

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
PhD.03/27.09.2024.T.101.05 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**SAYLIYEV FARID OLTIBOY O'G'LI**

**PAST TEZLIKLI ENERGIYA OQIMLARIDA SAMARALI ISHLOVCHI  
MUQOBIL ENERGIYA MANBAI GENERATORI KONSTRUKSIYASINI  
TAKOMILLASHTIRISH**

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

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

**Buxoro – 2025**

**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**

**Sayliyev Farid Oltiboy o'g'li**

Past tezlikli energiya oqimlarida samarali ishlovchi muqobil energiya manbai generatori  
konstruksiyasini takomillashtirish..... 3

**Сайлиев Фарид Олтибой ўғли**

Усовершенствование конструкции эффективного генератора альтернативного  
источника энергии в низкоскоростных потоках энергии.....25

**Sayliyev Farid Oltiboy Ogli**

Improvement of the design of an efficient generator of an alternative energy source in  
low-speed energy flows.....49

**E'lon qilingan ishlar ro'yxati**

Список опубликованных работ

List of published works .....53

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI HUZURIDAGI  
ILMIY DARAJALAR BERUVCHI  
PhD.03/27.09.2024.T.101.05 RAQAMLI ILMIY KENGASH**

---

**BUXORO DAVLAT TEXNIKA UNIVERSITETI**

**SAYLIYEV FARID OLTIBOY O'G'LI**

**PAST TEZLIKLI ENERGIYA OQIMLARIDA SAMARALI ISHLOVCHI  
MUQOBIL ENERGIYA MANBAI GENERATORI KONSTRUKSIYASINI  
TAKOMILLASHTIRISH**

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

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

**Buxoro – 2025**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2022.2.PhD/T2902 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Buxoro davlat texnika universitetida bajarilgan.

Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida ([www.bstu.uz](http://www.bstu.uz)) va «Ziyonet» Axborot ta'lim portalida ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)) joylashtirilgan.

**Ilmiy rahbar:**

**Sadullayev Nasullo Nematovich**  
texnika fanlar doktori, professor

**Rasmiy opponentlar:**

**Pirmatov Nurali Berdiyovich**  
texnika fanlar doktori, professor

**Samiyev Kamoliddin A'zamovich**  
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori,  
professor

**Yetakchi tashkilot:**

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

Dissertatsiya himoyasi Buxoro muhandislik-texnologiya instituti huzuridagi PhD.03/27.09.2024.T.101.05 raqamli Ilmiy kengashning 2025 yil "08" 29 soat 10<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 200100, Buxoro shahri Qayum Murtazoyev ko'chasi 15-uy. Tel/faks. (65) 223-78-84/ (65) 223 78 84; e-mail: [bstu\\_info@edu.uz](mailto:bstu_info@edu.uz) Buxoro davlat texnika universiteti majlislar zali.

Dissertatsiya bilan Buxoro davlat texnika universitetining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 1 raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 200100, Buxoro shahri Qayum Murtazoyev ko'chasi 15-uy. Buxoro davlat texnika universiteti. Tel/faks: (65) 223-78-84/ (65) 223 78 84.

Dissertatsiya avtoreferati 2025 yil "08" 14 kuni tarqatildi.  
(2025 yil "08" 14 dagi № 315 raqamli reestr bayonnomasi).



**A.I. Qarshiboyev**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy  
kengash raisi v.b., t.f.d., professor

**U.K. Mirxonov**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash  
ilmiy kotibi, t.f.f.d., (PhD), dotsent

**K.A. Samiyev**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash  
qoshidagi ilmiy seminar raisi,  
t.f.d., professor

## KIRISH (falsafa doktori (PhD) dissertatsiya annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zaruriyati.** Jahonda elektr energiya ishlab chiqarishni rivojlantirishning zamonaviy talabi iste'molchilarni elektr energiya bilan uzluksiz ta'minlash ishonchligini oshirish, tizimda elektr energiya muvozanatini saqlashga erishish uchun elektr energiya ishlab chiqarish sohasini rivojlantirishda, elektr energiya ishlab chiqaruvchi generatorlarga alohida ahamiyat berilmoqda. Past potentsialli suv va shamol oqimlardan elektr energiyasi ishlab chiqarishda, ayniqsa texnik ko'rsatkichlari yaxshilangan elektr generatorlardan foydalanish katta ahamiyat kasb etmoqda. Hozirgi kunda rivojlangan mamlakatlarda «...past tezlikli energiya oqimlaridan<sup>1</sup> elektr energiya ishlab chiqaruvchi radial o'qli sinxron generatorlar bo'yicha keng qamrovli tadqiqot ishlari olib borilmoqda<sup>2</sup>». Bu borada jumladan, elektr energiya ishlab chiqaruvchi radial o'qli sinxron generatorlarning yangi konstruksiyalarini ishlab chiqishga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda suv va shamol energiyasidan samarali foydalanib elektr energiyani ishlab chiqarish bo'yicha, xususan turbinalar orqali ishlab chiqariladigan mexanik quvvat qiymatini yaxshilash, ishga tushirish momentini oshirish, generatorlar orqali kichik aylanish tezliklarida elektr energiyasi ishlab chiqarish unumdorligini oshirish, tizimda aksial va radial oqimli turli konstruksiyali generatorlarni qo'llashga qaratilgan ilmiy tadqiqotlar olib borilmoq. Ushbu tadqiqot ishlarida, elektr generator orqali past bosimli va kichik tezlikli suv hamda shamol oqimlarida elektr energiyasini ishlab chiqarishda kichik nominal tezligiga ega elektr generatorni takomillashtirish ustuvor hisoblanmoqda. Shu bilan birga, suv va shamol oqimlaridan elektr energiyasi ishlab chiqarishda generatorlarning nominal tezligi yuqoriligi, uyg'otish chulg'ami uchun o'zgarish tok talab qilinishi va yuklamaga mos ravishda uyg'otish chulg'ami boshqarilishi, tizimning samarali ishlashi uchun muammolar keltirib chiqarmoqda. Bu borada, generatorni turbinaga to'g'ridan-to'g'ri ulash orqali, hozirgi kunda aylanish tezligini oshirish uchun foydalaniladigan reduktorlar, rementli va tishli uzatmalarga ehtiyojni kamayishi natijasida, tizimning tannarxini pasaytirish hamda ishonchligini oshirish dolzarb vazifalardan biri hisoblanmoqda.

Respublikamizda iqtisodiyotning asosiy tarmoqlaridan biri hisoblangan energetika sohasidagi kuchsiz energiya oqimlarida qo'llashga mo'ljallangan radial o'qli sinxron generatorlarda mexanik harakatning simmetrikligini ta'minlash va elektr energiya ishlab chiqarish samaradorligini oshirish bo'yicha tadqiqotlar va joriy qilish chora-tadbirlari amalga oshirilmoqda. O'zbekiston Respublikasining 2019 yil 21 maydagi O'RQ-539-son "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish to'g'risida"gi qonunida «...qayta tiklanuvchi energiya manbalari qurilmalarining energiya jihatdan samaradorligini oshirishni, ularning ishlab chiqarilishini kengaytirishni va mahalliy lashtirishni rag'batlantirish...» bo'yicha vazifalari belgilangan. Mazkur vazifani amalga oshirishda, jumladan, radial o'qli

---

<sup>1</sup> <https://dewesoft.com/blog/energy-flow-analysis-of-electric-vehicle>

<sup>2</sup> <https://www.greenspur.co.uk/axial-flux-technology/discover-the-power-of-axial-flux-generators/#:~:text=One%20of%20the%20key%20advantages,greater%20efficiency%20and%20energy%20output.>

generatorning nosimmetrik ish rejimlarini bartaraf etish, elektr energiyani iste'molchilarga yetkazib berishning uzluksizligini, elektr energiyaning sifatini, tizimning turg'unligini ta'minlash muhim vazifalardan hisoblanadi.

O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2023 yil 16 fevraldagi PQ-57-son «2023-yilda qayta tiklanuvchi energiya manbalarini va energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etishni jadallashtirish chora-tadbirlari to'g'risida» gi, 2020 yil 10 iyuldagi PQ-4779-son "Iqtisodiyotning energiya samaradorligini oshirish va mavjud resurslarni jalb etish orqali iqtisodiyot tarmoqlarining yoqilg'i-energetika mahsulotlariga qaramligini kamaytirishga doir qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida" gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy-huquqiy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya ishi muayyan darajada xizmat qiladi.

**Tadqiqotning respublikada fan va texnologiyalarni rivojlantirish 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.** Shamol va suv oqimlarida samarador ishlovchi elektr generatorlar konstruksiyasini takomillashtirish bo'yicha xorijda Tomasz Wegiel, Natalia Radwan-Pragłowska, Julian David. Rahimi Namaghi, Chimento, Mehmet Recep Minaz, Jong-Suk, Tarimer İlhan, Julian Booker, Ahmadreza Vassel-Be-Hagh kabi olimlar shug'ullanishgan.

Respublikamizning turli hududlaridagi shamol va suv oqimlaridan samarali foydalanib elektr energiyasi ishlab chiqarish bo'yicha tadqiqotlar R.A. Zahidov, K.R. Allaev, R.R. Avezov, O'.A. Tadjiev, B. Urishev, N.N. Sadullayev, D. Qodirov, A.B. Safarov, SH.N. Nematov, R.A. Mamedov, F.F. Muzaffarov va boshqalar tomonidan bajarilgan.

Mazkur tadqiqotlar natijasida ushbu yo'nalishda amaliy natijalarga erishilgan bo'lsada, past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlarida samarali ishlovchi generatorni loyihalashda, optimal konstruktiv o'lchamlarini aniqlash, texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarini baholash yetarli darajada o'rganilmagan hamda rotor va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator uchun mexanik energiyani taqsimlash usullari va ushbu qurilmalarni elektr generatorlarga joriy etish bo'yicha tadqiqotlar yetarlicha o'tkazilmagan.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya ishi bajarilgan oliy ta'lim muassasasining ilmiy-tadqiqot ishlari rejalari bilan bog'liqligi.** Dissertatsiya tadqiqoti Buxoro muhandislik-texnologiya institutining ilmiy-tadqiqot ishlari rejasiga muvofiq ILM 20215001 "Kichik quvvatli iste'molchilar uchun O'zbekiston iqlimiy sharoitlarida samarador ishlovchi shamol energetik qurilmasini yaratish" (2021–2023-yillar) mavzusidagi innovatsion loyiha doirasida bajarildi.

**Tadqiqot maqsadi** past tezlikli suv va shamol oqimlarida elektr energiyasini ishlab chiqarish samaradorligini, generator konstruksiyasini takomillashtirish orqali oshirishdan iborat.

### **Tadqiqot vazifalari:**

past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlaridan foydalanib elektr energiyasini generatsiyalashda turbina va ko'p qutbli elektr generatorlardan foydalanish istiqbollarini baholash;

bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator rotor va statoriga aylanish tezligini bir tekisda taqsimlovchi qurilmani joriy etish orqali elektr generatorni takomillashtirish;

rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi ko'p qutbli elektr generatorlarda eksperimental tadqiqotlarni o'tkazish uchun tajriba sinov qurilmasini yaratish;

past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlarida elektr energiyasini generatsiyalovchi rotor va stator tezligi rostlanadigan elektr generatorni qo'llashning texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini baholash;

eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida, rotor va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generatorni chiqish parametrlarini hisoblovchi empirik tenglama ishlab chiqish.

**Tadqiqot obyekti** sifatida past tezlikli oqimlarda ishlovchi vertikal o'qli radial oqimli o'zgaruvchan tok generatori va uni tezligini rostlash qurilmasi.

**Tadqiqot predmeti** past tezlikli suv va shamol oqimlarda ishlovchi vertikal o'qli radial oqimli o'zgaruvchan tok generatori konstruksiyasini takomillashtirish orqali samaradorligini va chiqish kuchlanishi sifatini oshirish hisoblanadi.

**Tadqiqotning usullari.** Tadqiqot jarayonida radial o'qli doimiy magnitli sinxron generatorni matematik modellashtirish tajriba natijalarini statistik qayta ishlash, generatorning imitatsion modelini yaratish, eksperimentni rejalashtirish va instrumental o'lchash usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

ilk marotaba hozirgi kundagi mavjud suv va shamol turbinalari uchun, hosil bo'ladigan aylanma harakatni, elektr generator qarama-qarshi harakatida rotor va stator aylanish tezliklarini bir qiymatda bo'lishini ta'minlash orqali, generator chiqishidagi kuchlanish sifatini barqaror saqlashga mo'ljallangan rostlovchi qurilma ishlab chiqilgan (FAP 2657, 2025 y);

past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlarida samarali ishlashni ta'minlovchi rotor va statori bir-biriga qarama qarshi aylanuvchi ko'p qutbli elektr generatorning maqbul konstruktiv o'lchamlarini generator chiqish kuchlanishiga ta'sir etuvchi omillarni maksimal qamrab olgan holda, konstruksiyasi ishlab chiqilgan;

rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi ko'p qutbli elektr generatorning chiqish kuchlanishi va foydali ish koeffitsiyentini konstruktiv parametrlariga bog'lagan holda aniqlovchi matematik ifoda hamda eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida, elektr generatorni chiqish parametrlarini hisoblovchi empirik tenglama yaratilgan;

generatorni barqaror ish rejimida maksimal samaradorlik bilan ishlashini ta'minlovchi rotor va statori qarama-qarshi aylanuvchi generatorni harakatga keltiruvchi turbinalar diametrlarining optimal nisbatlari, radial generatorlar uchun  $S_{rs}/S_{rr}=1.16$  va aksial generatorlar uchun  $S_{as}/S_{ar}=1.56$  ekanligi aniqlangan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlarida elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun, samarador elektr generator tanlash va uning tanlangan quvvat asosida konstruktiv o'lovlarini aniqlash uslubiyoti yaratilgan;

bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator rotor va statoriga mexanik energiyani bir tekisda taqsimlovchi qurilma ishlab chiqish orqali suv va shamol oqimlarida ishlovchi standart turbinalarda qo'llash imkoniyati yaratilgan;

qurilmaning konstruktiv o'lchamlar asosida rotor va stator bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator samaradorligini baholash uslubiyoti yaratilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot natijalarining ishonchliligi izlanishlarning zamonaviy usul va o'lchash vositalaridan foydalangan holda o'tkazilganligi, tajriba natijalarini tekshirishda ishonchli hamda sinalgan modellashtirish usullarining qo'llanilganligi, tajribalarning tabiiy sharoitda o'tkazilganligi, tadqiqotlar natijasida ishlab chiqilgan rotor va stator bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator sinov natijalarining amaliyotga joriy etilganligi bilan asoslanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy-amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlarida samarali ishlovchi elektr generator turini va konstruksiyasini to'g'ri tanlash hamda ma'lum o'lchamli rotor va stator bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator texnik ko'rsatkichlari hamda samaradorligini baholash uslubiyoti, bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator rotor va statoriga aylanish tezligini bir xilligini ta'minlovchi qurilmani loyihalash va ushbu qurilmani elektr generatorga joriy etish imkoniyatlarini o'rganish bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati past oqimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlaridan samarali foydalanib, elektr energiyasi ishlab chiqarish orqali chekka hududlardagi aholi turmush darajasini yaxshilash hamda elektr ta'minotida ekologik toza energiya manbalar ulushini oshirish bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlarida samarali ishlovchi elektr generator konstruksiyasini takomillashtirish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

past tezlikda ishlovchi aksial generator konstruksiyasi uchun O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi Intellektual mulk agentligining foydali modeliga patent olingan (№ FAP2657, 2025-yil 3-fevral). Natijada, 20 kW quvvatli qurilmaning past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlarida standart qurilmaga nisbatan yiliga 12336,63 kWh ortiqcha elektr energiyasi ishlab chiqarishga hamda 21,62 tonnadan ortiq (CO<sub>2</sub>) gazini atmosferaga chiqarib yuborilishining oldini olishga erishilgan;

radial o'qli generator qurilmasi Buxoro viloyati Qorako'l tumanidagi "Yangiboy Ochil g'allakor" va "Kumush tola paxtakor" MChJlarda joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining 2025-yil 26-fevraldagi № 04-13-909 -sonli ma'lumotnomasi). Natijada, ichki yonuv generatoriga nisbatan yillik 81 million so'm iqtisodiy samaradorlikka erishilgan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatsiyasi.** Tadqiqot natijalari 6 ta ilmiy-amaliy anjumanlarda, jumladan 3 ta xalqaro va 3 ta respublika anjumanlarida muhokamadan o'tgan.

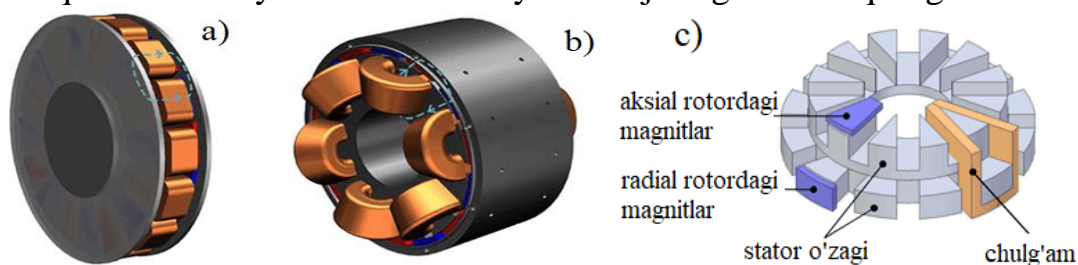
**Tadqiqot natijalarning e'lon qilinishi.** Dissertatsiya mavzusi bo'yicha jami 18 ta ilmiy ish chop etilgan, shulardan O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining falsafa doktori (PhD) dissertatsiyalari asosiy ilmiy natijalarini chop etish tavsiya etilgan ilmiy nashrlar 7 ta maqola, jumladan 3 tasi respublika va 4 tasi xorijiy jurnallarda nashr etilgan hamda O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi tomonidan EHM dasturiga mualliflik guvohnomasi va foydali model uchun patent (FAP 2657) olingan.

**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, umumiy xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 119 betni tashkil etadi.

### DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

**Kirish** qismida yechilayotgan muammoning dolzarbligi va dissertatsiya mavzusining zaruriyati asoslangan, tadqiqotning maqsad va vazifalari hamda respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mosligi ko'rsatilgan, dissertatsiya mavzusi bo'yicha xorijiy tadqiqotlar sharhi keltirilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari bayon qilingan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, ilmiy ishlarni chop etganlik haqida ma'lumotlar va dissertatsiyaning tuzilishi keltirilgan.

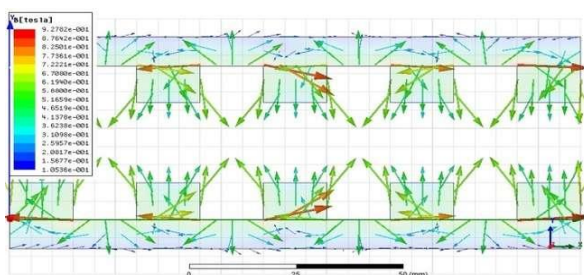
Dissertatsiyaning **“Past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlaridan samarali foydalanishning ahamiyati va istiqbollari”** deb nomlangan birinchi bobida, jahonda shamol va suv energetikasidan foydalanib elektr energiyasi generatsiyalashdagi muammolar, kamchiliklar va istiqbollari o'rganilgan. Past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlaridan elektr energiyasi ishlab chiqarishda foydalaniladigan generatorlar bo'yicha xorijiy olimlar tomonidan olib borilgan tadqiqot natijalari tahlil qilingan va ular erishgan yutuq hamda kamchiliklar aniqlangan. Past potentsialli suv va shamol oqimlarida samarali mexanik energiya ishlab chiqaruvchi turbinalar tahlili olib borilgan. Kichik aylanish tezliklarida samarali ishlovchi elektr generatorlarning turlari, konstruktiv tuzilishlari, texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlari, afzallik va kamchiliklari tadqiq qilingan. Bundan tashqari, O'zbekistonda past tezlikli shamol va past bosimli suv oqimlari salohiyati bo'yicha respublika olimlari tomonidan olib borilgan tadqiqot ishlari tahlil qilinib respublikamiz hududlarida past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlaridan foydalanish imkoniyati mavjudligi xulosa qilingan.



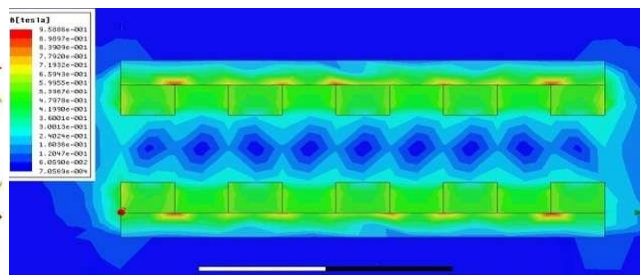
**1-rasm. Sinxron elektr generatorning konstruktiv tuzilishiga ko‘ra tasniflanishi a) Aksial oqimli SG , b) Radial oqimli SG , c) gibrid aksial-radial oqimli SG.**

Dissertatsiyaning “**Past potentsiilli suv va shamol oqimlarida samarali ishlovchi elektr generatorning parametrlarini hisoblash**” deb nomlangan ikkinchi bobida, past bosimli suv oqimlarida samarali ishlovchi turbinalar, ularda mexanik energiya ishlab chiqarishda ta’sir etuvchi omillar tahlil qilinib, chiqish parametrlarni aniqlovchi nazariy hisoblashlar keltirilgan. Kichik tezlikli shamol oqimlarida samarali ishlovchi turli konstruksiyali shamol turbinalari ularning texnik iqtisodiy ko‘rsatkichlari va ulardan samarali foydalanish imkoniyatlari o‘rganilib mexanik energiya ishlab chiqarish imkoniyatini ifodalovchi matematik ifodalari keltirilgan.

Hozirgi kunda dunyoda keng foydalanib kelinayotgan uyg‘otish chulg‘amli va o‘zgarimas magnitli sinxron generatorlardan past potentsiilli suv va shamol energiyasidan foydalanishdagi ahamiyati o‘rganilgan hamda ularda elektr energiyasini ishlab chiqarish imkoniyatlarini va generatsiya jarayonida yuzaga keladigan isroflarni baholovchi matematik ifodalar keltirildi. Keltirilgan matematik ifodalar yordamida mexanik energiyaning elektr energiyasiga generatsiyalanishida samaradorligini baholash va konstruktiv o‘lchamlarini aniqlash imkoniyati mavjud.



**2-rasm. Generator qirqimida magnit maydon vektorlarining yo‘nalishi.**



**3-rasm. Generator qirqimida magnit induksiyaning taqsimlanishi.**

Kichik aylanish tezliklarida ishlovchi elektr generator samaradorligini baholash, magnit induksiya taqsimlashini, elektr yurituvchi kuchni havo oralig‘ida hosil bo‘lishini vizual ko‘rish va loyihalash jarayonini osonlashtirish maqsadida, hozirgi kunda dunyoda elektr mashinalarni loyihalashda keng qo‘llaniladigan ANSYS Maxwell dasturidan foydalanilgan (2,3-rasm). 3-rasmda generator qirqimida magnit induksiya taqsimlanishi berilgan. Bu yerda qizil rangda berilgan yuzalar magnit maydon induksiya eng zich joylashgan yuzalar hisoblansa, ko‘k rangda berilgan yuzalar eng kichik qiymatga ega. Kompyuter modelini qurish orqali ko‘p qutbli, 500 W li elektr generator quvvat ishlab chiqarish unumdorligini oshirish bo‘yicha imkoniyatlarini baholash imkoniyati va loyihalash xatoliklarini vizual ko‘rish imkoniyati yaratildi.

Dissertatsiya ishining “**Past past tezlikli energiya oqimlarida samarali ishlovchi elektr generator konstruksiyasini takomillashtirish**” deb nomlangan uchinchi bobida, past potentsiilli suv va shamol oqimlarida rotori va statori bir-biriga

qarama-qarshi aylanuvchi elektr generatordan foydalanish samaradorligi baholashning nazariy asoslari keltirilgan.

Hozirgi kunda elektr generatorlar nominal tezligini baholashda stator ham aylanma harakatda bo'lsa va aylanish yo'nalishi rotor yo'nalishi bilan mos bo'lsa  $\omega_{stator}$  musbat ishora bilan ifodalanadi. Agar Stator aylanish yo'nalishi rotor aylanish yo'nalishiga teskari yo'nalishda harakatlansa, Stator manfiy ishora bilan ifodalanadi. Shunda tenglamaga quyidagicha ko'rinishga keladi (1-ifoda).

$$\omega_{nom} = \omega_{rotor} - (-\omega_{stator}) = \omega_{rotor} + \omega_{stator} = 2 \cdot \omega_{rotor}; \quad (1)$$

Standart generatorlar uchun rotor va stator bir biriga qarama-qarshi harakatida aylanishlar tezligi bir biriga teng deb qabul qilingan. Ammo amaliyotda generator shakli va massasida farq qilishi sababli ulardagi aylanish tezliklarida ham nomutanosibliklar aniqlandi. Shu sababli ham rotor va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generatorlarda chiqish kuchlanishining nazariy va haqiqiy qiymatlari orasida xatoliklar aniqlandi. Chiqish kuchlanishini yanada aniq baholash maqsadida, nominal tezlikga keltirish koeffitsiyenti  $K_{nom}$  aniqlandi. Ushbu ko'rsatkich olib borilgan tajribalar asosida, elektr generator rotor va statorini qarama-qarshi aylantirishdagi chiqish kuchlanishini, birinchi holatda generator rotorini  $K_{nom1}$  va ikkinchi holatda statorini  $K_{nom2}$  aylantirish orqali hosil bo'lgan kuchlanishga nisbatlarining o'rtacha qiymati bilan aniqlandi.

Nominal tezlikga keltirish koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{nom1} = \frac{U_{s.r.}}{U_r}; \quad (2) \quad K_{nom2} = \frac{U_{s.r.}}{U_s} \quad (3)$$

**1-Jadval.**

**Turli aylanish tezliklarida Nominal tezlikga keltirish koeffitsiyentining qiymatlari**

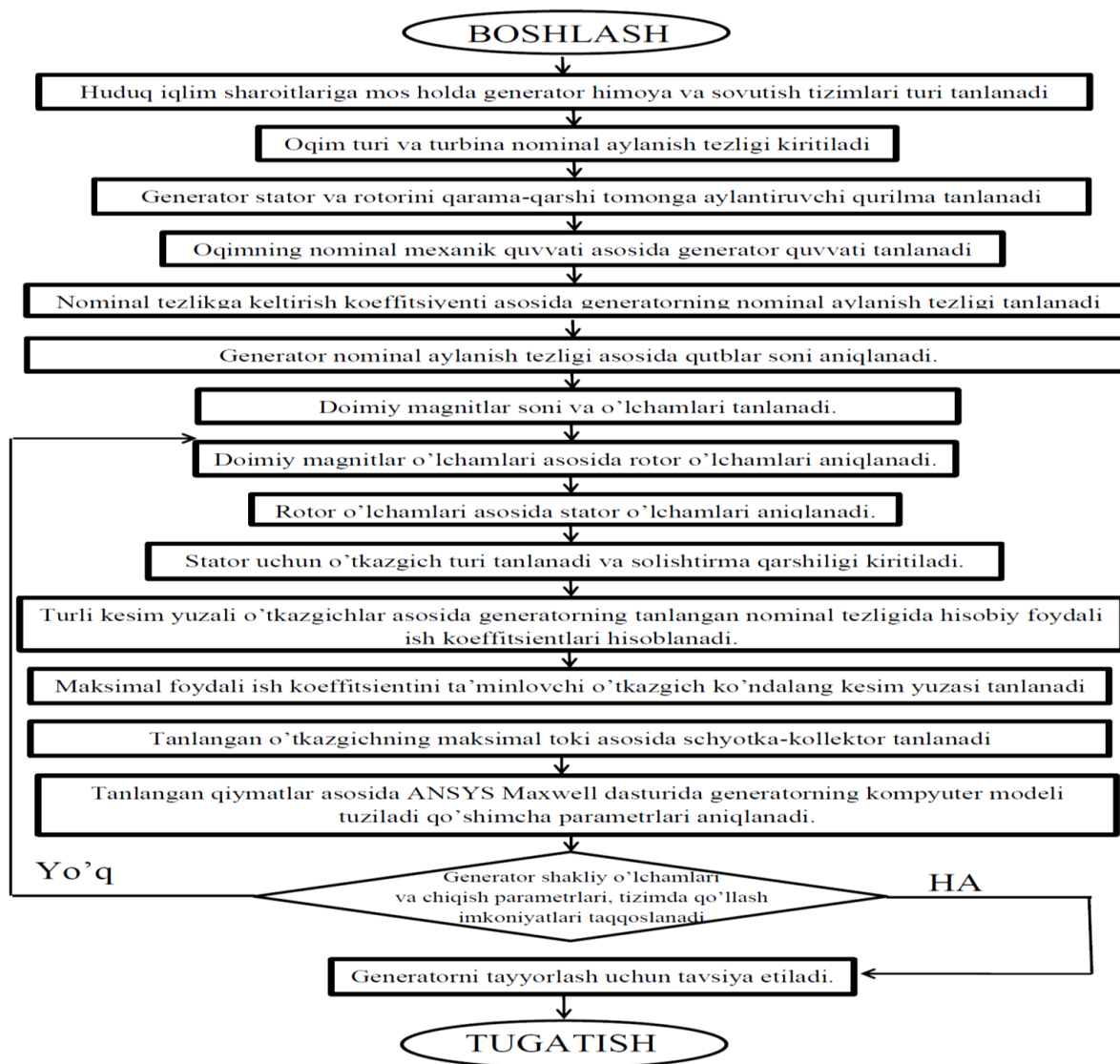
Aylanish tezliklari	89	126	152	201	250
Rotori va statorini qarama-qarshi aylantirishdagi chiqish kuchlanishini, faqat rotorni aylantirish orqali hosil bo'lgan kuchlanishga nisbatlari ( $K_{nom1}$ )	1.93	1.95	1.92	1.94	1.93
$K_{nom1.ort}$ – $K_{nom1}$ ning o'rtacha qiymati	1.93				
Rotori va statorini qarama-qarshi aylantirishdagi chiqish kuchlanishini, faqat statorni aylantirish orqali hosil bo'lgan kuchlanishga nisbatlari ( $K_{nom2}$ )	2.214	2.15	2.25	2.05	2.023
$K_{nom2.ort}$ – $K_{nom2}$ ning o'rtacha qiymati	2.13				

Elektr generator rotor va statorini qarama-qarshi aylantirishdagi nominal tezlik:

$$\omega_n = K_{nom1.ort} \cdot \omega_{n.rotor}, \quad \omega_n = K_{nom2.ort} \cdot \omega_{n.stator} \quad (4)$$

Generator rotor va stator bir biriga qarama qarshi harakatlengandagi chiqish kuchlanishi hosil qilish rotorning o'zi **1.93** marta tezroq aylanishi kerak, statorga esa **2.13** marta tezroq aylanishi kerak.

Nazariy tadqiqotlar past potentsiilli shamol va suv oqimlarida elektr energiyasi ishlab chiqarish unumdorligini oshirishda, doimiy magnitli, kichik aylanish tezliklariga ega elektr generatorlarni tadqiq qilish zaruratini yaratdi. Kichik aylanish tezlikli elektr generator loyihalashda qutblar sonini keskin oshirish, generator diametrini oshishiga va shu orqali inersiya momentini oshirishga olib keladi.

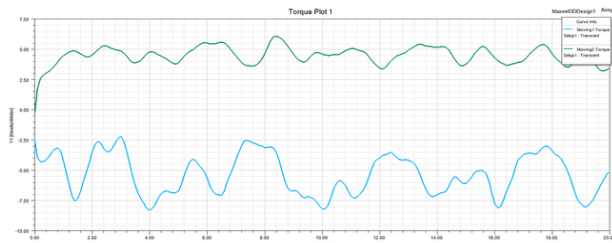


**4-rasm. Rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi generatorlar mikroGES va SHEQlarda samarali qo'llashda konstruktiv o'lchamlarni aniqlash algoritmi.**

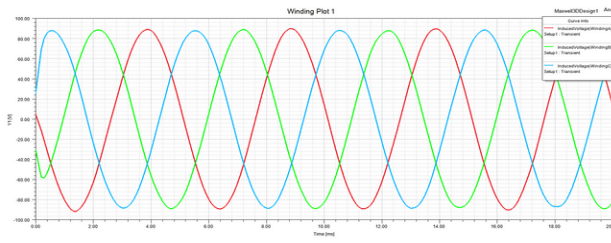
Shu sababli, samarador qutblar soni asosida loyihalangan elektr generator nominal aylanish tezligini yana 2 marotaba kamaytirish maqsadida elektr generatorning stator va rotorini bir-biriga qarama-qarshi harakati ta'minlanishi xulosa qilindi. Generatorlarni ishlab chiqarishda foydalaniladigan detallar shakli, joylashuvi va materiallar turini almashtirish orqali texnik va iqtisodiy ko'rsatkichlarini baholash maqsadida, Ansys Maxwell dasturining nisbatan yangi

versiyasi bo‘lgan Ansys Electronics Desktop 2022 dasturida loyihalash va simulyatsiya ishlari olib borildi. Stator va rotor materiallar turi hamda konstruktiv tuzilishi(aksial va radial oqimli) o‘zgartirilib 22 ta kompyuter modeli tuzildi.

5,6-rasmlarda tadqiqot ishida loyihalangan rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi aksial oqimli elektr generatorlarning stator hamda rotordagi moment, generatorda hosil bo‘luvchi elektr yurituvchi kuch qiymatlari keltirilgan.

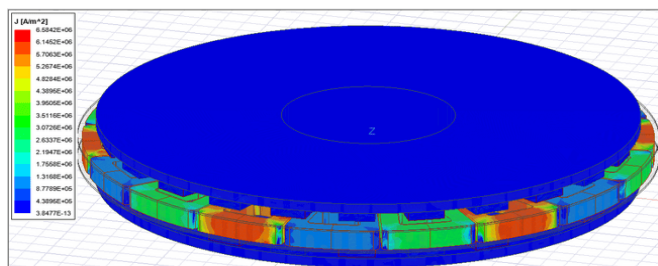


**5-rasm. Statori qattiq rezinali, ikki rotorli elektr generatorda stator va rotordagi momentlar**

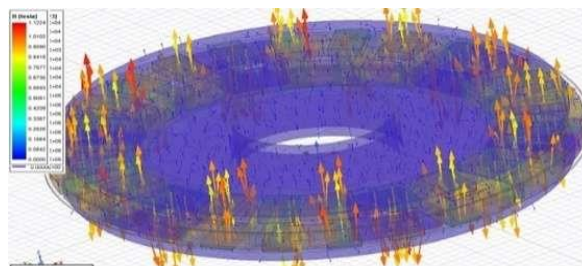


**6-rasm. Statori qattiq rezinali, bir rotorli elektr generatorda Elektr yurituvchi kuch hosil bo‘lishi**

Tadqiqotning keyingi bosqichida Ansys Electronics Desktop dasturida ikki rotorli 48 ta magnet qutb (har bir rotorda 24 tadan), 36 ta chulg‘amdan tashkil topgan aksial oqimli generator loyihalandi.



**7-rasm. Statori qattiq rezinali, ikki rotorli elektr generator statorida tok zichligining taqsimlanishi**



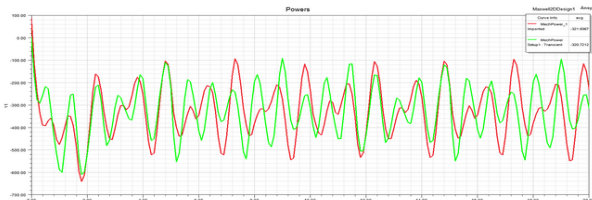
**8-rasm. Statori qattiq rezinali, ikki rotorli generator statorida magnet induksiya vektorlarining ko‘rinishi**

Elektr generatorni loyihalash to‘g‘ri bajarilganligini nazariy tadqiqot usullarida tahlil qilindi. 7-8-rasmda elektr generatordagi magnet induksiya vektorlari statorga nisbatan to‘g‘ri yo‘naltirilganligini va sator chulg‘amidagi tok zichligi to‘g‘ri tarqalganligini ko‘rish mumkin (7-rasm).

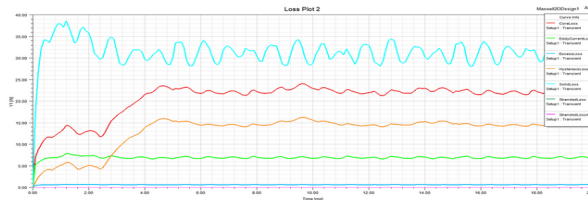
Aksial oqimli elektr generator nisbatan yangi konstruksiyali qurilmalar bo‘lib hozirgi kunda radial oqimli elektr generatorlardan foydalanish va ishlab chiqarish ham keng tarqalgan. Radial oqimli elektr generator va aksial oqimli elektr generatorlarning texnik iqtisodiy ko‘rsatkichlarini baholash maqsadida, tadqiqotning keyingi bosqichida radial oqimli elektr generatorlarni loyihalash bo‘yicha tadqiqotlar olib borildi. Doimiy magnitlardan tashkil topgan, radial o‘qli sinxron generator ham 48 ta magnet qutbli 36 ta chulg‘amli, o‘tkazgich turi va ko‘ndalang kesim yuzasi, o‘ramlar soni aksial o‘qli elektr generatordagi kabi bir xil tanlandi.

Loyihalangan modeldagi dastlabki natijalar sanoatda ishlab chiqariladigan elektr generatorlar chiqish parametrlariga yaqin ekanligini inobatga olsak, generator

to‘g‘ri loyihalangan deb xulosa qilsak bo‘ladi. Masalan, kompyuter modelidagi rotor va statori 250 ayl/min.dan aylanuvchi elektr generatorning chiqish kuchlanishi sanoatdagi mavjud 500 ayl/min tezlikda faqat rotor aylanuvchi elektr generator chiqish kuchlanishiga teng ekanligi aniqlandi. 9,10–rasmlarda kompyuter modellari orqali olingan, radial oqimli elektr generatorni rotor va statorini qarama-qarshi aylantiruvchi momentlar hamda quvvat isroflari qiymatlarning egriliklari keltirilgan.

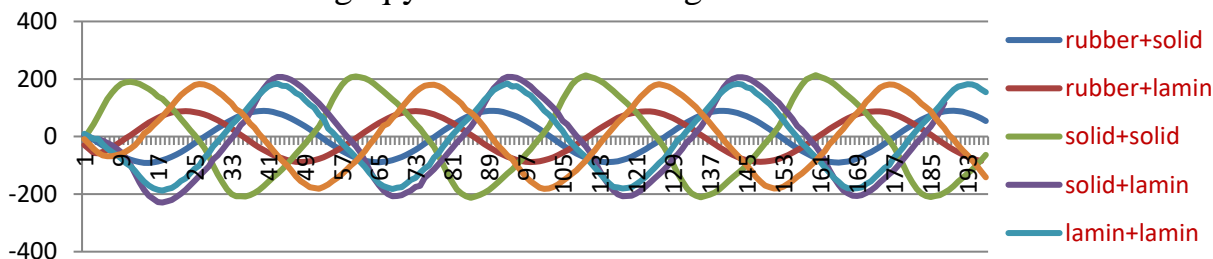


**9-rasm. Generator statori va rotorini aylantirish uchun sarflangan mexanik quvvat**



**10-rasm. Statori qattiq rezinali, ikki rotorli elektr generatoridagi quvvat isroflari**

Magnit o‘zagi turli xil materiallardan yig‘ilgan aksial oqimli, bir rotorli elektr generatorlarning Ansys Electronics Desktop 2022 dasturidagi kompyuter modelida olib borilgan tadqiqotlarda elektr yurituvchi kuchlar taqqoslandi (11-rasm). Grafikdagi ko‘rsakichlarni ifodalovchi chiziqlar bir-biri bilan ustma-ust tushmasligi uchun har xil fazalardagi qiymatlar tanlab olingan.

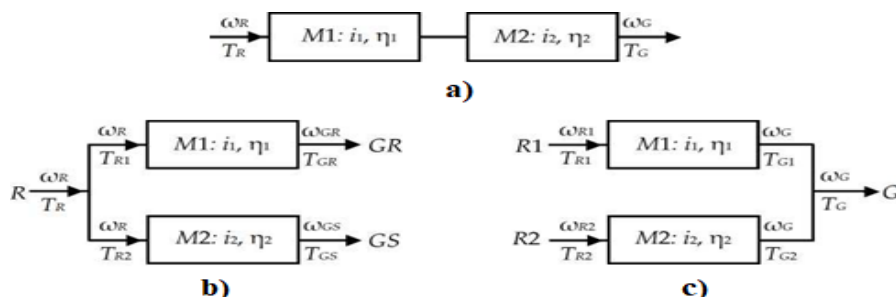


**11-rasm. Magnit o‘zagi turli xil bo‘lgan bir rotorli va aksial oqimli elektr generatorlarning Ansys Electronics Desktop dasturidagi kompyuter modeli natijalari**

Natijalar tahlili shuni ko‘rsatdiki, yaxlit po‘lat o‘zakli elektr generatorlarda bir rotorliga nisbatan ikki rotorli konstruksiyada EYK qiymati 46% pastroq. Stator o‘zagi preslangan yupqa po‘lat plastinkalardan tashkil topgan generatorlarda bir rotorliga nisbatan ikki rotorli 48 % pastroq EYK qayd qilyapti. Radial oqimli konstruksiyadagi maksimal qiymat aksial oqimli bir rotorli konstruksiyadagi EYKning maksimal qiymatidan 7.2% ga ko‘p. Barcha konstruksiyalar ichida po‘lat asosli statordan tashkil topgan generatorlarda EYK qiymati nisbatan yuqoriligi sababli, keyingi tadqiqotlar aynan shu konstruksiyalarda davom ettirildi.

Quvvatni parallel va ketma-ket ravishda uzatuvchi mexanik tizimlarni tahlili asosida, parallel uzatish tizimlari ketma-ket uzatish tizimlaridan samarador ekanligi isbotlangan. Xuddi shu tizimni ikkita bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi shamol va gidroturbinalari uchun yoki bir-biriga qarama-qarshi aylanadigan elektr generatorga quvvat uzatuvchi shamol va gidroturbinalari uchun ham tadbiq etish mumkin. Generatorga quvvatni uzatish uchun ikkita mexanizmdan iborat bo‘lgan, momenti M1 va M2 bo‘lgan ketma-ket uzatishni ta‘minlaydigan tizim (12-rasm, a), yoki

parallel uzatishda bitta turbina (R)dan bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi ikkita mexanizm(GR va GS)li elektr generatorga (12-rasm, b), hamda ikkita qarama-qarshi aylanadigan turbinadan (R1 va R2) standart elektr generatoriga (G) (yoki rotor aylanishi (GR) va stator aylanishi(GS) bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi generator) ega bo‘lgan tizim(12-rasm, c)lar tanlab olindi.



**12-rasm. Erkinlik darajasi 1 ga teng bo‘lgan mexanizmlarning quvvatni ketma-ket va parallel uzatish sxemalari**

Bu yerda  $i_1$  va  $i_2$  kinematik nisbatlar, shuningdek,  $\eta_1$  va  $\eta_2$  mexanizmlarning samaradorligi bilan tavsiflanadi. Har bir x valda burchak tezligi  $\omega_x$  ga va momenti  $T_x$  bo‘lgan harakat uzatiladi.

Turbinadan elektr generatorining harakatlanuvchi statori yoki rotoriga uzatiladigan momentlar teng, lekin ishoraga qarama-qarshi ekanligini bilgan holda ( $T_{GS} = -T_{GR}$ ), moment  $T_G = T_{GR}$  va elektr generatorga uzatiladigan mexanik quvvat  $T_G, W_G$  teng deb qabul qilinsa:

B holati uchun uzatish samaradorligini quyidagicha hisoblash mumkin:

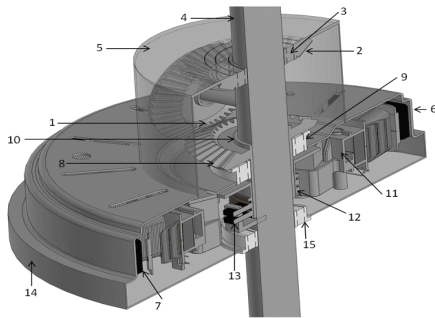
$$\eta_B = \frac{-P_G}{P_R} = \frac{-T_G \cdot \omega_G}{T_R \cdot \omega_R} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \frac{i_2 - i_1}{i_1 \eta_1 - i_2 \eta_2} \quad (5)$$

Umumiy xulosa sifatida, keltirilgan tenglamalar va xorijlik olimlar olib borgan tadqiqotlar xulosasiga asosan, parallel quvvat uzatishda, ketma-ket uzatishga qaraganda yuqori samaradorlikka ega ekanligini tasdiqlangan.

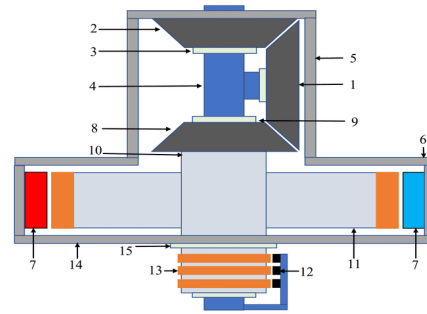
Hozirda mavjud, rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generatorni ko‘pgina standart turbinalarda qo‘llash imkonini cheklangan. Ya’ni bunday generatorni qo‘llash uchun 2ta turbina talab qilinadi. Bundan tashqari, rotor va stator alohida manbalardan quvvat bilan ta’minlanishi sababli aylanish tezliklari bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan holda turli qiymatlarga ega. Shu sababli, Elektr generator stator va rotorini qarama-qarshi tomonga aylanma harakatini tezligini bir-xilligini ta’minlash maqsadida, maxsus konstruksiya ishlab chiqildi. Maxsus konstruksiya standart radial oqimli elektr generator bilan birlashtirilib bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator hosil qilinadi. Elektr generator kichik tezlikli shamol va suv oqimlaridan samarali foydalanib elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun qo‘llaniladi. Generatorni ko‘p qutbli hamda stator va rotori bir-biriga, qarama-qarshi tomonga aylana olishi shamol va gidro elektr stansiyalarda qo‘llaniladigan reduktorlarga bo‘lgan talabni keskin kamaytiradi. Tizimda reduktorlarning kamayishi kapital va yillik xizmat ko‘rsatish xarajatlarining kamayishiga xizmat qiladi. Stator va rotori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi elektr generator qirqim berilgan ko‘rinishi 13–rasmida keltirilgan(FAP 2657).

Shamol yoki suv oqimi turbina orqali hosil qilingan mexanik energiya elektr generator yuqori qismidagi tishli g‘ildirak (2)ga uzatiladi. Elektr generator tepa qismidagi turbina yo‘nalishida aylanuvchi tishli g‘ildirak (2), qoplama (5) orqali

rotor (6) bilan birlashtiriladi. Natijada teskari qutbli doimiy magnitlar (7) joylashtirilgan rotor (6) turbina yoʻnalishida harakatlanadi. Val (4)da joylashtirilgan tishli gʻildirak (1), tishli gʻildirak (2) dan uzatiladigan aylanma harakatni teskari tomonga aylantirib tishli gʻildirak (8) ga uzatadi. Tishli gʻildirak (8), vtulka (10) orqali stator (11) ga ulangan boʻlib, turbina harakatiga qarama-qarshi harakatlantiradi. Aylanma harakatni taʼminlashda podshipniklar (3,9,15)dan foydalaniladi. Statoragi elekt quvvatini choʻtka (12) va kollektor (13) orqali isteʼmolchiga uzatiladi (13-rasm).

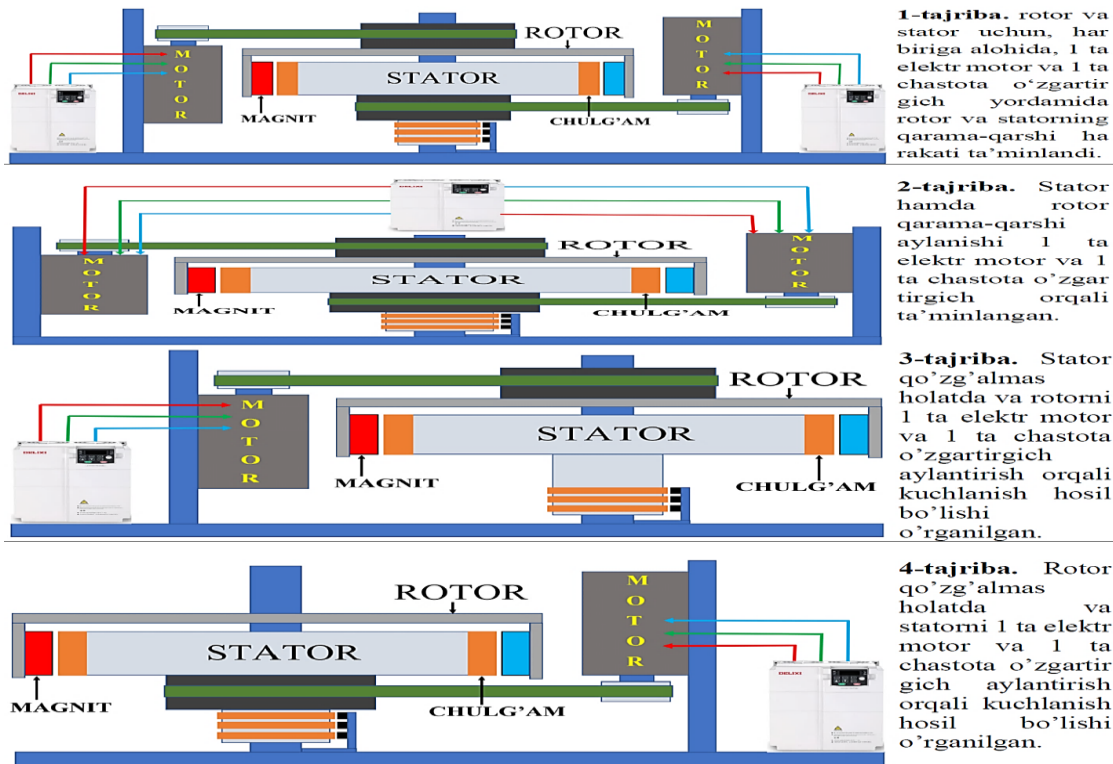


**13 a-rasm. qirqim berilgandagi uch oʻlchovli koʻrinishi**



**13 b-rasm. Elektr generator (qoplama bilan) B) qirqim berilgandagi yon tomondan koʻrinishi**

Dissertatsiya ishining “**Takomillashtirilgan radial va aksial oqimli elektr generatorni eksperimental tadqiqotlari**” nomli toʻrtinchi bobida eksperimental tadqiqotlar natijalari berilgan. Dissertatsiya ishining 3-bobi xulosalariga asosan radial hamda aksial oqimli elektr generatorlarning rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi harakatga keltirilib tahlillar olib borildi (14-rasm).



**1-tajriba.** rotor va stator uchun, har biriga alohida, 1 ta elektr motor va 1 ta chastota oʻzgartirgich yordamida rotor va statorning qarama-qarshi harakati taʼminlandi.

**2-tajriba.** Stator hamda rotor qarama-qarshi aylanishi 1 ta elektr motor va 1 ta chastota oʻzgartirgich orqali taʼminlangan.

**3-tajriba.** Stator qoʻzgʻalmas holatda va rotorni 1 ta elektr motor va 1 ta chastota oʻzgartirgich aylantirish orqali kuchlanish hosil boʻlishi oʻrganilgan.

**4-tajriba.** Rotor qoʻzgʻalmas holatda va statorni 1 ta elektr motor va 1 ta chastota oʻzgartirgich aylantirish orqali kuchlanish hosil boʻlishi oʻrganilgan.

**14-rasm. Radial oʻqli sinxron generatorda olib borilgan tajribalar sxemasi.**

Olib borilgan tadqiqotlardan maqsad, qaysi turdagi generator nisbatan yuqori quvvat ishlab chiqaradi, ya'ni, quvvat zichligini aniqlash edi. Bundan tashqari, stator va rotorni bir tomonlama hamda rotor va statorni bir-biriga qarama-qarshi tomonga aylantirganda kuchlanish, chastota hosil bo'lishini tahlil qilishdan iborat. Tanlangan elektr generatorning statorining massasi 16.3 % ko'p, rotor diametрни tabiiyki 9% ko'p. Massalar teng emasligi hamda diametrdagi farqlar tufayli aylanish va inersiya momentlari farq qiladi.

Tajriba natijalari tahlili asosida rotor diametri katta bo'lganiga qaramay, statorning massasi 13% ga katta bo'lganligi sababli, statorga quvvat kichik aylanish tezliklari 28%, katta aylanishlarda (nominal tezlikga yaqin tezliklarda) esa 12-13% ko'p sarflangan.



### **15-rasm. Radial oqimli, rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi generatorlarda o'tkazilgan tajribalar jarayoni.**

Tajriba natijalaridan xulosa qiladigan bo'lsak, agar mexanik energiyani elektr energiyasiga generatsiyalash jarayonida stator va rotor aylanish tezliklarini bir xilligini ta'minlash kerak bo'lsa, stator uchun kattaroq ishchi yuzali turbina tanlash kerak bo'ladi. Necha foizga katta ishchi yuzali turbina tanlashni aniqlash uchun  $K_{ynk}$  – yuzalar nisbati koeffitsiyenti deb nomlangan ko'rsatkich kiritamiz. Bu koeffitsiyent katta tezliklarda ya'ni generator nominal tezligiga yaqin tezliklarida o'rinli. Chunki past aylanish tezliklari generatorni tinch holatdan qo'zgatish uchun ko'p energiya sarflanadi.

$$K_{ynk} = \frac{A_s}{A_r}; \quad (6)$$

bu yerda:  $A_s$ -statorni harakatga keltiruvchi turbina yuzasi;  $A_r$ -rotorni harakatga keltiruvchi turbina yuzasi.

Yuzalar farqini yanada aniqroq asoslash maqsadida, dissertatsiya ishida  $K_{1V}$  – solishtirma kuchlanish hosil qilish koeffitsiyenti deb nomlangan ko'rsatkich keltirildi. Bu koeffitsiyent ayniqsa, kichik tezliklarda ahamiyatli hisoblanadi. Chunki past aylanish tezliklari generatorni tinch holatdan qo'zgatish uchun ko'p mexanik energiya sarflanadi.

Stator va rotorga alohida o'rnatiladigan turbinalarni tanlashda turbinaning yuzalar nisbati koeffitsiyentini, solishtirma kuchlanish hosil qilish koeffitsiyenti ( $K_{1V}$ ) orqali aniqlash uchun:

1. Generator faqat statorini aylantirish orqali, 1 V kuchlanish ishlab chiqarish uchun sarflangan quvvat ( $P_{1V.st}$ ) aniqlandi;

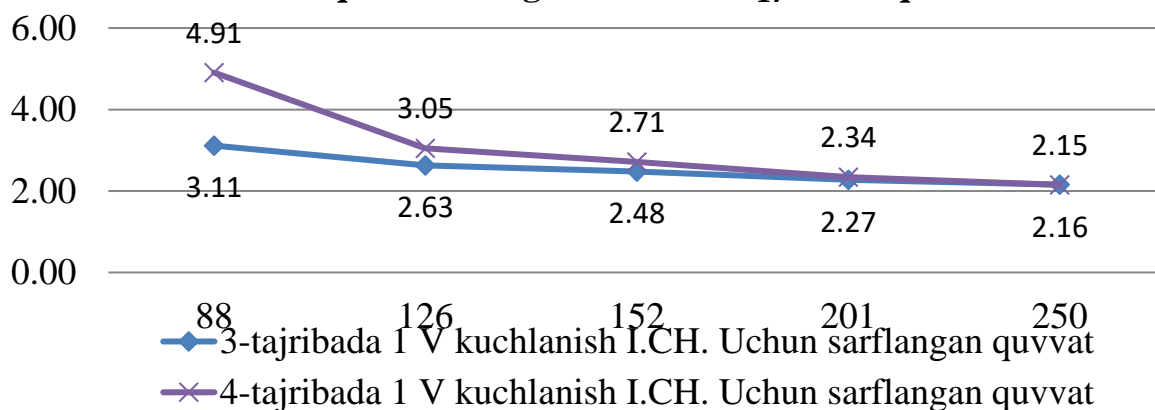
2. Generator faqat rotorini aylantirish orqali, 1 V kuchlanish ishlab chiqarish uchun sarflangan quvvat ( $P_{1V.rt}$ ) turli tezliklarda aniqlandi;

Keyingi bosqichda, generator statorini aylantirish orqali 1 V kuchlanish ishlab chiqarish uchun sarflangan quvvat ( $P_{1V.st}$ ) ning, generator faqat rotorini aylantirish orqali 1 V kuchlanish ishlab chiqarish uchun sarflangan quvvat ( $P_{1V.rt}$ ) ga nisbati ( $K_{1V}$ ) turli tezliklardagi qiymati aniqlandi. Keltirilgan natijalarning o'rtacha qiymati ( $K_{1V.o'rt}$ ) topildi.

Solishtirma kuchlanish hosil qilish koeffitsiyenti ( $K_{1V}$ ) va uning o'rtacha qiymatini ( $K_{1V.o'rt}$ ) quyidagicha aniqlanadi:

$$K_{1V} = \frac{P_{1V.st}}{P_{1V.rt}}; \quad K_{1V.o'rt} = \frac{\sum_1^n K_{1V}}{n} \quad (7)$$

**Radial oqimli elektr generatorda  $K_{1V}$  ni aniqlash.**



**16-rasm. Radial oqimli generator asosida 3 va 4 tajribada 1 V kuchlanish hosil qilish uchun sarflangan quvvatlar taqqoslanishi.**

**2-jadval. Turli aylanish tezliklarida solishtirma kuchlanish hosil qilish koeffitsiyenti va uning o'rtacha qiymati keltirilgan.**

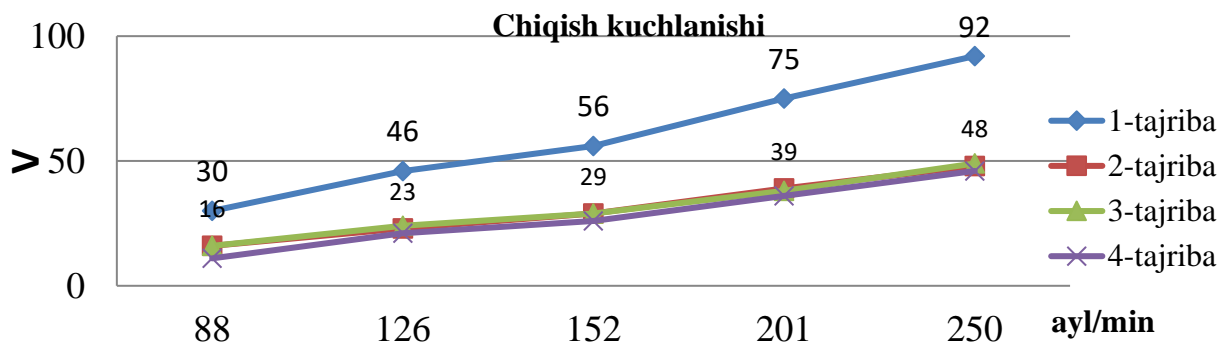
Aylanish tezliklari (ayl/min)	88	126	152	201	250
$K_{1V} = (P_{1V.st}) / (P_{1V.rt})$	1.57	1.15	1.094	1.031	0.99
$K_{1V.o'rt.R}$	1.17				

$$K_{ynk} = \frac{A_s}{A_r} = \frac{m_s}{m_r} = \frac{4.81}{4.135} = 1.163 \approx K_{1V.o'rt} \quad (8)$$

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, radial oqimli generatorni rotor va statorini bir-biriga qarama-qarshi harakatlantirishda turbinalarning tezliklari bir-xilligini taminlash uchun radial oqimli elektr generator uchun statorini va rotorining massalar nisbati olindi. Stator uchun foydalaniladigan turbina yuzasi, rotor uchun foydalaniladigan turbina yuzasidan 16,3 % bo'lishi kerakligi aniqlandi.

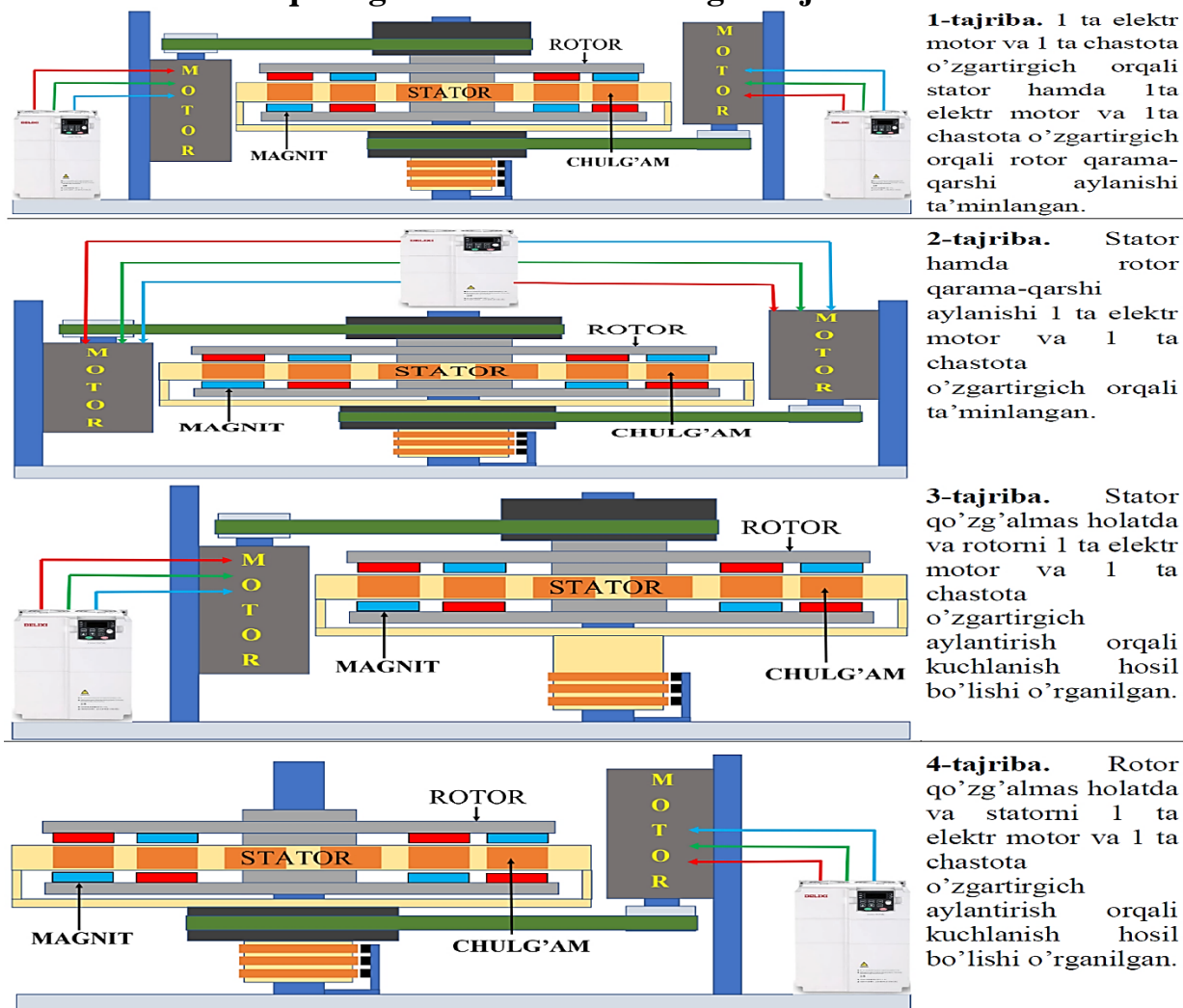
Radial oqimli elektr generatorda olib borilgan tajribalar asosida generatordagi chiqish kuchlanishi birinchi tajribada yuqori bo'lganligini ko'rish mumkin. Ammo 1-tajriba katta quvvat sarflanganini inobatga olib, ushbu konstruksiyadan juda past oqimli shamol va suv oqimlarida foydalanish samarador ekanligini xulosa qilish

mumkin.



17-rasm. O'tkazilgan tajribalarda chiqish kuchlanishining taqqoslanishi.

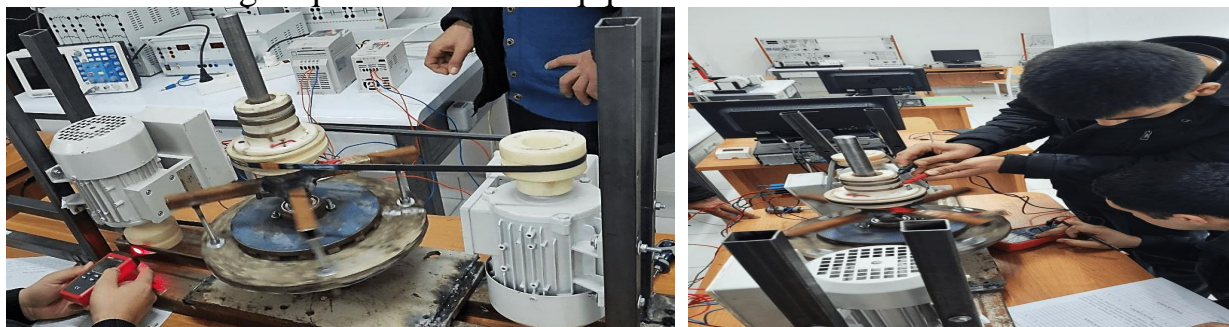
### Aksial oqimli generatorda olib borilgan tajribalar tahlili.



18-rasm. Aksial o'qli sinxron generatorda olib borilgan tajribalar sxemasi.

Tadqiqotning keyingi bosqichida, aksial oqimli elektr generatorda olib borilgan tajribalar natijalari keltirilgan. Tajribalar o'tkazilishidan oldin aksial oqimli generatorning boshlang'ich ma'lumotlari aniqlab olindi. Tanlangan elektr generatorning rotorining massasi 65%ga stator massasidan katta, stator diametрни rotor diametridan 56.4% ga katta. massalar teng emasligi hamda dieametrdağı

farqlar tufayli aylanish va inersiya momentlari farq qilishi tufayli ularni aylantirish uchun sarflanadigan quvvatlar ham farq qiladi.



**19-rasm. Aksial oqimli, rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi generatorlarda o'tkazilgan tajribalar jarayoni.**

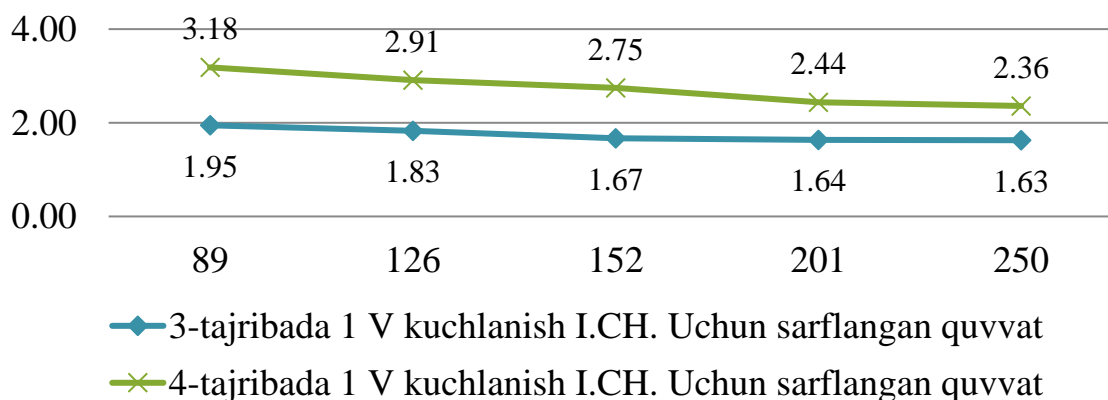
Tajriba natijalari tahlili asosida rotorning massasi 65%ga katta bo'lganligi qaramay, stator diametri katta bo'lganligi sababli, statorga quvvat kichik aylanish tezliklari 42%, katta aylanishlarda (nominal tezlikga yaqin tezliklarda) esa 33% ko'p sarflangan. Agar mexanik energiyani elektr energiyasiga generatsiyalash jarayonida stator va rotor aylanish tezliklarini bir xilligini ta'minlash kerak bo'lsa, stator uchun kattaroq ishchi yuzali turbina tanlash kerak bo'ladi.

**Aksial oqimli elektr generatorlarda  $K_{ynk}$  ni aniqlash.**

**3-jadval.**

**Turli aylanish tezliklarida solishtirma kuchlanish hosil qilish koeffitsiyenti va uning o'rtacha qiymati keltirilgan.**

Aylanish tezliklari	88	126	152	201	250
$K_{1V} = (P_{1V.st}) / (P_{1V.rt})$	1.63	1.59	1.64	1.49	1.44
$K_{1V.o'rt.A}$	1.563				

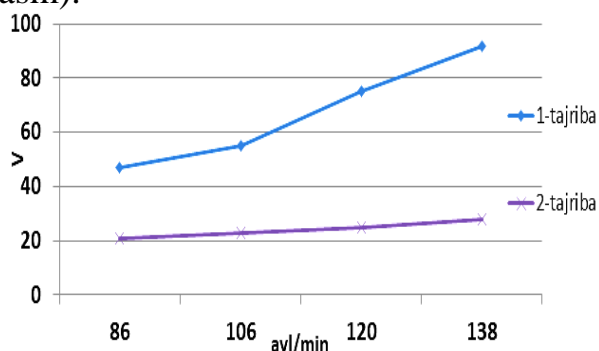


**20-rasm. Aksial oqimli generator asosida 3 va 4 tajribada 1 V kuchlanish hosil qilish uchun sarflangan quvvatlar taqqoslanishi.**

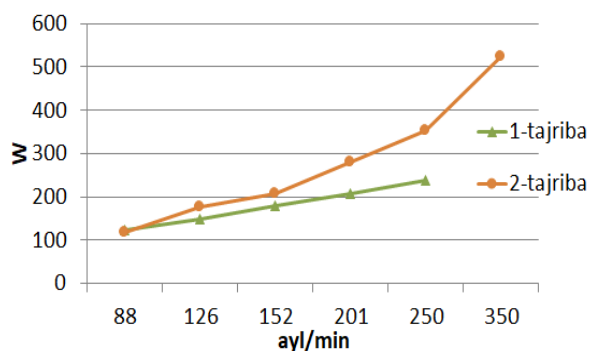
$$K_{ynk} = \frac{D_s}{D_r} = \frac{0.316}{0.202} = 1.564 \approx K_{1V.o'rt.A} \quad (9)$$

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki aksial oqimli generatorni rotor va statorini bir-biriga qarama qarshi harakatlantirishda turbinalarning tezliklari bir-xilligini taminlash uchun aksial oqimli elekt generator uchun statorini va rotorini diametrlar nisbati olindi va stator uchun foydalaniladigan turbina yuzasi 56.4% katta rotor uchun foydalanilayotgan turbina yuzasidan.

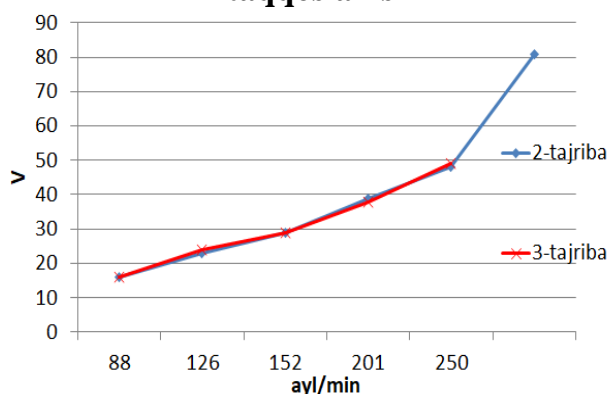
1-tajribada elektr generator statori va rotoriga ikki mustaqil mexanik energiya manbai bilan ta'minlangan deb qaraladi. 2-tajribada esa mexanik energiya bir manbadan berilsa rotor va stator ikki mustaqil manba sifatida taqsimlanadi (18-rasm).



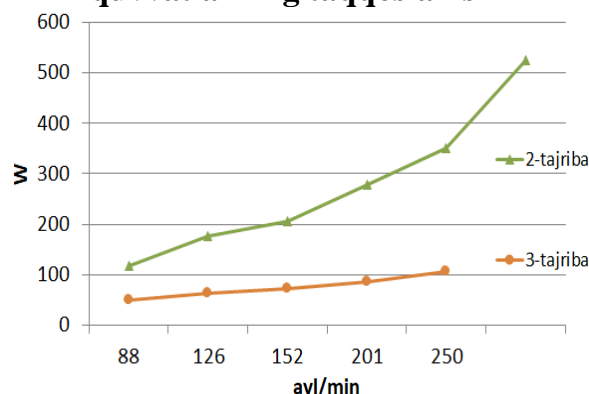
**21-rasm. Birinchi va uchinchi tajribalarda chiqish kuchlanishlarining taqqoslanishi**



**22-rasm. Birinchi va uchinchi tajribalarda sarflanayotgan quvvatlarning taqqoslanishi**



**23-rasm. Ikkinchi va uchinchi tajribalarda chiqish kuchlanishlarining taqqoslanishi**



**24-rasm. Ikkinchi va uchinchi tajribalarda sarflanayotgan quvvatlarning taqqoslanishi**

Olib borilgan eksperimental tajribalar asosida rotorini va statorini bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi aksial oqimli generatorlardan 2 turbinali energetik tizimlarda foydalansa ham bo'ladi, ammo generator aylanish tezligi bir xilligini ta'minlash uchun Stator va rotorini uchun foydalaniladigan turbinalarning ishchi yuzasi bir-biridan farq qilishi zarur.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, radial oqimli generatorni rotor va statorini bir-biriga qarama-qarshi harakatlantirishda turbinalarning tezliklari bir xilligini taminlash uchun radial oqimli elekt generator uchun statorini va rotorini massalar nisbati olindi va stator uchun foydalaniladigan turbina yuzasi 16,3 % katta rotor uchun foydalanilayotgan turbina ishchi yuzasidan bo'lishi kerak. Aksial oqimli generatorlar uchun rotor va stator diametrlari nisbati bilan olinib stator uchun tanlangan turbina yuzasi 56,4% ga katta bo'lishi kerakligi aniqlandi.

Tajriba natijalari va matematik ifodalar orqali aniqlangan qiymatlarning nisbiy xatoligi aniqlandi.

Nisbiy xatolikning o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlandi:

$$X_n = \frac{|N_n - N_{o'}|}{N_{o'}}; \quad (10)$$

bu yerda:  $N_n$  – nazariy natijalar,  $N_{o'}$  – o'lchov natijalari.

Nisbiy xatolikning o'rtacha qiymati quyidagicha aniqlandi:

$$X_{o'} = \frac{\sum_1^n X_n}{n} \quad (11)$$

Keltirilgan tenglamalar asosida natijalar tahlil qilindi va **o'rtacha nisbiy xatolik, 4.7%** ekani aniqlandi. Bundan tashqari, tajriba natijalarini validatsiya qilish maqsadida qiymatlar ishonchliligi baholandi. Qiymatlar ishonchliligini baholashda Fisher mezoni asosida adekvatlik aniqlandi.

Kritik qiymatni hisoblashda ahamiyatlilik darajasi  $\alpha=0.04$ ,  $m=3$ ,  $n=3$  qiymatlarda hisoblandi. Hisoblash natijalariga asosan  $F_{xis}=108.7390109$ ,  $F_{krit}=5.304839794$  ekanligi va ahamiyatlilik darajasining tanlangan qiymatida (**ishonchlilik darajasi 96%**), hisoblangan qiymatlar adekvat ekanligi aniqlandi.

Takomillashtirilgan elektr generatorni past bosimli suv va shamol oqimlarida joriy etishda chiqish kuchlanishini baholashni osonlashtirish maqsadida elektr generator chiqish parametrlarini hisoblovchi **empirik formula** ishlab chiqildi:

$$U'' = \int (-0.00035\omega + 0.4508)d\omega = -0.000175\omega^2 + 0.4508\omega + c$$

$$U'' = -0.000175\omega^2 + 0.4508\omega - 8,3404 \quad (12)$$

Texnik iqtisodiy ko'rsatkichlarni baholashda 2023-yil davomida shamol oqimi tezligi 3 m/s dan katta va 5 m/s dan kichik soatlar 3549 soatni tashkil etishi aniqlandi. Qurilma SHEQdasi standart elektr generatorga joriy etganda xarajatlar o'zini 3.9 yilda qoplashi aniqlandi (14-tenglama)

O'zini qoplash muddati (payback period) hisoblash tenglamasi

$$PP = \frac{E_o}{E_f} = \frac{500000}{128363} = 3.89 \text{ yil} \quad (13)$$

Suv oqimidan foydalanib elektr energiyasi ishlab chiqarishda iqtisodiy samaradorlikni hisoblashda mikroGES qurilmasi generatoriga taklif etilgan qurilmani joriy etish belgilab olindi. Mikroges generatoriga qurilmani joriy etish suv oqimi tezligi 0,5-1 m/s tezliklarida ham energiya olish imkoniyatini beradi.

Taklif etilayotgan qurilma 100 kVtlik mikrogesning standart elektr generatorga joriy etganda xarajatlar o'zini 1 yilda qoplashi aniqlandi (15-tenglama)

O'zini qoplash muddati (payback period) hisoblash tenglamasi

$$PP = \frac{E_o}{E_f} = \frac{50}{52.7} = 0.948 \text{ yil} \quad (14)$$

Taklif etilgan qurilmani mikroges qurilmasida joriy etishda qoplash muddatining qisqaligi, tanlangan suv taqsimlash inshootida suv oqimining bardavomligi (326-kun oqim mavjud) va suv oqimidan nisbatan katta quvvat olish imkoniyati mavjudligi bilan izohlanadi.

Tadqiqot ishlari Buxoro viloyati Qorako'l tumani, "Yangiboy ochil g'allakor" va "Kumush tola paxtakor" fermer xo'jaliklari hududida olib borildi. Fermer

xo‘jaliklarida tomchilatib sug‘orish tizimi va maishiy xo‘jalik uchun elektr energiyasi iste‘moli mavjud.

Maishiy xo‘jaliklari uchun elektr energiyasi iste‘molchilarini ta‘minlash uchun 20 kVtli shamol energetik qurilmasi tanlandi va qurilma har bir fermer xo‘jaligida yil davomida 12336.98 kVt·soat elektr energiyasi standart generatorga nisbatan ortiqcha energiyasi ishlab chiqarishi aniqlandi. Ushbu energiyani ishlab chiqarish uchun ichki yonuv dvigateldan foydalanilsa har bir fermer xo‘jaligida yiliga 3.21 tonna dizel yoqilg‘isiga talab vujudga keladi. Shamol energetik qurilmasini joriy etish orqali har yili 81 mln.so‘mlik yoqilg‘i xarajatlarini tejalishiga va 21.62 tonna CO<sub>2</sub> gazi ajralib chiqishini oldini olishimiz mumkin.

## XULOSA

Past tezlikli energiya oqimlarida samarali ishlovchi elektr generator konstruksiyasini takomillashtirish bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar bo‘yicha quyidagilarni xulosa qilishimiz mumkin:

1. Past bosimli va kichik tezlikli shamol oqimlaridan foydalanib, elektr energiyasini generatsiyalashda rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi ko‘p qutbli elektr generatorlardan foydalanish samaraliroq ekanligi asoslandi.

2. Past bosimli suv va kichik tezlikli shamol oqimlarida samaraliroq ishlashni ta‘minlovchi rotori va statori bir-biriga qarama qarshi aylanuvchi ko‘p qutbli elektr generatorni maqbul konstruktiv o‘lchamlarini aniqlash orqali loyihalash algoritmi ishlab chiqilgan.

3. Konstruktiv o‘lchamlar asosida rotori va statori bir-biriga qarama-qarshi aylanuvchi ko‘p qutbli elektr generatorni chiqish kuchlanishi va foydali ish ko‘effitsiyentini aniqlovchi matematik ifoda hamda eksperimental tadqiqotlar natijalari asosida elektr generatorni chiqish parametrlarini hisoblovchi empirik tenglama yaratilgan.

4. Standart suv va shamol turbinalarida hosil qilingan mexanik energiyani elektr generatorni qarama-qarshi aylanuvchi rotor va stator aylanish tezliklarini bir qiymatda bo‘lishini ta‘minlovchi rostlovchi qurilma ishlab chiqilgan (FAP 2657);

5. Rotori va statori qarama-qarshi aylanuvchi generatorlarni harakatga keltiruvchi turbinalarni optimal konstruktiv o‘lchamlari aniqlandi va generator optimal ish rejimini ta‘minlovchi stator va rotor trubinalari yuzalari nisbatining qiymati radial oqimli generatorlarda  $S_{rs}/S_{rr}=1.16$  ni va aksial oqimli generatorlarda  $S_{as}/S_{ar}=1.56$  tashkil etdi.

6. Aksial oqimli elektr generatorlarda rotorning massasi, stator massasiga nisbatan 65% ga katta bo‘lganligi qaramay, stator diametri katta bo‘lganligi sababli, statorga quvvat kichik aylanish tezliklari 42%, katta aylanishlarda (nominal tezlikga yaqin tezliklarda) esa 33% ko‘p sarflangani aniqlandi.

7. Takomillashtirilgan elektr generatorni, 1kW li SHEQ orqali 3 m/s-5 m/s shamol oqimi tezliklarida 142.63 kW·soat, 100 kWli mikroGESda 0,5-1 m/s suv oqimlarida 58548.57 kW·soat, ortiqcha elektr energiyasi ishlab chiqarishi mumkinligi aniqlandi.

8. Elektr energiyasini generatsiyalash jarayonida stator va rotor aylanish tezliklarini bir xilligini ta'minlashda, stator va rotor uchun turbinalar uchun samarali ishchi yuzani tanlashda,  $k_{ynk}$  – yuzalar nisbati koeffitsiyenti ishlab chiqilgan;

9. Takomillashtirilgan generator asosidagi SHEQ “Yangiboy ochil g'allakor” va “Kumush tola paxtakor” fermer xo'jaliklari hududlarida joriy etilib, ushbu qurilmadan ichki yonuv dvigateli o'rnida foydalanilganda har yil umumiy 81 mln.so'mlik yoqilg'isi (har bir fermer xo'jaligi uchun 3.21 tonna dizel yoqilg'isi) hamda har yili atmosferaga 21.62 t CO<sub>2</sub> gazi ajralib chiqishini oldini olish imkoniyatini borligi aniqlangan.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ PhD.03/27.09.2024.Т.101.05 ПО  
ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ БУХАРСКОМ  
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ**

---

**БУХАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

**САЙЛИЕВ ФАРИД ОЛТИБОЙ УГЛИ**

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ЭФФЕКТИВНОГО  
ГЕНЕРАТОРА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ В  
НИЗКОСКОРОСТНЫХ ПОТОКАХ ЭНЕРГИИ**

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

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

**Бухара – 2025**

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) технических наук зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за номером B2022.2.PhD/T2902.

Диссертация выполнена в Бухарский государственный технический университет.

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

**Научный руководитель:**

**Садуллаев Насулло Нематович**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:**

**Пирматов Нурали Бердиёрович**  
доктор технических наук, профессор

**Самиев Камолиддин Аъзамович**  
доктор технических наук, профессор

**Ведущая организация:**

**Институт энергетических проблем  
Академии наук Республики Узбекистан**

Защита диссертации состоится 29.08 2025 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/27.09.2024.T.101.05 при Бухарском инженерно-технологическом институте. (Адрес: 200100, г. Бухара, ул. К.Муртазаев, 15. Тел: (99865) 223 78 84, факс: (99865) 223 78 84, e-mail [bstu\\_info@edu.uz](mailto:bstu_info@edu.uz) )

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Бухарский государственный технический университет (зарегистрирована за № 1 ). Адрес: 200100, г. Бухара, ул. К.Муртазаев, 15. Тел: (99865) 223 78 84, факс: (99865) 223 78 84,

Автореферат диссертации разослан 14.08 2025 года.  
(реестр протокола рассылки № 3/5 от 14.08 2025 года).



**А.И. Каршибоев**  
Вр.и.о. председателя Научного совета по  
Присуждению ученых степеней,  
д.т.н., профессор

**У.К. Мирханов**  
Ученый секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.ф.т.н., (PhD)

**К.А. Самиев**  
Председатель научного семинара при  
научном совете по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., проф.

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

**Актуальность и необходимость темы диссертации.** Современным требованием развития производства электроэнергии в мире является повышение надежности бесперебойного электроснабжения потребителей, для достижения электрического баланса в системе особое значение придается генераторам, вырабатывающим электроэнергию. При производстве электроэнергии из низкопотенциальных водных и ветровых потоков большое значение приобретает использование электрогенераторов с улучшенными техническими показателями. В настоящее время в развитых странах... "проводятся обширные исследовательские работы по синхронным генераторам с радиальной осью, вырабатывающим электроэнергию из низкоскоростных потоков энергии." В связи с этим особое внимание уделяется разработке новых конструкций синхронных генераторов с радиальной осью, вырабатывающих электроэнергию<sup>1</sup>.

В мире проводятся научные исследования по производству электроэнергии с эффективным использованием энергии воды и ветра, в частности, по улучшению величины механической мощности, вырабатываемой турбинами, увеличению пускового момента, повышению производительности производства электроэнергии при низких скоростях вращения генераторами, применению в системе генераторов различных конструкций с аксиальным и радиальным потоком. В этих исследовательских работах приоритетом считается усовершенствование электрического генератора с малой номинальной скоростью при производстве электроэнергии в низконапорных и малоскоростных потоках воды и ветра через электрический генератор. Вместе с тем, высокая номинальная скорость генераторов при производстве электроэнергии из водных и ветровых потоков, требование постоянного тока для обмотки возбуждения и управление обмоткой возбуждения в соответствии с нагрузкой создают проблемы для эффективной работы системы. В связи с этим одной из **актуальных** задач является снижение себестоимости и повышение надежности системы за счет прямого подключения генератора к турбине, снижения потребности в редукторах, ременных и зубчатых передачах, используемых в настоящее время для увеличения скорости вращения.

В нашей республике проводятся исследования и реализуются меры по обеспечению симметричности механического движения и повышению эффективности производства электроэнергии в синхронных генераторах с радиальной осью, предназначенных для использования в слабых потоках энергии в энергетической отрасли, которая считается одной из основных отраслей экономики. В Законе Республики Узбекистан от 21 мая 2019 года No ЗРУ-539 "Об использовании возобновляемых источников энергии" определены задачи "...повышению энергоэффективности установок возобновляемых источников энергии, стимулированию расширения их производства и локализации....". При выполнении этой цели важными

---

<sup>1</sup> <https://dewesoft.com/blog/energy-flow-analysis-of-electric-vehicle>

задачами являются, в частности, устранение несимметричных режимов работы генератора с радиальной осью, обеспечение бесперебойной подачи электроэнергии потребителям, качество электроэнергии, стабильность системы<sup>1</sup>.

Данное диссертационное исследование в определенной степени служит выполнению задач, предусмотренных в Постановлениях Президента Республики Узбекистан No ПП-57 от 16 февраля 2023 года "О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году," No ПП-4779 от 10 июля 2020 года "О дополнительных мерах по снижению зависимости отраслей экономики от топливно-энергетической продукции путем повышения энергоэффективности экономики и задействования имеющихся ресурсов," а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

**Соответствие исследований приоритетам развития науки и технологий в республике.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики: IV "Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание устройств и технологий на основе нанотехнологий, фотоники и других современных передовых технологий».

**Степень изученности проблемы.** Исследованиями по усовершенствованию конструкции электрогенераторов эффективно работающих в ветровых и водных потоках за рубежом занимались ученые Томаш Вегель, Наталия Радван-Прагловска, Юлиан Дэвид, Рахими Намаги, Чименто, Мехмет Реджеп Миназ, Чон Сук, Таример Ильхан, Джулиан Букер, Ахмадреза Васель-Бе-Хаг.

Исследованиями по эффективному использованию ветровых и водных потоков для производства электроэнергии выполнены в различных регионах нашей республики учеными Р.А. Захидов, К.Р. Аллаев, Р.Р. Авезов, У.А. Таджиев, Б. Уришев, Н.Н. Садуллаев, Д. Кадыров, А.Б. Сафаров, Ш.Н. Нематов, Р.А. Мамедов, Ф.Ф. Музаффаров и другие.

Хотя в результате проведенных исследований в этом направлении достигнуты практические результаты, недостаточно изучены вопросы проектирования генератора, эффективно работающего в условиях слабонапорных водных и малоскоростных ветровых потоков, определения оптимальных конструктивных размеров и оценки технико-экономических показателей, недостаточно исследованы способы распределения механической энергии для электрогенератора с ротором и статором, вращающимися в противоположных направлениях, и внедрения этих устройств в электрогенераторы.

**Актуальность диссертационного исследования планам научно-исследовательской работы вуза, в котором выполнялась диссертационная работа.** Диссертационное исследование выполнено в

---

<sup>1</sup> <https://www.greenspur.co.uk/axial-flux-technology/discover-the-power-of-axial-flux-generators/#:~:text=One%20of%20the%20key%20advantages,greater%20efficiency%20and%20energy%20output.>

соответствии с планом научно-исследовательских работ Бухарского инженерно-технологического института в рамках инновационного проекта ИЛМ 20215001 "Создание эффективной ветроэнергетической установки для потребителей малой мощности в климатических условиях Узбекистана" (2021-2023 гг.).

**Целью исследования** является повышение эффективности производства электроэнергии в низкоскоростных водных и ветровых потоках путем совершенствования конструкции генератора.

**Задачи исследования:**

оценка перспектив использования турбин и многополюсных электрогенераторов для выработки электроэнергии с использованием низконапорных и низкоскоростных ветровых потоков;

усовершенствование электрогенератора путем внедрения устройства, равномерно распределяющего частоту вращения ротора и статора электрогенератора, вращающихся в противоположных направлениях;

создание экспериментального стенда для проведения экспериментальных исследований многополюсного электрогенератора с ротором и статором, вращающимися в противоположных направлениях;

оценка технико-экономических показателей внедрения электрогенератора с регулированием скорости вращения ротора и статора, вырабатывающего электроэнергию в условиях слабонапорных водных и малоскоростных ветровых потоков;

на основании результатов экспериментальных исследований получить эмпирическую формулу для расчета выходных параметров электрогенератора с встречным вращением ротора и статора.

**Объектом исследования** является генератор переменного тока с радиальным потоком с вертикальной осью, работающий в низкоскоростных потоках, и устройство регулирования его скорости.

**Предметы исследования** является повышение эффективности и качества выходного напряжения за счет совершенствования конструкции вертикально-осевого радиального генератора переменного тока, работающего на водных и ветровых потоках с малой скорости.

**Методы исследования.** В процессе исследования использованы методы математического моделирования синхронного генератора постоянного магнита с радиальной осью, статистической обработки экспериментальных результатов, создания имитационной модели генератора, планирования эксперимента и инструментальных измерений.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

впервые разработано устройство регулирования, предназначенное для поддержания стабильного качества напряжения на выходе генератора, путем обеспечения одинаковой скорости вращения ротора и статора при встречном движении электрического генератора для существующих на сегодняшний день водяных и ветряных турбин (FAP 2657, 2025 г.);

разработана конструкция многополюсного электрического генератора с противоположно вращающимися ротором и статором, обеспечивающая

эффективную работу в низконапорных водяных и низкоскоростных ветровых потоках с максимальным охватом факторов, влияющих на выходное напряжение генератора;

на основе результатов экспериментальных исследований и математического выражения, определяющего выходное напряжение и коэффициент полезного действия многополюсного электрического генератора, вращающегося с противоположным вращением ротора и статора, в зависимости от конструктивных параметров, создано эмпирическое уравнение для расчета выходных параметров электрического генератора;

определено, что оптимальное соотношение диаметров турбин, приводящих в движение генератор с противоположным вращением ротора и статора, обеспечивающее максимальную эффективность работы генератора в установившемся режиме работы, составляет  $S_{p.c.}/S_{p.p.}=1.16$  для радиальных генераторов и  $S_{a.c.}/S_{a.p.}=1.56$  для аксиальных генераторов.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана методика выбора наиболее эффективного электрогенератора для выработки электроэнергии в условиях слабонапорных водных и малоскоростных ветровых потоков определения его конструктивных размеров по выбранной мощности;

разработанный устройство создает возможность применить электрогенератора с противовращающим ротором и статором в стандартных турбинах с равномерным распределением механической энергии, работающих в потоках воды и ветра;

разработана методика оценки эффективности электрогенератора с противовращающим ротором и статором по конструктивным размерам установки.

**Достоверность результатов исследования.** Достоверность результатов исследования обосновывается проведенными исследованиями с использованием современных методов и измерительных приборов, использование надежных и проверенных методов моделирования при проверке результатов экспериментов, проведение экспериментов в натуральных условиях, возможностью реализации гибридной энергетической системы, разработанной в результате исследования на основе внедрения результатов испытаний в практику.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследований заключается в правильном выборе типа и конструкции электрогенератора, эффективно работающего в условиях слабонапорных водных и малоскоростных ветровых потоков, методике оценки технических параметров и КПД электрогенератора встречного вращения с заданными размерами ротора и статора, разработке устройства, обеспечивающего равномерность частоты вращения ротора и статора электрогенератора встречного вращения, а также изучении возможностей внедрения этого устройства в электрогенератор.

Практическая значимость исследования обусловлена повышением уровня жизни населения отдаленных территорий и увеличением доли

экологически чистых источников энергии в электроснабжении за счет эффективного использования слаботочных водных и малоскоростных ветровых потоков для выработки электроэнергии.

**Внедрение результатов исследования.** На основе полученных научных результатов по совершенствованию конструкции электрогенератора, эффективно работающего в низконапорных водных и низкоскоростных ветровых потоках:

получен патент на полезную модель Агентства по интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Узбекистан на конструкцию аксиального генератора, работающего на низких скоростях (No FAP2657 от 3 февраля 2025 года). В результате установка мощностью 20 кВт производит 12336,63 кВтч дополнительной электроэнергии в год при низком давлении воды и низких скоростях ветра по сравнению со стандартной установкой, а также предотвращает выброс в атмосферу более 21,62 тонны газа (CO<sub>2</sub>);

Устройство аксиального генератора внедрено в ООО "Yangiboy Ochil G'allakor" и ООО "Kumush tola Paxtakor" Каракульского района Бухарской области (Справка Министерства энергетики Республики Узбекистан No 04-13-909 от 26 февраля 2025 г.). В результате достигнута годовая экономическая эффективность в размере 81 миллиона сумов по сравнению с генератором внутреннего сгорания.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования были обсуждены на 6 научно-практических конференциях, в том числе на 3 международных и 3 республиканских конференциях.

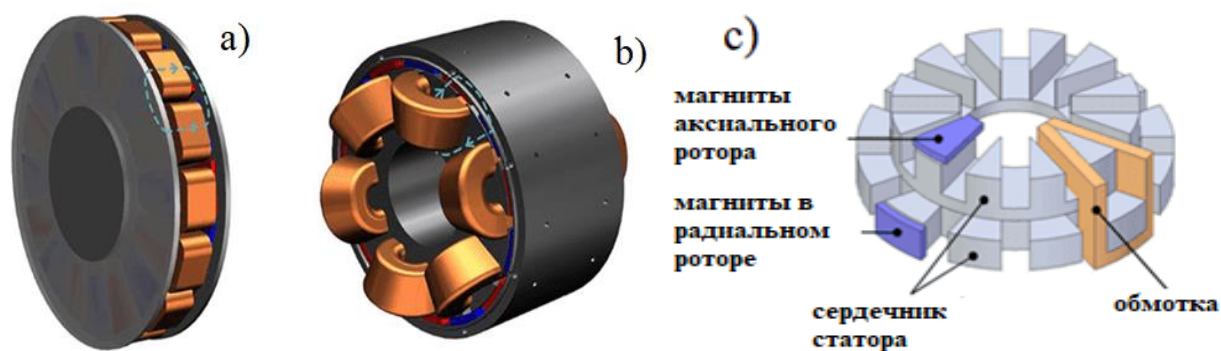
**Публикация результатов исследования.** По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе 7 научных трудов, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан для публикации основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора философии (PhD), в том числе 3 в республиканских и 4 в зарубежных журналах, получены свидетельство об авторском праве на программу для ЭВМ и патент на полезную модель (FAP 2657) Агентства по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 119 страниц.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**В введение** обоснована актуальность темы диссертации и значимость решаемой проблемы, указываются цели и задачи исследования и их соответствие приоритетным направлениям развития науки и техники республики, дается обзор зарубежных исследований по теме диссертации, описывается научная новизна и практические результаты исследования, раскрывается научно-практическая значимость полученных результатов, приводятся сведения о внедрении результатов исследования в практику, публикации научных трудов, представляется структура диссертации.

В первой главе под названием **"Значение и перспективы эффективного использования низконапорных водных и низкоскоростных ветровых потоков"** изучены проблемы, недостатки и перспективы генерации электроэнергии с использованием энергии ветра и воды в мире. Проанализированы результаты исследований, проведенных зарубежными учеными по генераторам, используемым для получения электроэнергии за счет низконапорных потоков воды и ветра малой скорости, выявлены их достижения и недостатки. Проведен анализ турбин, эффективно генерирующих механическую энергию в низконапорных потоках воды и ветра. Исследованы виды, конструктивные устройства, технико-экономические показатели, преимущества и недостатки электрогенераторов, эффективно работающих при низких скоростях вращения. Кроме того, проанализированы исследовательские работы, проведенные учеными республики по потенциалу низкоскоростных ветровых и низконапорных водных потоков в Узбекистане, и сделан вывод о возможности использования низконапорных водных и низкоскоростных ветровых потоков в регионах нашей республики.

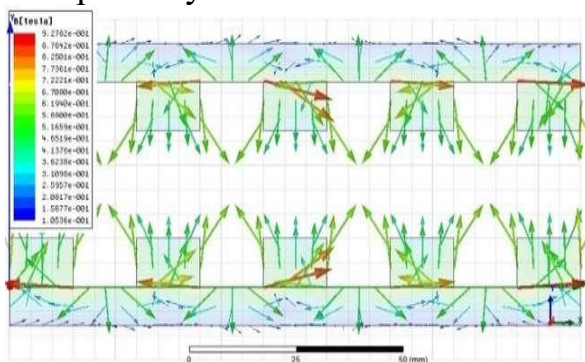


**Рис. 1. Классификация синхронных электрогенераторов по конструктивному исполнению: а) СГ с осевым потоком, б) СГ с радиальным потоком, в) СГ с аксиально-радиальным (гибридный) потоком.**

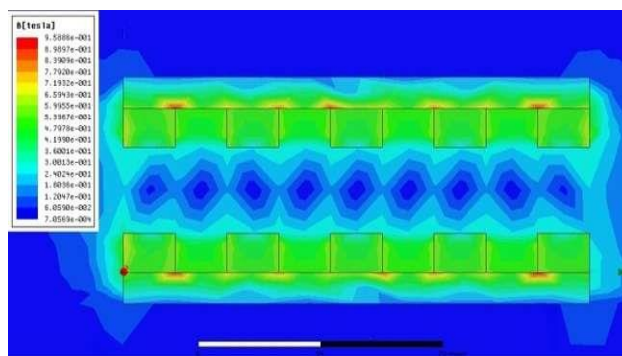
Во второй главе диссертации, под названием **"Расчет параметров электрического генератора, эффективно работающего в низкопотенциальных водных и ветровых потоках"** анализируются турбины, эффективно работающие в низконапорных водных потоках, факторы, влияющие на выработку механической энергии в них, и приводятся теоретические расчеты, определяющие выходные параметры. Изучены различные конструкции ветряных турбин, эффективно работающих на низкоскоростных ветровых потоках, их технико-экономические показатели и возможности их эффективного использования, приведены математические выражения, характеризующие возможность производства механической энергии.

Изучено значение синхронных генераторов с обмоткой возбуждения и постоянным магнитом, низкопотенциальной водной и ветровой энергии, которые широко используются в мире в настоящее время, а также приведены математические выражения, определяющие возможности производства

электроэнергии и потери, возникающие в процессе генерации. С помощью приведенных математических выражений можно определить конструктивные размеры и оценить эффективность генерации механической энергии в электрическую.



**Рис. 2. Направление вектора магнитной индукции в разрезе генератора.**



**Рис. 3. Распределение магнитной индукции в разрезе генератора.**

В исследовании использовалась программа ANSYS Maxwell, которая в настоящее время широко используется в мире при проектировании электрических машин (рис. 2,3).

С целью оценки эффективности электрического генератора, работающего при низких скоростях вращения, визуального просмотра распространения магнитной индукции, создания электродвижущей силы в воздушном зазоре и упрощения процесса проектирования, в настоящее время в мире широко используется программа ANSYS Maxwell при проектировании электрических машин (рис. 2,3). На рис. 3 приведено распределение магнитной индукции в разрезе генератора. Здесь поверхности, заданные красным цветом, считаются наиболее плотно заряженными магнитной индукцией, а поверхности, заданные синим цветом, имеют наименьшее значение. Построение компьютерной модели позволило оценить возможности повышения производительности многополюсного электрогенератора мощностью 500 Вт и визуально увидеть ошибки проектирования.

В третьей главе под названием **"Совершенствование конструкции электрогенератора, эффективно работающего в низкоскоростных потоках энергии"** приведены теоретические основы оценки эффективности использования электрогенератора с ротором и статором, вращающимися в противоположных направлениях в низкопотенциальных водных и ветровых потоках.

В настоящее время при оценке номинальной скорости электрогенераторов  $\omega$  скорость поле статора выражается положительным знаком, если статор вращается по направлению вращения ротора.

Если направление вращения статора противоположно направлению вращения ротора, то скорость статора обозначается знаком минус. Тогда уравнение примет следующий вид:

$$\omega_{\text{ном}} = \omega_{\text{ротор}} - (-\omega_{\text{статор}}) = \omega_{\text{ротор}} + \omega_{\text{статор}} = 2 \cdot \omega_{\text{ротор}}; \quad (1)$$

Для стандартных генераторов принято, что скорости вращения равны при движении ротора и статора навстречу друг другу. Однако на практике, из-за различий в форме и массе генераторов, были обнаружены несоответствия в их скоростях вращения. По этой причине были выявлены ошибки между теоретическими и фактическими значениями выходного напряжения в электрических генераторах с вращающимися друг против друга ротором и статором.

Для более точной оценки выходного напряжения был определен  $K_{ном}$  – коэффициент приведения к номинальной скорости. Этот показатель на основе проведенных экспериментов определялся средним значением отношения выходного напряжения при вращении ротора и статора электрического генератора в противоположных направлениях к напряжению, возникающему при вращении ротора генератора в первом случае  $K_{ном1}$  и статора во втором случае  $K_{ном2}$ .

Коэффициент ускорения определяется следующим образом:

$$K_{ном1} = \frac{U_{с.р.пп.}}{U_p}; (2) \quad K_{ном2} = \frac{U_{с.р.пп.}}{U_c} \quad (3)$$

**Таблица 1.**

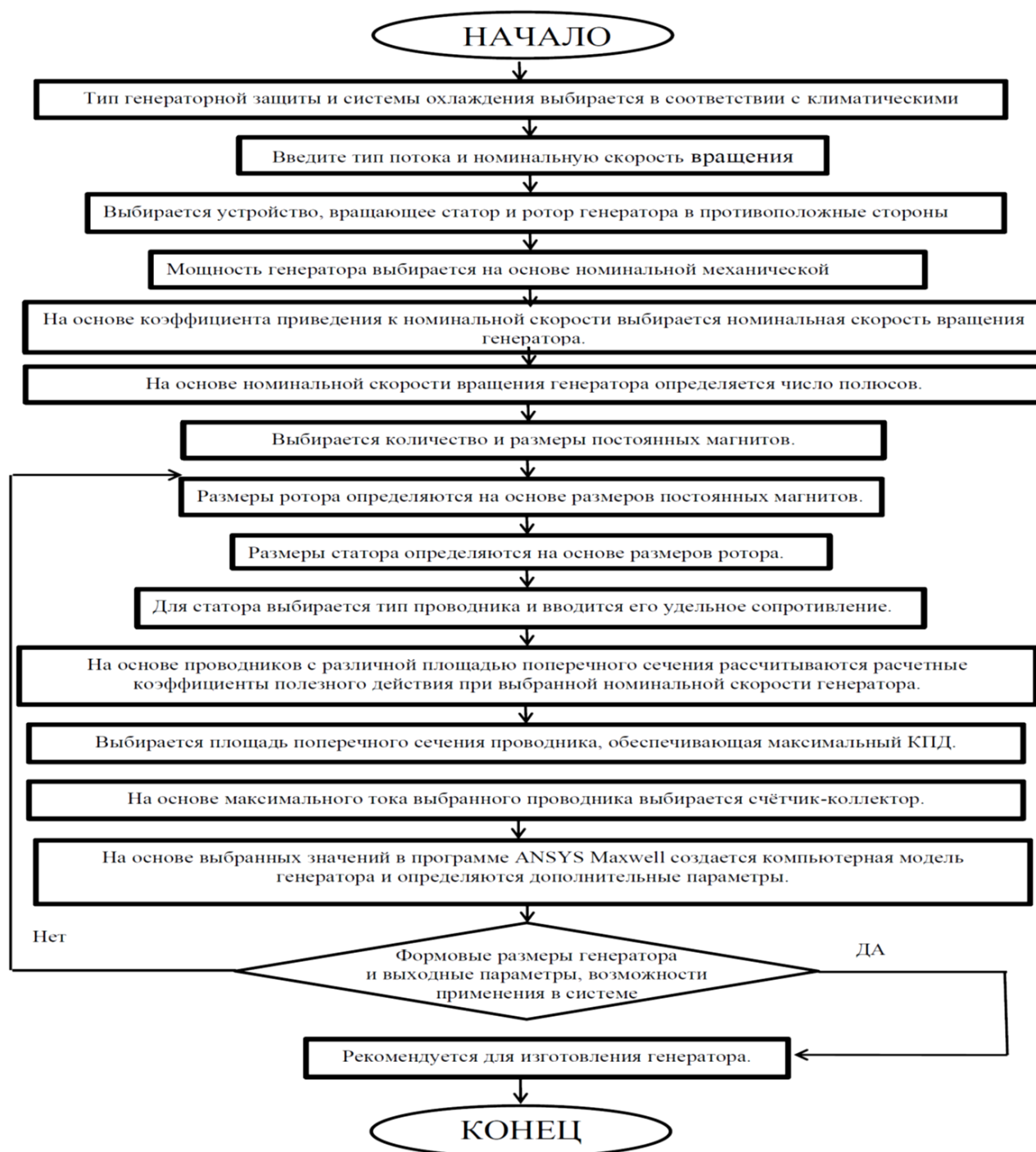
**Значения коэффициента ускорения к номинальной скорости при различных частотах вращения**

Скорости вращения	89	126	152	201	250
Отношение выходного напряжения при вращении ротора и статора в противоположных направлениях к напряжению, создаваемому при вращении только ротора ( $K_{ном1}$ )	1.93	1.95	1.92	1.94	1.93
$K_{ном1.срд}$ – $K_{ном1}$ среднее значение	1.93				
Отношение выходного напряжения при вращении ротора и статора в противоположных направлениях к напряжению, создаваемому при вращении только статора ( $K_{ном2}$ )	2.214	2.15	2.25	2.05 8	2.02 3
$K_{ном2.срд}$ – $K_{ном2}$ среднее значение	2.13				

Номинальная частота вращения при вращении ротора и статора в противоположных направлениях электрогенератора:

$$\omega_n = K_{ном1.срд} \cdot \omega_{н.ротор}, \quad \omega_n = K_{ном2.срд} \cdot \omega_{н.статор} \quad (4)$$

Чтобы создать выходное напряжение при вращении ротора и статора генератора в противоположных направлениях, сам ротор должен вращаться в 1,93 раза быстрее, а статор должен вращаться в 2,13 раза быстрее.

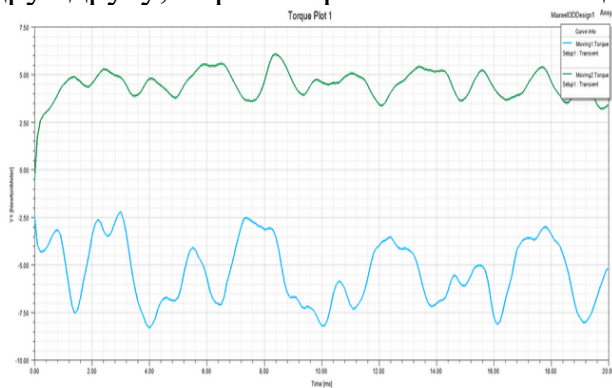


**Рис. 4. Алгоритм определения конструктивных размеров для эффективного использования встречно-вращающихся генераторов на микроГЭС и ВЭУ**

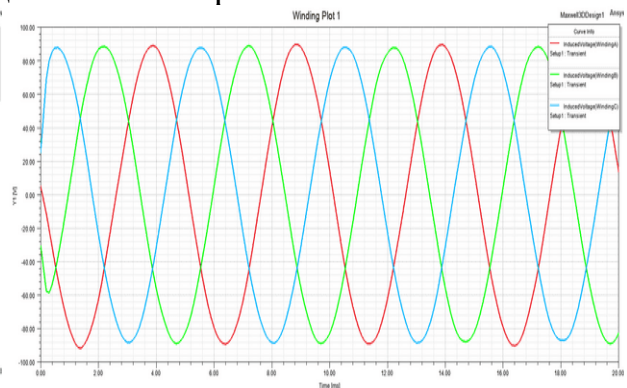
Теоретические исследования обусловили необходимость исследования электрических генераторов постоянного магнита с низкими скоростями вращения для повышения производительности производства электроэнергии в низкопотенциальных ветровых и водных потоках. При проектировании электрического генератора малой скорости вращения резкое увеличение числа полюсов приводит к увеличению диаметра генератора и тем самым к увеличению момента инерции. Поэтому сделан вывод, что для снижения номинальной скорости вращения электрического генератора, спроектированного на основе эффективного числа полюсов, в 2 раза

обеспечивается противоположное движение статора и ротора электрического генератора. С целью оценки технико-экономических показателей путем изменения формы, расположения и типа материалов деталей, используемых при производстве генераторов, были проведены работы по проектированию и моделированию в Ansys Electronics Desktop 2022, относительно новой версии программы Ansys Maxwell. Изменены типы материалов и конструктивная структура (аксиальный и радиальный потоки) статора и ротора, созданы 22 компьютерные модели.

На рисунках 5,6 приведены значения момента на статоре и роторе, электродвижущей силы, возникающей в генераторе аксиальных электрических генераторов, ротор и статор которых вращаются навстречу друг другу, спроектированных в исследовательской работе.

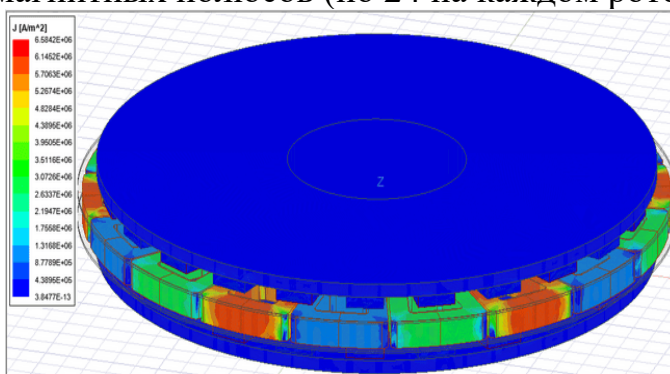


**Рис. 5. Крутящие моменты в статоре и роторе двухроторного электрогенератора со статором из сплошной резины.**

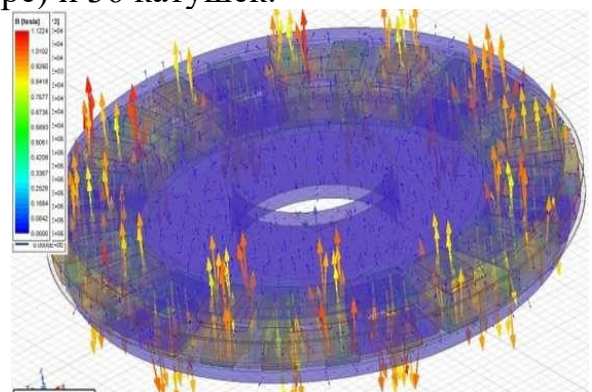


**Рис. 6. Генерация электродвижущей силы в однороторном электрогенераторе со статором из твердой резины.**

На следующем этапе исследований в программе Ansys Electronics Desktop был спроектирован аксиальный генератор с двумя роторами, состоящий из 48 магнитных полюсов (по 24 на каждом роторе) и 36 катушек.



**Рис. 7. Плотность индукции тока в статоре двухроторного электрогенератора со статором из твердой резины**



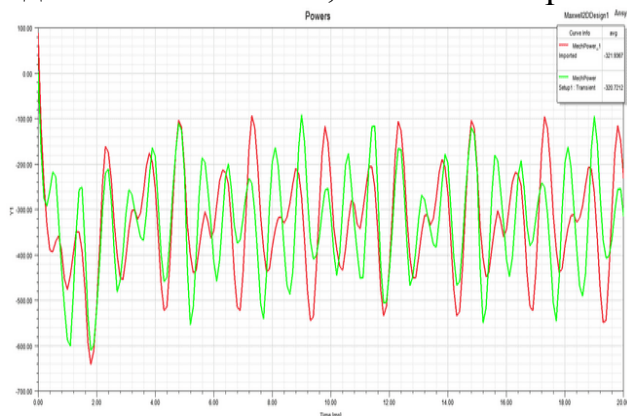
**Рис. 8. Вид векторов магнитной силы в статоре двухроторного электрогенератора со статором из сплошной резины**

Было проанализировано, правильно ли выполнено проектирование электрогенератора. На рис. 7-8 видно, что векторы магнитной индукции в

электрическом генераторе направлены относительно статора и плотность тока в обмотке статора распределена правильно (рис. 7).

Электрогенераторы с аксиальным потоком относительно новые конструкции, и в настоящее время широко распространено использование и производство электрогенераторов с радиальным потоком. С целью оценки технико-экономических показателей электрических генераторов радиального тока и аксиального тока на следующем этапе исследований были проведены исследования по проектированию электрических генераторов радиального тока. Синхронный генератор с радиальной осью, состоящий из постоянных магнитов, также был выбран с 36 обмотками с 48 магнитными полюсами, таким же типом проводника и площадью поперечного сечения, числом витков, как и в электрическом генераторе с аксиальной осью.

Учитывая, что предварительные результаты в спроектированной модели близки к выходным параметрам электрогенераторов, производимых в промышленности, можно сделать вывод, что генератор спроектирован правильно. Например, было обнаружено, что выходное напряжение электрического генератора с ротором и статором, вращающимися со скоростью 250 об/мин в компьютерной модели, равно выходному напряжению электрического генератора, вращающегося только со скоростью 500 об/мин в промышленности. На рисунках 9, 10 приведены графические представления некоторых значений, полученных с помощью компьютерных моделей вращающихся моментов ротора и статора электрического генератора с радиальным потоком, а также потерь мощности.

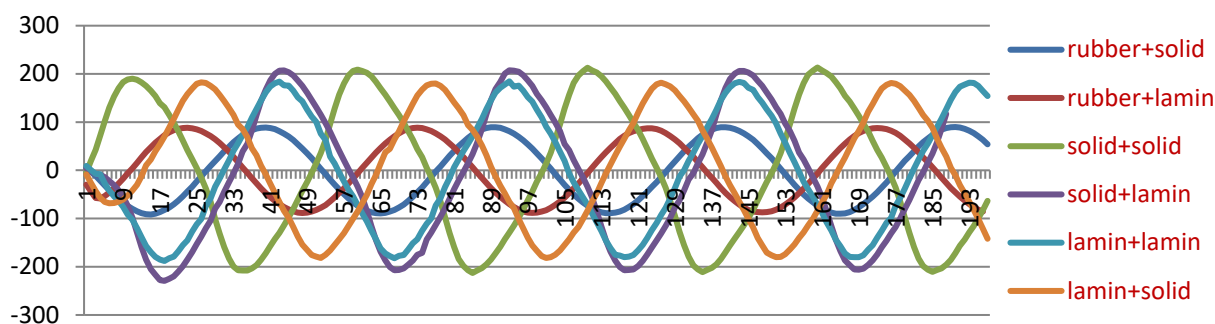


**Рис. 9. Механическая мощность, потребляемая для вращения статора и ротора генератора**



**Рис. 10. Потери в двухроторном электрогенераторе со статором из твердой резины**

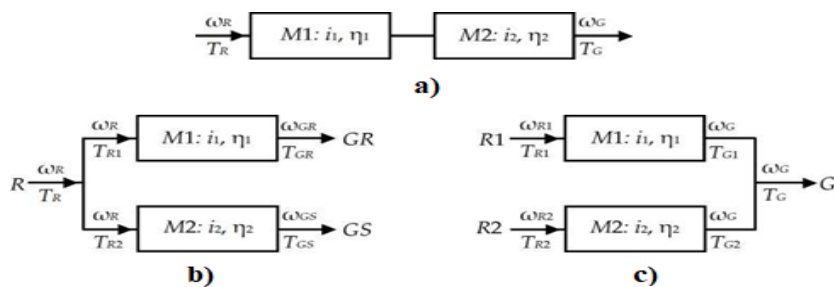
В исследованиях, проведенных на компьютерной модели однороторных электрических генераторов с аксиальным потоком, магнитным сердечником, собранным из различных материалов, в программе Ansys Electronics Desktop 2022, сравнивались электродвижущие силы (рис. 11). Чтобы линии, представляющие показатели на графике, не совпадали друг с другом, были выбраны значения в разных фазах.



**Рис. 11. Результаты компьютерной модели однороторных аксиальных электрических генераторов с различными магнитными сердечниками в программе Ansys Electronics Desktop.**

В электрогенераторах с монолитным стальным сердечником значение ЭДС в двухроторной конструкции на 46% ниже, чем в однороторной. В генераторах, где сердечник статора состоит из прессованных тонких стальных пластин, ЭДС с двумя роторами на 48% ниже, чем с одним ротором. Максимальное значение в конструкции с радиальным потоком на 7,2% больше максимального значения ЭДС в однороторной конструкции с аксиальным потоком. Из-за относительно высокого значения ЭДС в генераторах, состоящих из статора со стальной основой, последующие исследования были продолжены именно в этих конструкциях.

На основе анализа механических систем параллельной и последовательной передачи мощности доказано, что параллельные системы передачи эффективнее последовательных. Такую же систему можно применять для двух вращающихся противоположно друг другу ветровых и гидротурбин или для ветровых и гидротурбин, передающих мощность вращающемуся противоположно электрическому генератору. Для передачи мощности генератору была выбрана система, состоящая из двух механизмов, обеспечивающая последовательную передачу с моментом  $M1$  и  $M2$  (рис. 12, а), или система, имеющая при параллельной передаче от одной турбины ( $R$ ) электрический генератор с двумя противоположно вращающимися механизмами ( $GR$  и  $GS$ ) (рис. 12, б), а также от двух противоположно вращающихся турбин ( $R1$  и  $R2$ ) стандартный электрический генератор ( $G$ ) (или генератор с вращением ротора( $GR$ ))



**Рис.12. Последовательная и параллельная схемы передачи мощности механизмов с 1 степенью свободы**

и вращением статора ( $GS$ ), вращающиеся противоположно друг другу (рис. 12, с). Здесь кинематические отношения  $i_1$  и  $i_2$  также  $\eta_1$  и  $\eta_2$

характеризуются эффективностью механизмов. На каждом валу  $x$  передается движение с угловой скоростью  $\omega_x$  и моментом  $T_x$ .

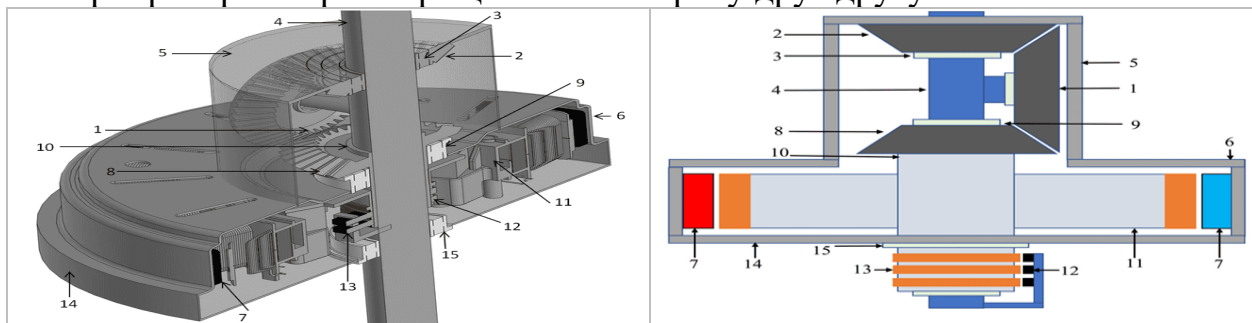
Зная, что моменты, передаваемые от турбины к движущемуся статору или ротору электрического генератора, равны, но противоположны знаку ( $T_{GS} = -T_{GR}$ ), если принять момент  $T_G = T_{GR}$  и механическую мощность, передаваемую электрическому генератору, равную  $T_G \cdot \omega_G$ :

Для случая **в** эффективность передачи может быть рассчитана следующим образом:

$$\eta_B = \frac{-P_G}{P_R} = \frac{-T_G \cdot \omega_G}{T_R \cdot \omega_R} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \frac{i_2 - i_1}{i_1 \eta_1 - i_2 \eta_2} \quad (5)$$

В виде общего вывода, на основании приведенных уравнений и выводов исследований, проведенных зарубежными учеными, было подтверждено, что параллельная передача мощности имеет более высокую эффективность, чем последовательная передача.

В настоящее время во многих существующих стандартных турбинах возможности применения электрического генератора с вращающимися друг против друга ротором и статором ограничены. То есть для применения такого генератора требуется 2 турбины. Кроме того, поскольку ротор и статор питаются от отдельных источников, скорости вращения имеют разные значения независимо друг от друга. Поэтому была разработана специальная конструкция для обеспечения одинаковой скорости вращения статора и ротора электрического генератора в противоположных направлениях. Специальная конструкция соединяется со стандартным электрическим генератором радиального тока, создавая электрический генератор, вращающийся навстречу друг другу. Электрогенератор используется для производства электроэнергии с эффективным использованием низкоскоростных потоков ветра и воды. Многополярность генератора и возможность вращения статора и ротора в противоположных направлениях резко снижают потребность в редукторах, используемых на ветряных и гидроэлектростанциях. Уменьшение количества редукторов в системе служит снижению капитальных и годовых затрат на обслуживание. На рис. 13 приведен вид разреза электрического генератора, статор и ротор которого вращаются навстречу друг другу.

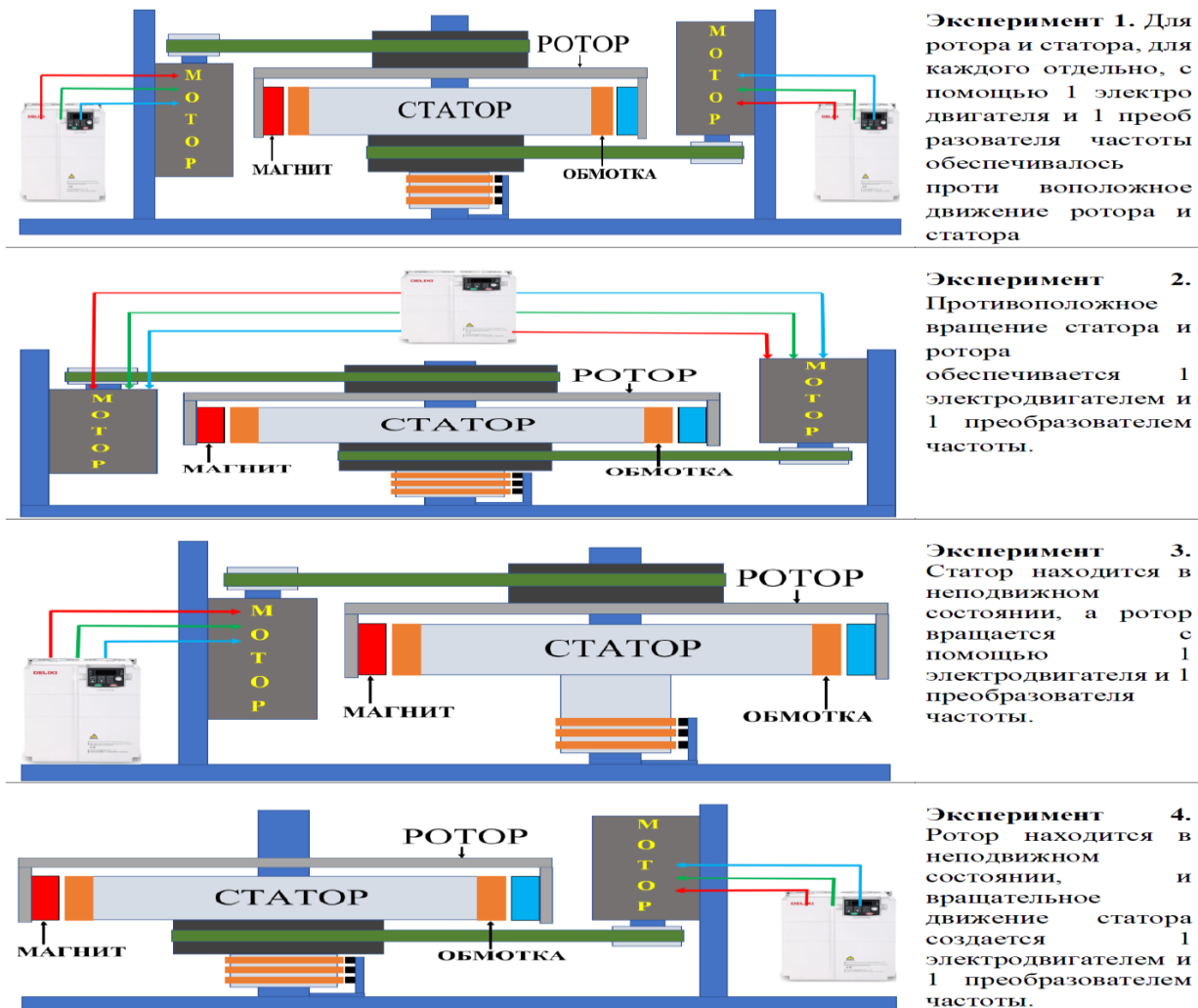


**Рисунок 13 а Трехмерный вид устройства при выполнении разреза**

**Рисунок 13 б. Электрогенератор (с покрытием) Б) вид спереди при выполнении разреза**

Механическая энергия, генерируемая потоком ветра или воды через турбину, передается на зубчатое колесо (2) в верхней части электрического генератора. Электрогенератор соединяется с ротором (6) через покрытие (5) с зубчатым колесом (2), вращающимся в направлении турбины в верхней части. В результате ротор (6), в котором расположены постоянные магниты обратной полярности (7), движется в направлении турбины. Зубчатое колесо (1), расположенное на валу (4), передает вращательное движение, передаваемое от зубчатого колеса (2), на зубчатое колесо (8), вращая его в обратном направлении. Зубчатое колесо (8) соединено с статором (11) через втулку (10) и движется против движения турбины. Для обеспечения вращательного движения используются подшипники (3, 9, 15). Электрическая мощность в статоре передается потребителю через щетку (12) и коллектор (13) (рис. 13).

В четвертой главе диссертации под названием «**Экспериментальные исследования усовершенствованного электрогенератора с радиальным и аксиальным потоком**» представлены результаты экспериментальных исследований. На основании выводов главы 3 диссертации были проведены анализы при перемещении ротора и статора радиальных и аксиальных электрогенераторов в противоположных направлениях (рис. 14).



**Рис. 14. Схема экспериментов, проведенных на синхронном генераторе с радиальной осью.**

Целью проведенных исследований было определить, какой тип генератора производит относительно большую мощность, то есть определить плотность мощности. Кроме того, состоит в анализе возникновения напряжения и частоты при вращении статора и ротора в одну сторону и ротора и статора в противоположную сторону.



**Рис. 15. Процесс экспериментов, проведенных на генераторе с радиальной осью, вращающимся с противоположным вращением ротора и статора.**

Выбранный электрогенератор имеет массу статора на 16,3% больше, а диаметр ротора на 9% больше. Из-за неравных масс и различий в диаметре моменты вращения и инерции различны.

Анализ результатов эксперимента показал, что, несмотря на большой диаметр ротора, масса статора оказалась на 13% больше, поэтому мощность, потребляемая статором, была на 28% больше при малых скоростях вращения и на 12-13% больше при больших скоростях вращения (близких к номинальным). Из результатов эксперимента можно сделать вывод, что при необходимости обеспечения одинаковых скоростей вращения статора и ротора в процессе преобразования механической энергии в электрическую необходимо выбирать турбину с большей рабочей поверхностью статора. Чтобы определить, на сколько процентов выбрать турбину с большей рабочей поверхностью, введем показатель, называемый  $K_{\text{коп}}$  – коэффициент отношения площадей турбин. Данный коэффициент целесообразен при высоких скоростях, т.е. скоростях, близких к номинальной скорости генератора. Так как низкие скорости вращения требуют больших затрат энергии для запуска генератора из состояния покоя.

$$K_{\text{коп}} = \frac{A_c}{A_p}; \quad (6)$$

здесь:  $A_c$ - поверхность турбины, приводящая в движение статор;  $A_p$ - поверхность турбины, приводящая в движение ротор.

Для более наглядного обоснования разницы между поверхностями в диссертации введен показатель, называемый  $K_{1В}$  – удельный коэффициент создания напряжения. Этот коэффициент особенно важен на низких скоростях. Из-за низкой скорости вращения для запуска генератора из состояния покоя потребляется много механической энергии.

Для определения коэффициента отношения площадей турбины при выборе турбин, устанавливаемых отдельно на статор и ротор, через удельный коэффициент создания напряжения ( $K_{1В}$ ):

1. Вращая только статор генератора, определяли мощность, потребляемую для выработки 1 В напряжения ( $P_{1В.ст}$ );

2. Вращая только ротор генератора, определяли мощность, потребляемую для выработки 1 В напряжения ( $P_{1В.рт}$ );

На следующем этапе определено отношение мощности ( $P_{1В.ст}$ ), затраченной на выработку напряжения 1 В при вращении статора генератора, к мощности ( $P_{1В.рт}$ ), затраченной на выработку напряжения 1 В при вращении ротора генератора ( $K_{1В}$ ) при различных скоростях. Найдено среднее значение приведенных результатов ( $K_{1В.ср}$ ).

Удельный коэффициент создания напряжения ( $K_{1В}$ ) и его среднее значение ( $K_{1В.ср}$ ) определяются следующим образом:

$$K_{1В} = \frac{P_{1В.ст}}{P_{1В.рт}}; \quad K_{1В.ср} = \frac{\sum_1^n K_{1В}}{n} \quad (7)$$

#### Определение $K_{1В}$ в электрогенераторе с радиальной осью.

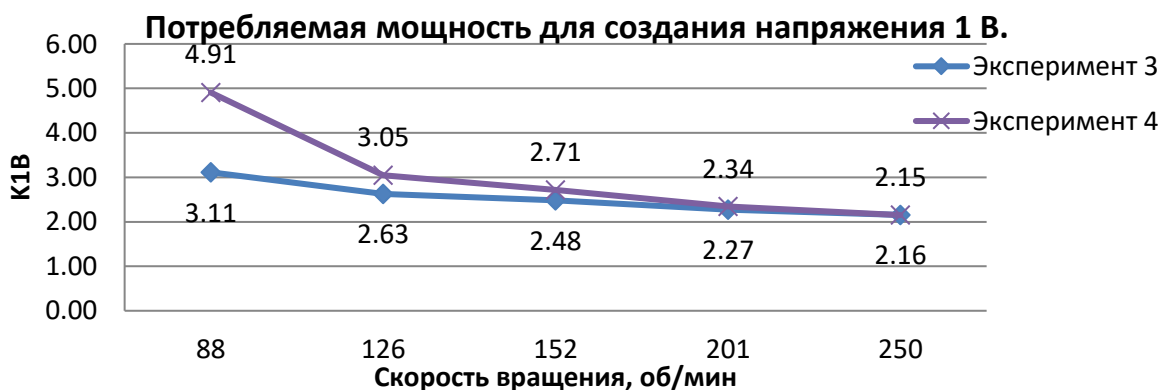


Рис. 16. Сравнение мощностей, затраченных на создание напряжения 1 В в экспериментах 3 и 4 на основе генератора с радиальной осью.

Таблица 2.

Приведены удельный коэффициент создания напряжения при различных скоростях вращения и его среднее значение.

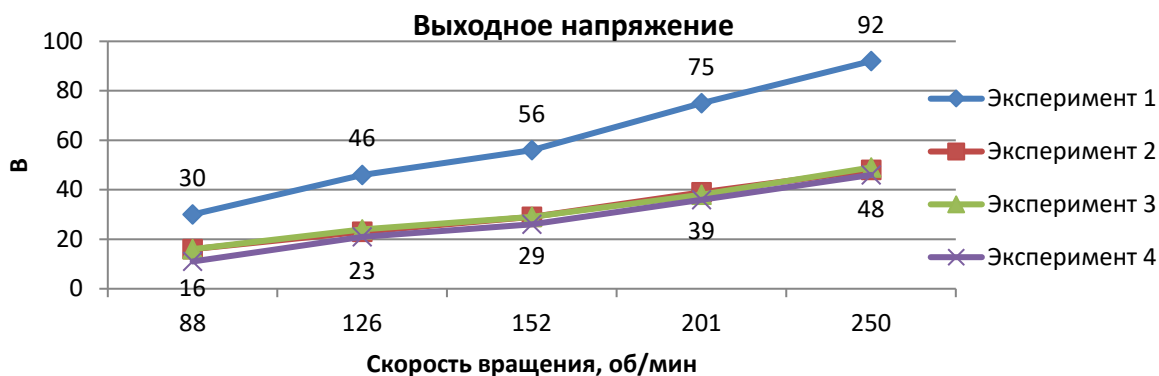
Скорость вращения (об/мин)	88	126	152	201	250
$K_{1В} = (P_{1В.ст}) / (P_{1В.рт})$	1.57	1.15	1.094	1.031	0,99
$K_{1В.ср}$	1.17				

$$K_{коп} = \frac{A_c}{A_p} = \frac{m_c}{m_p} = \frac{4.81}{4.135} = 1.163 \approx K_{1В.ср} \quad (8)$$

Результаты экспериментов показывают, что для обеспечения равномерности скоростей вращения турбины при противоположном движении ротора и статора радиального электрогенератора получено соотношение масс статора и ротора радиального электрогенератора. Было определено, что площадь поверхности турбины, используемая для статора,

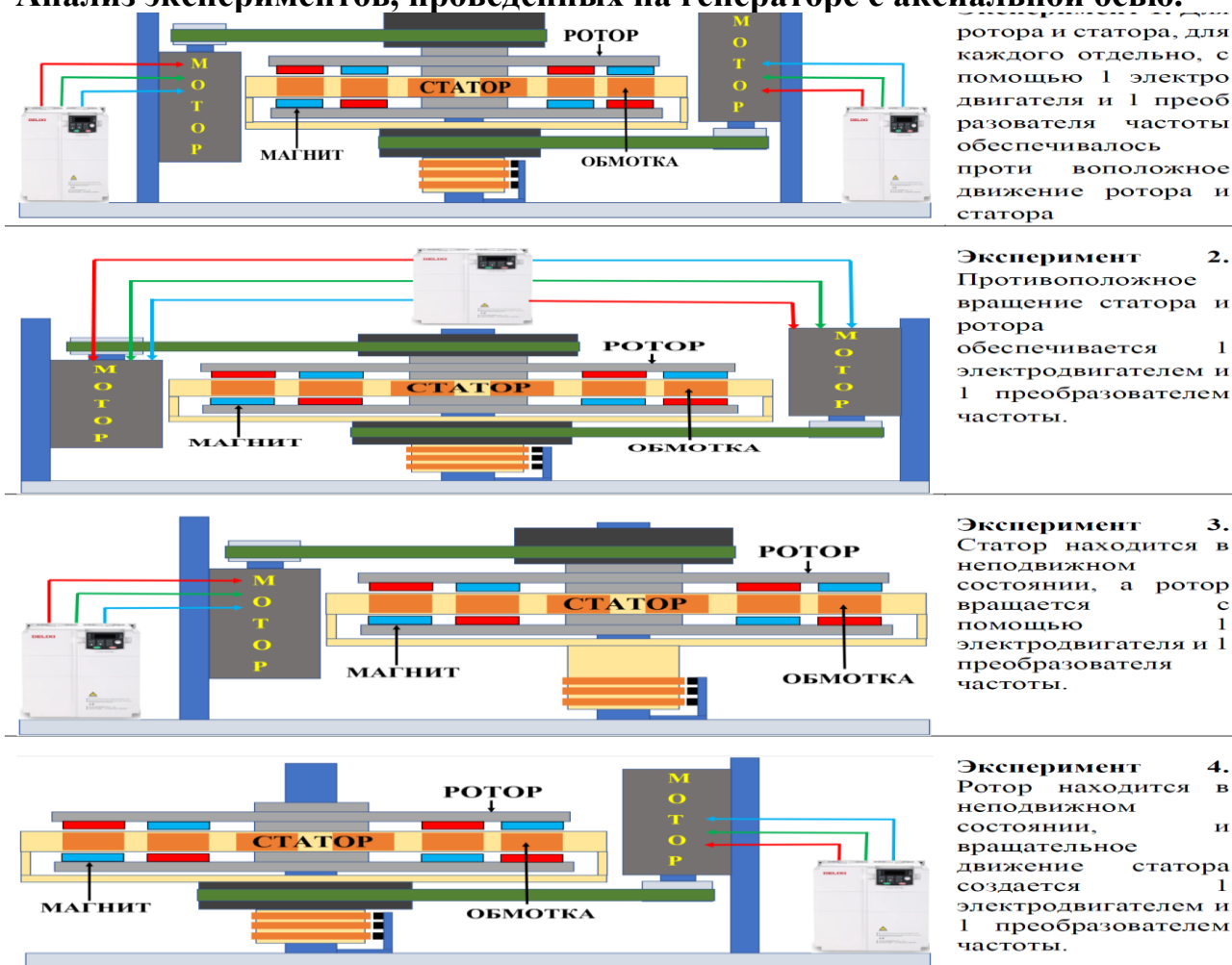
должна составлять 16,3% от площади поверхности турбины, используемой для ротора.

На основании экспериментов, проведенных на электрическом генераторе с радиальной осью, видно, что выходное напряжение в генераторе было высоким в первом эксперименте. Однако, учитывая, что эксперимент 1 потреблял большую мощность, можно сделать вывод, что использование этой конструкции эффективно при очень низких потоках ветра и воды.



**Рис. 17. Сравнение выходного напряжения в проведенных экспериментах.**

**Анализ экспериментов, проведенных на генераторе с аксиальной осью.**

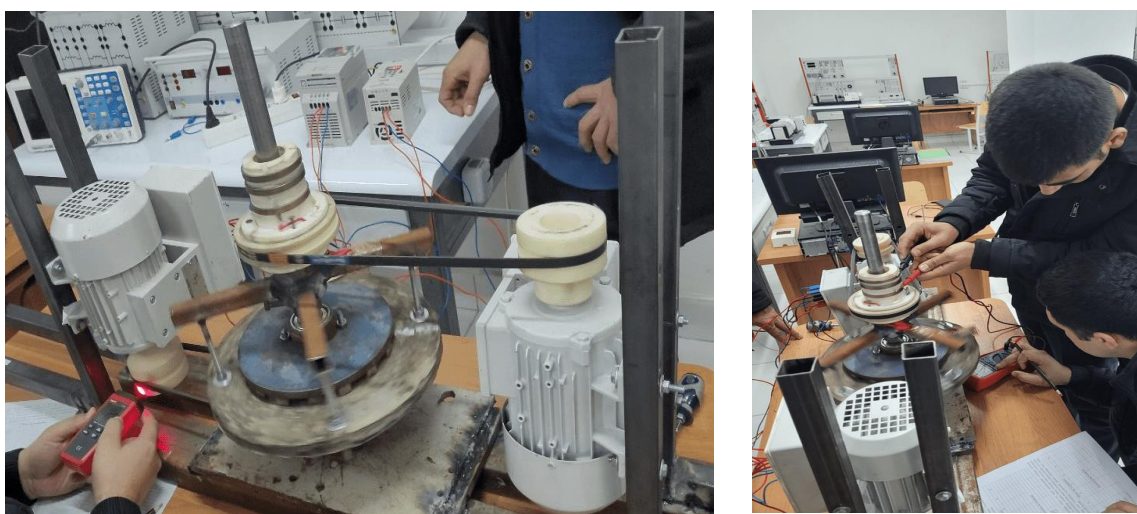


**Рис. 18. Схема экспериментов, проведенных на синхронном генераторе с аксиальной осью.**

На следующем этапе исследований представлены результаты экспериментов, проведенных на аксиальном электрогенераторе. Перед проведением экспериментов были определены исходные данные генератора осевого потока.

Масса ротора выбранного электрогенератора на 65% больше массы статора, а диаметр статора на 56,4% больше диаметра ротора. Поскольку массы не равны, а моменты вращения и инерции различаются из-за разницы в диаметре, силы, необходимые для их вращения, также различаются.

На основании анализа результатов эксперимента установлено, что, несмотря на то, что масса ротора была на 65% больше, за счет большего диаметра статора мощность, потребляемая статором, была на 42% больше при низких скоростях вращения и на 33% больше при высоких скоростях вращения (при скоростях, близких к номинальной).



**Рис. 19. Экспериментов, проводимых на аксиальном генераторе с ротором и статором, вращающимися в противоположных направлениях**

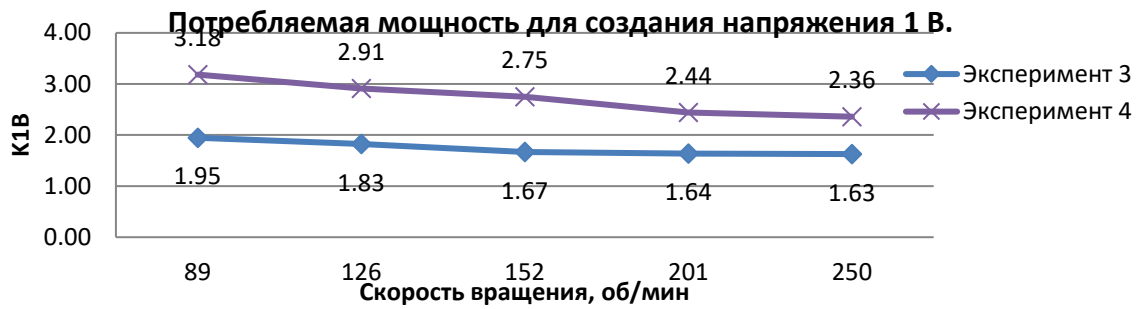
Если необходимо обеспечить одинаковость скоростей вращения статора и ротора в процессе преобразования механической энергии в электрическую, необходимо выбирать турбину с большей рабочей поверхностью статора.

**Определение  $K_{1B}$  в электрогенераторе с аксиальной осью.**

**Таблица 3.**

**Приведены удельный коэффициент создания напряжения при различных скоростях вращения и его среднее значение**

Скорость вращения, об/мин	88	126	152	201	250
$K_{1B} = (P_{1B.ст}) / (P_{1B.рт})$	1.63	1.59	1.64	1.49	1.44
$K_{1B.ср}$	1.563				

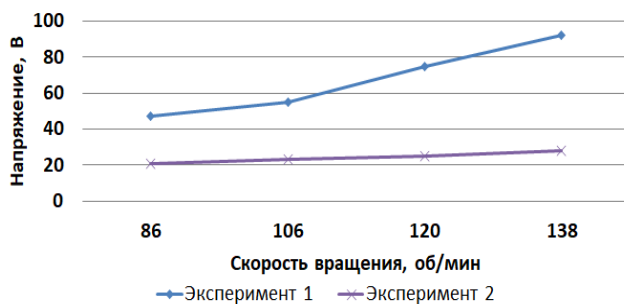


**Рис. 20.** Сравнение мощностей, затраченных на создание напряжения 1 В в экспериментах 3 и 4 на основе генератора с аксиальной осью.

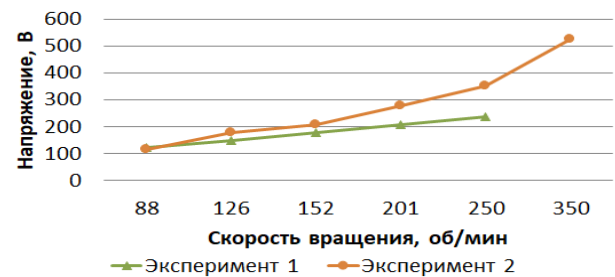
$$K_{\text{коп}} = \frac{D_{\text{ст}}}{D_{\text{рт}}} = \frac{0.316}{0.202} = 1.564 \approx K_{1В.ср} \quad (9)$$

Результаты эксперимента показали, что при вращении аксиально-осевого генератора, ротора и статора в противоположных направлениях, для обеспечения равномерности скоростей турбин, было получено соотношение диаметров статора и ротора аксиально-поточного генератора, и было определено, что площадь поверхности турбины, используемой для статора, должна быть на 56,4% больше площади поверхности турбины, используемой для ротора.

В эксперименте 1 предполагается, что статор и ротор электрогенератора питаются от двух независимых источников механической энергии. В эксперименте 2, если механическая энергия подается из одного источника, ротор и статор распределяются как два независимых источника (рис. 23).



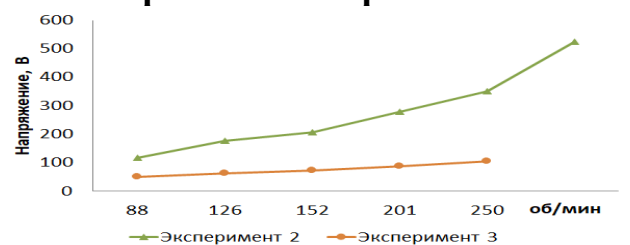
**Рис. 21.** Сравнение выходных напряжений в первом и третьем экспериментах



**Рис. 22.** Сравнение энергопотребления в первом и третьем экспериментах



**Рис. 23.** Сравнение выходных напряжений во втором и третьем экспериментах



**Рис. 24.** Сравнение энергопотребления во втором и третьем экспериментах

На основании проведенных экспериментальных опытов можно использовать генераторы с противоположными вращающимися ротором и

статором аксиальными осями в двухтурбинных энергосистемах, но для обеспечения одинаковой скорости вращения генератора рабочая поверхность турбин, используемых для статора и ротора, должна отличаться друг от друга.

Результаты экспериментов показали, что для обеспечения равномерности скоростей турбин при движении ротора и статора радиально-осевого генератора в противоположных направлениях получено соотношение масс статора и ротора для радиально-осевого электрического генератора, а площадь поверхности турбины, используемой для статора, должна быть на 16,3% больше рабочей поверхности турбины, используемой для ротора. Для генераторов с аксиальной осью было определено, что площадь турбины, выбранной для статора, должна быть больше на 56,4% по отношению диаметров ротора и статора.

Определена относительная погрешность значений, определенных с помощью экспериментальных результатов и математических выражений.

Среднее значение относительной погрешности определялось следующим образом:

$$X_n = \frac{|N_n - N_{o'}|}{N_{o'}}; \quad (10)$$

где:  $N_n$  – теоретические результаты,  $N_{o'}$  – результаты измерений.

Среднее значение относительной погрешности определялось следующим образом:

$$X_{o'} = \frac{\sum_1^n X_n}{n} \quad (11)$$

На основании данных уравнений был проведен анализ результатов и установлено, что средняя относительная погрешность составила 4,7%. Кроме того, была оценена надежность значений для подтверждения экспериментальных результатов. При оценке достоверности значений адекватность определялась на основе критерия Фишера.

При расчете критического значения уровень значимости рассчитывался при  $\alpha=0,04$ ,  $m=3$ ,  $n=3$ . На основании результатов расчета  $F_{\text{расч}} = 108.7390109$ ,  $F_{\text{крит}} = 5.304839794$  и на выбранном уровне значимости (уровень доверительной вероятности 96%) рассчитанные значения оказались адекватными.

В целях облегчения оценки выходного напряжения при внедрении усовершенствованного электрогенератора в водо-и ветровых потоках низкого давления разработана эмпирическая формула для расчета выходных параметров электрогенератора:

$$U'' = \int (-0.00035\omega + 0.4508)d\omega = -0.000175\omega^2 + 0.4508\omega + c$$
$$U'' = -0.000175\omega^2 + 0.4508\omega - 8,3404 \quad (12)$$

При оценке технико-экономических показателей определено, что в течение 2023 года количество часов с ветром скоростью более 3 м/с и менее 5 м/с составит 3549 часов. При внедрении устройства в стандартный

электрогенератор в ВЭУ установлено, что затраты окупятся за 3,9 года (Уравнение 14)

Уравнение расчета срока окупаемости

$$PP = \frac{E_0}{E_f} = \frac{500000}{128363} = 3.89 \text{ год} \quad (13)$$

При расчете экономической эффективности выработки электроэнергии с использованием потока воды было принято решение о внедрении предлагаемого устройства в генератор микрогидроэлектростанции. Внедрение устройства в микрогидрогенератор позволяет получать энергию даже при скоростях потока воды 0,5-1 м/с.

Установлено, что предлагаемое устройство при внедрении в стандартный электрогенератор микрогидроэлектростанции мощностью 100 кВт окупится за 1 год (уравнение 15).

Уравнение расчета срока окупаемости

$$PP = \frac{E_0}{E_f} = \frac{50}{52.7} = 0.948 \text{ год} \quad (14)$$

Короткий срок окупаемости при внедрении предлагаемого устройства на микроГЭС объясняется непрерывностью расхода воды в выбранном водораспределительном сооружении (течение наблюдается на 326-е сутки) и возможностью получения сравнительно большой мощности от расхода воды.

Исследования проводились на территории фермерских хозяйств «Янгибой Очил Галлакор» и «Кумуш Тола Пахтакор» Каракульского района Бухарской области. На фермах имеется система капельного орошения и потребление электроэнергии для бытовых нужд.

Для обеспечения электроэнергией бытовых потребителей была выбрана ветряная электростанция мощностью 20 кВт, и было определено, что станция будет вырабатывать 12 336,98 кВт·ч электроэнергии на ферму в год, что превышает мощность стандартного генератора. Использование двигателя внутреннего сгорания для производства этой энергии приведет к потребности в 3,21 тонны дизельного топлива на ферму в год. Внедрив ветроэлектростанцию, мы сможем сэкономить 81 млн сумов на расходах на топливо и предотвратить выбросы 21,62 тонны углекислого газа в год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований по совершенствованию конструкции электрогенератора, эффективно работающего в низкоскоростных потоках энергии, можно сделать следующие выводы:

1. Обосновано, что при генерации электроэнергии с использованием низконапорных и низкоскоростных ветровых потоков более эффективно использовать многополюсные электрические генераторы с вращающимися в противоположных направлениях ротором и статором.

2. Разработан алгоритм проектирования с определением оптимальных конструктивных размеров многополюсного электрогенератора с противовращающейся ротором и статором, обеспечивающий более эффективной работы в условиях слабонапорных водных и ветровых потоков;

3. Получены математические формулы, определяющие выходного напряжения и КПД многополюсного электрогенератора с противовращающейся ротором и статором по конструктивным параметрам электрогенератора и турбины, а также по результатам экспериментальных исследований получена эмпирическая формула для расчета выходных параметров электрогенератора.

4. Разработано регулирующее устройство, обеспечивающее вращения с одинаковой скоростью встречно вращающихся ротора и статора при преобразование механической энергии в электрическую энергию генератора, вырабатываемой в стандартных водяных и ветровых турбинах, (FAP 2657);

5. Определены оптимальные конструктивные размеры турбин приводящих в движение генератора с противовращающимся ротором и статором, в котором оптимальное соотношение поверхностей статора и ротора турбины, обеспечивающее оптимальную работу генератора составило, в генераторах с радиальным потоком  $S_{т.ст}/S_{т.рт}=1,16$  и в генераторах с аксиальным потоком  $S_{т.ст}/S_{т.рт}=1,56$ .

6. Определено, что в аксиально-осевых электрогенераторах, несмотря на то, что масса ротора на 65% больше массы статора, из-за большого диаметра статора, при малых скоростях вращения мощность на статор расходуется на 42%, а при больших скоростях (близких к номинальной скорости) на 33% больше.

7. Определено, что усовершенствованный электрогенератор может производить дополнительную электроэнергию 142,63 кВт·ч при скоростях ветрового потока 3 м/с-5 м/с через ВЭУ мощностью 20 кВт и 58548,57 кВт·ч при скоростях воды 0,5-1 м/с на микроГЭС мощностью 100 кВт.

8. Разработан  $K_{коп}$  – коэффициент отношения площадей для обеспечения одинаковой скорости вращения статора и ротора в процессе генерации электроэнергии, выбора эффективной поверхности турбин для статора и ротора;

9. Определено, что при использовании этого устройства в качестве двигателя внутреннего сгорания, внедренного на территориях фермерских хозяйств "Янгибой очил ғаллакор" и "Кумуш тола пахтакор" на основе усовершенствованного генератора, можно предотвратить выбросы в атмосферу 21,62 т CO<sub>2</sub> в год и общие затраты на топливо в размере 81 млн. сумов (3,21 т дизельного топлива на каждое фермерское хозяйство).

**SCIENTIFIC COUNCIL PhD.03/27.09.2024.T.101.05 FOR AWARDING  
ACADEMIC DEGREES AT THE BUKHARA ENGINEERING AND  
TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

---

**BUKHARA STATE TECHNICAL UNIVERSITY**

**SAYLIEV FARID OLTIBOY UGLI**

**IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF AN EFFICIENT GENERATOR  
OF AN ALTERNATIVE ENERGY SOURCE IN LOW-SPEED ENERGY  
FLOWS**

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

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

**Bukhara – 2025**

The theme of doctoral dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan under №. B2022.2.PhD/T2902.

The doctoral dissertation has been prepared at the Bukhara state technical university.

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) and on Information-educational portal «ZiyoNet» at the adress ([www.ziynet.uz](http://www.ziynet.uz)).

**Scientific adviser:**

**Sadullaev Nasullo Nematovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Official opponents:**

**Pirmatov Nurali Berdiyrovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Samiev Kamoliddin Azamovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Leading organization:**

**Institute of Energy Problems of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan**

The defense of dissertation will take place 29.08 2025 at 10<sup>00</sup> at a meeting of the Scientific council number PhD.03/27.09.2024.T.101.05 at the Bukhara Engineering and Technological Institute. (Address: 200100, Bukhara, st. K.Murtazaev, 15. Tel: (99865) 223 78 84, fax: (99865) 223 78 84, e-mail: [bstu\\_info@edu.uz](mailto:bstu_info@edu.uz))

The doctoral dissertation can be found at the Information resource center of the Bukhara State Technical University (registered with № 1). (Address: 200100, r. Bukhara, st. K.Murtazaev, 15. Tel: (99865) 223 78 84, fax: (99865) 223 78 84,

Abstract of dissertation was sent 14.08 2025 year

(register of the distribution protocol № 315 from 14.08 2025 year)

**A.I. Karshiboev**

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

**U.K. Mirkhanov**

Scientific secretary of the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of philosophy (PhD) of technical sciences

**K.A. Samiev**

Chairman of the scientific seminar under the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor



## INTRODUCTION (abstract of Phd thesis)

**The aim of the research work** increasing the efficiency of electricity generation in low-velocity water and wind flows by improving the generator design.

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

Evaluation of the prospects for using turbines and multi-pole electric generators for generating electricity using low-pressure and low-speed wind flows;

improvement of the electric generator by integrating a device that evenly distributes the rotor and stator rotation frequency of the electric generator rotating in opposite directions;

creation of an experimental stand for conducting experimental studies of a multi-pole electric generator with rotor and stator rotating in opposite directions;

evaluation of the technical and economic indicators of implementing an electric generator with regulated rotation speed of the rotor and stator, generating electrical energy in low-pressure water and low-speed wind flows;

based on the results of experimental studies, obtain an empirical formula for calculating the output parameters of an electric generator with opposite rotation of the rotor and stator.

**The object of the research** is a vertical-axis radial-flow AC generator operating in low-speed flows and a device for regulating its speed

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

for the first time, a device has been developed that regulates the mechanical energy generated in standard water and wind turbines, ensuring that the rotational speeds of the oppositely rotating rotor and stator of the electric generator are equal in order to maintain the quality of the output voltage of the generator (FAP 2657);

optimal design parameters of a multipolar electric generator with oppositely rotating rotor and stator, ensuring efficient operation in low-pressure water and low-speed wind flows, with maximum coverage of factors influencing the output voltage of the generator, have been developed;

based on the results of experimental studies and a mathematical expression for determining the output voltage and efficiency of a multipolar electric generator with an oppositely rotating rotor and stator, depending on the design parameters, an empirical equation for calculating the output parameters of the electric generator has been created;

It was established that the optimal ratios of the diameters of the turbines driving the generator with opposite rotation of the rotor and stator, ensuring maximum efficiency in the steady-state operating mode of the generator, are  $S_{rs}/S_{rr}=1.16$  for radial generators and  $S_{as}/S_{ar}=1.56$  for axial generators.

**Implementation of the research results.** Based on the obtained scientific results on improving the design of an electric generator that operates effectively in low-pressure water and low-velocity wind flows:

A utility model patent of the Intellectual Property Agency of the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan for a low-speed axial generator design has been obtained (No. FAP2657 dated February 3, 2025).

As a result, the installation with a capacity of 20 kW produced 12336.63 kWh more electricity per year in low-pressure water and low-speed wind flows compared

to the standard installation and prevented the release of more than 21.62 tons of gas (CO<sub>2</sub>) into the atmosphere;

The radial-axis generator device was introduced at "Yangiboy Ochil Ghallakor" and "Kumush tola Pakhtakor" LLC in the Karakul district of the Bukhara region (certificate of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan No. 04-13-909 dated February 26, 2025).

As a result, an annual economic efficiency of 81 million soums was achieved compared to an internal combustion generator.

**The structure and scope of the thesis.** The dissertation consists of an introduction, four chapters, general conclusions, a list of references, and appendices. The volume of the dissertation is 119 pages.

**ELON QILINGAN ISHLAR RO‘YXATI**  
**СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**  
**LIST OF PUBLISHED WORKS**

**I-bo‘lim (I часть; part I)**

1. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev. Doimiy magnitli disk aksial generatori/ O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi foydali model patenti. № FAP2657 Qayd sanasi 03.02.2025 y.
2. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev, A.I. Atoyev. Analysis of the Main Parameters of Electrical Generator which Works Efficiently in Low Speed Wind and Water Flows in Various Climate Conditions/ International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. ISSN: 2350-0328. Vol. 11, Issue 12, December 2024. 22617-22622 P. (05.00.00 №8)
3. X.M. Qodirov, N.N. Sadullayev, F.O. Sayliyev. Past tezlikli energiya oqimlarida samarali ishlovchi muqobil energiya manbai uchun generator konstruksiyasini takomillashtirish/ Фарғона политехника институти илмий – техникажурнали. Спец. выпуск № 32 Фарғона – 2024. 115-119 b. (05.00.00 №20)
4. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev, A.I. Atoyev. Past tezlikli energiya oqimlarda elektr energiyasi ishlab chiqarishda sinxron generatorlardan foydalanish samaradorligini baholash/ Fan va texnologiyalar taraqqiyoti. Ilmiy – texnikaviy jurnal. ISSN 2181-8193. Buxoro: №6/2024. 131-136 b. (05.00.00 №24)
5. T.M. Sa’dullayev, F.O. Sayliyev, Построение математической модели гидротехнологических установок в программе Matlab. “O‘zbekgidroenergo” aksiyadorlik jamiyati ilmiy-texnik jurnali. ISSN-C-15351 №1/2020. b. 51-54. OAK, Rayosatining 2020 yil 30 oktyabrdagi 287/9.2-son qarori.
6. N.N. Sadullayev, U.T. Muxamedxanov, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev. Increasing Energy Efficiency and Reliability of Electric Supply of Low Power Consumers/ International Journal of Engineering Trends and Technology. Volume 68 Issue 12, 43-47 P, December 2020. SSN: 2231 – 5381 <https://ijettjournal.org/archive/ijett-v68i12p208> (Scopus; №3)
7. N.N.Sadullayev, SH.N.Nematov, F.O.Sayliyev, A.I.Atoyev, F.F.Muzaffarov, J.Hojimurodov. Analysis of the output parameters of a low-speed electric generator using analytical and computer modeling/ International Journal of Advanced Research in Science and Technology. Int. J. Adv. Res. Sci. Technol. Volume 13, Issue 12, 2024, pp.1563-1567. <https://doi.org/10.62226/ijarst2024132525> (CrossRef; №35)
8. J.F. Holliyev, SH.SH. Abdullayev, F.O. Sayliyev. Improving The Construction Of An Effective Alternative Source Generator In Low-Speed Power Flows/ International Journal of Academic Multidisciplinary Research (IJAMR).ISSN: 2643-9670. Vol. 5 Issue 1, January - 2021, Pages: 240-243. <http://www.ijeais.org/ijamr/index.php/ijamr-5-1-2021/> (ResearchGate; №40 )

## II-bo‘lim (I часть; part I)

9. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev. Evaluation of the technical parameters of the generator for efficient electricity generation in low-speed wind and water flows/ APITECH-IV – 2022. IOP Publishing. Journal of Physics: Conference Series. 2388 (2022) 012142. doi:10.1088/1742-6596/2388/1/012142.
10. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev. Analysis of multipolar generators operating efficiently in low speed water and wind flows using ANSYS MAXWELL program/ E3S Web of Conferences 288, 01057 (2021). SUSE-2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128801057>
11. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev, A.I. Atoyev. Past tezlikli energiya oqimlarida samarali ishlovchi muqobil energiya manbai uchun generator konstruksiyasini takomillashtirish/ Proceedings of International Educators Conference Hosted online from Rome, Italy. Date: 25th November – 2024. ISSN: 2835-396X. P. 36-40. Website: econferenceseries.com.
12. SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev. Past potentsialli shamol va suv oqimlarida samarali ishlovchi generator konstruksiyasini takomillashtirish omillari/ “Inson qadrini ulug‘lash va faol mahalla yili” BuxMTI. Ilmiy-amaliy anjumani. 27-28 may. Buxoro-2022 y. 127b.
13. Y.A. Hayitova. F.O. Sayliyev. Bir jinsli bo‘lmagan mexanik kuchlanishlarning  $F_2Bo_3$  monokristalli magnit tuzilishi va magnitlanish jarayoniga tasirini o‘rganish./ “Inson qadrini ulug‘lash va faol mahalla yili”. Buxoro Muhandislik-Texnologiya Instituti. Tezis 2022 yil 27-28 may.
14. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev, A.I. Atoyev. MikroGESning optimal parametrlarini loyihalash/ O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi guvohnomasi. DGU 34906. Qayd sanasi 14.03.2024 y
15. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev, A.I. Atoyev. Kanalning gidravlik parametrlarini asoslash/ O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi guvohnomasi. DGU 34904. Qayd sanasi 14.03.2024 y.
16. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev, A.I. Atoyev. Past tezlikli energiya oqimida ishlovchi aksial o‘qli generator konstruksiyasini hisoblash/ O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi guvohnomasi DGU 31094. Qayd sanasi 14.12.2023 y.
17. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev. Past tezlikli energiya oqimlarida ishlovchi aksial oqim generatorining quvvatini hisoblash/ O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi guvohnomasi DGU 38670 Qayd sanasi 24.05.2024 y.
18. N.N. Sadullayev, SH.N. Nematov, F.O. Sayliyev, M.Z. G‘ofurova. Past tezlikli akseal generatorini hisoblash./ O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi guvohnomasi. DGU 16711 Qayd sanasi 09.06.2022 y.

Avtoreferat “Durdona” nashriyotida tahrirdan o‘tkazildi  
hamda o‘zbek, rus va ingliz tillaridagi matnlarini mosligi tekshirildi.



Bosishga ruxsat etildi: 12.08.2025 Bichimi: 60x84 1/16.  
“Times New Roman” garniturada raqamli bosma usulda bosildi.  
Shartli bosma tabog‘i: 3,5. Adadi 100. Buyurtma № 221.  
Guvohnoma AI №178.08.12.2010

“Sadriiddin Salim Buxoriy” MCHJ bosmaxonasida chop etilgan.  
Buxoro shahri, M. Iqbol ko‘chasi, 11-uy. Tel.: 65 221-26-45

