикальной осью (№ IAP 07462), исходя из установленных требований к микроГЭС, адаптированных к изменчивым и низконапорным водотокам. На рисунке 3 (б) показан вертикальный разрез микрогидроэлектростанции. Полиномиальные уравнения, позволяющие определить гидравлический напор потока воды  $H$ , механический крутящий момент  $M$ , механическую мощность  $P$  и коэффициент полезного действия  $\eta$ , исходя из значений изменения расхода воды  $0,15...0,24 \text{ м}^3/\text{с}$ , скорости вращения гидротурбины  $0...240$  об/мин, внешнего диаметра колеса гидротурбины  $D_1$  и количества лопастей  $Z$ , смоделированы в системах Matlab/Simulink, SolidWorks и Ansys Fluent, а зависимость выходных параметров микрогидроэлектростанции с усовершенствованной вертикальной осью от расхода воды и скорости представлена на основе результатов аналитических и экспериментальных исследований.

При моделировании гидроэнергетической установки использовалась модель турбулентности SST  $k$ - $\omega$ , которая была определена при помощи выражений:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega \end{cases} \quad (18)$$

где,  $k$  – кинетическая энергия турбулентности,  $\text{м}^2/\text{с}^2$ ;  $\omega$  – удельная скорость;  $\rho$  – плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $u_i$  – ( $i=1,2,3$ ) линейная скорость,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $t$  – время,  $\text{с}$ ;  $\Gamma_k$  и  $\Gamma_\omega$  – элементы, характеризующие эффективность кинетической энергии и  $\omega$  удельной скорости турбулентности;  $G_k$  и  $G_\omega$  – элементы, выражающие возникновение  $k$  кинетической энергии и  $\omega$  удельной скорости турбулентности;  $Y_k$  и  $Y_\omega$  – элементы, выражающие расход  $k$  кинетической энергии и  $\omega$  удельной скорости турбулентности,  $D_\omega$  – ортогональная дивергенция;  $S_k$  и  $S_\omega$  – элементы, описывающие нагрузку.

Модель микроГЭС была смоделирована в программе Ansys Fluent при помощи модели турбулентности SST  $k$ - $\omega$ , что представлено на рисунке 4. По результатам моделирования уравнения зависимости основных механических и энергетических показателей турбин микрогидроэлектростанций с вертикальной осью от расхода воды и изменения скорости вращения турбины были определены методом полиномиальной аппроксимации в практическом пакете Matlab. В исследовательской работе были сформулированы уравнения зависимости расхода воды и скорости вращения от основных величин при радиусе действия гидротурбины пропеллерного типа  $0,5 \text{ м}$ , расходе входящей в нее воды  $0,15...0,24 \text{ м}^3/\text{с}$  и скорости вращения турбины в интервале  $0...240$  об/мин.

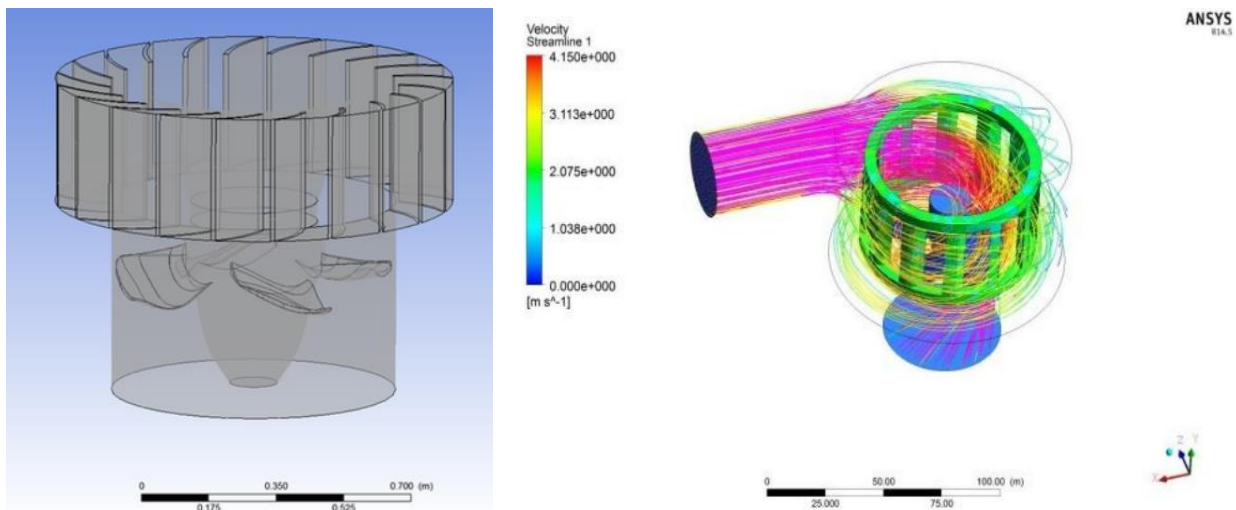


Рисунок 4. Результаты моделирования микрогидроэлектростанции, исследованные в программе AnsysFluent.

Достижение максимальной эффективности (КПД) микрогидроэлектростанции использовалось в качестве критерия оптимальности:

$$\begin{cases} H(Q, n) \rightarrow \max; & \Delta H \rightarrow \min \\ P(Q, n) \rightarrow \max; & \Delta H \rightarrow \min \\ \eta(Q, n) \rightarrow \max; & \Delta H \rightarrow \min \end{cases} \quad (19)$$

Были приняты следующие условия:  $\begin{cases} 0,15 \leq Q \leq 0,24 \text{ м}^3/\text{с} \\ 0 < n < 240 \text{ об/мин} \\ D_1 = 0,5 \text{ м} \end{cases}$

Сформулировано уравнение зависимости напора гидротурбины от скорости вращения турбины и расхода воды.

$$H_t(Q, n) = 19,1927 \cdot Q - 0,0063 \cdot n - 48,5963 \cdot Q^2 + 0,0957 \cdot Q \cdot n - 0,000067294 \cdot n^2 - 1,7367 \quad (20)$$

где,  $Q$  – расход потока воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $n$  – скорость вращения гидротурбины, об/мин.

На рисунке 5 (а) построен график зависимости напора гидротурбины от скорости вращения турбины и расхода воды. Напор гидротурбины изменялся в интервале 0,2...1,1 м при расходе воды 0,15...0,24  $\text{м}^3/\text{с}$  и скорости вращения турбины в интервале 0...240 об/мин.

Получено уравнение зависимости механического крутящего момента гидротурбины от скорости вращения турбины и расхода воды.

$$M(Q, n) = 2551,4 \cdot Q - 1,5041 \cdot n - 227,7833 \quad (21)$$

Составлен график зависимости механического крутящего момента турбины от скорости вращения и расхода воды (рис.5 (б)). Установлено, что механический крутящий момент турбины изменяется до 396 Н·м при изменении расхода воды на 0,15...0,24  $\text{м}^3/\text{с}$  и скорости вращения турбины в интервале 0... 240 об/мин.

Уравнение зависимости механической мощности гидротурбины от скорости вращения и расхода воды было получено с помощью пакета приложений Matlab.

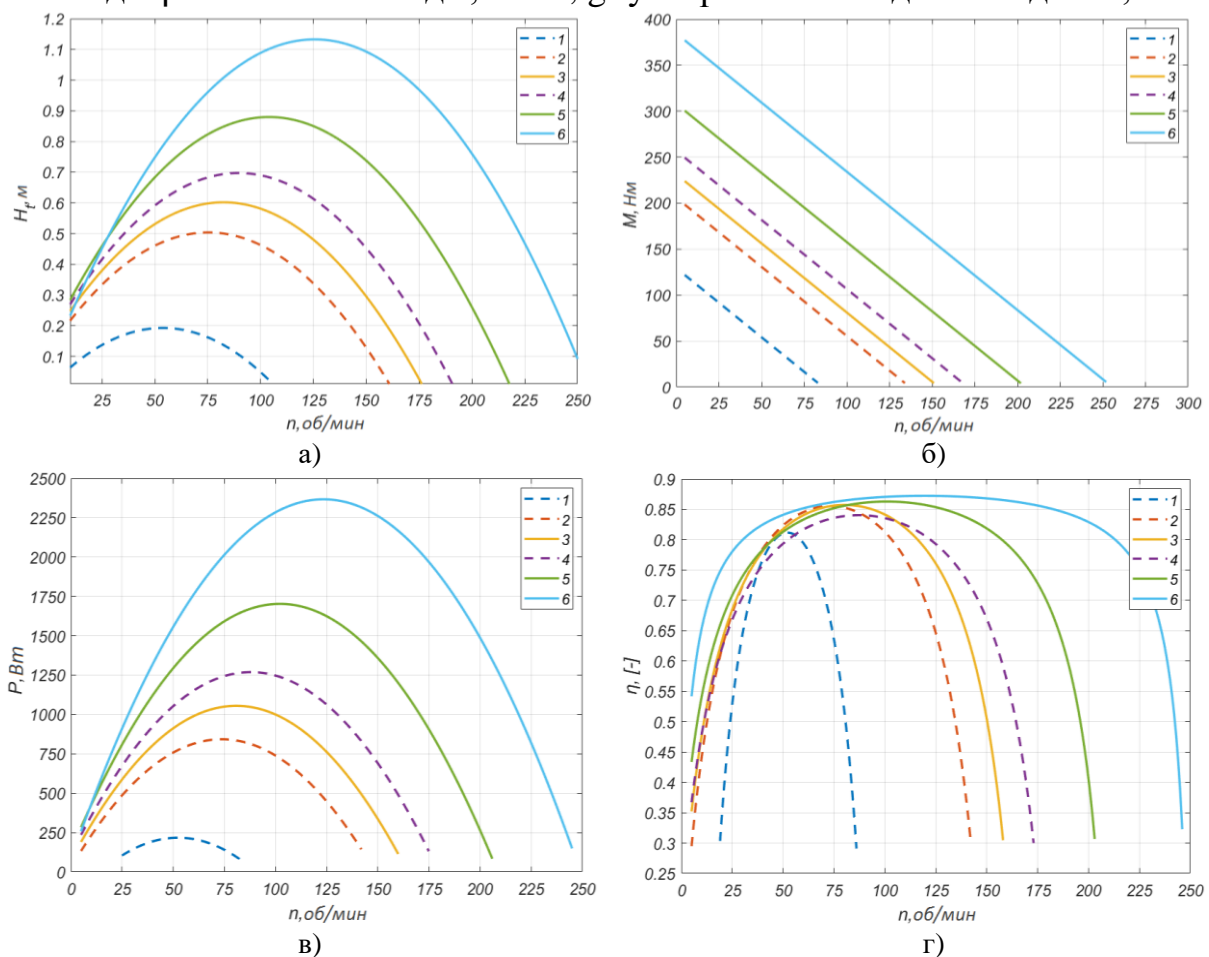
$$P_t(Q, n) = 28031 \cdot Q - 14,1294 \cdot n - 66613 \cdot Q^2 + 213,4498 \cdot Q \cdot n - 0,1502 \cdot n^2 - 2814,5 \quad (22)$$

На рис. 5 (г) при помощи непрерывной линии, отражающей разные значения расхода воды в первой гидротурбине (6- $Q_{11}=0,24 \text{ м}^3/\text{с}$ , 5- $Q_{12}=0,21 \text{ м}^3/\text{с}$ , 3- $Q_{13}=0,18 \text{ м}^3/\text{с}$ ), и ломаной линии, отражающей разные значения расхода воды во второй гидротурбине (4- $Q_{21}=0,19 \text{ м}^3/\text{с}$ , 2- $Q_{22}=0,17 \text{ м}^3/\text{с}$ , 1- $Q_{23}=0,14 \text{ м}^3/\text{с}$ ), показан график зависимости механической мощности гидротурбин от скорости вращения турбины. Установлено, что при максимальном значении расхода воды в первой гидротурбине  $0,24 \text{ м}^3/\text{с}$  механическая мощность равна  $2338 \text{ Вт}$ , а скорость вращения –  $120 \text{ об/мин}$ , в свою очередь, при максимальном значении расхода воды во второй гидротурбине  $0,19 \text{ м}^3/\text{с}$  величина механической мощности равна  $1243 \text{ Вт}$ , а скорость вращения –  $80 \text{ об/мин}$ .

Из соотношения механической мощности гидротурбины к мощности потока воды получено уравнение зависимости коэффициента полезного действия от расхода воды и скорости вращения.

$$\eta(Q, n) = \frac{28031 \cdot Q - 14,1294 \cdot n - 66613 \cdot Q^2 + 213,4498 \cdot Q \cdot n - 0,1502 \cdot n^2 - 2814,5}{\rho \cdot g \cdot Q \cdot (19,1927 \cdot Q - 0,0063 \cdot n - 48,5963 \cdot Q^2 + 0,0957 \cdot Q \cdot n - 0,000067294 \cdot n^2 - 1,7367 + \Delta H)} \quad (23)$$

где:  $\rho$  – плотность воды,  $\text{кг/м}^3$ ;  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .



**Рисунок 5. Графики зависимости напора (а), механического момента (б), механической мощности (в) и коэффициента полезного действия (г) гидротурбины от скорости вращения при различных расходах воды (непрерывная линия-для 1-й гидротурбины (6- $Q_{11}=0,24 \text{ м}^3/\text{с}$ , 5- $Q_{12}=0,21 \text{ м}^3/\text{с}$ , 3- $Q_{13}=0,18 \text{ м}^3/\text{с}$ ), ломаная линия-для 2-й гидротурбины (4- $Q_{21}=0,19 \text{ м}^3/\text{с}$ , 2- $Q_{22}=0,17 \text{ м}^3/\text{с}$ , 1- $Q_{23}=0,14 \text{ м}^3/\text{с}$ ).**

Построен график зависимости коэффициента полезного действия от скорости вращения турбины при различных значениях расхода воды (рис.5 (е)). Установлено, что коэффициент полезного действия гидротурбины находится в пределах 84...88%.

На рис.6 показан разработанный алгоритм определения зависимости расхода воды и изменения скорости вращения турбины от напора, крутящего момента, механической мощности гидротурбины, оптимальных значений коэффициентов полезного действия и оптимального угла установки лопастей. При решении задачи оптимизации использовался метод штрафной функции.

На основе этого алгоритма:

1. Имеется возможность определять оптимальные значения напора  $H_t$ , крутящего момента  $M$ , механической мощности  $P$  и коэффициента полезного действия  $\eta$  гидротурбины пропеллерного типа в зависимости от значений скорости вращения турбины  $n$  и расхода воды  $Q$ .

2. Существует возможность определения оптимального угла установки лопастей  $\theta$  гидротурбины в зависимости от величины напора турбины  $H_t$ , крутящего момента  $M$ , механической мощности  $P$ , скорости вращения  $n$  и расхода воды  $Q$ .

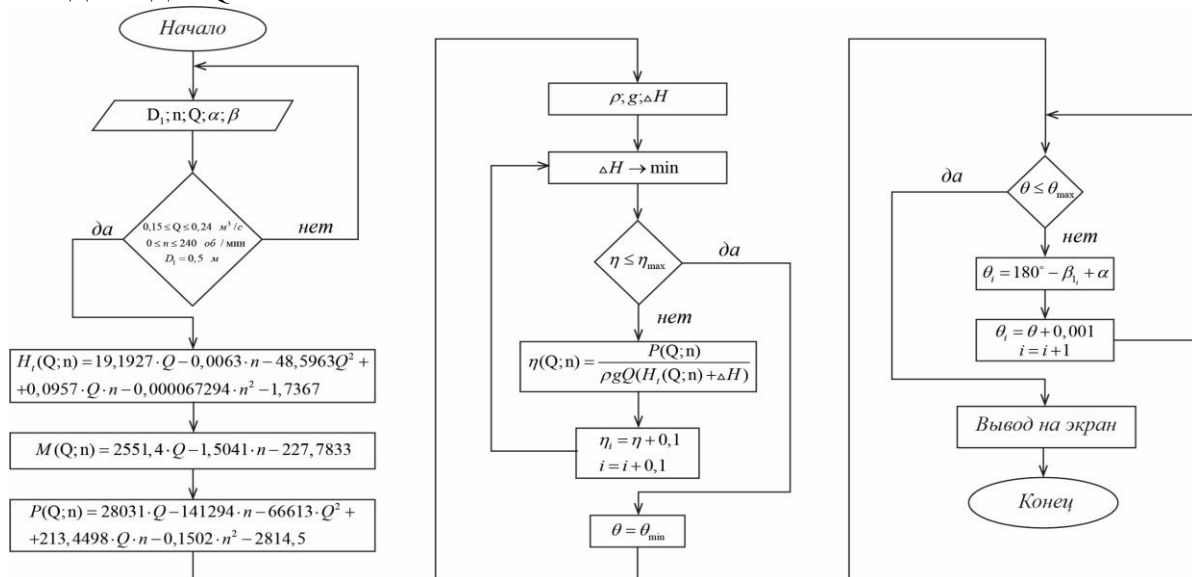


Рисунок 6. Алгоритм зависимости расхода воды и скорости вращения турбины от параметров ( $H$ ,  $M$ ,  $P$ ,  $\eta$ ,  $\theta$ ).

В таблице 1 приведены результаты определения оптимальных параметров предлагаемой гидроэнергетической установки в зависимости от переменного расхода и напора воды.

Таблица 1.

**Результаты определения оптимальных параметров разработанной микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения.**

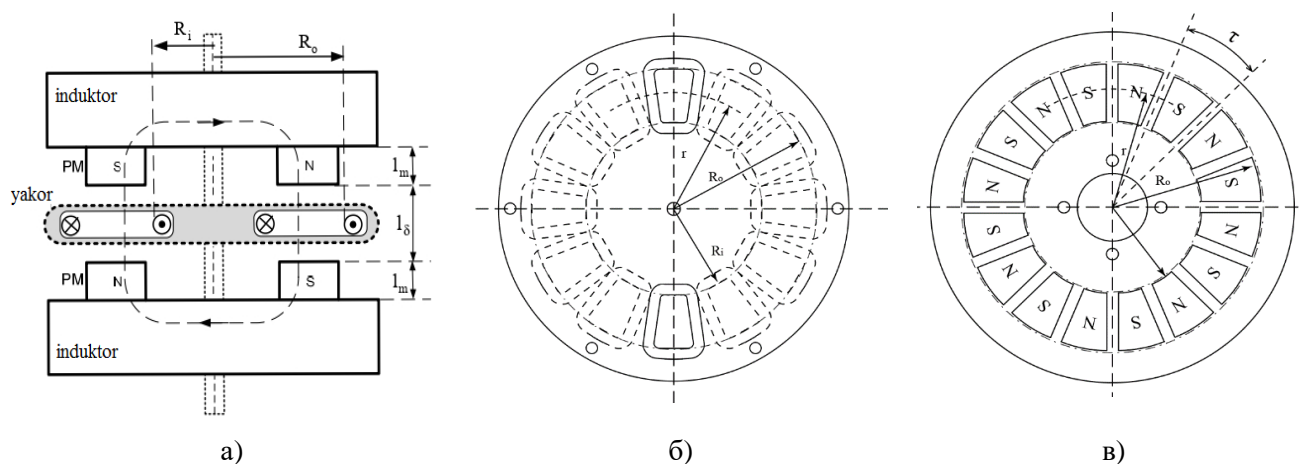
№	$Q_1$ , $м^3/с$	$n_1$ , об/ мин	$P_1$ , Вт	$H_{t1}$ , м	$\alpha_1$ , град.	$\beta_1$ , град.	$\theta$ , град.	$Q_2$ , $м^3/с$	$n_2$ , об/ мин	$P_2$ , Вт	$H_{t2}$ , м
1	0,24	120	2338	1,1	25	95	110	0,19	80	1243	0,7

Установлено, что при внутреннем диаметре гидротурбин 0,5 м, количестве лопастей 6 и максимальном расходе воды 0,24 м<sup>3</sup>/с оптимальный угол наклона лопастей составляет  $\theta = 110^\circ$ .

Так как расход воды, поступающей от направляющего аппарата к первой гидротурбине предлагаемой микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения, составляет 0,24 м<sup>3</sup>/с, а напор гидротурбины - 1,1 м, то оптимальная скорость вращения первой гидротурбины составляет 120 об/мин, а механическая мощность - 2338 Вт. В свою очередь, поскольку расход воды, поступающей во вторую гидротурбину, составляет 0,19 м<sup>3</sup>/с, а напор гидротурбины 0,7 м, оптимальная скорость вращения второй гидротурбины составляет 80 об/мин, а механическая мощность - 1243 Вт. Установлено, что суммарная механическая мощность, передаваемая от механической части гидроэлектростанции к электрогенератору, равна 3581 Вт. С помощью ременной передачи скорости вращения гидротурбин, вращающихся взаимно противоположно, увеличиваются в 2 раза, при этом электрогенератор достигает максимальной скорости вращения 400 об/мин.

Для повышения эффективности микрогидроэлектростанции с вертикальной осью в низконапорных водотоках был разработан тихоходный магнитоэлектрический аксиальный генератор, состоящий из постоянных магнитов, якорь и индуктор которого вращаются в противоположных направлениях.

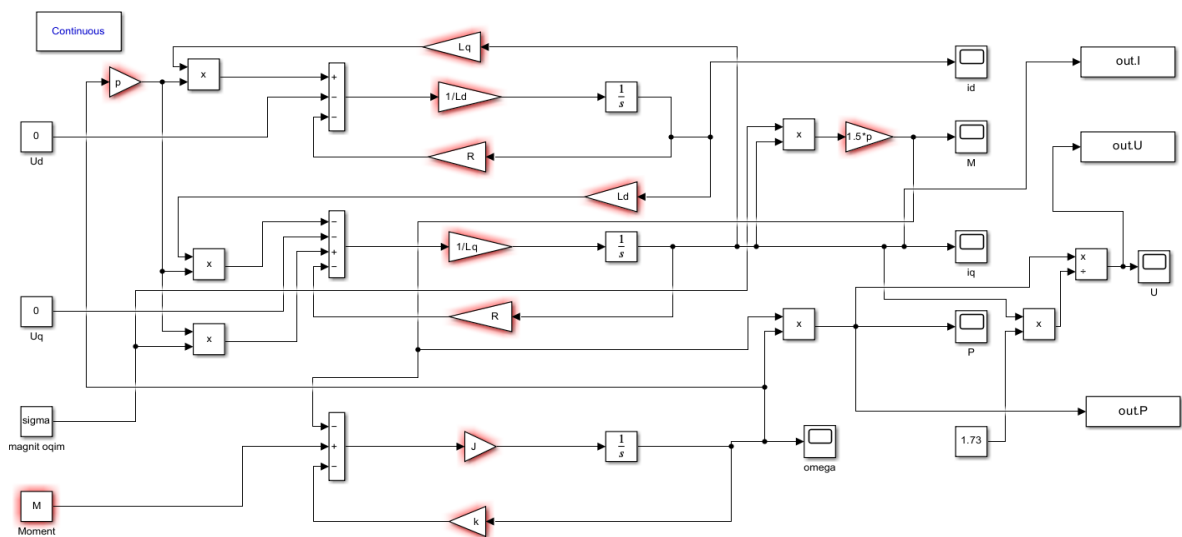
На рисунке 8 (а) показана конструкция электрогенератора, на рисунке 8 (б) - трехфазные непересекающиеся обмотки якоря, а на рисунке 8 (в) - расположение магнитов на индукторе. Каждая фазовая обмотка якоря состоит из 4 последовательно соединенных обмоток, соединенных между собой схемой соединения звезда. Электрогенератор имеет два индуктора, каждый из которых содержит 16 постоянных магнитов.



а – конструкция электрогенератора; б – якорь (трехфазные непересекающиеся обмотки); в-внешний вид индуктора.

**Рисунок 8. Устройство электрогенератора.**

На рисунке 9 показана полученная в программе Matlab/Simulink имитационная модель электрического генератора, якорь и индуктор которого вращаются в противоположные стороны.

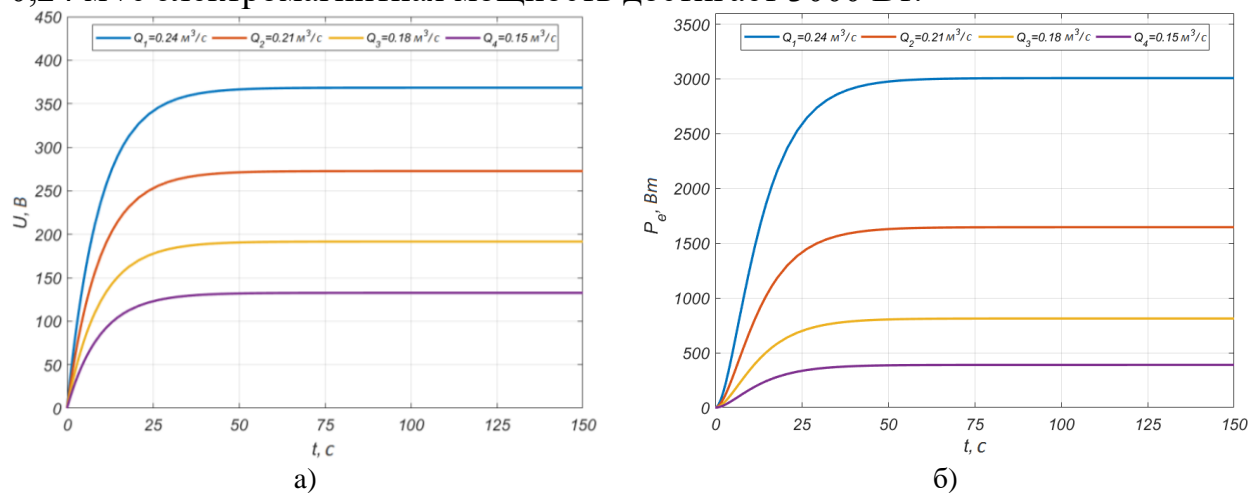


**Рисунок 9. Имитационная модель определения электрических и энергетических параметров электрогенератора в прикладной программе Matlab/Simulink.**

На рисунке 10 представлен график значений выходных параметров электрогенератора в динамическом режиме в программе Matlab/Simulink. При определении этих параметров расход воды изменялся в пределах  $0,15...0,24 \text{ м}^3/\text{с}$ .

На рисунке 10 (а) приведены значения выходного напряжения электрогенератора при различных расходах воды в динамическом режиме. Согласно этому установлено, что при расходе воды  $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$  напряжение на обмотке якоря составляет 120 В, а при расходе воды  $0,24 \text{ м}^3/\text{с}$  напряжение на обмотке якоря составляет 380 В.

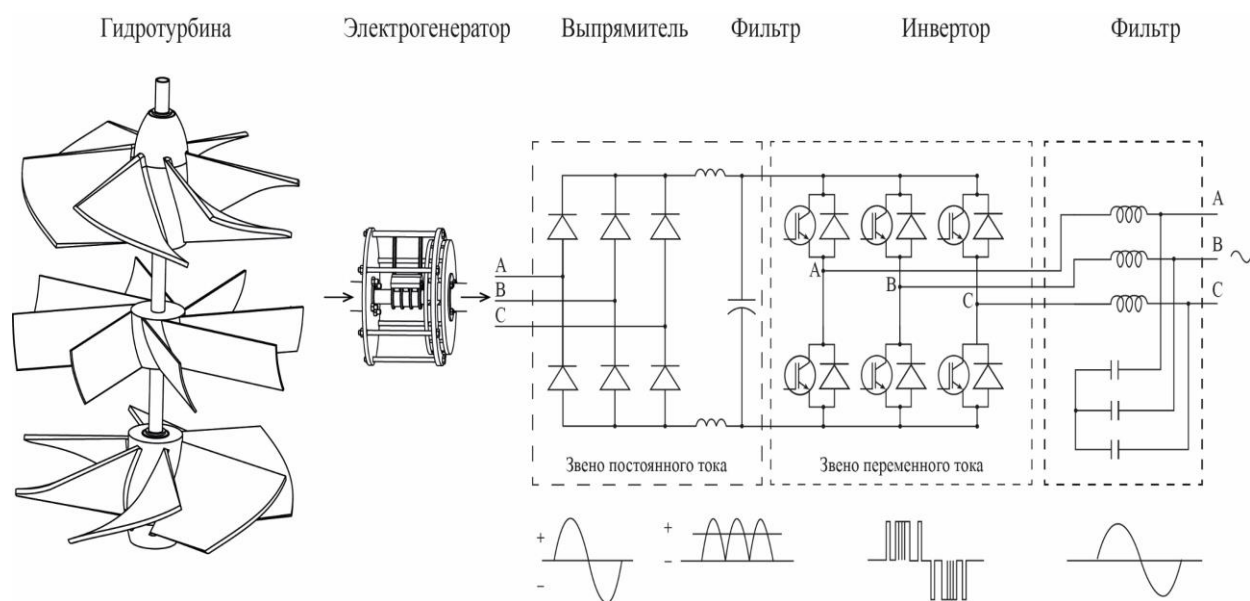
На графике приведенном на рисунке 10 (б) представлены значения кривых зависимости значений электромагнитной мощности электрогенератора в динамическом режиме от изменения расхода воды. Согласно этому установлено, что при расходе водного потока  $0,15 \text{ м}^3/\text{с}$  электромагнитная мощность составляет 400 Вт, а при расходе водного потока  $0,24 \text{ м}^3/\text{с}$  электромагнитная мощность достигает 3000 Вт.



а – выходное напряжение в динамическом режиме; б-электромагнитная мощность в динамическом режиме.

**Рисунок 10. Графики значений выходных параметров электрогенератора при различных расходах воды в динамическом режиме.**

Надо учитывать необходимость обеспечения качества частоты и напряжения электроэнергии, вырабатываемой электрогенератором на микрогидроэлектростанции для обеспечения потребителей. На основе этого нами была разработана система управления регулировкой частоты и напряжения электрогенератора, состоящая из контроллера и инвертора. При изменении расхода воды изменяется и напряжение, получаемое с электрогенератора. При помощи контроллера переменное напряжение выпрямляется на постоянное напряжение 12 В, которое через инвертор преобразуется в трехфазное переменное напряжение 380 В с частотой 50 Гц и подается потребителям электроэнергии (рис.11).

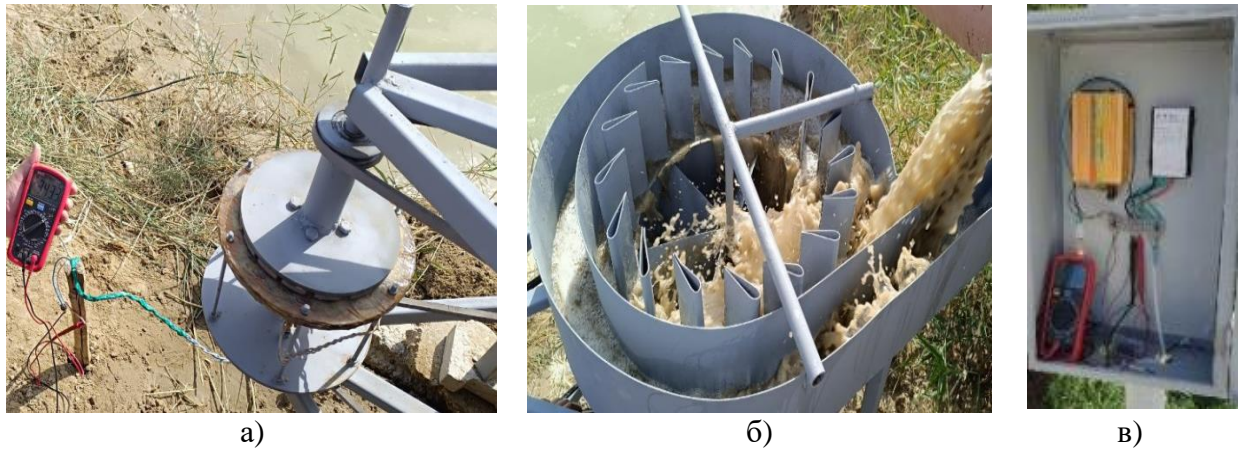


**Рисунок 11. Схема выработки электроэнергии микрогидроэлектростанцией.**

На рисунке 12 (а) показан экспериментальный процесс испытания электрогенератора, используемого на микрогидроэлектростанции с вертикальной осью. Результаты были получены при вращении якоря и индуктора электрогенератора со скоростью от 50 об/мин до 400 об/мин.

На рисунке 12 (б) показан процесс экспериментальных работ, проводимых в механической части микрогидроэлектростанции. При этом были получены характеристики работы установки при различных расходах воды, значения параметров, характеризующих электрическую энергию, вырабатываемую устройством под воздействием потока воды.

На рисунке 12 (в) представлена система управления микрогидроэлектростанции. В этом случае контроллер по существу выпрямляет напряжение трехфазного переменного тока в постоянное напряжение 12 В. Выпрямленное постоянное напряжение преобразуется инвертором в трехфазное переменное напряжение 380 В частотой 50 Гц.



а – магнитоэлектрический аксиальный генератор; б - механическая часть микрогидроэлектростанции; в - система управления.

**Рисунок 12. Процесс эксперимента, проведенного на микрогидроэлектростанции.**

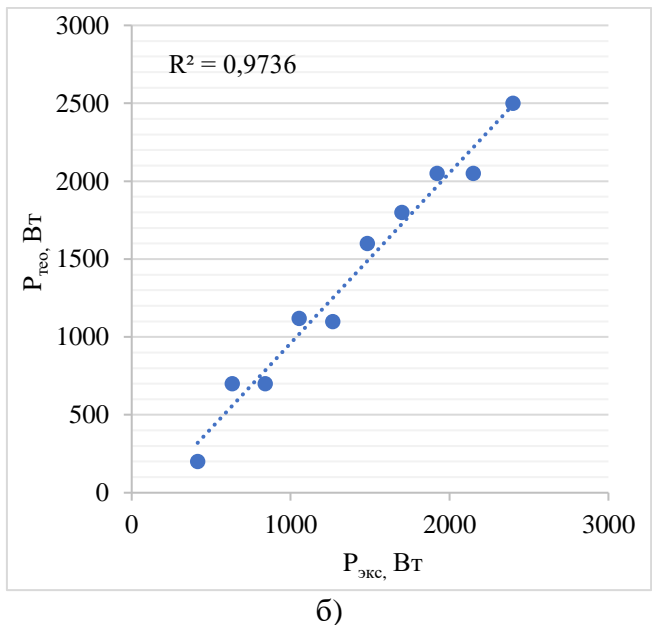
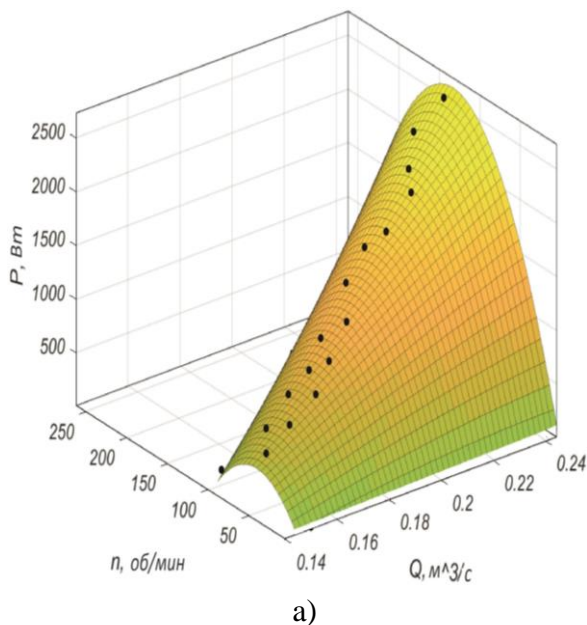
На основе обработки результатов эксперимента получено уравнение регрессии, определяющее изменение расхода воды и скорости вращения турбины от механической мощности гидротурбины.

$$P = 113,4 \cdot Q^{1,6} \cdot n^{1,12} \quad (24)$$

Принимаются следующие начальные условия:

Для выражения (24):  $0,15 \leq Q \leq 0,24 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $0 < n < 240 \text{ об/мин}$ .

На рис. 13(а) представлен график уравнения регрессии, полученного на основе обработки результатов эксперимента.



**Рисунок 13. График уравнения регрессии, полученный на основе обработки результатов эксперимента (а), график сравнения мощностей турбины, определенных в результате теоретического расчета и эксперимента (б).**

Адекватность уравнения регрессии определялась с помощью F-критерия Фишера. При значении уровня значимости 0,05 и значении степеней свободы  $\gamma_1 = 63$  и  $\gamma_2 = 59$  расчетное значение F-критерия Фишера ( $F_{\text{рас}} = 0,92$ ) оказалось меньше значения, полученного из таблицы ( $F_{\text{табл}} = 3,34$ ), в результате полученное уравнение регрессии является значимым. Относительная величина погрешности в процессе расчета составляет  $\pm 6\%$ .

На рис. 13(б) приведен график сравнения механической мощности турбины, определенной в результате теоретического расчета и эксперимента. По результатам сравнения установлено, что значение коэффициента корреляции равно 0,9736.

По результатам эксперимента можно сделать вывод, что данная установка вырабатывает бесперебойную электроэнергию в переменных и низконапорных потоках воды, тем самым обеспечивая электроэнергией потребителей, находящихся вдали от централизованного электроснабжения.

Четвертая глава диссертации под названием «**Оценка технико-экономической эффективности микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения**» включает в себя годовые показатели электропотребления электропотребителя, результаты определения технико-экономических показателей разрабатываемого устройства и оценки его экологической и экономической эффективности.

По результатам проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлено, что разработанная микрогидроэлектростанция с направляющей поверхностью с внешним диаметром  $D_1 = 1$  м, внутренним диаметром  $D_2 = 0,5$  м, количеством направляющих лопаток 16, способна эффективно работать в переменных и низконапорных водотоках.

**Технические показатели микроГЭС с вертикальной осью:**

Номинальная мощность, Вт.....	3000
Рабочий диапазон по расходу воды, м <sup>3</sup> /с.....	0,15-0,24
Частота вращения рабочего колеса, об/мин.....	40-240
Коэффициент полезной работы, % .....	72-74
Напряжение сети, В .....	120-380
Ток, А .....	1,6-4,6
Внешний диаметр рабочего колеса, м .....	0,5
Общая высота установки, м .....	1,2
Фронтальная поверхность одной лопасти, м <sup>2</sup> .....	0,12
Масса, кг .....	110

В таблице 2 приведены результаты сравнения разработанной микроГЭС с вертикальной осью вращения с наиболее близким по технической сущности аналогом.

**Таблица 2.**

**Основные сравнительные показатели микроГЭС с вертикальной осью.**

№	Технические характеристики	Разработанная микроГЭС с вертикальной осью	Гидротурбина с вертикальной осью (Китай)
1.	Номинальная мощность, Вт	3000	3000
2.	Величина расхода воды, м <sup>3</sup> /с	0,15...0,24	0,014...0,09
3.	Гидравлический напор рабочего колеса, м	0,6...1,1	2...5
4.	Коэффициент полезного действия, %	72...74	68...70
5.	Фазное напряжение, В	220 (~)	220 (~)
6.	Масса установки, кг	110	155
7.	Высота установки, м	1,2	1,23

По результатам сравнения установлено, что при работе в низконапорных водотоках КПД разработанной микроГЭС выше по сравнению с ближайшим аналогом.

В таблице 3 представлены результаты сравнения экономических показателей разработанной микроГЭС с вертикальной осью по сравнению с близким аналогом.

**Таблица 3.**

**Результаты сравнения экономических показателей.**

№	Показатели	Разработанная микроГЭС	Гидротурбина с вертикальной осью (Китай)
1.	Установленная мощность, кВт	3,0	3,0
2.	Среднее количество электроэнергии, выработанной за год, кВт·ч	19500	18750
3.	Балансовая стоимость установки, млн.сум	25	28
4.	Амортизационные отчисления, млн.сум	0,725	0,812
5.	Расходы на текущий ремонт, млн.сум	0,75	0,84
6.	Эксплуатационные затраты, млн.сум	1,475	1,652
7.	Стоимость выработанной электроэнергии, сум/кВт·ч	76	88

Показатели экономической эффективности внедрения микроГЭС с вертикальной осью на территории фермерского хозяйства представлены в таблице 4.

Таблица 4.

**Показатели экономической эффективности внедрения устройства.**

№	Показатели экономической эффективности	
1.	Чистая приведенная стоимость (NPV), млн.сум	68,96
2.	Внутренняя норма доходности (IRR), %	67
3.	Индекс рентабельности (PI)	4,4
4.	Нормализованная (приведенная) стоимость электроэнергии (LCOE), сум/кВт·ч	85
5.	Статический срок окупаемости, год	1,56
6.	Динамический срок окупаемости, год	2,78

Было определено, что разработанная микроГЭС мощностью 3 кВт позволяет в среднем сэкономить 14,53 т.у.т. в год и предотвратить выброс в атмосферу более 28,5 тонн углекислого газа (CO<sub>2</sub>).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате теоретических и практических исследований по теме диссертации были сформулированы следующие выводы:

1. Разработана микрогидроэлектростанция нового типа, оснащенная направляющим аппаратом, усовершенствованным многополюсным магнитоэлектрическим генератором и лопастями, установленными под оптимальным углом для снижения сил гидравлического сопротивления, что позволяет обеспечить равномерную подачу низконапорного водотока на лопасти (№ IAP 07462). В результате удалось повысить энергоэффективность до 3...5% в низконапорных водотоках.

2. Получено аналитическое выражение, позволяющее определить максимальное значение расхода воды  $Q$ , протекающего через лопатки направляющего аппарата, установленного в гидротурбине и обеспечивающего равномерную подачу потоков воды на лопасти установки, в зависимости от высоты направляющих лопаток  $b_0$ , угла выхода потока воды из лопаток  $\alpha_0$  и угла выхода потока воды из рабочего колеса  $\beta_2$ .

3. Путём моделирования в системах Matlab/Simulink, Solidworks и Ansys Fluent получены полиномиальные уравнения, позволяющие определить механический момент  $M$ , механическую мощность  $P$  и коэффициент полезного действия  $\eta$  с учетом расхода низконапорного водотока 0,15...0,24 м<sup>3</sup>/с, изменения частоты вращения гидротурбины от 0...240 об/мин, наружного диаметра колеса гидротурбины  $D_1$ , числа лопастей  $Z$  и напора гидротурбины  $H_t$ .

4. Усовершенствован многополюсный магнитоэлектрический генератор, якорь и индуктор которого вращаются в противоположные стороны, в результате чего количество электроэнергии, выработанной в низконапорных водотоках, увеличено на 25...30%.

5. Путем обобщения результатов экспериментального исследования, проведенного на разработанной микро ГЭС с вертикальной осью, получено уравнение регрессии зависимости механической мощности  $P$  от расхода воды  $Q$  и скорости вращения лопастей гидротурбины  $n$ .

6. В фермерском хозяйстве ООО «Бухара Чорво Омад» внедрена микрогидроэлектростанция с вертикальной осью вращения мощностью 3 кВт, позволяющая вырабатывать 19 500 кВт·ч электроэнергии в год, предотвращать выбросы 28,5 тонн углекислого газа в атмосферу и экономить 14,53 т.у.т (по сравнению с бензиновым генератором мощностью 3 кВт), достигнута экономия средств в размере 68,96 млн.сум (расчеты произведены методом «Чистый дисконтированный доход», цена электроэнергии принята равной 900 сум/кВт·ч.).

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/30.09.2020.T.111.03 ON AWARDING  
SCIENTIFIC DEGREES AT KARSHI ENGINEERING-ECONOMICS  
INSTITUTE**

---

**BUKHARA ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

**KUZIEV ZAFARBEK ESANOVICH**

**DEVELOPMENT OF A MICRO HYDRO POWER PLANT WITH A  
VERTICAL AXIS OF ROTATION, ADAPTED TO WATERCOURSES FOR  
PUMPING UNITS**

**05.05.06 - Power plants on the basis of renewable energy**

**ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY DISSERTATION (PhD)  
ON TECHNICAL SCIENCES**

**Karshi – 2024**

The theme of doctoral dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovations of the Republic of Uzbekistan under № B2023.3.PhD/T1950.

The doctoral dissertation has been prepared at the Bukhara engineering-technological institute.

The abstract of the dissertation is in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the website of the Scientific council ([www.qmii.uz](http://www.qmii.uz)) and on Information-educational portal «ZiyoNet» at the address ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific adviser:** **Uzakov Gulom Norboevich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:** **Urishev Bobaraim**  
doctor of technical sciences, professor

**Kadirov Dilshod Batirovich**  
doctor of technical sciences, associate professor

**Leading organization:** **Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**

The defense of dissertation will take place «20» 08 2024 at 15<sup>00</sup> at a meeting of the Scientific council number PhD.03/30.09.2020.T.111.03 at the Karshi engineering-economics institute. (Address: 180100, Karshi, Mustakillik street, 225. Phone: (99875) 224-02-89; fax: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz).)

The doctoral dissertation can be found at the Information resource center of the Karshi engineering-economics institute (registered with № 111). (Address: 180100, Karshi, Mustakillik street, 225. Phone: (99875) 224-02-89, fax: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz).)

Abstract of dissertation was sent «05» 08 2024.  
(register of the distribution protocol № 23 from «05» 08 2024).

  
**B.E. Xayriddinov**  
p.d.Chairman of the Scientific council on awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor.

**Kh.A. Davlonov**  
Scientific secretary of the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of philosophy (PhD) of technical sciences, associate professor

**B. Urishev**  
Chairman of Scientific seminar under the scientific council for awarding of scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (abstract of PhD thesis)

**The aim of the research work** is to substantiate the energy parameters of the design of a micro hydro power plant with a vertical axis of rotation, adapted to low-pressure watercourses.

### **The tasks of the research:**

development of the design of a micro hydro power plant with a vertical axis of rotation, adapted to low-pressure watercourses;

development of a mathematical model that describes the dependence of the design dimensions, mechanical and energy parameters of a micro hydro power plant on water flow and the rotation speed of the hydraulic turbine;

development and justification of the dimensions of the design of the guide vane, which makes it possible to uniformly direct the flow of water to the blades of the hydraulic turbine to increase the efficient operation of the micro hydro power plant in low-pressure watercourses;

development of a model of a low-speed magnetoelectric generator to generate reliable electricity in low-pressure watercourses;

determining the dependence of the efficiency and mechanical power of a micro hydro power plant on water flow, pressure, rotation speed of the hydraulic turbine and changes in the optimal angles of inclination of the blades of the hydropower plant;

assessment of the technical, economic and environmental efficiency of a micro hydro power plant with a vertical axis of rotation.

**The object of the research work** is a micro hydro power plant with a vertical axis of rotation, adapted to low-pressure watercourses, and its energy parameters.

### **Scientific novelty of the research work is as follows:**

- for the first time, a micro hydro power plant with a vertical axis of rotation was created, equipped with a guide vane that allows uniform supply of low-pressure water flow to the blades of the installation, an improved multi-pole magnetoelectric generator, blades installed at an optimal angle to reduce hydraulic resistance forces (№ IAP 07462);

- a mathematical model has been developed that determines the limits of change in the maximum value of water flow flowing through the guide vanes, depending on the height of the blades located in a special pool where the water flow rotates in the hydraulic turbine, the angle of inclination, and the internal radius of the guide vane;

- a methodology has been developed for determining the optimal angle of inclination of the blades of a hydropower plant, the optimal speed of rotation of the impeller and the maximum efficiency, taking into account changes in pressure and flow rate of water flow;

- a regression equation was obtained reflecting the dependence of changes in the rotation speed of a hydraulic turbine, water flow rate and design dimensions of the installation on the mechanical power of the hydraulic turbine based on a generalization of experimental studies of a hydropower installation with a vertical axis of rotation, adapted to low-pressure watercourses.

**Implementation of the research results.** Based on the results of the development, justification of parameters and implementation of a micro hydro power plant with a vertical axis of rotation, adapted to low-pressure watercourses with variable pressure and water flow rate:

A patent for the invention (№ IAP 07462) of a hydropower plant with a vertical axis of rotation was received from the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan. As a result, it became possible to increase the efficiency of the installation when operating in low-pressure watercourses by up to 3...5%;

A micro hydro power plant with a vertical axis of rotation has been developed, equipped with a multi-pole magnetolectric generator and a guide device that allows uniform supply of low-pressure water flow to the blades of the installation. (Reference of the Ministry of Energy dated November 6, 2023 № 04-13/6781). As a result, it was possible to increase the volume of energy production in low-pressure watercourses to 25...30%, ensuring reliability and continuity of electricity consumption;

The developed micro hydro power plant was implemented in the farm “BUKHORO CHORVO OMAD”, located on the territory of the Bukhara district of the Bukhara region (Reference of the Ministry of Energy dated November 6, 2023 № 04-13/6781). As a result, using a micro hydro power plant with a vertical axis of rotation with a power of 3 kW, 19 500 kWh of electricity was generated during the year, saving an average of 14.53 tons of natural fuel (compared to a 3 kW gasoline generator), emissions of more than 28.5 tons of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) into the atmosphere were prevented and money was saved in the amount of 68.96 million soums compared to electricity supply (calculations were made using the “Net present value” method, the price of electricity is taken equal to 900 soums/kWh).

**Structure of the thesis.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a bibliography and annexes. The volume of the dissertation is 117 pages.

**E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I-bo'lim (I часть; part I)**

1. Qo'ziyev Z.E., Uzoqov G'.N., Safarov A.B., Mamedov R.A. Vertikal o'qli gidroenergetik qurilma // O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Ixtiro patenti "№ IAP 07462".

2. Uzakov G.N., Kuziev Z.E., Safarov A.B., Mamedova R.A. Improvement research of a vertical axis micro hydro power plant // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, Vol. 11, Issue 2, February 2024. pp. 21438-21443. (Osiyo mamlakatlari nashrlari; 05.00.00; №8)

3. Uzakov G.N., Kuziev Z.E. Study of constructive dimensions of Kaplan hydro turbine in variable water flows // Spectrum Journal of Innovation, Reforms and Development. Germany, 2023. Volume 20. pp. 36-42. (Journal Impact Factor, SJIF 2023: 5.853)

4. Qo'ziyev Z.E. Vertikal o'qli mikro gidroelektr stansiyalaridan foydalanish imkoniyatlari tahlili // Konchilik xabarnomasi. Navoiy, 2023. №4, 112-115 b. (05.00.00; №5)

5. Узоқов Ғ.Н., Қўзиёв З.Э., Сафаров А.Б. Насос сув оқимларига мослаштирилган вертикал ўқли гидроэнергетик қурилманинг самарадорлигини аниқлаш тадқиқоти натижалари // Фан ва технологиялар тараққиёти. Бухоро, 2023. №6, 191-196 б. (05.00.00; №24)

6. Uzoqov G'.N., Safarov A.B., Qo'ziyev Z.E. Ko'p qutbli magnitoelektrik generatorlarni modellashtirish // Farg'ona politexnika instituti ilmiy-texnika jurnali. Farg'ona, 2023. №6, 149-154 b. (05.00.00; №20)

7. Qo'ziyev Z.E., Uzoqov G'.N., Safarov A.B. Kichik tezlikli magnitoelektrik generatorlarning samaradorligini aniqlash tadqiqoti // Mashinasozlik ilmiy-texnika jurnali. Andijon, 2023. №3, 108-117 b. (O'zbekiston Respublikasi OAK Rayosatining qarori 30.12.2021 y., № 310/14.2)

8. Қўзиёв З.Э. Вертикал ўқли гидроэнергетик қурилмалар учун кичик айланиш тезликли магнитоэлектрик аксиал генератор ишлаб чиқиш тадқиқоти // Фан ва технологиялар тараққиёти. Бухоро, 2024. №1, 168-176 б. (05.00.00; №24)

**II-bo'lim (II часть; part II)**

9. Uzakov G.N., Kuziev Z.E., Safarov A.B., Mamedov R.A. Development of a system for modeling the design and optimization of the operation of a small hydroelectric power station // Digital and Information Technologies in Economics and Management (DITEM2023). (Scopus). p.243-252.

10. Uzakov G.N., Kuziev Z.E., Safarov A.B. Energy indicators of the micro-hydro power plant adjusted to outlet water flows from pump units // E3S Web of Conferences 510, 04010 (2024). ESDCA2024. (Scopus). p.1-9.

11. Узоқов Ғ.Н., Қўзиёв З.Э. Микро гидроэлектр станциялари учун магнитоэлектрик генератор ишлаб чиқиш // "Келажак самарали энергетикаси:

муаммолар ва ечимлар” халқаро илмий-техник анжумани материаллари тўплами. 1-қисм. Фарғона, 2023. 162-168 б.

12. Қўзиёв З.Э., Узоқов Г.Н., Сафаров А.Б. Бухоро нефтни қайта ишлаш заводида микро гидроэлектр станцияларидан фойдаланиш имкониятлари // Ўзбекгидроэнергетика. Тошкент, 2023. №2, 37-42 б.

13. Қо‘зиёв З.Э., Узоқов Г.Н., Сафаров А.Б., Давлонов Х.А. Nasos agregatlaridan chiquvchi suv oqimlari uchun takomillashtirilgan mikro gidroelektr stansiyasini ishlab chiqish // Muqobil energetika. Qarshi, 2023. №2, 56-63 б.

14. Қўзиёв З.Э. Вертикал ўқли микро гидроэлектр станцияларини ишлаб чиқиш ва самарадорлигини ошириш бўйича олиб борилган илмий тадқиқотлар таҳлили // “Автоматлаштирилган электромеханик ва электротехнологик тизимларни рақамлаштириш ва энергия самарадорлигини оширишнинг долзарб муаммолари” халқаро илмий-техник конференция материаллари. Тошкент, 2023. 238-241 б.

15. Қо‘зиёв З.Э. Nasoslarning suv oqimlarida ishlaydigan mikro gidroelektr stansiyasini takomillashtirish // “Elektr ta’minoti tizimining dolzarb muammolari” III xalqaro ilmiy-texnik ilmiy ishlar to‘plami. Toshkent, 2023. 277-279 б.

16. Сафаров А.Б., Қо‘зиёв З.Э. Mikro gidroelektr stansiyalarda foydalanilgan ko‘p qutbli magnitoelektrik generatorni modellashtirish // “Elektr ta’minoti tizimining dolzarb muammolari” III xalqaro ilmiy-texnik ilmiy ishlar to‘plami. Toshkent, 2023. 289-292 б.

17. Kuziev Z.E. Current status and development tendencies of the use of hydroelectric power plants in the world // European science international conference. 15.11.2023, pp. 43-47.

18. Мамедов Р.А., Кузиёв З.Э., Сафаров А.Б. Разработка эффективной микрогидроэлектростанции с вертикальной осью вращения для низконапорных водотоков // Международная научно-практическая конференция “Энергообеспечение АПК”. Москва, 2023. с. 43-52.

19. Uzoqov G.N., Qo‘ziyev Z.E. Gidroturbinaning maksimal foydali ish koeffisienti va suv g’ildiragining optimal aylanish tezligini hisoblash uslubiyoti // EHM dasturi “№ DGU 27959”.

20. Qo‘ziyev Z.E. Propeller tipli suv parragining optimal qiyalik burchagini aniqlash uslubiyoti // EHM dasturi “№ DGU 27958”.

21. Safarov A.B., Qo‘ziyev Z.E. Gidroturbinaning maksimal foydali ish koeffisienti va suv g’ildiragining optimal aylanish tezligini hisoblash uslubiyoti // EHM dasturi “№ DGU 27960”.

Avtoreferat “Innovatsion texnologiyalar” ilmiy jurnali taxririya-tida taxrirdan o‘tkazildi va uning o‘zbek, rus va ingliz (rezyume) tillardagi matnlari mosligi tekshirildi (25.07.2024 y)

Bosishga ruxsat etildi: 26.07.2024 yil.

Bichimi 60x84<sup>1/16</sup>, “Times New Roman”

Garniturida raqamli bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog‘i 3,50 Adadi: 60 nusxa.

Buyurtma: №97

QarMII “INTELLEKT” nashriyoti MIUda chop etilgan.

Qarshi shahri, Mustaqillik ko‘chasi, 225-uy.

