

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

---

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI**

**MUZAFFAROV FIRDAVS FUZAYL O'G'LI**

**VERTIKAL O'QLI SHAMOL ENERGETIK QURILMASINI ISHLASH  
SAMARADORLIGINI OSHIRISH**

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

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

**Qarshi – 2024**

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

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

**Contents of the Dissertation Abstract of Philosophy of Doctor (PhD)  
on technical sciences**

**Muzaffarov Firdavs Fuzayl o‘g‘li**

Vertikal o‘qli shamol energetik qurilmasini ishlash samaradorligini  
oshirish..... 3

**Музаффаров Фирдавс Фузайл ўғли**

Повышение эффективности работы вертикально-осевой  
ветроэнергетической установки..... 23

**Muzaffarov Firdavs Fuzayl o‘g‘li**

Improving the efficiency of a vertical-axis wind power device..... 45

**E‘lon qilingan ishlar ro‘uxati**

Список опубликованных работ  
List of published works..... 49

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

---

**BUXORO MUHANDISLIK-TEXNOLOGIYA INSTITUTI**

**MUZAFFAROV FIRDAVS FUZAYL O'G'LI**

**VERTIKAL O'QLI SHAMOL ENERGETIK QURILMASINI ISHLASH  
SAMARADORLIGINI OSHIRISH**

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

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

**Qarshi – 2024**

**Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD) dissertatsiyasi mavzusi O'zbekiston Respublikasi Oliy ta'lim, fan va innovatsiyalar vazirligi huzuridagi Oliy attestatsiya komissiyasida B2023.2.PhD/T2898 raqam bilan ro'yxatga olingan.**

Dissertatsiya Buxoro muhandislik-texnologiya institutida bajarilgan.  
Dissertatsiya avtoreferati uch tilda (o'zbek, rus, ingliz (rezyume)) Ilmiy kengash veb-sahifasida ([www.qmii.uz](http://www.qmii.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:**

**Toirov Olimjon Zuvurovich**  
texnika fanlar doktori, professor

**Xujakulov Saydulla Mirzayevich**  
texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

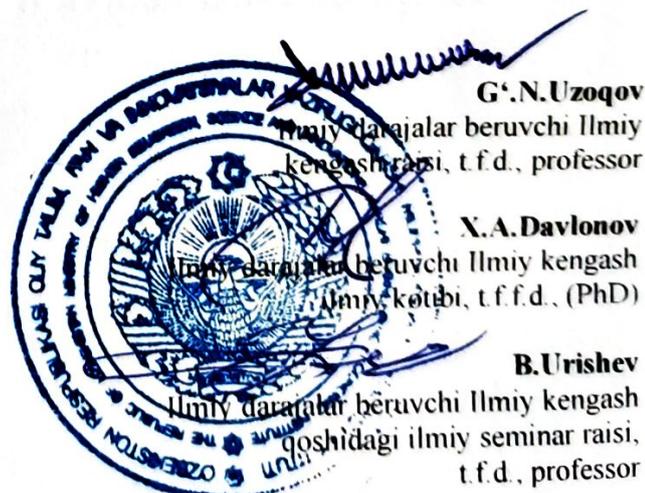
**Yetakchi tashkilot:**

**Farg'ona politexnika instituti**

Dissertatsiya himoyasi Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti huzuridagi PhD.03/30.09.2020.T.111.03 raqamli Ilmiy kengashning 2024 yil "6" 04 soat 10<sup>00</sup> dagi majlisida bo'lib o'tadi. Manzil: 180100, Qarshi shahri Mustaqillik ko'chasi 225-uy. Tel/faks.: (75) 224-02-89; e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz) Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti majlislar zali.

Dissertatsiya bilan Qarshi muhandislik-iqtisodiyot institutining Axborot-resurs markazida tanishish mumkin (№ 99 raqami bilan ro'yxatga olingan). Manzil: 180100, Qarshi shahri, Mustaqillik ko'chasi, 225 uy. Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti. Tel/faks: (75) 224-02-89/224-13-95.

Dissertatsiya avtoreferati 2024 yil "25" 03 kuni tarqatildi.  
(2024 yil "25" 03 dagi № 20 raqamli reestr bayonnomasi).



**G'.N.Uzoqov**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash rasi, t.f.d., professor

**X.A.Davlonov**  
Ilmiy darajalar beruvchi Ilmiy kengash ilmiy kotibi, t.f.d., (PhD)

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

## KIRISH (falsafa doktori (Phd) dissertatsiyasi annotatsiyasi)

**Dissertatsiya mavzusining dolzarbligi va zarurati.** Jahonda elektr energiyasiga bo'lgan ehtiyojning ortib borishi qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan keng foydalanishni taqozo etmoqda. 2024 yil dunyoda elektr energiya ishlab chiqarish miqdorining 33,5 foizi qayta tiklanuvchi energiya manbalari jumladan, 8,6 foizi shamol elektr stansiyalari hissasiga to'g'ri kelmoqda<sup>1</sup>. Ayniqsa, markazlashgan elektr ta'minotidan uzoqda joylashgan kichik quvvatli avtonom iste'molchilarni elektr energiyasi bilan ta'minlashda shamol energiyasi manbalaridan foydalanish ustuvorlik kasb etmoqda. Xalqaro qayta tiklanuvchi energiya agentligining shamol energetikasini rivojlantirish konsepsiyasiga ko'ra, 2050-yilga borib shamol energetikasi dunyo energiya ehtiyojining 35 foizini tashkil etadi<sup>2</sup>. Bu borada jumladan, vertikal o'qli shamol turbinalarining optimal konstruksiyalarini ishlab chiqish, yurgizish momentini oshirish, aerodinamik parametrlarini aniqlash, energetik ko'rsatkichlarini baholash va modellashtirish asosida shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyentini oshirish muammolariga alohida e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda kichik tezlikli shamol oqimlaridan foydalanish unumdorligini oshirishda vertikal o'qli shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqish, energetik, aerodinamik va konstruktiv parametrlarini asoslash, shuningdek ishlash samaradorligini oshirishga doir ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Bu borada kuchsiz shamol oqimli hududlarning iqlim sharoitlariga moslashtirilgan vertikal o'qli shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqish, konstruktiv hamda ish rejim parametrlarini tahlil qilish, shamol energiyasidan foydalanish samaradorligini oshirishda turbinaning optimal parametrlarini aniqlash hamda takomillashtirilgan qurilmalarni ekspluatatsiya qilishga katta e'tibor berilmoqda.

Respublikamizda energetika sohasida amalga oshirilayotgan islohotlar negizida energiya ta'minotini yaxshilash va sohadagi mavjud muammolarni hal qilish masalasi dolzarb hisoblanadi. Bu yo'nalishda shamol energiyasidan foydalanish imkoniyatlarini kengaytirish, jumladan, hududlar shamol energiyasining texnik va yalpi potensialini baholash va shunga muvofiq shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqish bo'yicha tizimli ishlar amalga oshirilmoqda. 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 Qarorida "...2023-yil uchun 2100 MVt quvvatli yirik quyosh va shamol elektr stansiyalarini ishga tushirish..." bo'yicha vazifalar belgilab berilgan. Mazkur vazifalarni amalga oshirishda, mintaqaning iqlim sharoitlari, shamol energiyasi potensialini hisobga olib, vertikal o'qli shamol energetik qurilmasini yaratish hamda uning ilmiy-texnik yechimlarini ishlab chiqish muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston Respublikasining 2019 yil 21 maydagi O'RQ-539-son "Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish to'g'risida"gi Qonuni, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022 yil 9 sentabrdagi PF-220-son "Energiya tejoychi

<sup>1</sup> <https://www.iea.org/energy-system/renewables>

<sup>2</sup> <https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>

texnologiyalarni joriy qilish va kichik quvvatli qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish bo'yicha qo'shimcha chora-tadbirlar to'g'risida"gi Farmoni, 2018 yil 28 apreldagi PQ-3687-son "Qayta tiklanadigan energiya manbalari sohasida investitsiya loyihalarini amalga oshirishga oid qo'shimcha chora-tadbirlari to'g'risida"gi, 2019 yil 22 avgustdagi PQ-4422-son "Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohaning energiya samaradorligini oshirish, energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanadigan energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida"gi Qarorlari hamda mazkur faoliyatga tegishli boshqa me'yoriy hujjatlarda belgilangan vazifalarni amalga oshirishda ushbu dissertatsiya tadqiqoti muayyan darajada xizmat qiladi.

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

**Muammoning o'rganilganlik darajasi.** Qayta tiklanuvchi energiya manbalari orasida shamol energiyasidan foydalanish dolzarb ahamiyat kasb etganligi sababli dunyo miqyosida, shu jumladan, respublikamizda ham bu sohada ko'plab ilmiy tadqiqotlar o'tkazilgan. Qayta tiklanuvchi energiya manbalariga asoslangan energetik qurilmalar, ya'ni shamol turbinalarining texnik va energetik parametrlarini yaxshilash bo'yicha J.V.Akva, A.K.Ravi, Marko Kasini, S.Bruska, J.M.Darrius, R.Ansaf, Ch.Shi, Y.Ch.Miao, S.Savonius, E.M.Fatayev, E.V.Solomin va boshqa xorijlik olimlar hamda akademik Q.R.Allayev, akademik R.A.Zahidov, O'.A.Tadjiyev, O.Z.Toirov, U.G'.Dehqonov, A.B.Safarov, Sh.N.Ne'matov kabi mamlakatimiz olimlari tomonidan samarali ilmiy izlanishlar olib borilgan. Iqlim sharoitlariga mos, mexanik nuqtayi nazardan mustahkam, turli konstruksiyadagi, energetik jihatdan samarador shamol agregatlarini yaratish bo'yicha muvaffaqiyatli tadqiqot natijalariga erishilgan. Shunga qaramasdan, past potentsialli shamol resurslaridan foydalanish samaradorligini oshirish imkonini beruvchi vertikal o'qli shamol energetik qurilmalarini tadqiq qilish bo'yicha olib borilgan ilmiy izlanishlar yetarli emas.

**Dissertatsiya tadqiqotining dissertatsiya 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" (2021–2022) loyihasi doirasida bajarilgan.

**Tadqiqotning maqsadi** vertikal o'qli shamol energetik qurilmasini ishlab chiqish va samaradorligini oshirishdan iborat.

**Tadqiqotning vazifalari:**

vertikal o'qli shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqish va kichik tezlikli shamol oqimlarida ishlash samaradorligini oshirish bo'yicha olib borilgan ilmiy tadqiqotlarni tahlil qilish;

kichik tezlikli shamol oqimlarida samarador ishlovchi, shamol g'ildiragi parraklari kompozit materiallardan tayyorlangan vertikal o'qli shamol energetik qurilmasini ishlab chiqish;

vertikal o'qli shamol energetik qurilmasining mexanik va energetik parametrlarining shamol oqimi tezligiga, qurilmaning konstruktiv parametrlari va aerodinamik kuchlarga bog'liqligini ifodalovchi matematik modelini ishlab chiqish;

shamol energetik qurilmasi parraging optimal aerodinamik shakli va boshlang'ich momentni oshirish imkoniga ega bo'lgan yordamchi yuzalarning maqbul geometrik o'lchamlarini Ansys Fluent va Qblade dasturlarida aniqlash;

vertikal o'qli shamol energetik qurilmasining shamol energiyasidan foydalanish va ildamlilik koeffitsiyentlarining turli shamol oqimi tezliklaridagi optimal qiymatini aniqlash imkonini beradigan model va algoritmlarini ishlab chiqish;

vertikal o'qli shamol energetik qurilmasining texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini aniqlash va joriy etishdagi iqtisodiy samaradorligini baholash.

**Tadqiqotning obyekti** sifatida kichik quvvatli iste'molchilar uchun O'zbekiston iqlim sharoitlariga moslashtirilgan vertikal o'qli shamol energetik qurilmasi va uning texnologik ish jarayoni olingan.

**Tadqiqotning predmeti** kichik tezlikli shamol oqimlarida ishlovchi vertikal o'qli shamol energetik qurilmalari, turbina parraklarining optimal shakli va konstruksiyasini aniqlash qonuniyatlari, mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantirish jarayonlarini tadqiq qilishdan iborat.

**Tadqiqot usullari.** Tadqiqot jarayonida shamol energetik qurilmalarini matematik modellashtirish, tajriba natijalarni statistik qayta ishlash, shamol energetik qurilmasining imitatsion modelini yaratish, eksperimentni rejalashtirish va instrumental o'lchash usullaridan foydalanilgan.

**Tadqiqotning ilmiy yangiligi** quyidagilardan iborat:

ilk marotaba mahalliy va kompozit materiallardan tayyorlangan shamol g'ildiragi parraklari tashqi sirti  $\alpha$  burchak ostida joylashtirilgan hamda vertikal plastinkalar bilan qoplangan, parraklarni vtulka bilan bog'lab turuvchi tayanchlarda statik holatda ochiq turadigan yordamchi yuzalar o'rnatilgan, kichik tezlikli shamol oqimlarida ishlash samaradorligi 3...8 foizgacha oshirilgan vertikal o'qli shamol energetik qurilmasi ishlab chiqilgan (№ FAP 02138, 2022 y.);

shamol oqimi tezligining o'zgarishi, turbinaning diametri, parraklarining soni va balandligi, aerodinamik sirt uzunligi, parraklarning aylana urinmasiga nisbatan og'ishi va parraklarga ta'sir ko'rsatuvchi ko'tarish va tortish kuchlarini hisobga olgan holda, balans tenglamalari asosida shamol energetik qurilmasining shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyentini hisoblash imkonini beradigan matematik model ishlab chiqilgan;

shamol turbinasining konstruktiv va yordamchi yuzalarining geometrik o'lchamlari, unga ta'sir ko'rsatuvchi ko'tarish hamda tortish kuchlari, parraklar soni, shamol oqimining parrakka urilish burchagi, shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyentini optimal qiymatlarini hisobga olgan holda, konstruksiyasi ishlab chiqilgan;

kichik tezlikli shamol oqimlarida ham ishonchli ishlaydigan vertikal o'qli shamol energetik qurilmasining parraklari soni, shamol oqimining tezligini hisobga olgan holda shamol energiyasidan foydalanish va ildamlilik koeffitsiyentlarining egri chiziqli qonuniyat asosida o'zgarishini ifodalaydigan empirik tenglama olingan.

**Tadqiqotning amaliy natijalari** quyidagilardan iborat:

Buxoro viloyatining chekka hududlardagi markaziy elektr tarmog'iga ulanmagan kichik quvvatli iste'molchilar uchun mahalliy xom-ashyodan tayyorlanib, yurgizish momenti oshirilgan yengil vaznli, samarador shamol energetik qurilmasi ishlab chiqilgan;

shamol turbinasining kichik shamol tezliklarida ham samarali ishlashi ta'minlangan hamda qurilmaning optimal konstruktiv parametrlarini tanlash dasturi yaratilgan.

**Tadqiqot natijalarining ishonchliligi.** Tadqiqot ishlarini zamonaviy usul va o'lchash vositalaridan foydalangan holda o'tkazilganligi, eksperimental tadqiqot natijalarini tekshirishda ishonchli hamda sinalgan modellashtirish usullaridan foydalanilganligi, tajribalarning tabiiy sharoitda o'tkazilganligi, tadqiqotlar natijasida ishlab chiqilgan shamol energetik qurilmasining amaliyotga joriy etilganligi bilan asoslanadi.

**Tadqiqot natijalarining ilmiy va amaliy ahamiyati.** Tadqiqot natijalarining ilmiy ahamiyati vertikal o'qli shamol turbinasining parraklarini optimallashtirish orqali kichik tezlikli shamol oqimlarida samarador ishlovchi vertikal o'qli shamol turbinasining matematik modeli ishlab chiqilganligi bilan izohlanadi.

Tadqiqotning amaliy ahamiyati kichik tezlikli shamol oqimlarida samarador ishlovchi vertikal o'qli shamol turbinasining konstruksiyasi ishlab chiqilganligi va taklif etilgan qurilma CO<sub>2</sub> tashlamalari miqdorini yiliga 1225 kg gacha kamaytirishga xizmat qilishi bilan izohlanadi.

**Tadqiqot natijalarining joriy qilinishi.** Vertikal o'qli shamol energetik qurilmasining ishlash samaradorligini oshirish hamda joriy etish bo'yicha olingan ilmiy natijalar asosida:

kichik tezlikli shamol oqimlarida samarali ishlashga moslashtirilgan vertikal o'qli shamol energetik qurilmasi uchun O'zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi Intellektual mulk agentligining foydali modeliga patent olingan (№ FAP02138, 2022-yil 31-oktabr). Natijada, qurilmaning shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti ( $C_p$ )ni 3...8 foizgacha oshirish imkoniyati yaratilgan;

kichik tezlikli shamol oqimlarida ishlovchi vertikal o'qli shamol energetik qurilmasining konstruksiyasi takomillashtirilgan (O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining 2023-yil 18-oktabrdagi № 04-13-6286-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, shamol tezligi 2,5-12 m/s bo'lgan oraliqda ham elektr energiyasini ishlab chiqarish 3,1 foizgacha oshirish imkoniyati yaratilib, energiya ta'minoti uzluksizligini ta'minlashga erishilgan;

ishlab chiqilgan vertikal o'qli shamol energetik qurilmasi Buxoro viloyati Romitan tumanidagi "Amirxon bog'bon" MChJda joriy etilgan (O'zbekiston Respublikasi Energetika vazirligining 2023-yil 18-oktabrdagi № 04-13-6286-sonli ma'lumotnomasi). Natijada, ichki yonuv generatoriga nisbatan yillik 75,8 million so'm iqtisodiy samaradorlikka erishilgan.

**Tadqiqot natijalarining aprobatyasi.** Tadqiqot natijalari 6 ta ilmiy-amaliy anjumanlarda, jumladan 4 ta xalqaro va 2 ta respublika anjumanlarida muhokamadan o'tgan.

**Tadqiqot natijalarning e'lon qilinganligi.** Dissertatsiya ishi bo'yicha jami 17 ta ilmiy ish chop etilgan bo'lib, shu jumladan, O'zbekiston Respublikasi Oliy attestatsiya komissiyasining doktorlik dissertatsiyalarining asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya qilingan 3 ta xalqaro va 7 ta respublika jurnallarida ilmiy maqolalar nashr qilingan hamda O'zbekiston Respublikasi Intellektual mulk agentligi tomonidan 1 ta foydali modelga patent va EHM dasturiga mualliflik guvohnomasi olingan.

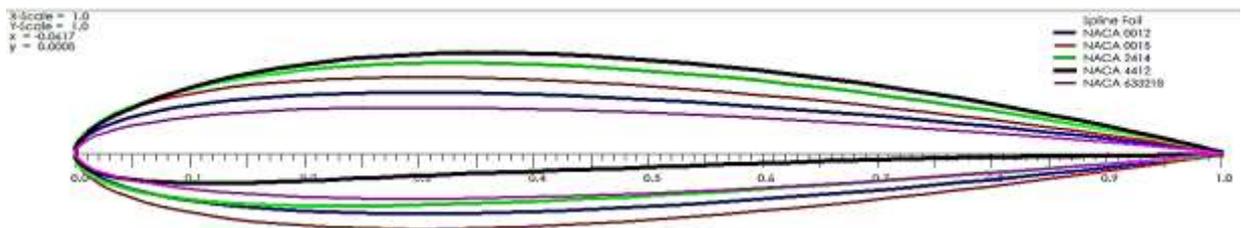
**Dissertatsiyaning tuzilishi va hajmi.** Dissertatsiya tarkibi kirish, to'rtta bob, umumiy xulosalar, foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati va ilovalardan iborat. Dissertatsiya hajmi 119 betni tashkil etadi.

## DISSERTATSIYANING ASOSIY MAZMUNI

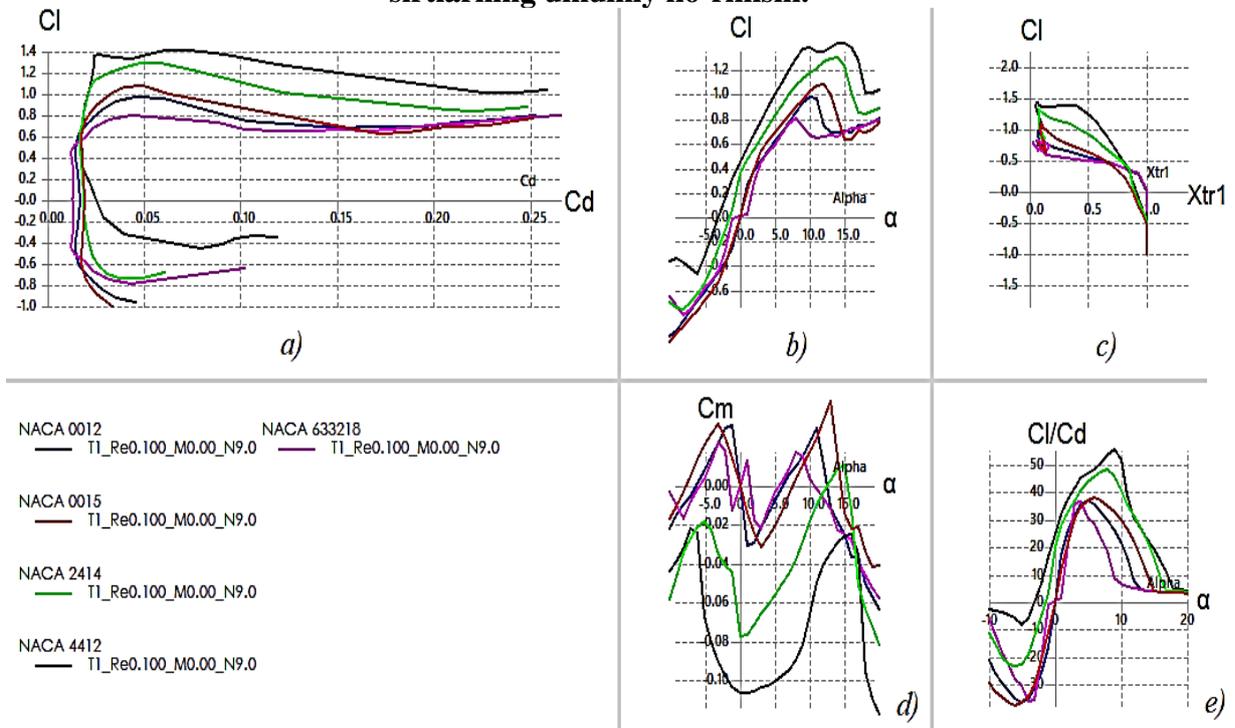
**Kirish** qismida dissertatsiya mavzusining dolzarbligi hamda dissertatsiya mavzusining zaruriyati asoslangan, tadqiqotning maqsadi va vazifalari hamda respublika fan va texnologiyalari rivojlanishining ustuvor yo'nalishlariga mos ekanligi ko'rsatilgan, tadqiqotning ilmiy yangiligi va amaliy natijalari keltirib o'tilgan, olingan natijalarning ilmiy va amaliy ahamiyati ochib berilgan, tadqiqot natijalarini amaliyotga joriy qilish, ilmiy ishlarni chop etganlik haqida ma'lumotlar va dissertatsiyaning tuzilishi bo'yicha ma'lumotlar keltirilgan.

Dissertatsiyaning **“Shamol turbinalaridan foydalanishdagi muammo va kamchiliklar hamda ularning istiqbolli yechimlari”** nomli birinchi bobida jahonda va O'zbekistonda shamol energiyasidan foydalanishning hozirgi holati va mavjud shamol energetikasidan foydalanish imkoniyatlari tahlili keltirilgan. Turli konstruksiyali shamol turbinalari tahlil qilinib taqqoslangan, ularning optimal geometrik ko'rsatkichlari taqdim etilgan. O'zgaruvchan va kuchsiz shamol oqimlarida ishlovchi shamol energetik qurilmalari bo'yicha xorijda va respublikamizda olib borilgan tadqiqotlarning tahlil natijalari taqdim etilgan, hududning shamol salohiyati baholangan. Vertikal o'qli shamol turbinalarining samaradorligiga ta'sir ko'rsatuvchi omillar o'rganilgan, yurgizish momentini oshirish uchun qilingan tadqiqot ishlari tahlil qilingan, tadqiqotning maqsad va vazifalari belgilab olingan. Respublikamizning iqlim sharoitlariga moslashtirilgan vertikal o'qli H-simon turbinalarni ishlab chiqarishni mahalliyashtirish, turbina vaznini yengillashtirish, yurgizish momentini oshirish, geometrik o'lchamlarini optimallashtirish kabi vazifalarni hal qilish orqali qurilmaning samaradorligini barqarorlashtirish mumkinligi asoslab berilgan.

Dissertatsiyaning **“Vertikal o'qli shamol turbinasining konstruksiyasi, parraklarining aerodinamik shakli va matematik modeli”** nomli ikkinchi bobida vertikal o'qli shamol turbinasining parraklariga ta'sir ko'rsatuvchi kattaliklar aerodinamika nuqtayi nazaridan tahlil qilingan. Standart ko'rinishdagi aerodinamik sirtlarning kompyuter modelidagi tahlillari keltirilgan (1, 2-rasmlar).

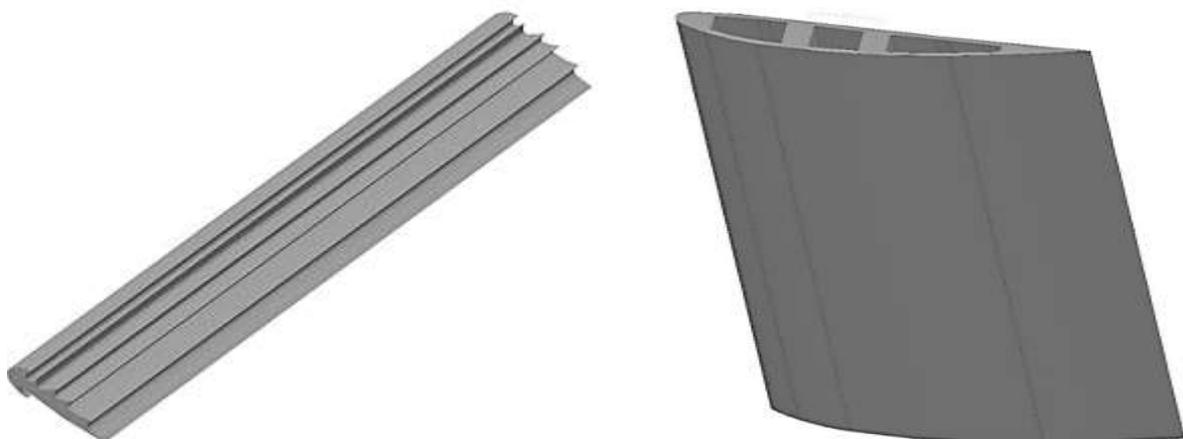


**1-rasm. NACA 0012, NACA 0015, NACA 2414, NACA 4412, NACA 633218 aerodinamik sirtlarning umumiy ko‘rinishi.**



**2-rasm. NACA 0012, NACA 0015, NACA 2414, NACA 4412, NACA 633218 aerodinamik sirtlar parametrlarining o‘zaro taqqoslanishi.**

Mazkur bobda turbinaning yurgizish momentini oshirish uchun kiritilgan konstruktiv o‘zgartirishlar keltirilgan va standart konstruksiyalar bilan o‘zaro taqqoslangan (3-4 rasmlar).



**3-rasm. Taklif etilayotgan va standart ko‘rinishdagi turbinalar parraginging umumiy ko‘rinishi.**

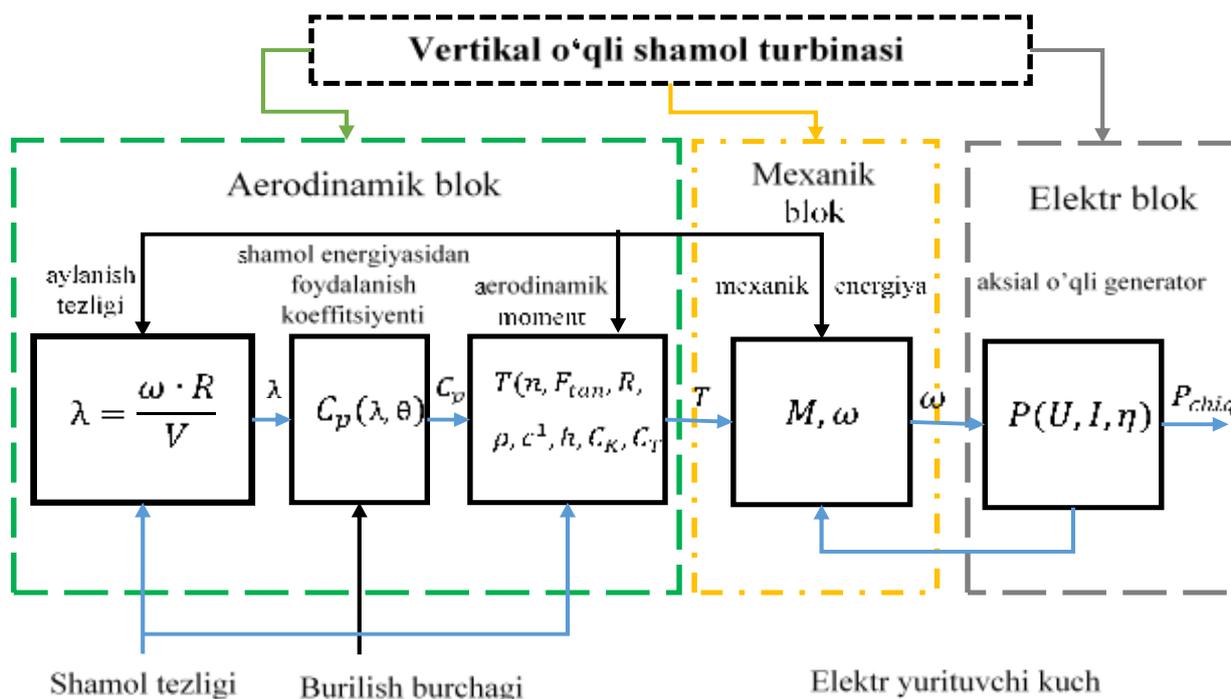


Bunda  $V_0$  – shamolning turbinagacha tezligi;  $V_{bur}$  – burchakli tezlik;  $V_{nis}$  – nisbiy tezlik;  $V_{um}$  – umumiy tezlik;  $V_{nor}$  – normal tezlik;  $V_{nat}$  – natijaviy tezlik;  $F_K$  – ko‘taruvchi kuch;  $F_T$  – tortuvchi kuch.

Ishlab chiqilgan qurilma uchun matematik model quyidagicha:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{opt} = \frac{4 \cdot \pi}{N} = \frac{\omega \cdot R}{V_{um}}; \\ J\theta(t) = T_a(t) - T_q(t); \\ P_{mex} = T \cdot \omega = \frac{\rho \cdot c^1 \cdot h \cdot V_{um}^2 \cdot R \cdot n_{ayl}}{15} \cdot \left( C_K \cdot \int_0^{2\pi} \sin \arctg\left(\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta}\right)(\theta) - C_T \cdot \int_0^{2\pi} \cos \arctg\left(\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta}\right)(\theta) \right); \\ C_P = \frac{P_{mex}}{1/2 \cdot \rho \cdot V_0^3 \cdot A} = \frac{2 \cdot c^1 \cdot V_{um}^2 \cdot n_{ayl} \cdot \left( C_K \cdot \int_0^{2\pi} \sin \arctg\left(\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta}\right)(\theta) - C_T \cdot \int_0^{2\pi} \cos \arctg\left(\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta}\right)(\theta) \right)}{15 \cdot V_0^3}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Bu yerda  $\lambda_{opt}$  – optimal ildamlik koeffitsiyenti,  $N$  – parraklar soni,  $T_a(t)$  – aerodinamik harakatlantiruvchi kuch funksiyasi,  $T_q(t)$  – qarshilik qiluvchi kuch funksiyasi,  $J$  – turbinaning umumiy inersiya momenti,  $\theta$  – turbina parraginging burilgan burchagi,  $C_K$ ,  $C_T$  – ko‘tarish va tortish koeffitsiyentlari,  $c^1$  – parrakning tashqi sirti uzunligi,  $R$  – turbinaning radiusi,  $h$  – turbinaning bo‘yi,  $n_{ayl}$  – turbinaning aylanish tezligi,  $\rho$  – havoning zichligi.



**6-rasm. Vertikal o‘qli shamol turbinasi mexanik quvvatini hisoblashning blok sxemasi.**

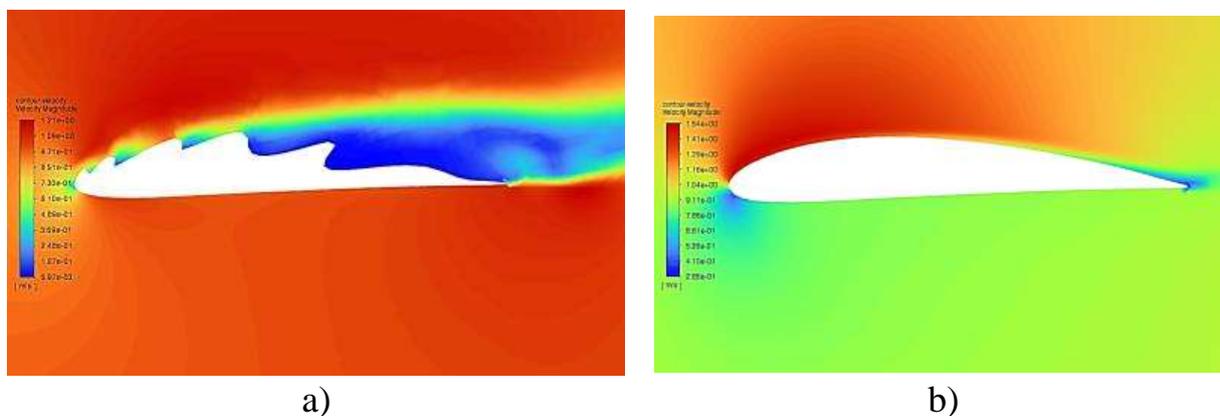
Vertikal o‘qli shamol turbinasining mexanik quvvatini hisoblashning analitik modeliga ta’sir ko‘rsatuvchi parametrlarning blok-sxematik ko‘rinishi 6-rasmda berilgan.

Demak, 1-ifodada keltirilganidek, shamol turbinasining mexanik quvvatini parrakning tashqi sirti yuzasini oshirish orqali kuchaytirishimiz mumkin. 1-ifodada keltirilgan tenglikni Matlab dasturiga kiritish orqali quyidagi model ko‘rinishini olamiz (7-rasm). Matlab dasturida quvvatni hisoblashdagi miqdorlar sifatida turbinaning haqiqiy o‘lchamlari kiritilgan, ya’ni  $c = 30 \text{ sm}$ ,  $h = 2 \text{ m}$ ,  $R = 0,7 \text{ m}$  kabi miqdorlar uchun hisoblanilgan.



**7-rasm. Matlab amaliy paketida qurilgan shamol energetik qurilmasi modeli.**

Dissertatsiyaning “Vertikal o‘qli turbina konstruksiyasini ishlab chiqish va uning parametrlarini asoslash” deb nomlangan uchinchi bobida shamol turbini va uning parraklari Qblade, Ansys kabi dasturlar orqali simulyatsion sinovdan o‘tkazilgan (8-rasm).



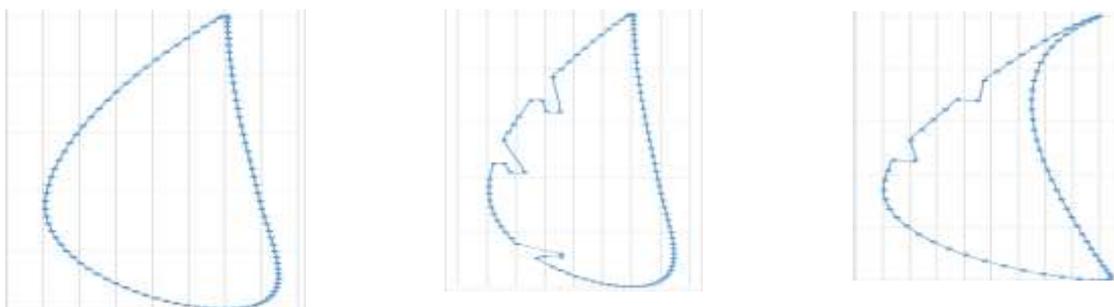
**8-rasm. Notekis sirtning a) NACA 4412 sirtining b) tezlik xarakteristikalari.**

Shamol turbini parragining samaradorligi tepa qismdagi ko‘k rangli sohaning kengligi bilan xarakterlanadi. 8-rasmdagi tasvirdan notekis yuzali sirtning parametrlari silliq yuzali sirtga nisbatan yaxshiroq ekanini ko‘rishimiz mumkin, lekin ushbu egriliklarning optimal shaklini aniqlashimiz lozim. Notekisliklarning soni va chuqurligining me’yordan farq qilishi parrak atrofida turbulentslikni yuzaga keltirib, turbina samaradorligiga aks ta’sir ko‘rsatadi. Shu sababli, Ansys dasturi yordamida eng yaxshi ko‘rsatkichlarni qayd etgan uchta parrak tanlab olingan (9-rasm).

NACA 4412  
(prototip)

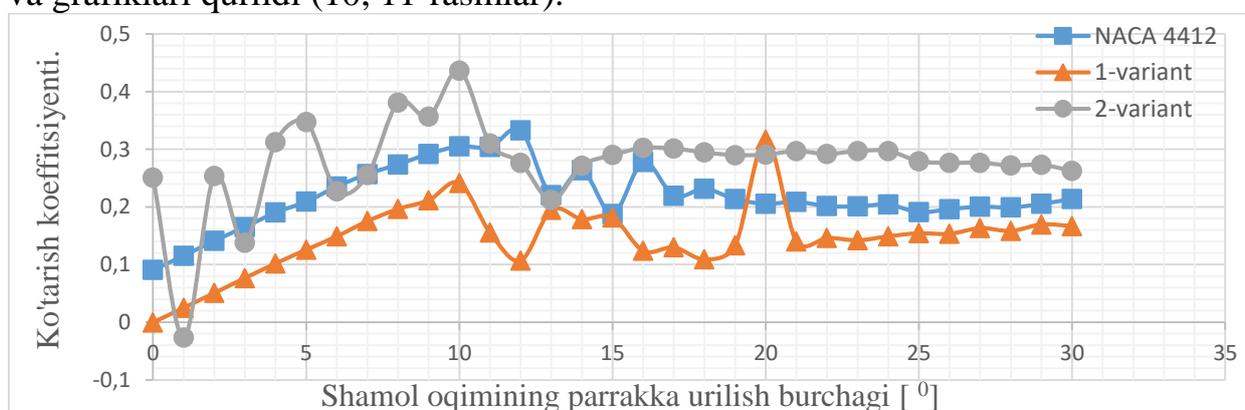
1-variant

2-variant

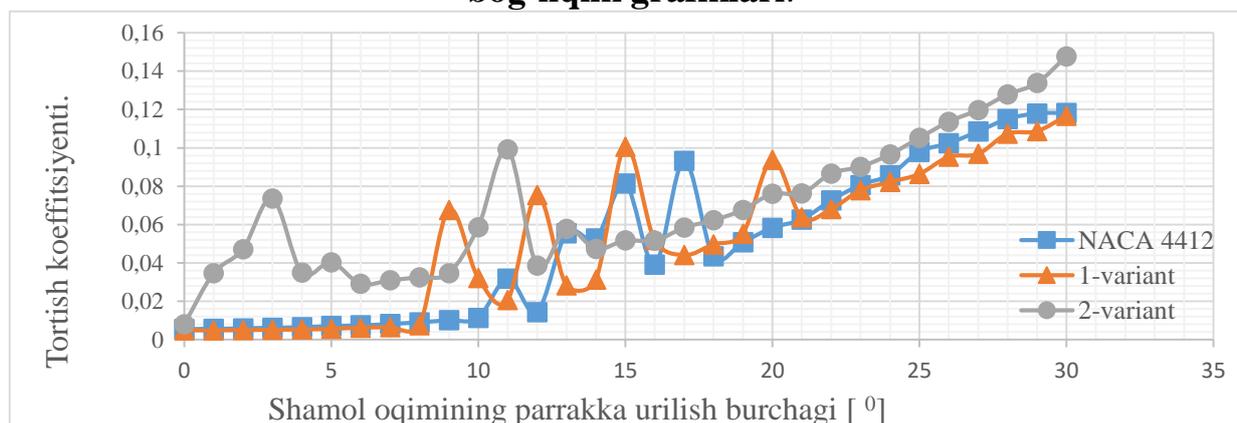


**9-rasm. Tanlab olingan aerodinamik sirtlarning umumiy ko‘rinishi.**

Ushbu sirtlarning aerodinamikaga taalluqli bo‘lgan koeffitsiyentlari aniqlandi va grafiklari qurildi (10, 11-rasmlar).



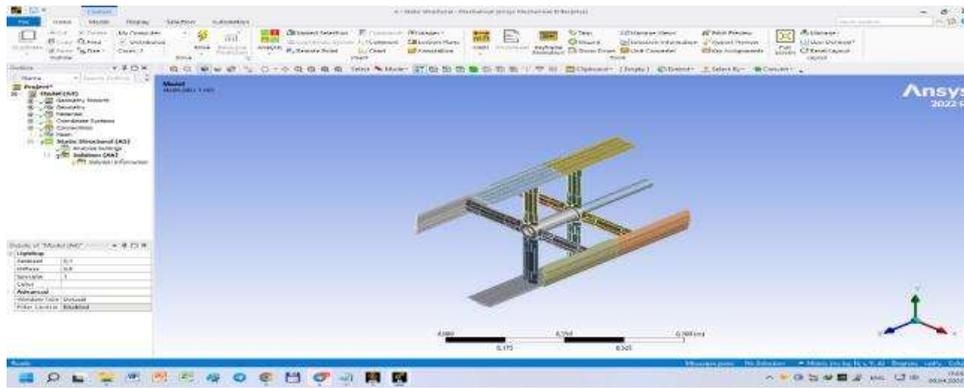
**10-rasm. Ko‘tarish koeffitsiyentining shamol oqimining kelish burchagiga bog‘liqlik grafiklari.**



**11-rasm. Tortish koeffitsiyentining shamol oqimining kelish burchagiga bog‘liqlik grafiklari.**

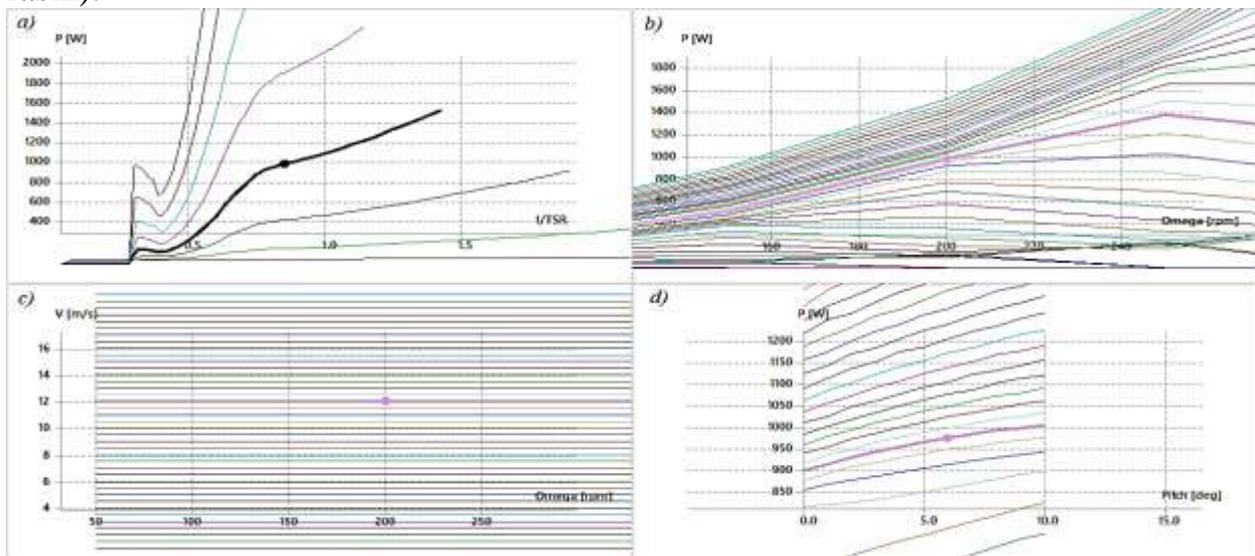
10-11-rasmlardagi xarakteristikalar Ansys dasturining hisoblashlari asosida qurildi, taklif etilgan shakl uchun ko‘tarish va tortish kuchlarining qiymati hamda parraklarning optimal o‘rnatilish burchagi aniqlandi (10, 11-rasmlar). Bunda shamol oqimining kelishi  $\angle 0^{\circ} \div \angle 30^{\circ}$  oraliqdagi qiymatlar uchun hisoblangan. Belgilab olingan vazifalardan kelib chiqqan holda turbinaning optimal parametrlarini aniqlash uslubiyoti va algoritmi ishlab chiqildi (12-rasm):





**13b-Takomillashtirilgan vertikal o‘qli shamol turbinasining Ansys dasturidagi ko‘rinishi.**

Mazkur turbina Qblade dasturi orqali simulyatsion tahlillardan o‘tkazilgan (14-rasm).



**14-rasm. Qblade dasturi yordamida olingan grafiklar.**

10, 11-rasmlardan ko‘tarish koeffitsiyentining keng oraliqda o‘zgarishini ko‘rishimiz mumkin, ya’ni turli burchak ostida parrakka ta’sir ko‘rsatuvchi oqimning turbulentslik xususiyati bir xil bo‘lmaydi, natijada ta’sir qiluvchi qiymatlar o‘zgaradi. Simulyatsiya jarayoni natijalariga ko‘ra, turbina parragini o‘rnatish uchun optimal burchak  $10^0$  ekanligi aniqlandi.

Uchta sirtni taqqoslash orqali biz yuqori aerodinamik parametrlari yaxshi bo‘lgan ikkinchi variantni yakuniy shakl sifatida qabul qilishimiz mumkin.

Dissertatsiyaning **“Yurgizish momenti oshirilgan shamol energetik qurilmasining eksperimental tadqiqoti”** nomli to‘rtinchi bobida ishlab chiqilgan shamol energetik qurilmasini amaliyotda joriy etish bo‘yicha ma’lumotlar va iqtisodiy samaradorlik ko‘rsatkichlari keltirilgan.

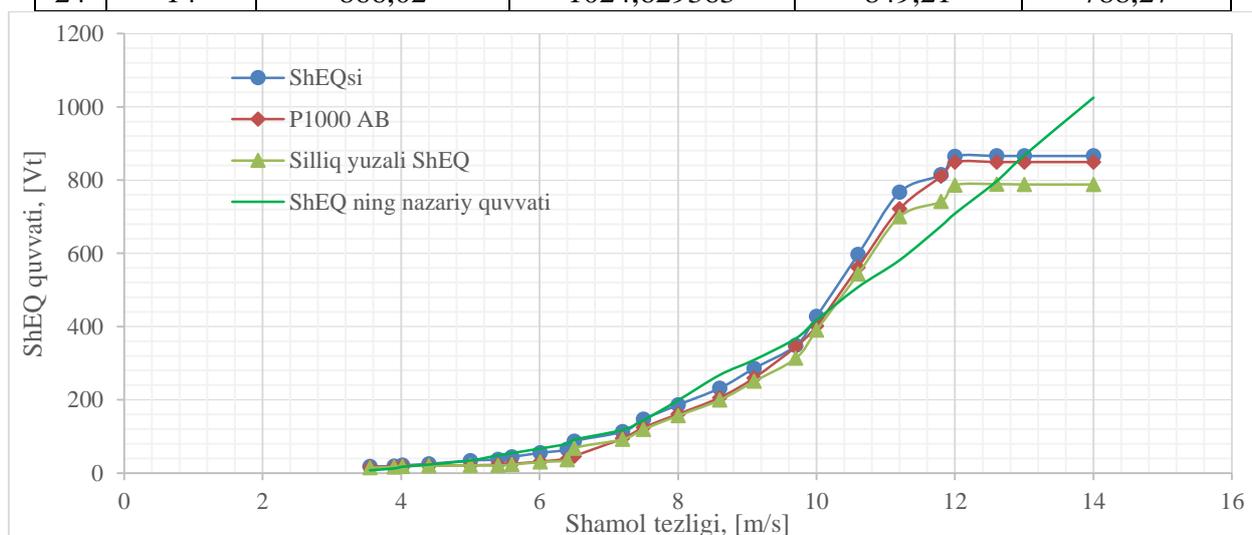
1-jadvalda shamol energetik qurilmasining (ShEQ) turli tezliklarda nazariy hisoblashlar va eksperimental tadqiqot natijalari taqqoslangan va o‘rtacha farq 1,5 foiz ekanligi aniqlanilgan. Qurilmalar quvvatining energetik samaradorligi o‘rta kvadratik usulda o‘zaro taqqoslandi. Unga ko‘ra, ishlab chiqilgan qurilmaning samaradorligi yaqin analog hisoblanuvchi Xitoyda ishlab chiqarilgan “P1000 AB”

modelga nisbatan 3,1 foiz, silliq yuzali turbinaga nisbatan 9,8 foiz yuqori ekanligi aniqlandi (15-rasm).

1-jadval.

**Taklif etilgan ShEQning eksperimental va nazariy quvvatlari.**

№	Shamol tezligi [m/s]	Taklif etilgan ShEQning eksperimental quvvati [Vt]	Taklif etilgan ShEQning nazariy hisoblashlardagi quvvati [Vt]	P1000AB markali qurilmaning quvvati [Vt]	Silliq yuzali ShEQning quvvati [Vt]
1	3,55	18	7,722443926	15,8	14,3
2	3,9	18,8	12,81533519	16,8	16,4
3	4,02	21	17,32958698	18,9	18,3
4	4,4	25	23,3557588	19,8	19,8
5	5	34	34,46835714	20,8	20,8
6	5,4	37	48,57970256	22,2	20,4
7	5,6	44	54,64689937	24,8	23,0
8	6.01	55	67,09169397	30,9	29,9
9	6,4	64,7	80,00335481	38,3	36,1
10	6,5	87	91,42253004	45,9	67,9
11	7,0	113	118,226465	94,4	92,0
12	7,5	147	144,3362455	124	119,0
13	8	186	198,5377371	160,6	156,5
14	8,6	231,6	267,6743678	205,5	199,0
15	9,1	286	309,2185042	259,8	250,5
16	9,7	348	367,5544753	344,8	313,4
17	10	427,5	417,4501031	401,9	390
18	10,6	597	507,7755819	561,4	543,4
19	11,2	767	581,2988856	721,2	700,2
20	11,8	815	674,5786857	810,1	741,7
21	12	865	708,6694228	849,16	786,14
22	12,6	866	796,5085841	849,19	789,16
23	13	866	867,300462	849,2	788,2
24	14	866,02	1024,629363	849,21	788,27

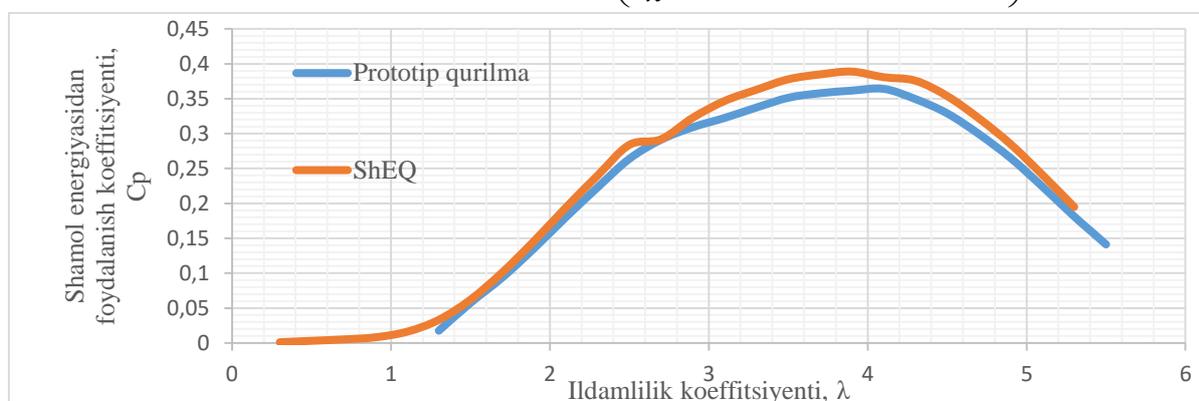


**15-rasm. Shamol turbinalarining quvvat egri chiziqlari.**

Taqdqiqot ishlarida taklif etilgan qurilmaning eksperiment natijalarini qayta ishlash va ularni o‘zaro bog‘lash muhim sanaladi. Shu bois mazkur qurilmaning

$c_p$ ,  $\lambda$  shamol energiyasidan foydalanish va ildamlilik koeffitsiyentlarining eksperimental natijalari olingan va bog‘liqlik tenglamasi aniqlangan.

$$c_p = 0,194802 - 0,199106 \cdot \sin\left(\frac{180}{\pi} \cdot (0,983386 \cdot \lambda + 1,01767)\right) \quad (2)$$



**16-rasm. Shamol energiyasidan foydalanish va ildamlilik koeffitsiyentlarining bog‘liqlik grafiklari.**

Eksperimental tadqiqot natijalariga ko‘ra qurilmaning ildamlilik koeffitsiyenti ( $\lambda=3\div 4,5$ ) bo‘lganda, shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti yuqori bo‘lgan (16-rasm).

ShEQ tajriba sinov maqsadida Buxoro viloyati Romitan tumani Fayzi Qurbon mahallasining “Amirxon bog‘bon” MChJga qarashli issiqxonalar tizimi va tovuqchilik fermasiga o‘rnatildi. Turbinani tayyorlash jarayonida tannarxini arzonlashtirish uchun (maxsus tola sifatida) mahalliy mahsulotlar (ot, echki juni tolas, lavsan) matolaridan foydalanildi. Bu mahsulotlarning mexanik mustahkamligi aniqlandi (2-jadval).

**2-jadval.**

**Turbina parraklarini tayyorlashda foydalaniladigan mahsulotlarning mexanik mustahkamligi.**

№	Tola turi	Mustahkamlik chegarasi [Mpa]	Kuchlanish moduli [Gpa]	Zichligi [g/sm <sup>3</sup> ]
1	Uglerod	2000-5000	200-600	1,8
2	Shisha tola	1950-3500	70-80	2,55
3	Shisha tolali mato	4500-4700	75-90	2,5
4	Kevlar matosi	3000-3150	63-67	1,4
5	Bazalt	2800-3100	80-90	2,6-2,7
6	Zig‘ir	400-600	12-25	1,2-1,5
7	Kanop	300-700	20-70	1,3-1,5
8	Sisal	350-700	7-22	1,4-1,5
9	Gabardin mato	150-250	10-20	1,1-1,2
10	Lavsan matosi	350-780	20-30	1,3
11	Pilla (tola)	550-650	4-6	1,2
12	Echki juni (tola)	700-900	30-32	1,3
13	Ot yoli (tola)	800-1000	35-38	1,4

Turbinani tayyorlashda foydalaniladigan maxsus eritmalarning konsentratsiyasi aniqlandi (3-jadval).

**3-jadval.**

**Turbina parraklari va tayanchlariga sarflaniladigan shisha tolali xom-ashyo miqdori.**

<b>Suyuqlik Shisha tola</b>	<b>Poliefir smola [kg]</b>	<b>Mustahkam qotishini ta'minlovchi eritma [kg]</b>	<b>Tez qotishini ta'minlovchi eritma [kg]</b>
1 m <sup>2</sup> tola (300 gr/m <sup>2</sup> )	2,4	0,096	0,048
1 m <sup>2</sup> mato (285 gr/m <sup>2</sup> )	-	-	-

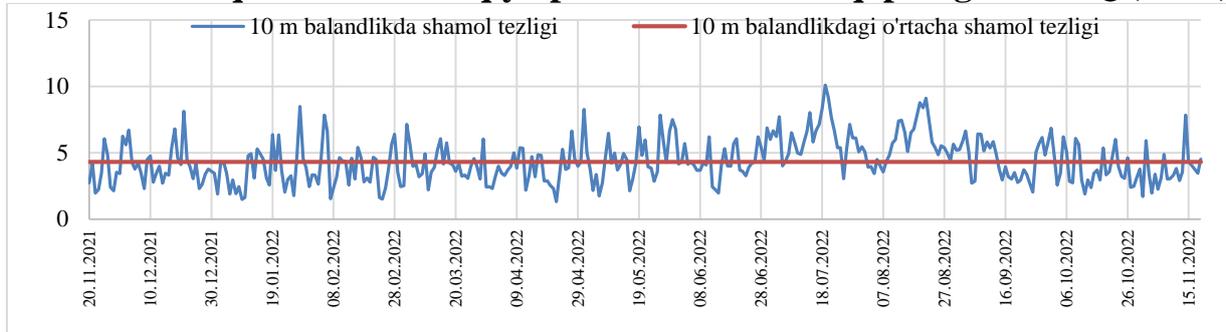
Mazkur mahsulotlar va suyuqliklardan foydalanilgan holda 1 [kVt] quvvatli ShEQ yaratildi (17-18 rasm).



**17-rasm. Mahalliy tolalarni sinash va bu tolalardan foydalanib turbina qismlarini tayyorlash jarayoni.**

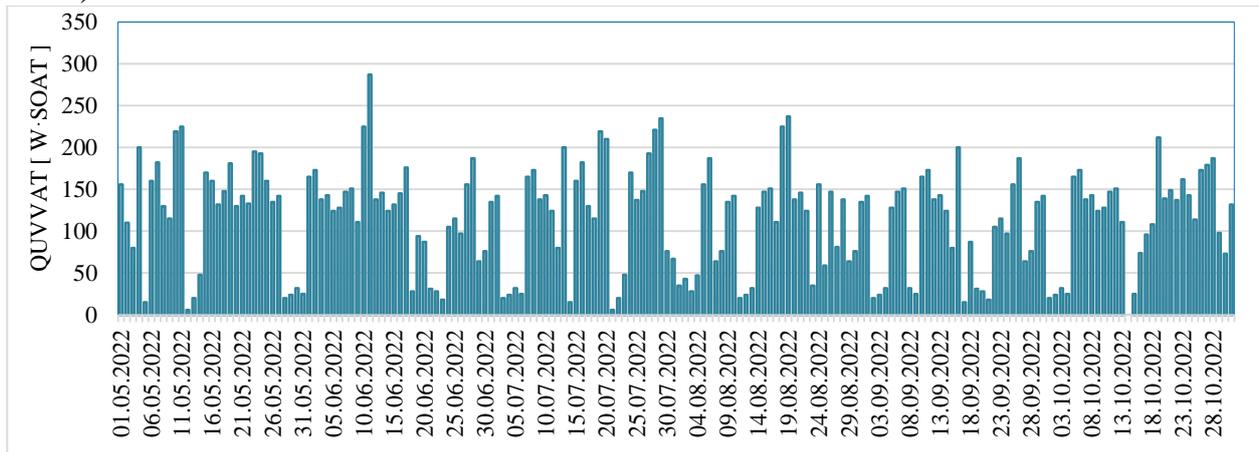


**18-rasm. Tashqi sirti vertikal qiya plastinkalar bilan qoplangan ShEQ (1kVt).**



**19-rasm. 1 yil mobaynida shamol tezligining o'zgarish dinamikasi.**

ShEQ o'rnatiladigan hududning shamol salohiyati o'rganildi, 10 metr balandlikda shamolning bir yillik o'rtacha tezligi 4,311703 m/s ni tashkil etdi (19-rasm).



**20-rasm. Taklif etilgan 1 kVtli qurilmaning 6 oy mobaynida ishlab chiqargan elektr energiyasi miqdori.**

Shamol tezligi 1 yil mobaynida, qurilmaning quvvati 6 oy davomida o'lchandi (19-20 rasmlar), unga ko'ra kuz faslida ishlab chiqarilgan elektr energiya yozdagiga nisbatan 15 foizga ko'p ekanligi aniqlandi.

Yuqorida aniqlangan ma'lumotlar asosida, ishlab chiqarilgan shamol energetik qurilmasi, dizel generatori va elektr tarmog'ini olib kelishdagi iqtisodiy

samaradorlik ko'rsatkichlari taqqoslangan (4-jadval).

4-jadval.

**Qurilmalarni texnik-iqtisodiy ko'rsatkichlarini taqqoslash.**

№	Parametrlar	ShEQ		Prototip		Dizel generatori		Elektr tarmog'i
				Ropate c Maxi 6kW	P1000 AB			
1	O'rnatilgan quvvat [kVt]	6	1	6	1	6	1	-
2	Elektr energiyasini keltirishdagi tarmoq xarajatlari [mln. so'm]	-		-	-	-	-	225
3	Qurilmaning balansdagi narxi [mln. so'm]	45	10,33	81,2	31	8	3,28	-
4	Bir yilda ishlab chiqariladigan o'rtacha elektr energiyasi miqdori [kVtsoat]	9250	1550	8980	1505	9250	1550	-
5	Yoqilg'i xarajatlari [mln. so'm]	-		-		25,54	4,04	-
6	Amortizatsiyaga ajratmalar [mln. so'm]	1,305	0,3	2,355	0,9	0,232	0,088	7,46
7	Joriy ta'mirlash xarajatlari [mln. so'm]	1,35	0,31	2,436	0,93	0,24	0,098	2,057
8	Ekspluatatsiya xarajatlari [mln. so'm]	2,665	0,61	4,791	1,83	26,02	4,226	9,517
9	Elektr energiyasi narxi [so'm]	288	393	533	1216	2813	2730	-

Jahonda bugungi kunda shamol energetik qurilmalarining samaradorligi bo'yicha loyihalarni baholashda "Sof diskontlangan foyda" uslubiyotidan keng foydalaniladi. Bunda loyihaning barcha xarajatlari va kelgusida olinadigan foyda loyiha ko'rilayotgan vaqt qiymatiga nisbatan hisoblaniladi.

ShEQni Buxoro viloyati Romitan tumanidagi issiqxona hududida joriy etishning iqtisodiy samaradorlik ko'rsatkichlari 5-jadvalda keltirilgan.

**Taklif etilgan va prototip qurilmalarni joriy etishdagi iqtisodiy samaradorlik.**

Ko'rsatkichlar	ShEQ	Prototip (ShEQ)
Sof joriy foyda [mln. so'm]	75,8	34
Foydaning ichki me'yori, %	37	67
Foyda indeksi	2,68	1,33
Statik qoplash muddati, yil	2,175	4,37
Dinamik qoplash muddati, yil	2,94	7,83

**XULOSA**

“Vertikal o‘qli shamol energetik qurilmasini ishlash samaradorligini oshirish” mavzusi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlar natijasida quyidagi xulosalar shakllantirildi:

1. Buxoro viloyatining shamol salohiyatini baholash maqsadida eksperimental tadqiqotlar o‘tkazildi. Unga ko‘ra, kuchsiz shamol oqimlari ( $2,5 \div 8$  m/s) uchun hududda vertikal o‘qli turbinalardan foydalanish samarali ekanligi asoslandi.

2. Vertikal o‘qli shamol turbinasi samaradorligiga ta‘sir ko‘rsatuvchi faktorlar o‘rganildi, kichik quvvatli va avtonom iste‘molchilar uchun mintaqa iqlim xususiyatlariga moslashtirilgan shamol energetik qurilmasining tajriba-sinov namunasi hamda turbinaning geometrik o‘lchamlarini optimallashtirish algoritmi yaratildi.

3. Mahalliy mahsulotlardan foydalanib tayyorlangan vertikal o‘qli shamol turbinasining konstruksiyasi takomillashtirilib, shamol energiyasidan foydalanish samaradorligi 3,1 foizga oshirildi va foydali modelga patent guvohnomasi olindi.

4. Ishlab chiqilgan shamol energetik qurilmasida olingan tajriba natijalari umumlashtirilib, turbinaning shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti qiymatini aniqlash uchun empirik tenglama ishlab chiqildi.

5. Taklif etilgan shamol turbinasi parraklari uchun ko‘tarish va tortish koeffitsiyentlarining miqdori  $\alpha \in [0^{\circ}; 30^{\circ}]$  burchaklar intervalida Ansys, Qblade daturlaridan foydalanilgan holda o‘rganilib, turbina simulyatsiya qilindi. Aerodinamik sirt shaklining optimal varianti tanlandi va maqbul o‘rnatish burchagi  $10^{\circ}$  ekanligi aniqlandi.

6. Shamol energetik qurilmasi mahalliy mahsulotlardan foydalanib tayyorlandi. Natijada, xorijdan import qilishdagi transport xarajatlarining kamayishi evaziga tannarxi sezilarli kamaydi. Turbina qismini tayyorlash uchun xom-ashyo materiallarining konsentratsiya miqdori  $1 \text{ m}^2$  shisha tola uchun mustahkam qotishni ta‘minlovchi eritma 0,096 kg, tez qotishni ta‘minlovchi eritma 0,048 kg ekanligi aniqlandi.

7. Quvvati 6 kVt bo‘lgan shamol energetik qurilmasining iqtisodiy samaradorligi “Sof diskontlangan foyda” uslubiyotida baholandi va yillik foyda 75,8 million so‘m ekanligi aniqlandi.

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

---

**БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**МУЗАФФАРОВ ФИРДАВС ФУЗАЙЛ УГЛИ**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕРТИКАЛЬНО-  
ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ**

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

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

**Карши - 2024**

Тема диссертации на соискание ученой степени доктора философии (PhD) технических наук зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан за номером В2023.2.PhD/Г2898.

Диссертация выполнена в Бухарском инженерно-технологическом институте.  
Автореферат диссертации доступен на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) на сайте Ученого совета ([www.qmii.uz](http://www.qmii.uz)) и на информационно-образовательном портале «Ziyounet» ([www.ziyounet.uz](http://www.ziyounet.uz)).

**Научный руководитель:**

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

**Официальные оппоненты:**

**Тоиров Олимжон Зувурович**  
доктор технических наук, профессор

**Хужакулов Сайдулла Мирзаевич**  
доктор философии по техническим наукам, доцент

**Ведущая организация:**

**Ферганский политехнический институт**

Защита состоится «6» 04 2024 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании Научного совета PhD.03/30.09.2020.Т.111.03 при Каршинском инженерно-экономическом институте. Адрес: 180100, г. Карши, проспект Мустакиллик, 225. Конференц-зал Каршинского инженерно-экономического института. Тел/факс: (75) 224-02-89/224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в информационно-ресурсном центре Каршинского инженерно-экономического института (зарегистрирована за № 99). Адрес: 180100, г. Карши, проспект Мустакиллик, дом 225. Каршинский инженерно-экономический институт. Тел/факс: (75) 224-02-89.

Автореферат диссертации разослан «25» 03 2024 года.  
(протокол рассылки № 20 от «25» 03 2024 г.)



**Г.Н. Узakov**

Председатель научного совета по присуждению  
ученых степеней, д.т.н., проф.

**Х.А. Давлонов**

Зачинный секретарь научного совета по  
присуждению ученых степеней, д.ф.т.н.

**Б. Уришев**

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

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

**Актуальность и востребованность темы диссертации.** Увеличение потребности в электроэнергии в мире требует широкого использования возобновляемых источников энергии. В 2024 году на долю возобновляемых источников энергии приходится 33,5 процента электроэнергии, вырабатываемой во всем мире, в том числе, доля ветряных электростанций составляет 8,6 процента<sup>1</sup>. В частности, использование источников энергии ветра становится приоритетным направлением обеспечения электроэнергией автономных потребителей малой мощности, расположенных вдали от централизованного электроснабжения. Согласно Концепции развития ветроэнергетики Международного агентства по возобновляемым источникам энергии, к 2050 году ветроэнергетика будет составлять 35% мировой потребности в энергии<sup>2</sup>. В этом направлении, в частности, особое внимание уделяется проблемам разработки оптимальных конструкций ветряных турбин с вертикальной осью, увеличения крутящего момента, определения аэродинамических параметров, оценки энергетических показателей и повышения коэффициента использования энергии ветра на основе моделирования.

В мире проводятся научные исследования по повышению эффективности использования низкоскоростных ветровых потоков, разработке ветроэнергетических установок с вертикальной осью, обоснованию их энергетических, аэродинамических и конструктивных параметров, а также повышению их производительности. В связи с этим большое внимание уделяется разработке ветроэнергетических установок с вертикальной осью, адаптированных к климатическим условиям регионов со слабыми ветровыми потоками, анализу конструктивных и режимных параметров, определению оптимальных параметров турбины для повышения эффективности ветроэнергетических установок, а также эксплуатации усовершенствованных установок.

В процессе реформирования энергетической отрасли нашей республики особо актуальными являются вопросы улучшения энергоснабжения и решения существующих проблем в отрасли. В этом направлении ведется системная работа по расширению возможностей использования ветроэнергетики, в том числе по оценке технического и валового потенциала ветроэнергетики в регионах, и разработке, исходя из этого, ветроэнергетических установок. В постановлении Президента Республики Узбекистан № ПП-57 от 16 февраля 2023 года «О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году» определены задачи по «...введению в эксплуатацию в 2023 году крупных солнечных и ветровых электростанций мощностью 2100 МВт...». В процессе реализации этих задач особое значение имеет создание вертикально-осевой ветроэнергетической

---

<sup>1</sup> <https://www.iea.org/energy-system/renewables>

<sup>2</sup> <https://www.irena.org/publications/2019/Oct/Future-of-wind>

установки и разработка соответствующих научно-технических решений с учетом климатических условий и потенциала ветроэнергетики региона.

Данная диссертационная работа в определенной мере служит реализации задач, сформулированных в Законе Республики Узбекистан № ЗРУ-539 от 21 мая 2019 года «Об использовании возобновляемых источников энергии», указе Президента Республики Узбекистан от 9 сентября 2022 года № УП-220 «О дополнительных мерах по внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии малой мощности», постановлениях Президента Республики Узбекистан от 28 апреля 2018 года ПП-3687 «О дополнительных мерах по реализации инвестиционных проектов в области возобновляемых источников энергии», от 22 августа 2019 года № ПП-4422 «Об ускоренных мерах по повышению энергоэффективности отраслей экономики и социальной сферы, внедрению энергосберегающих технологий и развитию возобновляемых источников энергии» и других нормативных документах, регулирующих данный вид деятельности.

**Соответствие исследований приоритетным направлениям развития науки и технологий республики.** Исследования в рамках данной диссертационной работы выполнены в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий республики IV. «Развитие методов использования возобновляемых источников энергии, создание технологий и устройств на основе нанотехнологий, фотоники и других современных передовых технологий».

**Степень изученности проблемы.** В связи с тем, что использование энергии ветра приобрело особую актуальность среди возобновляемых источников энергии, во всем мире, в том числе и в нашей республике, проведено множество научных исследований в этой сфере. J.V. Akwa, A.K.Ravi, Marco Casini, S. Brusca, J.M.Darrius, R. Ansaf, Ch. Shi, Y. Ch. Miao, S. Savonius, E. M. Фатаев, Е. В. Соломин и другие зарубежные ученые, а также такие отечественные ученые, как академик К.Р.Аллаев, академик Р.А.Захидов, У.А.Таджиев, О.З.Тоиров, У.Г.Дехканов, А.Б.Сафаров, Ш.Н. Нематов провели эффективные научные исследования по вопросам улучшения технических и энергетических параметров ветроэнергетических установок и, в частности, ветротурбин на основе возобновляемых источников энергии. В ходе данных исследований достигнуты существенные результаты по созданию энергоэффективных, механически прочных и пригодных для работы в соответствующих климатических условиях ветроэнергетических установок различных конструкций. Тем не менее, проведенных научных исследований по изучению ветроэнергетических установок с вертикальной осью, позволяющих повысить эффективность использования низкопотенциальных ветровых ресурсов, недостаточно.

**Связь диссертационного исследования с планом научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация.** Диссертационное исследование выполнено в соответствии с планом научно-исследовательских работ Бухарского инженерно-технологического института в рамках инновационного проекта

ПМ 20215001 «Создание эффективной ветроэнергетической установки для малых электропотребителей в климатических условиях Узбекистана» (2021-2022).

**Цель исследования** заключается в разработке и повышении эффективности ветроэнергетической установки с вертикальной осью.

**Задачи исследования:**

анализ научных исследований по разработке ветроэнергетических установок с вертикальной осью и повышению эффективности их работы в условиях слабых ветровых потоков;

разработка ветроэнергетической установки с вертикальной осью и лопастями ветроколеса из композиционных материалов, эффективно работающего при слабых ветровых потоках;

разработка математической модели, выражающей зависимость механических и энергетических параметров ветроэнергетической установки с вертикальной осью от скорости ветрового потока, конструктивных параметров установки и аэродинамических сил;

определение в программах Ansys Fluent и Qblade оптимальной аэродинамической формы лопасти ветроэнергетической установки и оптимальных геометрических размеров вспомогательных поверхностей, позволяющих увеличить пусковой момент;

разработка моделей и алгоритмов, позволяющих определять оптимальные значения коэффициентов использования энергии ветра и быстроходности ветроэнергетической установки с вертикальной осью при различных скоростях ветрового потока;

определение технико-экономических показателей вертикально-осевой ветроэнергетической установки и оценка экономической эффективности ее внедрения.

**Объектом исследования** является ветроэнергетическая установка с вертикальной осью для малых энергопотребителей, адаптированная к климатическим условиям Узбекистана, и технологический процесс ее работы.

**Предмет исследования** представляет собой исследование вертикально-осевых ветроэнергетических установок, работающих при слабых ветровых потоках, закономерностей при определении оптимальной формы и конструкции лопастей турбины, процессов преобразования механической энергии в электрическую.

**Методы исследования.** В процессе исследования были использованы такие методы, как математическое моделирование ветряных энергетических установок, статистическая обработка результатов эксперимента, создание имитационной модели ветроэнергетической установки, планирование эксперимента и инструментальные измерения.

**Научная новизна исследования** заключается в следующем:

впервые разработана ветроэнергетическая установка с вертикальной осью, изготовленная из местных и композитных материалов, в которой наружная поверхность лопастей ветрового колеса, расположена под углом  $\alpha$  и покрыта вертикальными пластинами, на опорах, соединяющих лопасти с

втулкой, установлены вспомогательные поверхности, которые остаются открытыми в статическом положении, а эффективность работы установки при малоскоростных ветровых потоках повышена до 3...8 процентов (№ FAP 02138, 2022 г.);

разработана математическая модель, позволяющая на основе балансовых уравнений рассчитать коэффициент использования энергии ветра ветроэнергетической установки исходя из изменения скорости ветрового потока, диаметра турбины, количества и высоты лопастей, длины аэродинамической поверхности, наклона лопастей относительно плоскости вращения, а также действующих на лопасти подъемной и тяговой сил;

с учетом геометрических размеров конструктивной и вспомогательной поверхностей ветряной турбины, а также оптимальных значений, воздействующих на нее подъемной и тяговой сил, количества лопастей, угла атаки ветрового потока на лопасть, коэффициента использования энергии ветра разработана конструкция ветроэнергетической установки;

получено эмпирическое уравнение, отражающее изменение коэффициентов использования энергии ветра и быстроходности на основе криволинейной зависимости, исходя из скорости ветрового потока и количества лопастей ветроэнергетической установки с вертикальной осью, надежно работающей даже при малоскоростных ветровых потоках.

**Практические результаты исследования** заключаются в следующем:

разработана легкая и эффективная ветроэнергетическая установка с повышенным пусковым моментом, изготовленная из местного сырья и предназначенная для малых энергопотребителей, которые расположены в отдаленных районах Бухарской области и не подключены к централизованным сетям электроснабжения;

обеспечена эффективная работа ветротурбины и при малых скоростях ветра, а также разработана программа выбора оптимальных конструктивных параметров установки.

**Достоверность результатов исследования** основана на том, что научно-исследовательская работа проводилась с использованием современных методов и средств измерений, для проверки результатов экспериментальных исследований использовались надежные и проверенные методы моделирования, эксперименты проводились в естественных условиях, а разработанная в результате исследования ветроэнергетическая установка была внедрена в практику.

**Научная и практическая значимость результатов исследования.** Научная значимость результатов исследования заключается в том, что путем оптимизации лопастей ветротурбины с вертикальной осью разработана математическая модель ветроэнергетической установки с вертикальной осью, эффективно работающей при малоскоростных ветровых потоках.

Практическая значимость исследований характеризуется тем, что разработана конструкция ветроэнергетической установки с вертикальной осью, эффективно работающей в условиях малоскоростных ветровых потоков,

при этом, предлагаемая установка способствует снижению количества выбросов CO<sub>2</sub> на 1225 кг в год.

**Внедрение результатов исследования.** На основе научных результатов, полученных в процессе повышения эффективности и внедрения вертикальной ветроэнергетической установки:

в Агентстве интеллектуальной собственности Министерства юстиции Республики Узбекистан получен патент на полезную модель – ветроэнергетическую установку с вертикальной осью, приспособленную для эффективной работы в условиях малоскоростных ветровых потоков (№ FAP 02138,31.10.2022 г.). В результате создана возможность повышения коэффициента использования установкой энергии ветра ( $C_p$ ) до 3...8 %;

усовершенствована конструкция ветроэнергетической установки с вертикальной осью, работающей в условиях малоскоростных ветровых потоков (справка Министерства энергетики Республики Узбекистан № 04-13-6286 от 18 октября 2023 г.). В результате создана возможность для увеличения выработки электроэнергии до 3,1 % даже при скорости ветра в пределах 2,5-12 м/с и достижения бесперебойного снабжения электроэнергией;

разработанная вертикально-осевая ветроэнергетическая установка внедрена в ООО «Амирхан Богбон», расположенном в Ромитанском районе Бухарской области (справка Министерства энергетики Республики Узбекистан №04-13-6286 от 18 октября 2023 года). В результате достигнута экономическая эффективность по сравнению с генератором внутреннего сгорания в размере 75,8 млн. сумов в год.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследований были обсуждены на 6 научно-практических конференциях, в том числе 4 международных и 2 республиканских конференциях.

**Публикация результатов исследования.** По данной диссертационной работе опубликовано 17 научных материалов, в том числе научные статьи в 3 международных и 7 республиканских журналах, рекомендованных к публикации основных научных результатов докторских диссертаций Высшей аттестационной комиссией Республики Узбекистан, в Агентстве интеллектуальной собственности Республики Узбекистан получен 1 патент на полезную модель и авторское свидетельство на программу ЭВМ.

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

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ.**

Во **введении** обосновываются актуальность и востребованность темы диссертации, формулируются цель и задачи исследования, показано их соответствие приоритетным направлениям развития науки и технологий республики, отмечается научная новизна и практические результаты исследования, раскрывается научная и практическая значимость полученных результатов, приводятся сведения о внедрении результатов исследования, публикации научных работ и структуре диссертации.

В первой главе диссертации под названием «Проблемы и недостатки использования ветротурбин и их перспективные решения» представлен анализ современного состояния использования энергии ветра в мире и в Узбекистане и имеющихся возможностей в сфере ветроэнергетики. Проанализированы ветроэнергетические установки различных конструкций и указаны их оптимальные геометрические параметры. Представлены результаты анализа исследований, проведенных за рубежом и в нашей стране по ветроэнергетическим установкам, работающим в условиях переменных и слабых ветровых потоков, оценен ветровой потенциал региона. Проведено сравнение конструкций ветротурбин с вертикальной осью. Изучены факторы, влияющие на эффективность ветроэнергетических установок с вертикальной осью, проанализированы исследовательские работы, проводимые по увеличению пускового момента, определены цели и задачи исследования. Обосновано, что эффективность установки можно стабилизировать за счет решения таких задач, как локализация производства Н-образных турбин с вертикальной осью, адаптированных к климатическим условиям нашей республики, снижение массы турбины, увеличение пускового момента, оптимизация геометрических размеров.

Во второй главе диссертации «Конструкция ветротурбины с вертикальной осью, аэродинамическая форма и математическая модель ее лопастей» с аэродинамической точки зрения анализируются параметры, влияющие на лопасти ветроэнергетической установки с вертикальной осью. Представлен компьютерный анализ модели аэродинамических поверхностей стандартного вида (рис. 1, 2).

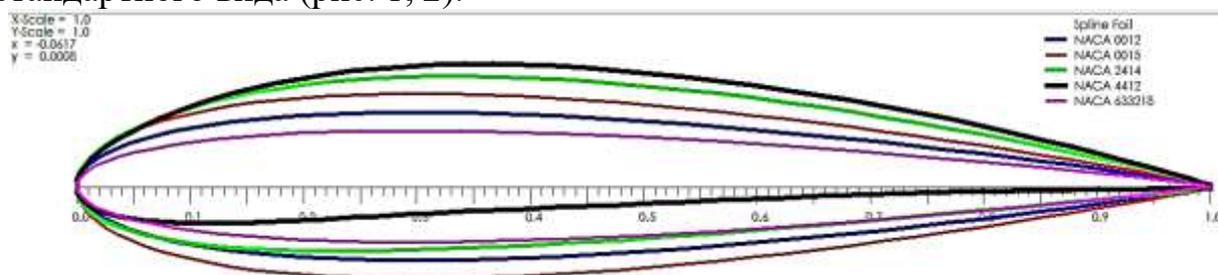


Рис. 1. Общий вид аэродинамических поверхностей NACA 0012, NACA 0015, NACA 2414, NACA 4412, NACA 633218.

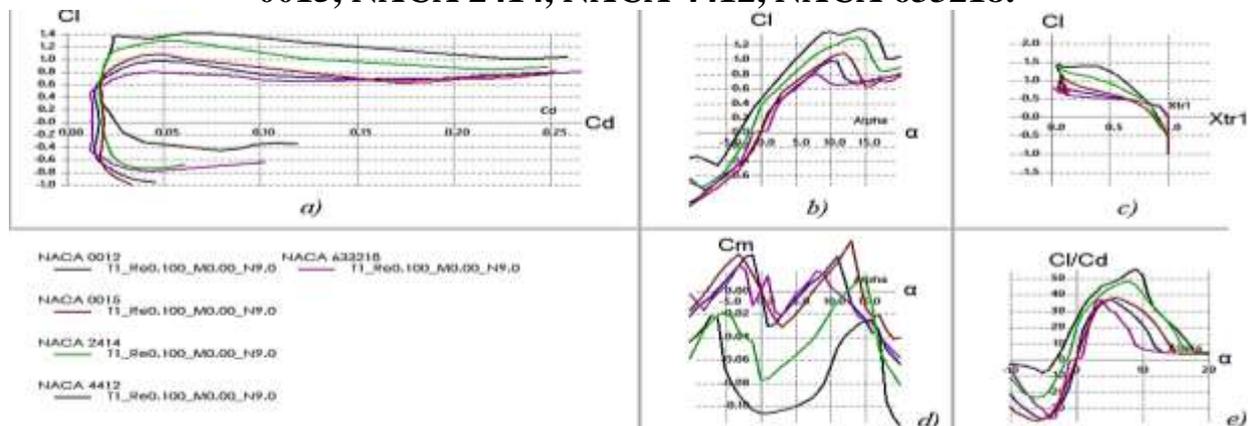
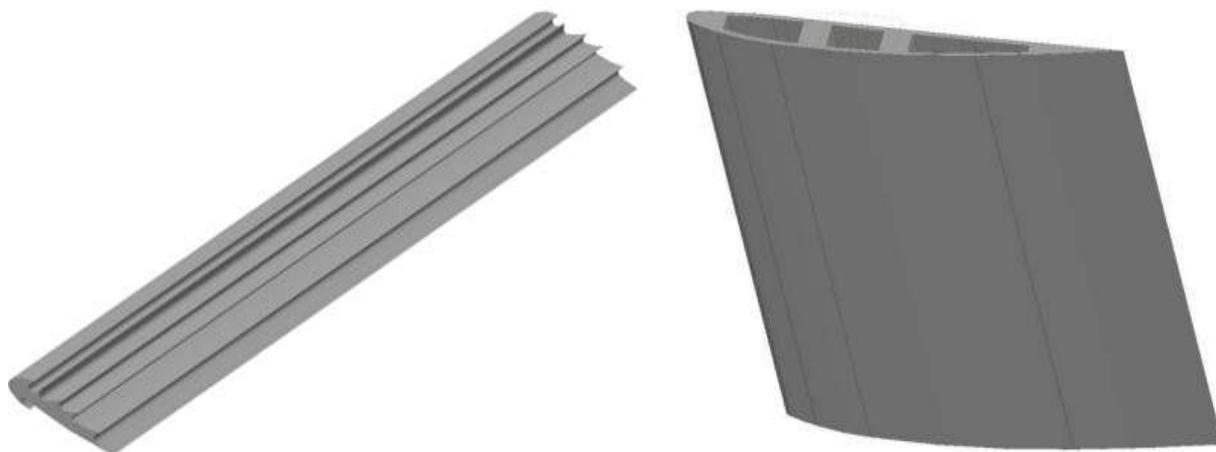


Рис. 2. Сопоставление параметров аэродинамических поверхностей NACA 0012, NACA 0015, NACA 2414, NACA 4412, NACA 633218.

В этой главе представлены конструктивные изменения, внесенные для увеличения пускового момента турбины, и их сопоставление со стандартными конструкциями (рис.3, 4).



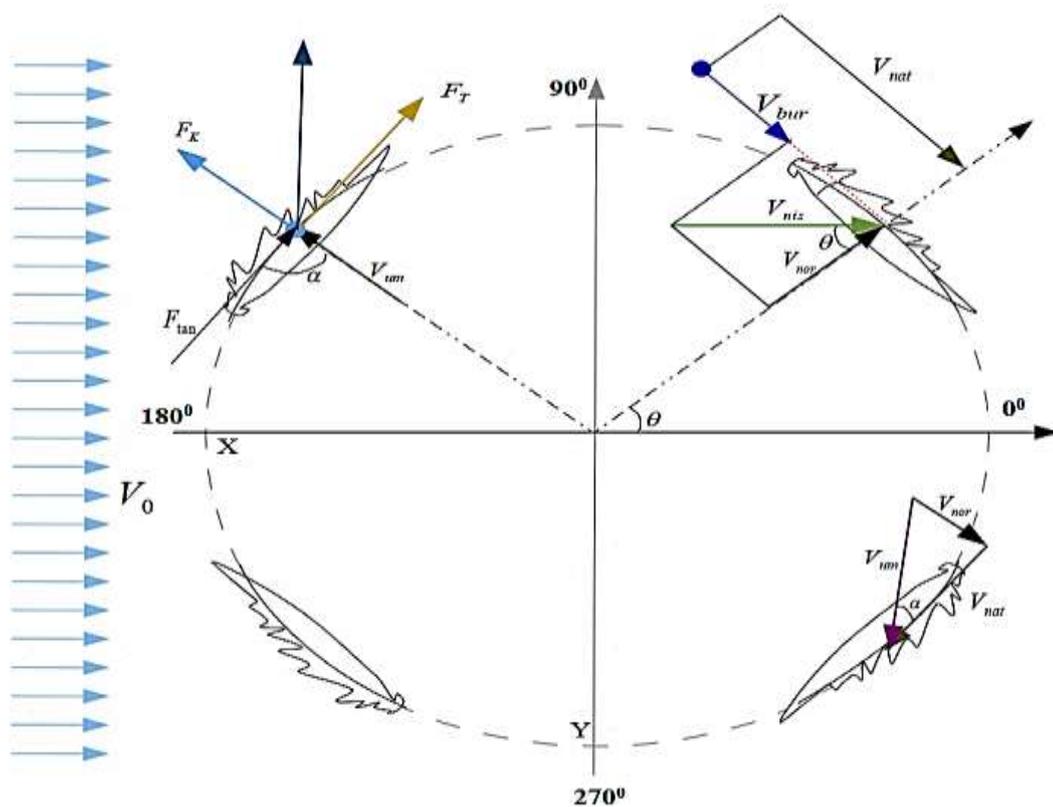
**Рис. 3. Общий вид предлагаемой и стандартной лопастей турбины.**



**Рис. 4. Общий вид предлагаемой и стандартной опор турбины.**

Поверхность предлагаемой лопасти турбины покрыта специальными неровностями, в результате чего лопасть максимально использует поток ветра, дующий сзади, и улучшается взаимодействие потока с поверхностью лопасти, что приводит к увеличению пускового момента. Кроме того, стойки, удерживающие лопасти, были изменены, им была придана аэродинамическая форма для возникновения подъемной силы при пересечении стойки с потоком воздуха, вместе с тем на стойке установлена вспомогательная поверхность автоматического открытия и закрытия. Эта вспомогательная поверхность открывается при низкой скорости ветра или при запуске турбины и помогает турбине преодолеть инерцию. Когда скорость вращения турбины достигает номинального значения, вспомогательные поверхности закрываются и обеспечивают нормальную работу турбины.

Необходимые для моделирования турбины параметры, влияющие на лопасти, представлены в векторном виде на рис. 5.



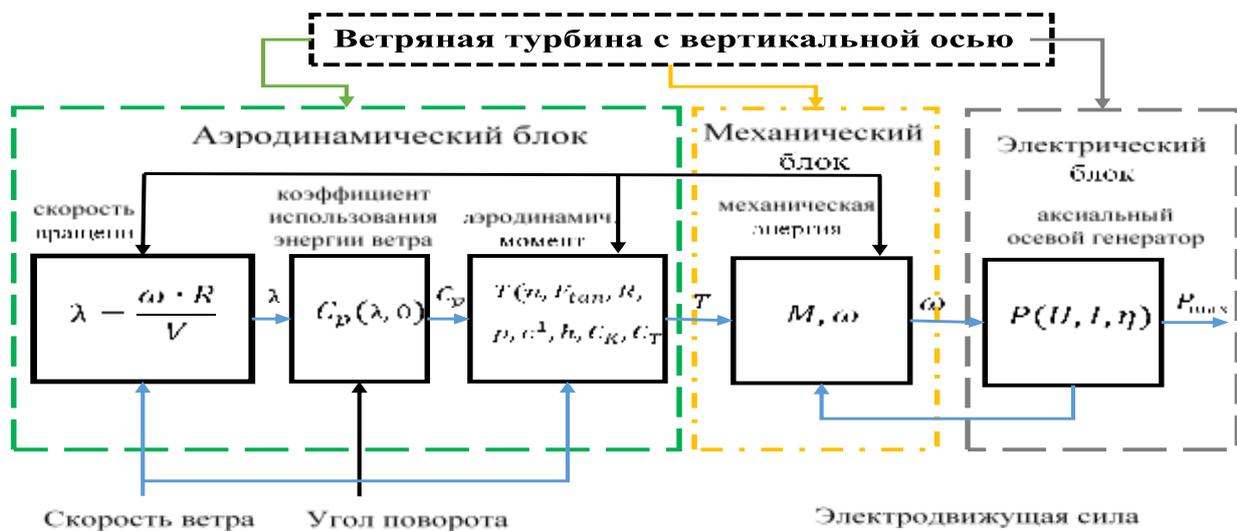
**Рис.5. Вид параметров, влияющих на лопасть ВЭУ, в векторных величинах.**

Здесь, скорости ветра  $V_0$  - до турбины;  $V_{bur}$  - угловая;  $V_{nis}$  - относительная;  $V_{um}$  - общая;  $V_{nor}$  - нормальная;  $V_{nat}$  - результирующая скорости;  $F_K$  - подъёмная сила,  $F_T$  - тяговая сила.

В целом, математическая модель разработанной установки представлена следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda_{opt} = \frac{4 \cdot \pi}{N} = \frac{\omega \cdot R}{V_{um}}; \\ J\theta(t) = T_a(t) - T_q(t); \\ P_{mex} = T \cdot \omega = \frac{\rho \cdot c^1 \cdot h \cdot V_{um}^2 \cdot R \cdot n_{ayl}}{15} \cdot \left( C_K \cdot \int_0^{2\pi} \sin \arctg\left(\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta}\right)(\theta) - C_T \cdot \int_0^{2\pi} \cos \arctg\left(\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta}\right)(\theta) \right); \\ C_p = \frac{P_{mex}}{1/2 \cdot \rho \cdot V_0^3 \cdot A} = \frac{2 \cdot c^1 \cdot V_{um}^2 \cdot n_{ayl} \cdot \left( C_K \cdot \int_0^{2\pi} \sin \arctg\left(\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta}\right)(\theta) - C_T \cdot \int_0^{2\pi} \cos \arctg\left(\frac{\sin \theta}{\lambda + \cos \theta}\right)(\theta) \right)}{15 \cdot V_0^3}. \end{array} \right. \quad (1)$$

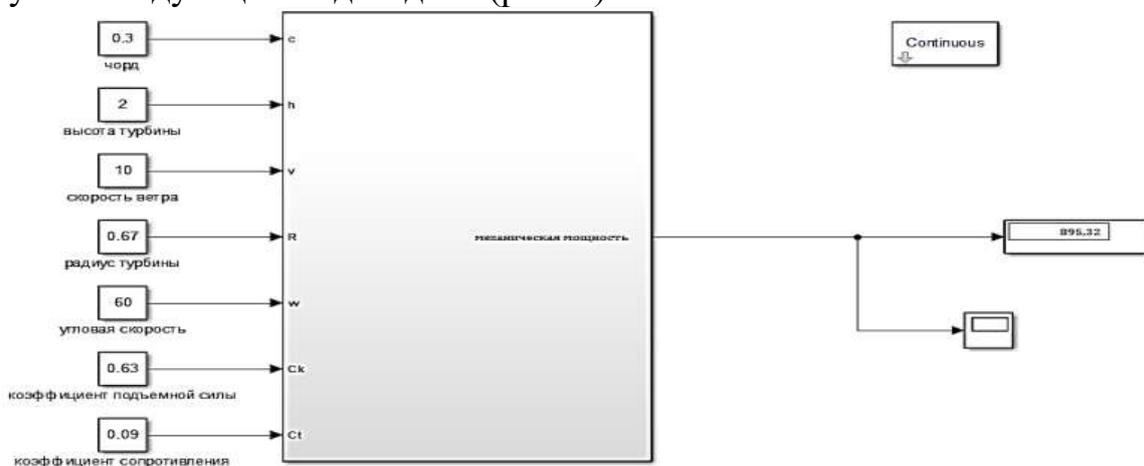
Здесь  $\lambda_{opt}$  - оптимальный коэффициент быстроходности,  $N$  - число лопастей,  $T_a(t)$  - функция аэродинамической движущей силы,  $T_q(t)$  - функция силы сопротивления,  $J$  - общий момент инерции турбины,  $\theta$  - угол поворота лопасти турбины,  $C_K$ ,  $C_T$  - коэффициенты подъемной сила и тяговой сила,  $c^1$  - длина наружной поверхности лопасти,  $R$  - радиус турбины,  $h$  - высота турбины,  $n_{ayl}$  - скорость вращения турбины,  $\rho$  - плотность воздуха



**Рис. 6. Блок-схема расчета механической мощности ветротурбины с вертикальной осью.**

На рис. 6 в виде блок-схемы представлены параметры, влияющие на аналитическую модель расчета механической мощности ветроэнергетической установки с вертикальной осью.

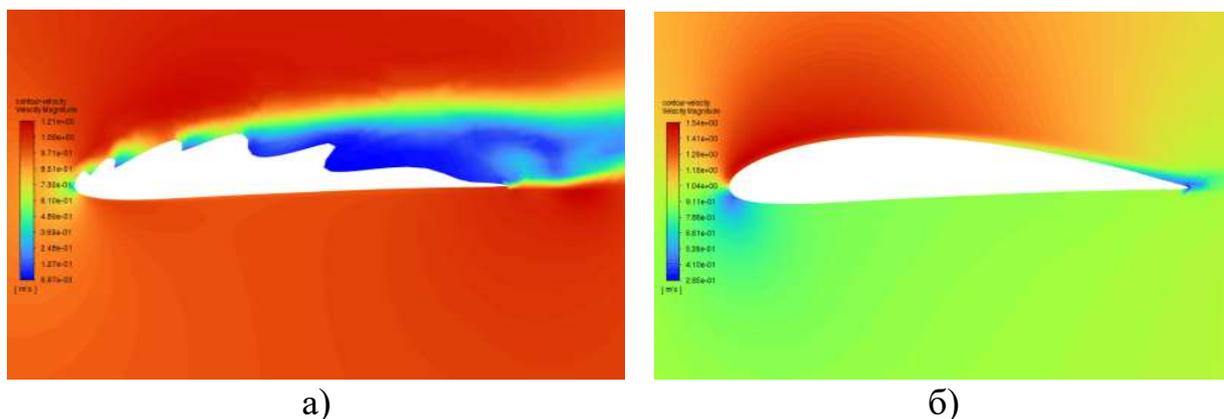
Значит, как показано на формуле 1, мы можем увеличить механическую мощность ветротурбины за счет увеличения площади внешней поверхности лопасти. Введя уравнение, приведенное в формуле 1, в программу Matlab, получим следующий вид модели (рис. 7).



**Рис.7. Модель ветроэнергетической установки, построенная в пакете приложений Matlab.**

В программу Matlab в качестве размеров для расчета мощности введены фактические размеры турбины, так, например, расчет производился, исходя из следующих размеров:  $c = 30 \text{ sm}$ ,  $h = 2 \text{ m}$ ,  $R = 0,7 \text{ m}$ .

В третьей главе диссертации под названием «**Разработка конструкции турбины с вертикальной осью и обоснование ее параметров**» описаны симуляционные испытания ветровой турбины и ее лопастей, проведенные при помощи таких программ, как Qblade, Ansys, определены значения подъемной и тяговой силы для предлагаемой формы лопастей, а также форма лопастей оптимальный угол их установки (рис. 8,9).



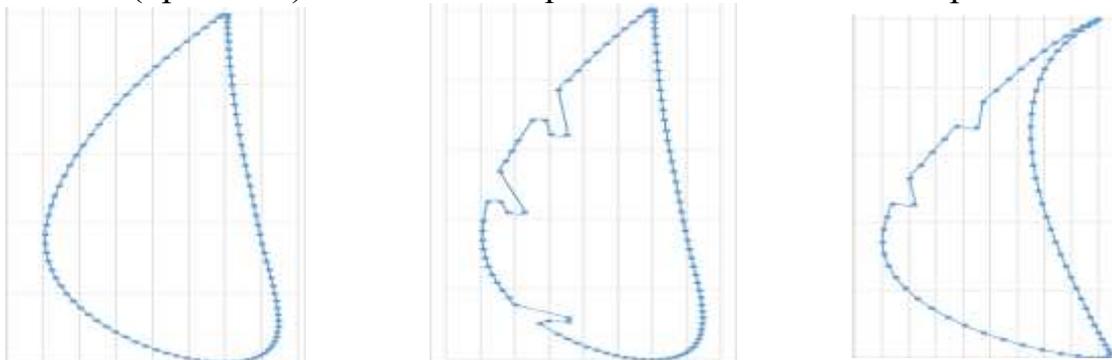
**Рис.8. Скоростные характеристики а)- неровной поверхности, б)- поверхности NASA4412.**

Эффективность лопасти ветротурбины характеризуется шириной сектора синего цвета верхней части. По изображению на рисунке 8 видно, что параметры неровной поверхности лучше по сравнению с гладкой, но нам необходимо определить оптимальную форму этих неровностей. Отклонение количества и глубины неровностей от нормы отрицательно влияет на эффективность турбины, создавая турбулентность вокруг лопастей. По этой причине с помощью программы Ansys были выбраны три формы лопасти, продемонстрировавшие наилучшие результаты (рис. 9).

NACA 4412 (прототип)

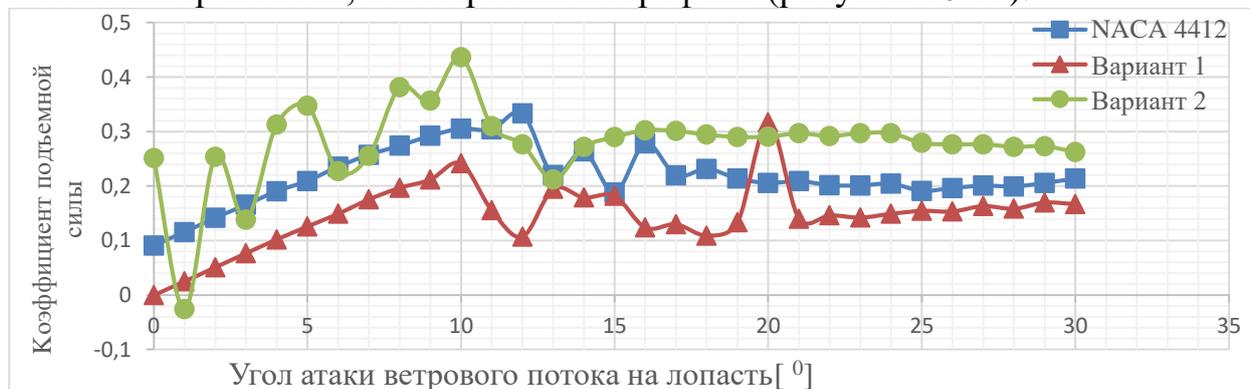
Вариант 1

Вариант 2

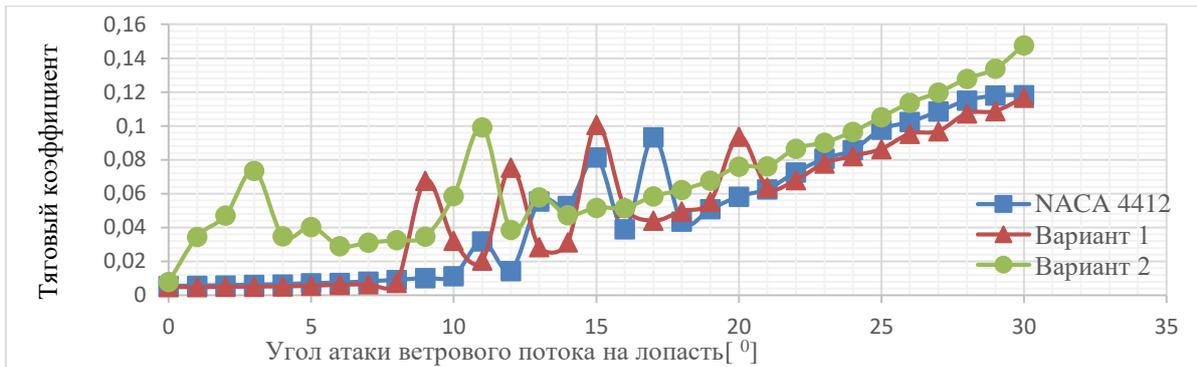


**Рис.9. Общий вид выбранных аэродинамических поверхностей.**

Также были определены аэродинамические коэффициенты, относящиеся к этим поверхностям, и построены их графики (рисунки 10-11).

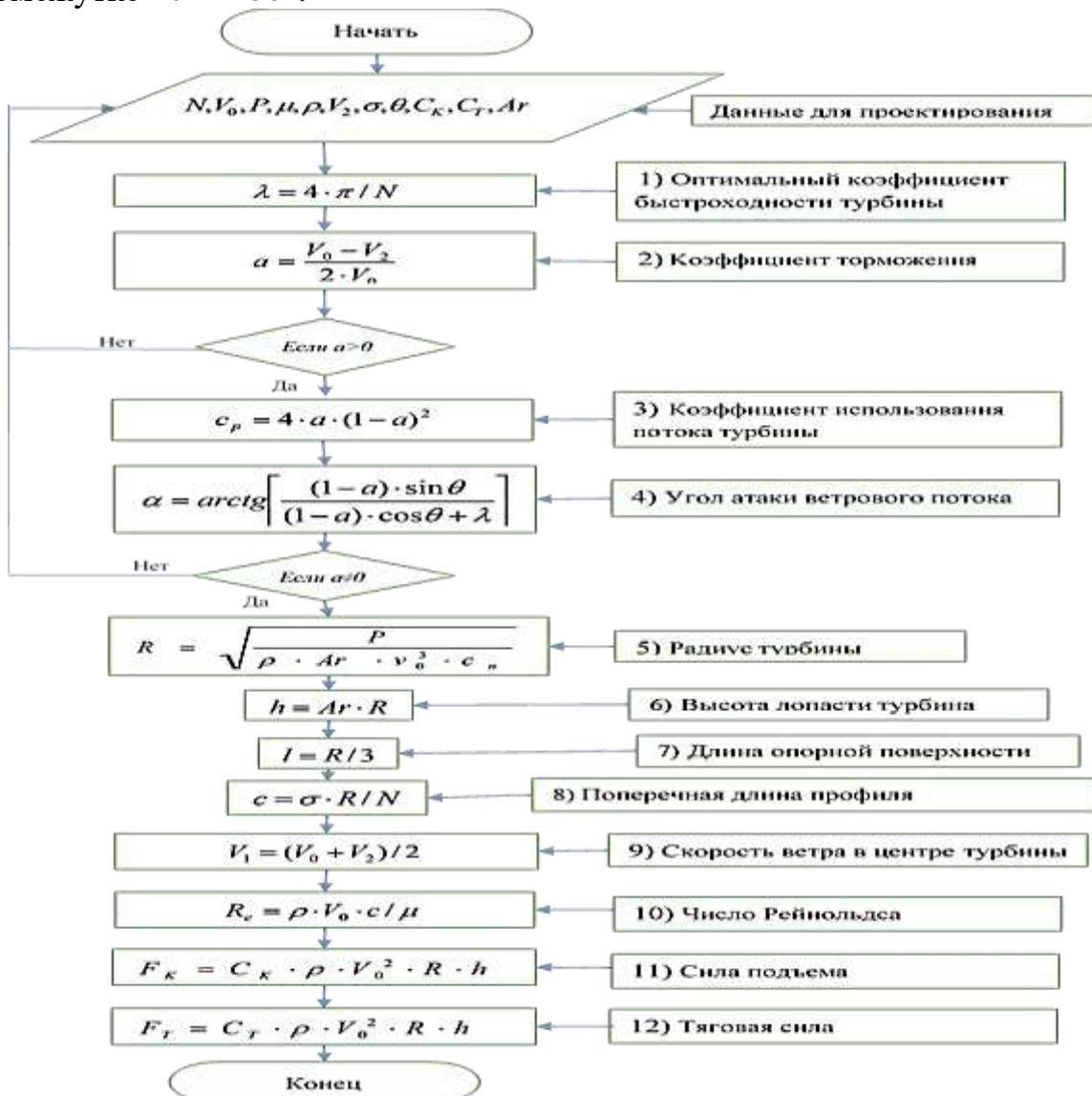


**Рис.10. График зависимости коэффициента подъемной силы от угла атаки ветрового потока.**



**Рис. 11. График зависимости тягового коэффициента от угла атаки ветрового потока.**

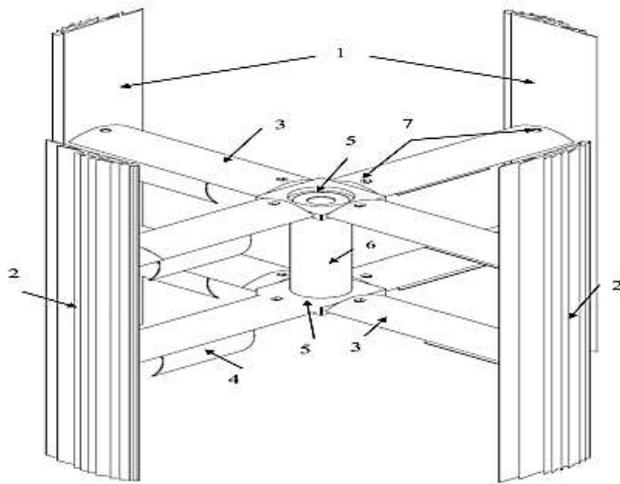
Графики на рисунках 10-11 были построены на основе расчетов Ansys. При этом угол атаки ветрового потока рассчитывался для значений в промежутке  $\angle 0^\circ \div \angle 30^\circ$ .



**Рис. 12. Алгоритм проектирования параметров ветротурбины с вертикальной осью.**

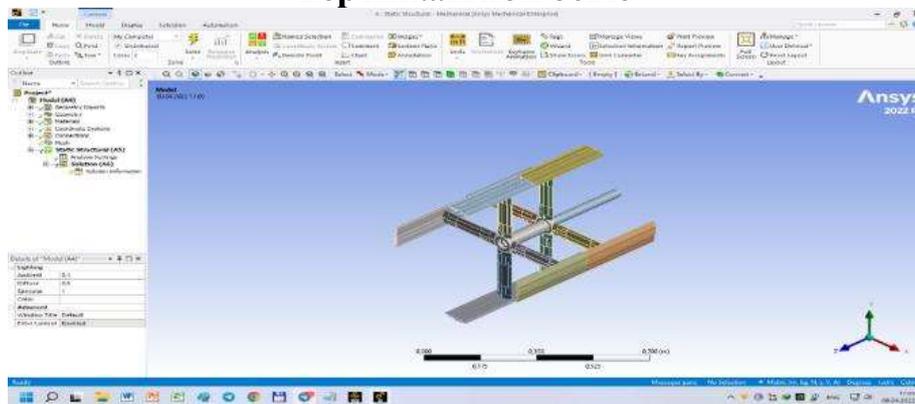
Исходя из поставленных задач, разработаны методика и алгоритм определения оптимальных параметров турбины (рис. 12)

Общий вид предлагаемой турбины, полученной по результатам исследований, описанных в трех главах диссертации, представлен на рисунке 13а.



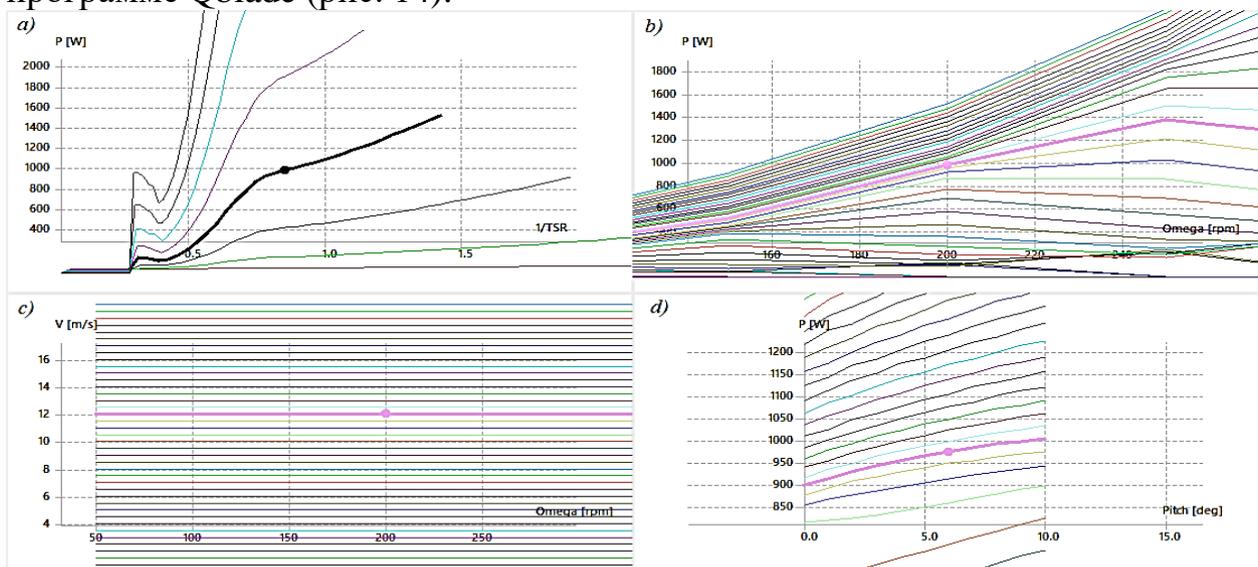
- 1-лопасти;
- 2-вертикальные наклонные пластины на внешней поверхности лопастей;
- 3-опоры;
- 4-дополнительные поверхности, открывающиеся и закрывающиеся автоматически;
- 5-конические подшипники;
- 6- втулка; 7-болты и гайки.

**Рис. 13а. Общий вид усовершенствованной ветротурбины с вертикальной осью**



**Рис.13-б Вид усовершенствованной ветротурбины с вертикальной осью в программе Ansys.**

Проведен анализ данной турбины с помощью моделирования в программе Qblade (рис. 14).



**Рис. 14. Графики, полученные с помощью программы Qblade.**

На рисунках 10, 11 видно, что коэффициент подъемной силы меняется в широких пределах, то есть характеристики турбулентности потока, набегающего на лопасть под разными углами, неодинаковы, что приводит к изменению значений влияющих величин. По результатам процесса симуляции определен оптимальный угол установки лопасти турбины, который составил  $10^{\circ}$ .

Четвертая глава диссертации под названием «**Экспериментальное исследование ветроэнергетической установки с повышенным пусковым моментом**» содержит информацию о практическом внедрении разработанной ветроэнергетической установки и показателях ее экономической эффективности.

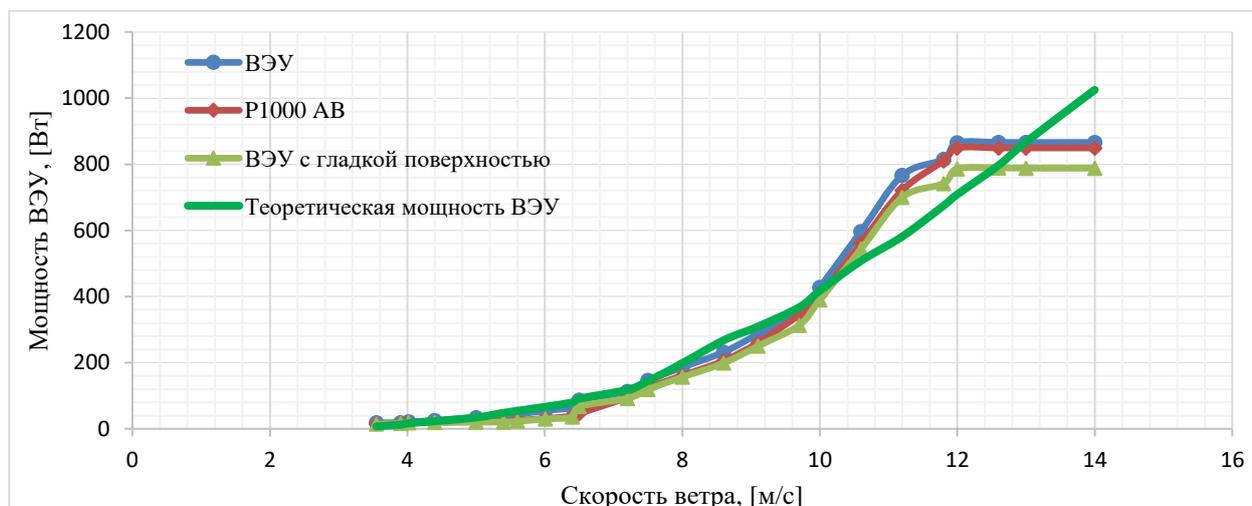
В таблице 1 сопоставлены результаты теоретических расчетов и экспериментальных исследований параметров ветроэнергетической установки (ВЭУ) при различных скоростях ветра и установлено, что среднее отклонение составляет 1,5%.

**Таблица-1.**  
**Экспериментальные и теоретические мощности предлагаемой ВЭУ.**

№	Скорость ветра	Экспериментальная мощность разработанной ВЭУ [Вт]	Мощность разработанной ВЭУ в теоретических расчетах [Вт]	Мощность установки P1000AB [Вт]	Мощность ВЭУ с гладкой поверхностью [Вт]
1	3,55	18	7,722443926	15,8	14,3
2	3,9	18,8	12,81533519	16,8	16,4
3	4.02	21	17,32958698	18,9	18,3
4	4.4	25	23,3557588	19,8	19,8
5	5	34	34,46835714	20,8	20,8
6	5.4	37	48,57970256	22,2	20,4
7	5,6	44	54,64689937	24,8	23,0
8	6.01	55	67,09169397	30,9	29,9
9	6.4	64,7	80,00335481	38,3	36,1
10	6,5	87	91,42253004	45,9	67,9
11	7.0	113	118,226465	94,4	92,0
12	7,5	147	144,3362455	124	119,0
13	8	186	198,5377371	160,6	156,5
14	8,6	231,6	267,6743678	205,5	199,0
15	9.1	286	309,2185042	259,8	250,5
16	9,7	348	367,5544753	344,8	313,4
17	10	427,5	417,4501031	401,9	390
18	10,6	597	507,7755819	561,4	543,4
19	11.2	767	581,2988856	721,2	700,2
20	11,8	815	674,5786857	810,1	741,7
21	12	865	708,6694228	849,16	786,14
22	12,6	866	796,5085841	849,19	789,16
23	13	866	867,300462	849,2	788,2
24	14	866,02	1024,629363	849,21	788,27

Энергетическая эффективность установок была сопоставлена методом среднего квадратического. Таким образом было установлено, что

эффективность разработанной установки на 3,1% превышает эффективность произведенной в Китае модели P1000 AB, которая считается ее ближайшим аналогом, и на 9,8% выше, чем у турбины с гладкой поверхностью (Рис. 15).

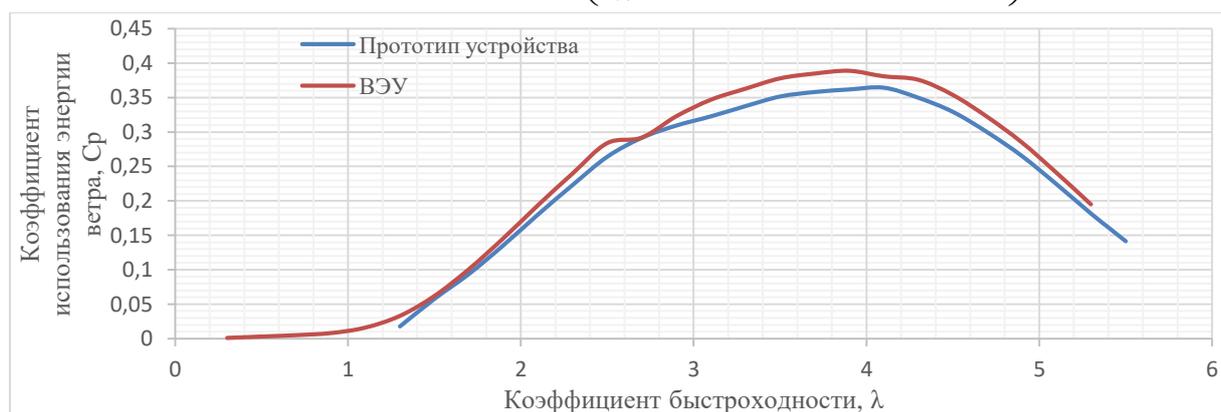


**Рис. 15. Кривые мощности ветряных турбин.**

Согласно результатам экспериментальных исследований, когда коэффициент быстроходности составлял ( $\lambda=3\div 4,5$ ), коэффициент использования энергии ветра был высоким (рис.16).

В исследовательской работе важное значение имеет обработка результатов экспериментов с предлагаемой установкой и опеределение взаимосвязи между ними. Исходя из этого, получены экспериментальные значения  $c_p$ ,  $\lambda$  коэффициентов использования энергии ветра и быстроходности и составлено уравнение зависимости.

$$c_p = 0,194802 - 0,199106 \cdot \sin\left(\frac{180}{\pi} \cdot (0,983386 \cdot \lambda + 1,01767)\right) \quad (2)$$



**Рис. 16. Графики зависимости коэффициентов использования энергии ветра и быстроходности**

Для проведения опытно-промышленного испытания ВЭУ была размещена в системе теплиц и на птицеводческой ферме, принадлежащих ООО «Амирхан Богбон» и расположенных на территории сельского схода граждан Файзи Курбан Ромитанского района Бухарской области. В процессе

изготовления турбины для уменьшения ее стоимости (в качестве специального волокна) использовались отечественные материалы (волокна конской гривы и козьей шерсти, лавсан) и определялась прочность этих изделий по сравнению с синтетическими волокнами (Таблица 2).

**Таблица-2.**

**Механическая прочность изделий, используемых при изготовлении лопастей турбины.**

	Тип волокна	Предел прочности [МПа]	Модуль напряжения [ГПа]	Плотность [г/см <sup>3</sup> ]
1	Углерод	2000-5000	200-600	1,8
2	Стекловолокно	1950-3500	70-80	2,55
3	Ткань из стекловолокна	4500-4700	75-90	2,5
4	Кевларовая ткань	3000-3150	63-67	1,4
5	Базальт	2800-3100	80-90	2,6-2,7
6	Лен	400-600	12-25	1,2-1,5
7	Конопляная ткань	300-700	20-70	1,3-1,5
8	Сизаль	350-700	7-22	1,4-1,5
9	Ткань габардин	150-250	10-20	1,1-1,2
10	Лавсановая ткань	350-780	20-30	1,3
11	Кокон (волокно)	550-650	4-6	1,2
12	Козья шерсть (волокно)	700-900	30-32	1,3
13	Лошадиная грива	800-1000	35-38	1,4

Определена концентрация специальных растворов, используемых для изготовления турбины (Таблица 3).

**Таблица-3.**

**Количество стекловолокна, используемого для изготовления лопастей и опор турбины.**

Жидкость Стекловолокно	Полиэфирная смола [кг]	Отвердительный раствор [кг]	Ускорительный раствор [кг]
1 м <sup>2</sup> волокна (300 г/м <sup>2</sup> )	2,4	0,096	0,048
1 м <sup>2</sup> ткани (285 гр/м <sup>2</sup> )	-	-	-

С использованием этих материалов и жидкостей была создана ветроэнергетическая установка мощностью 1 кВт (рис.17,18).



**Рис. 17. Процесс испытания местных волокон и изготовления деталей турбин из этих волокон.**



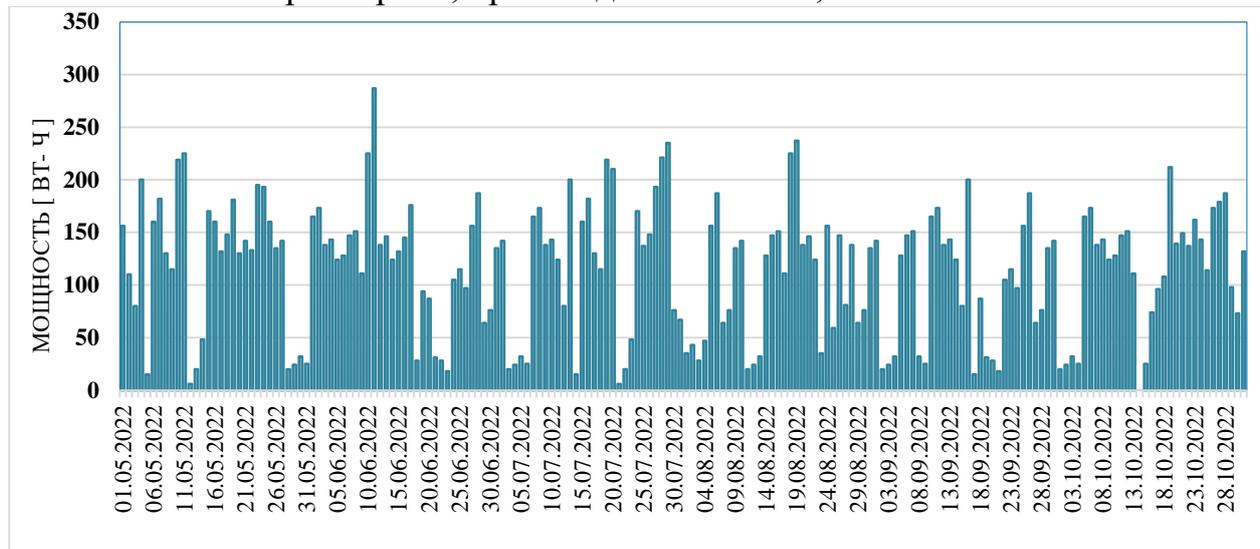
**Рис.18. ВЭУ (1 кВт), внешняя поверхность которой покрыта вертикальными наклонными пластинами.**



**Рис. 19. Динамика изменения скорости ветра в течение 1 года.**

Изучен ветровой потенциал района установки ВЭУ, средняя скорость ветра на высоте 10 м составила 4,311703 м/с (рис.19).

Скорость ветра измерялась в течение одного года, а количество выработанной энергии – в течение 6 месяцев (рис.19, 20), исходя из этого, было определено, что объем электроэнергии, выработанной осенью, превышает количество электроэнергии, произведенной летом, на 20%.



**Рис. 20. Количество электроэнергии, выработанной предлагаемой установкой мощностью 1 кВт за 6 месяцев.**

Исходя из определенных выше данных, было проведено сравнение показателей экономической эффективности изготовленной ветроэнергетической установки, дизель-генератора и проведения электросетей (см. табл. 4).

Сегодня в мире при оценке ветроэнергетических проектов с точки зрения эффективности широко используется методика расчета чистого дисконтированного дохода. При этом все затраты по проекту и будущие

доходы рассчитываются относительно их стоимости на момент рассмотрения проекта.

**Таблица-4.**

**Сравнение технико-экономических показателей установок.**

№	Параметры	ВЭУ		Прототип		Дизельный генератор		Электрическая сеть
				Ropatec Maxi 6kW	P100 0AB			
1	Установленная мощность [кВт]	6	1	6	1	6	1	-
2	Сетевые затраты на поставку электроэнергии [млн сум]	-		-	-	-	-	225
3	Балансовая стоимость установки [млн сум]	45	10,33	81,2	31	8	3.28	-
4	Среднее количество электроэнергии, произведенной за год [кВтчасов]	9250	1550	8980	1505	9250	1550	-
5	Затраты на топливо [млн сум]	-		-		25,54	4.04	-
6	Амортизационные отчисления [млн сум]	1305	0,3	2355	0,9	0,232	0,088	7.46
7	Текущие затраты на ремонт [млн сум]	1,35	0,31	2436	0,93	0,24	0,098	2057
8	Эксплуатационные расходы [млн сум]	2665	0,61	4791	1,83	26,02	4226	9,517
9	Стоимость электроэнергии [сум]	288	393	533	1216	2813	2730	-

Показатели экономической эффективности использования ВЭУ на территории теплицы, расположенной в Бухарский области Ромитанском районе, представлены в таблице 5.

**Таблица 5.**

**Экономическая эффективность при внедрении предложенной установки и прототипа.**

Индикаторы	ВЭУ	Прототип (ВЭУ)
Чистый текущий доход, [млн сум]	75,8	34
Внутренняя норма доходности, %	37	67
Индекс прибыльности	2,68	1,33
Статический срок окупаемости, год	2,175	4,37
Динамический срок окупаемости, год	2,94	7,83

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования, проведенного по теме «Повышение эффективности работы вертикально-осевой ветроэнергетической установки», были сделаны следующие выводы:

1. С целью оценки ветропотенциала Бухарской области были проведены экспериментальные исследования, по итогам которых обоснована эффективность использования ветротурбины с вертикальной осью в регионе со слабыми ветровыми потоками ( $2,5 \div 8,0$  м/с).

2. Изучены факторы, влияющие на эффективность ветроэнергетической установки с вертикальной осью, создан опытный образец ветроэнергетической установки, адаптированной к климатическим условиям региона и предназначенной для малых и автономных потребителей, разработан алгоритм оптимизации геометрических размеров ветроэнергетической установки.

3. Усовершенствована конструкция ветроэнергетической установки с вертикальной осью, изготовленной с использованием отечественных материалов, эффективность использования энергии ветра увеличена на 3,1%, получено патентное свидетельство на полезную модель.

4. Обобщены результаты экспериментов разработанной ветротурбины и составлено эмпирическое уравнение для определения значения коэффициента использования турбиной энергии ветра.

5. Значение коэффициентов подъемной и тяговой силы предлагаемых лопастей ветротурбины в диапазоне углов  $\alpha \in [0^{\circ}; 30^{\circ}]$  моделировались с помощью программного обеспечения Ansys, Qblade, выбран оптимальный вариант формы аэродинамической поверхности, определен оптимальный угол установки, который равен  $10^{\circ}$ .

6. ВЭУ изготовлена с использованием отечественных материалов, в результате чего ее стоимость существенно снижена за счет снижения транспортных расходов на импорт сырья из-за границы. Массовая концентрация сырья для приготовления турбинной части составляет 0,096 кг отвердителя раствора и 0,048 кг ускорительного раствора на 1 м<sup>2</sup> стекловолокна.

7. Экономическая эффективность ветроэлектростанции мощностью 6 кВт оценена по методике «Чистый дисконтированный доход» и определено, что годовой доход составляет 75,8 миллиона сумов.

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

---

**BUKHARA ENGINEERING-TECHNOLOGICAL INSTITUTE**

**MUZAFFAROV FIRDAVS FUZAYL OGLI**

**IMPROVING THE EFFICIENCY OF A VERTICAL-AXIS WIND  
POWER DEVICE**

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

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

**Karshi – 2024**

The theme of doctoral dissertation of doctor of philosophy (PhD) on technical sciences was registered at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of Higher Education, Science and Innovation of the Republic of Uzbekistan under B2023.2.PhD/T2898.

The doctoral dissertation has been prepared at the Bukhara engineering-technological institute. The abstract of the dissertation is in three languages (Uzbek, Russian, English (resume)) is placed on the website of the Scientific council ([www.qmii.uz](http://www.qmii.uz)) and on Information-educational portal «Ziyonet» at the address ([www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)).

**Scientific adviser:**

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

**Official opponents:**

**Toirov Olimjon Zuvurovich**  
doctor of technical sciences, professor

**Xujakulov Saydulla Mirzayevich**  
doctor of philosophy in technical sciences, docent

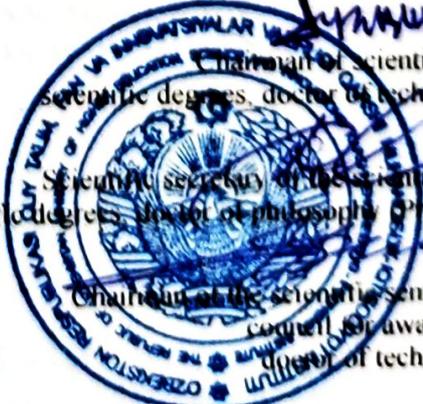
**Leading organization:**

**Fergana polytechnic institute**

The defense of dissertation will take place 6 IV 2024 at 10<sup>00</sup> at a meeting of the Scientific council number PhD.03/30.09.2020.T.111.03 at the Karshi engineering-economics institute. (Address: 180100, Karshi, Mustakillik street, 225. Phone: (99875) 224-02-89, fax: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz))

The doctoral dissertation can be found at the Information resource center of the Karshi engineering-economics institute (registered with № 99). (Address: 180100, Karshi, Mustakillik street, 225. Phone: (99875) 224-02-89, fax: (99875) 224-13-95, e-mail: [kiei\\_info@edu.uz](mailto:kiei_info@edu.uz).)

Abstract of dissertation was sent 25.03.2024  
(register of the distribution protocol № 20 from 25.03.2024)

  
**G.N. Uzokov**  
Chairman of scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor  
**Kh.A. Davlonov**  
Scientific secretary of the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of philosophy (PhD) of technical sciences  
**B. Urishev**  
Chairman of the scientific seminar under the scientific council for awarding scientific degrees, doctor of technical sciences, professor

## INTRODUCTION (PhD thesis abstract)

**The aim of the research work** is to develop and improve the efficiency of a vertical axis wind energy device

**The tasks of the research:**

analysis of scientific research on the development of wind power plants with a vertical axis and increasing the efficiency of their operation in conditions of weak wind flows;

development of a wind power plant with a vertical axis and wind wheel blades made of composite materials, operating effectively in low wind flows;

development of a mathematical model expressing the dependence of the mechanical and energy parameters of a wind power plant with a vertical axis on the wind flow speed, design parameters of the plant and aerodynamic forces;

determination in the Ansys Fluent and Qblade programs of the optimal aerodynamic shape of the blade of a wind power plant and the optimal geometric dimensions of auxiliary surfaces, allowing to increase the starting torque;

development of models and algorithms that make it possible to determine the optimal values of wind energy utilization coefficients and speed of a wind power plant with a vertical axis at different wind flow speeds;

determination of technical and economic indicators of a vertical-axis wind power plant and assessment of the economic efficiency of its implementation.

**The object of the research work** a vertical axis wind energy device adapted to the climatic conditions of Uzbekistan for small power consumers and its technological work process were taken.

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

for the first time a wind power device with a vertical axis was developed, made of local and composite materials, in which the outer surface of the wind wheel blades is located at an angle  $\alpha$  and covered with vertical plates; auxiliary surfaces are installed on the supports connecting the blades to the hub, which remain open in a static position, and the efficiency of the installation in low-speed wind flows is increased to 3...8 percent (No. FAP 02138, 2022);

a mathematical model has been developed that allows, on the basis of balance equations, to calculate the coefficient of wind energy utilization of a wind power device based on changes in wind flow speed, turbine diameter, number and height of blades, length of the aerodynamic surface, inclination of the blades relative to the plane of rotation, as well as lifting and traction forces acting on the blades;

taking into account the geometric dimensions of the structural and auxiliary surfaces of the wind turbine, as well as the optimal values of the lifting and traction forces acting on it, the number of blades, the angle of attack of the wind flow on the blade, and the coefficient of wind energy utilization, the design of a wind power device was developed;

An empirical equation was obtained that reflects the change in the coefficients of wind energy use and speed based on a curvilinear dependence, based on the speed of the wind flow and the number of blades of a wind power device with a vertical axis, which operates reliably even with low-speed wind flows.

**Implementation of research results.** Based on the results of increasing the efficiency of the vertical axis wind power plant and its introduction:

a utility model patent was obtained from the Intellectual Property Agency of the Ministry of Justice of the Republic of Uzbekistan for a vertical-axis wind energy device adapted for efficient operation in weak wind currents (No. FAP0 2138, 31.10.2022). As a result, it is possible to increase the wind current utilization coefficient ( $C_p$ ) of the device up to 3...8%;

The design of the vertical axis wind turbine operating in weak wind currents has been improved (Reference No. 04-13-6286 of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan dated October 18, 2023) As a result, the wind speed was 2.5-12 m/s in the interim, it was possible to increase the production of electricity up to 3,1 %, and it was achieved to ensure the continuity of energy supply;

the developed vertical-axis wind power plant was introduced at "Amirkhan Bog'bon" LLC in Romitan district, Bukhara region (Reference No. 04-13-6286 dated October 18, 2023 of the Ministry of Energy of the Republic of Uzbekistan). As a result, compared to the internal combustion generator, 75.8 mln. soums economic efficiency has been achieved.

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

## E'LON QILINGAN ISHLAR RO'YXATI

### I-bo'lim

1. Sadullayev N.N., Nematov Sh.N., Muzaffarov F.F. “Vertikal o‘qli shamol energetik qurilmasi” foydali model patenti // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi. Guvohnoma № FAP 02138 (2022-yil 31-oktabr).

2. Sadullayev N.N., Muzaffarov F.F. Kichik quvvatli, vertikal o‘qli energiya samarador shamol turbinalari va shamol energiyasi salohiyati tahlili // “Energiya va resurs tejash muammolari” ilmiy-texnikaviy jurnali. ISSN (print) 2091-5985. 2021. Maxsus son. – B. 180-185 (05.00.00; № 21).

3. Sadullayev N.N., Muzaffarov F.F. Kichik quvvatli shamol energetik qurilmalarining samaradorligida Reynolds sonining ta’siri va ahamiyati // “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” ilmiy-texnikaviy jurnali. ISSN 2181-8193. №3/2022. Buxoro sh. – B. 202-207 (05.00.00; № 24).

4. Muzaffarov F.F. Vertikal o‘qli shamol energetik qurilmalarining aerodinamik sirtlari hamda ularga ta’sir ko‘rsatuvchi kattaliklar // “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” ilmiy-texnikaviy jurnali. ISSN 2181-8193. №6/2022. Buxoro sh. – B. 201-207 (05.00.00; № 24).

5. Sadullayev N.N., Muzaffarov F.F. Yordamchi yuzali vertikal o‘qli shamol turbinasining tuzilishi umumiy tahlili va boshqa turbinalardan farqli jihatlari // “Fan va texnologiyalar taraqqiyoti” ilmiy-texnikaviy jurnali. ISSN 2181-8193. №1/2023. Buxoro sh. – B. 104-108 (05.00.00; № 24).

6. Muzaffarov F. Development and experimental research of a vertical axis wind turbine // International journal of advanced research in science, engineering and technology Vol. 10, Issue 8, August 2023. p. 20980- 20985. (Osiyo mamlakatlari nashrlari; № 8)

### II-bo'lim

7. Sadullayev N.N., Nematov Sh.N., Muzaffarov F.F. “Muqobil energiya manbaini birlamchi loyihalash parametrlarini aniqlash” EHM. // O‘zbekiston Respublikasi Adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Guvohnoma № DGU 14738 (2022-yil 25-fevral).

8. Sadullaev N., Nematov Sh., Muzaffarov F., and Bafoyeva G. // Mathematical modeling of vertical axis wind turbines. E3S Web of Conferences 417, 03008 (2023). GEOTECH-2023. (Scopus, DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341703008>)

9. Sadullayev N.N., Muzaffarov F.F., Muzaffarov M.F. Shamol energetikasi va uning dunyodagi ko‘rsatkichlarga ta’siri. “O‘zbekgidroenergetika” ilmiy-texnik jurnali, 2020. №4 (8) – B. 55-56.

10. Sadullayev N.N., Muzaffarov F.F., Cho‘llyeva G.O‘. Elektr ta‘minoti yetib bormagan iste‘molchilarni muqobil energiya manbalari orqali ta‘minlashning iqtisodiy samarador turini aniqlash. // “O‘zbekgidroenergetika” ilmiy-texnik jurnali, 2021. №2 (10) – B. 75-76.

11. Jurayev M.K., Muzaffarov F.F., Safarov Sh.F., Cholliyeva G.U., Akmatov D.G. Identify a cost-effective type of supply of alternative energy

sources to consumers who do not have access to electricity. *Academicia: An International Multidisciplinary Research Journal*. ISSN: 2249-7137 Vol. 11, Issue 3, March 2021 Impact Factor: SJIF 2021 = 7.492. DOI: 10.5958/2249-7137.2021.00814.4.

12. Muzaffarov F.F. Kichik quvvatli, vertikal o‘qli energiya samarador shamol turbinalari tahlili. // “Sanoat injeneriyasining dolzarb muammolari” respublika ilmiy-amaliy anjumani (2021-yil 20–22-oktabr). – B. 503-504.

13. Husenov D.R., Muzaffarov F.F. Kichik quvvatli, energiya samarador shamol turbinalari ko‘rsatkichlari tahlili // *Journal of new century innovations*, WSRJournal.com, Volume – 2, April 2022, p. 203-209, <https://doi.org/10.5281/zenodo.6424350>.

14. Sadullayev N.N., Muzaffarov F.F. Shamol energetikasida foydalaniladigan aerodinamik sirtlar tadqiqoti. Актуальные проблемы энергетики в условиях цифровизации экономики. БухИТИ, Международная научно-практическая конференция. Бухара. 24-26 ноября, 2022 г., с. 270-273.

15. Садуллаев Н. Н., Музаффаров Ф. Ф. Общий анализ конструкции ветродвигателя с вертикальной осью и его отличия от других ветрогенераторов. Наука и инновационные технологии в производстве продуктов питания. БухИТИ, Международная научно-практическая конференция. Бухара. 21-22 октябрь, 2022 г., с. 660-663.

16. Садуллаев Н. Н., Музаффаров Ф. Ф. Сравнительный анализ стандартных и предлагаемых аэродинамических поверхностей, используемых в ветроэнергетике // VII Международная научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика» Россия. 7-9 декабря 2022 г. с. 1-6

17. Sadullayev N.N., Muzaffarov F.F. Vertikal o‘qli shamol turbinalarini matematik modellashtirish. // “Muqobil energetika” ilmiy-texnik jurnali. Qarshi. 1 (08) 2023. – B. 33-40.

Avtoreferat «Innovatsion texnologiyalar» ilmiy jurnali  
tahririyatida tahrirdan o‘tkazildi va o‘zbek, rus, ingliz (tezis) tillaridagi

m  
a  
t  
n  
l  
a  
r

m  
o  
s  
l  
i  
g  
i

t  
e  
k  
s  
h  
i  
r  
i  
l

Chop etishga ruxsat etildi: 18.03.2024 yil Bichimi 60x841/16,  
«Times New Roman» garniturada raqamli bosma usulida bosildi.

Shartli bosma tabog‘i 3,25 Adadi 80 nusxa.

Buyurtma № 28

QarMII «INTELLEKT» nashriyoti MIU da chop etilgan.

Qarshi shahri, Mustaqillik ko‘chasi, 225-uy

0

3

.

~

4