

MUHANDISLIK

& IQTISODIYOT

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

№2

2026
fevral



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari

08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB™
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic
Resource
Index
ResearchBib

ISSN
INTERNATIONAL
STANDARD
SERIAL
NUMBER
INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX COPERNICUS
INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
LIBRARY.RU



ISSN: 3060-463X

РЭУ.РФ
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 273 sahifa.
2026-yil, fevral

Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afarovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Mahammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Botirali Roxataliyevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, professor

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.

Yusupov Maxamadamin Abduxamidovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor

Kalonova Moxigul Baxritdinovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi (PhD), dotsent

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi (DSc), professor.

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Norboyev Odil Abrayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Mirzayev Kulmamat Djanzakovich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), professor

Karimova Nilufar Sadirdin qizi, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi
- 05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari
- 05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash
- 05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari
- 05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti
- 05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi
- 05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari
- 05.01.07 – Matematik modellash
- 05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt
- 05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik
- 05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari
- 05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti
- 05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash
- 05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi
- 05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari
- 05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari
- 05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi
- 05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish
- 05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar
- 05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari
- 10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik
- 10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti
- 08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi
- 08.00.02 – Makroiqtisodiyot
- 08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti
- 08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti
- 08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti
- 08.00.06 – Ekonometrika va statistika
- 08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit
- 08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit
- 08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti
- 08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti
- 08.00.11 – Marketing
- 08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot
- 08.00.13 – Menejment
- 08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari
- 08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti
- 08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya
- 08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK

Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

Muassis: "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

Hamkorlarimiz:

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



MUNDARIJA

RIVOJLANGAN MAMLAKATLAR BANKLARIDA RISK-MENEJMENTNING TASHKILIY MODELLARI.....	26
Madaminov Bekzod Allayarovich	
“HUDUDGAZTA’MINOT” AJ DA AMALGA OSHIRILGAN LOYIHALAR SAMARASI	32
Shukurillaev Jahongir Botir o’g’li	
HARBIY XIZMATCHI AYOLLARNING MAXSUS KIYIM SIFATIGA QO’YILADIGAN DASTLABKI TALABLARNI SHAKLLANTIRISH	37
Abduraxmanova N.D., Mirtolipova N.X., Nasirullayeva G.S.	
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОГО ЯЗВЕННОГО КОЛИТА У ДЕТЕЙ	42
Закирова Бахора Исламовна, Каримов Достон Рустам угли	
ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ФИСКАЛЬНЫХ И КРЕДИТНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ НА РЫНКИ ВЫСОКОЛИКВИДНОЙ ПРОДУКЦИИ И ЕСТЕСТВЕННЫХ МОНОПОЛИЙ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН.....	48
Бекзод Умматов	
ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОНОМИКО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....	55
Вахидов Азизжон Саиджонович	
SUG’URTA FAOLIYATIDAGI MOLIVAVIY RISKLAR: BAHOLASH VA MINIMALLASHTIRISH STRATEGIYALARI	58
Xalikulova Shirin Utkir qizi	
“ANDIJONDONMAHSULOT” AJ MISOLIDA XARAJATLARNING STRATEGIK BOSHQARUV HISOBI: AMALIY TAHLIL VA TAKOMILLASHTIRISH TAVSIYALARI	62
Xayitboyeva Laylo Oybekovna	
XORIJIY MAMLAKATLARNING NORASMIY IQTISODIYOT DARAJASINI PASAYTIRISHDAGI TAJIRIBASI	66
Alimardonov G’ayratjon Nuraliyevich	
XO’JALIK YURITUVCHI SUBYEKTLARDA BARQARORLIK HISOBOTLARI AUDITINI SHAKLLANTIRISH	72
Xolikov Ravshan Anvar o’g’li	
PUL - KREDIT SIYOSATINING TRANSMISSION MEXANIZMINI RIVOJLANTIRISH	76
Obidova Zilola Ikromjon qizi	
HOMILADORLIK DAVRIDA AYOLLARDA UCHRAYDIGAN GESTOZLI KATARAL GINGIVITNI KOMPLEKS DAVOLASHNI OPTIMALLASHTIRISH	81
Nomurodova Farangiz Lazizovna	
AGRAR KORXONALARDA INNOVATSION TEXNOLOGIYALARNI JORIY ETISHDA INVESTITSIYA MEXANIZMLARINING IQTISODIY SAMARADORLIGI VA RIVOJLANTIRISH YO’NALISHLARI	87
Egamberdiyev Abdujabbor Xusanovich	
YOSHLAR TADBIRKORLIGI VA KICHIK BIZNES IQTISODIYOTINI TA’MINLASHDA INFRATUZILMALARDAN FOYDALANISH IMKONIYATLARI	92
Mirzatov Baxtiyor Toxirovich	
KICHIK BIZNES SUBYEKTLARI FAOLIYATINI BAHOLASH METODOLOGIYASINING MAZMUNI VA TAMOIYILLARI	96
Mavrulov Ravshan Nematjonovich	



УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫМИ КОММУНИКАЦИЯМИ В ПРОЕКТАХ	101
Носирова Гулираъно Абдулазиз кизи	
DAVLAT BUDJETI JARAYONIDA MONITORING VA MOLIVAVIY NAZORATNI TAKOMILLASHTIRISH MASALALARI	107
Yax'yayeva Dilfuza Bagdatovna	
XIZMAT KO'RSATISH SOHASIDA KICHIK KORXONALAR RAQOBATBARDOSHLIGINI OSHIRISH MEKANIZMLARINI TAKOMILLASHTIRISH	111
Axmedov Sanjar Temur o'g'li	
RAQAMLI MOLIVA TEXNOLOGIYALARI EVOLYUTSIYASINING ISTIQBOLLI YO'NALISHLARI VA YUZAGA KELISHI MUMKIN BO'LGAN XATARLAR TAHLILI	117
Ko'chimov Jahongir Shuxrat o'g'li	
GAZ VA GAZ KONDENSATINI YIG'ISH VA TAYYORLASH TIZIMLARI UCHUN ZAMONAVIY LOYIHALASH USULLARI TAHLILI	123
Abdirazakov Akmal Ibragimovich Namozov Og'abek Maxmud o'g'li	
AGILE PROJECT MANAGEMENT IN THE DIGITAL ERA: STRATEGIES, FRAMEWORKS, AND BEST PRACTICES FOR SUCCESS	128
Utkirova Maftuna Murodjon qizi	
O'ZBEKISTON EKSPORTYOR KORXONALARINING YANGI BOZORLARGA CHIQUISHIDA FAOL MARKETING VOSITALARIDAN FOYDALANISH HOLATI VA MUAMMOLARI	134
Baqoyev Sunnatillo Burxon o'g'li	
TADBIRKORLIK FAOLIYATIGA RAQAMLI TEXNOLOGIYALARNI JORIY ETISHNING ILMIY-NAZARIY ASOSLARI	139
Salaydinov Shodiyor Nizom o'g'li	
TO'QIMACHILIK SANOATIDA INVESTITSION LOYIHALARNI BOSHQARISH METODOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISHNING TASHKILIY-IQTISODIY JIHATLARI	144
Qurbonov Jasurbek Pozilovich	
OPTIMIZATION OF ROADSIDE AUTO CAMPING SITES (REST AREAS) ON HIGHWAYS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: INFRASTRUCTURE GAPS AND CORRIDOR-BASED EVIDENCE FROM UZBEKISTAN	150
Akramov Akbarjon Akmal ugli	
QURILISH KORXONALARIDA INNOVATSION MARKETING YONDASHUVLARINING AHAMIYATI	156
Aminov Abbas Mo'minboy o'g'li	
XIZMAT KO'RSATISH SOHASIDA AHOLI ISH BILAN BANDLIGI SAMARADORLIGINI IFODALOVCHI KO'RSATKICHLAR	160
Abdusaidov Akmal Abduvaliyevich	
MINTAQADA XUSUSIY TIBBIYOT MUASSASALARIDA MARKETING STRATEGIYASI	165
Yakubov Temur G'anibekovich	
AHOLI DEMOGRAFIK JARAYONLARINI IFODALOVCHI STATISTIK KO'RSATKICHLAR TIZIMI	169
Siroj Zarina Rustambekovna	
AXBOROT MAHSULOTLARI BIZNESINING YAIM VA BANDLIKKA TA'SIRI: EKONOMETRIK TAHLIL	176
Abdullayev Abdulla Fayzulla o'g'li	
RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA SOG'LIQNI SAQLASH TIZIMINI IQTISODIY SAMARADORLIGINI OSHIRISHNING KONSEPTUAL ASOSLARI	181
Ziyodullayev Qahramon	
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ: ПОЛЬЗА ДЛЯ ЭКОНОМИКИ И ЭКОЛОГИИ	185
Хамдамова Гавхар Абсаматовна	
O'ZBEKISTONDA EKSPORTNI RAG'BATLANTIRISHNING MOLIVAVIY VOSITALARI VA ULARNI TAKOMILLASHTIRISHNING ASOSIY YO'NALISHLARI	191
Mamatov Baxodir Quldoshovich	



KO'P QIRRALI VALLARNING SHAKLLANTIRISH METODLARI VA USULLARINI TAHLIL QILISH	197
<i>Xasanov Bobirmirzo Maxmudali o'g'li, Valixonov Dostonbek Azim o'g'li, Alibekov Rasulbek Qanotbek o'g'li</i>	
MINTAQA SANOATINING TARKIBIY TRANSFORMATSIYASI VA UNNING IQTISODIY O'SISHGA TA'SIRINI EKONOMETRIK MODELLASHTIRISH	205
<i>Abdinazarov Xusan Shaymanovich</i>	
RAQAMLI TRANSFORMATSIYA SHAROITIDA SUG'URTA BOZORINING RAQOBATBARDOSHLIGINI OSHIRISH	209
<i>Nomozova Qumri Isoyevna</i>	
XALQARO STANDARTLAR TALABLARI ASOSIDA AUDITORLIK TEKSHIRUVINI TASHKIL ETISHNING ILMIY-NAZARIY ASOSLARI	216
<i>Akromov Shohrux Shuhrat o'g'li</i>	
QASHQADARYO VILOYATIDA XIZMATLAR SOHASINING RIVOJLANISHNI TARTIBGA SOLISH TIZIMI	221
<i>Achilova Firuza Kurbanovna</i>	
BANK MENEJMENTIDA INKLYUZIV MOLIYALASHTIRISHNING NAZARIY ASOSLARI, TAMOYILLARI VA STRATEGIK AHAMIYATI	225
<i>Rajabov Oybek Panjievich</i>	
MINTAQADA OLIY TA'LIM TIZIMINING ISHSIZLIK DARAJASIGA TA'SIRINI EKONOMETRIK MODELLASHTIRISH	229
<i>Rustamov Jasurbek Ravshanbek o'g'li</i>	
MAISHIY XIZMATLAR SOHASIDA INNOVATSION KLASSTER MODELINI JORIY ETISHNING USTUVOR YO'NALISHLARI	235
<i>Normurodova Zebo Eshmaxmatovna</i>	
RAQAMLI TEXNOLOGIYALAR ASOSIDA INVESTITSIYA FAOLIYATINI BOSHQARISH	240
<i>Xatamov Nurbek Ochildiyevich, Sharifi Abdul Fatah</i>	
MOLIYAVIY REJALASHTIRISHNING AMALDAGI MUAMMOLARI VA ULARNI YECHIMI YUZASIDAN TAKLIFLAR	245
<i>Pardayev Jamshid Muzaffarovich</i>	
TIJORAT BANKLARI LIKVIDLIK RISKLARINI BAHOLASH METODOLOGIYASINI TAKOMILLASHTIRISH MASALALARI	251
<i>Sulaymanov Samandarboy Adhambek o'g'li</i>	
O'ZBEKISTON TIJORAT BANKLARIDA RISKLARNI BOSHQARISH AMALIYOTINI TAKOMILLASHTIRISH	257
<i>Karimov Shohruh Boydulla o'g'li</i>	
"O'ZBEKISTON TEMIR YO'LLARI" AKSIYADORLIK JAMIYATINING HISOBOTLARINI XALQARO STANDARTLARGA TRANSFORMATSIYA QILISH	262
<i>Astanov Zafar Murodillayevich</i>	
QARAMA-QARSHI AYLANUVCHI IKKI ROTORLI SHAMOL TURBINASINING MATEMATIK MODEL	266
<i>Pirmatov Nurali Berdiyarovich, Bekishev Allabergen Yergashevich, Saodullayev Abror Saypullayevich, Qurbonov Najmiddin Abduxamidovich</i>	



QARAMA-QARSHI AYLANUVCHI IKKI ROTORLI SHAMOL TURBINASINING MATEMATIK MODEL

Pirmatov Nurali Berdiyrovich

Toshkent davlat texnika universiteti,

“Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi” kafedrası professori.

E-mail: npirmatov@mail.ru

ORCID: 0000-0001-5212-2593

Bekishev Allabergen Yergashevich

Toshkent davlat texnika universiteti,

“Elektr mashinalari va yuritmalari muhandisligi” kafedrası dotsenti, PhD.

E-mail: allabergenbekisev@gmail.com

ORCID: 0000-0003-3019-2050

Saodullayev Abror Saypullayevich

Chirchiq transformator zavodi konstruktori.

E-mail: saodullaev@gmail.com

Qurbonov Najmiddin Abduxamidovich

Qarshi davlat texnika universiteti

“Elektr ta’minoti va intellektual energetik tizimlar” kafedrası dotsenti, PhD.

E-mail: Elmeh1212@mail.ru

ORCID: 0000-0003-4152-4006

Annotatsiya. Maqolada qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli doimiy magnitli shamol turbinasining (CR-DR-PMWT) aerodinamik va elektromexanik jarayonlarini hisobga olgan matematik modeli ishlab chiqilgan. Ikki rotor o’rtasidagi aerodinamik o’zaro ta’sir, oqim energiyasidan samarali foydalanish hamda quvvat koeffitsiyentining (C_p) ortishi tahlil qilingan. Taklif etilgan model shamol energetikasi tizimlarida MPPT algoritmlarini ishlab chiqish va optimal boshqaruvni amalga oshirish uchun nazariy asos bo’lib xizmat qiladi. Shuningdek, ikki rotor o’rtasidagi aerodinamik o’zaro ta’sirni hisobga oluvchi korreksiya mexanizmi ishlab chiqilgan bo’lib, u CRWT tizimlarida an’anaviy MPPT algoritmlarida inobatga olinmaydigan wake-effekt hamda tezlikning pasayishini kompensatsiya qilish imkonini beradi.

Kaliit so’zlar: ikki rotorli shamol turbinasi, qarama-qarshi aylanish, C_p – λ xarakteristikasi, matematik model, doimiy magnitli generator.

Abstract. This paper presents a mathematical model of a counter-rotating dual-rotor permanent magnet wind turbine (CR-DR-PMWT) that accounts for aerodynamic and electromechanical processes. The aerodynamic interaction between the two rotors, the efficient utilization of flow energy, and the increase in the power coefficient (C_p) are analyzed. The proposed model provides a theoretical basis for the development of MPPT algorithms and the implementation of optimal control in wind energy systems. In addition, a correction mechanism that accounts for the aerodynamic interaction between the rotors is developed, which makes it possible to compensate for the wake effect and velocity reduction in CRWT systems that are not considered in conventional MPPT algorithms.

Keywords: dual-rotor wind turbine, counter-rotation, C_p – λ characteristic, mathematical model, permanent magnet generator.



Аннотация. В статье разработана математическая модель ветряной турбины с постоянными магнитами (CR-DR-PMWT) с противоположным вращением двух роторов, учитывающая аэродинамические и электромеханические процессы. Проанализированы аэродинамическое взаимодействие между двумя роторами, эффективное использование энергии потока, а также увеличение коэффициента мощности (C_p). Предложенная модель служит теоретической основой для разработки алгоритмов MPPT и реализации оптимального управления в системах ветроэнергетики. Кроме того, разработан механизм коррекции, учитывающий аэродинамическое взаимодействие между роторами, что позволяет компенсировать wake-эффект и снижение скорости в системах CRWT, не учитываемые в традиционных алгоритмах MPPT.

Ключевые слова: двухроторная ветряная турбина, противоположное вращение, C_p - λ характеристика, математическая модель, генератор с постоянными магнитами.

KIRISH

An'anaviy bir rotorli shamol turbinalarida shamol oqimining kinetik energiyasidan foydalanish Betz qonuni bilan chegaralangan bo'lib, nazariy maksimal quvvat koeffitsiyenti $C_p \leq 0,593$ ni tashkil etadi [1]. So'nggi yillarda ushbu chegaraga amalda yaqinlashish yoki uni mahalliy darajada oshirish maqsadida ikki rotorli, jumladan, qarama-qarshi aylanuvchi shamol turbinalariga bo'lgan ilmiy qiziqish tobora ortib bormoqda [2–4].

Qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli tizimlarda ikkinchi rotor birinchi rotordan hosil bo'lgan aylanishli (swirl) oqim energiyasini qayta o'zlashtiradi, natijada tizimning umumiy aerodinamik samaradorligi oshadi [5].

Bugungi kunda qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish masalasi jahon miqyosida dolzarb hisoblanadi. Xususan, shamol energetikasi ekologik tozaligi va qayta tiklanuvchanligi bilan ajralib turadi. Shu bilan birga, an'anaviy bir rotorli shamol turbinalarining past va o'zgaruvchan shamol tezliklari sharoitida samaradorligini oshirish bo'yicha yangi muhandislik yechimlariga ehtiyoj mavjud.

Qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli shamol turbinalari (CRWT) shamol oqimining kinetik energiyasidan yanada to'liq foydalanish imkonini beradi. Biroq bunday tizimlarda oldingi va orqa rotorlar o'rtasidagi aerodinamik o'zaro ta'sir hamda noxiziqli dinamik jarayonlarni hisobga olish boshqaruv masalalarini yanada mukammal yondashuvlar asosida hal etishni talab qiladi. Amaliyotda qo'llanilayotgan an'anaviy MPPT algoritmlarini takomillashtirish orqali CRWT tizimlarining energetik samaradorligini yanada oshirish imkoniyatlari mavjud.

Shu sababli, CRWT tizimlari uchun oldingi va orqa rotorlarni alohida hamda bir vaqtning o'zida muvofiqlashtirilgan tarzda boshqarishni ta'minlovchi, aerodinamik o'zaro ta'sirni hisobga oluvchi takomillashtirilgan MPPT algoritmlarini ishlab chiqish ilmiy va amaliy jihatdan muhim vazifa hisoblanadi.

Tadqiqot obyekti — qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli shamol turbinasida energiyani o'zlashtirish va elektr energiyasini ishlab chiqarish jarayoni.

Tadqiqot predmeti — CRWT tizimida oldingi va orqa rotorlar uchun maksimal quvvat nuqtasini kuzatishni ta'minlovchi MPPT algoritmlari, ularning matematik modellari hamda aerodinamik o'zaro ta'sirni hisobga olgan boshqaruv usullari.

Tadqiqot maqsadi — qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli shamol turbinasida shamol energiyasidan maksimal darajada foydalanishni ta'minlovchi, oldingi va orqa rotorlar o'rtasidagi aerodinamik o'zaro ta'sirni hisobga oluvchi takomillashtirilgan MPPT algoritmini ishlab chiqish va uning samaradorligini ilmiy asoslashdan iborat.

Tadqiqot vazifalari:

- qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli shamol turbinasining aerodinamik va energetik xususiyatlarini tahlil qilish;
- CRWT tizimida oldingi va orqa rotorlar o'rtasidagi o'zaro ta'sir mexanizmlarini aniqlash va ularni matematik ifodalash;
- oldingi rotor uchun TSR asosidagi, orqa rotor uchun esa quvvatga asoslangan MPPT algoritmlarini ishlab chiqish;
- taklif etilgan algoritmnining energetik va dinamik samaradorligini baholash hamda uni amaliyotda qo'llash imkoniyatlarini aniqlash.

MAVZUGA OID ADABIYOTLAR SHARHI

Bir rotorli shamol turbinalari nazariyasi va cheklovlari. Shamol energetikasida klassik yondashuv sifatida bir rotorli gorizonttal o'qli shamol turbinalari (HAWT) keng qo'llaniladi. Ushbu turbinalarning nazariy asosi Betz qonuni bilan ifodalanadi va unga ko'ra shamol oqimidan olinadigan maksimal quvvat koeffitsiyenti $C_p = 0,593$ dan oshmaydi [1]. Keyingi tadqiqotlarda impuls nazariyasi hamda BEM (Blade Element Momentum) usuli asosida rotor aerodinamikasi chuqur o'rganilgan [2–3].

Amaliy sharoitlarda aylanishli oqim (wake swirl), oqim energiyasining to'liq o'zlashtirilmasligi va aerodinamik yo'qotishlar tufayli quvvat koeffitsiyentining amaliy qiymati nazariy chegaradan past bo'lishi kuzatiladi [4]. Shu bois energiyadan foydalanish samaradorligini oshirishga qaratilgan yangi konstruktiv yechimlar faol ravishda taklif etilmoqda.

Ikki rotorli shamol turbinalari konsepsiyasi. Ikki rotorli shamol turbinalari (Dual Rotor Wind Turbines, DRWT) konsepsiyasi ilk bor Newman tomonidan ilgari surilgan bo'lib, u ikki aktuator-disk nazariyasiga asoslanib energiya chiqimini tahlil qilgan [5]. Mazkur yondashuvga ko'ra, ikkinchi rotor birinchi rotordan keyin saqlanib qolgan kinetik va aylanish energiyasini qisman qayta o'zlashtirishi mumkin.

Jamieson o'z tadqiqotlarida ikki rotorli tizimlar bir rotorli turbinalarga nisbatan yuqoriroq quvvat zichligiga ega ekanligini ko'rsatadi [6]. Shu bilan birga, bunday turbinalarning samaradorligi asosan rotorlar o'rtasidagi masofa va aylanish rejimlariga bog'liqligi ta'kidlanadi.

Qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli turbinalar. Qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli shamol turbinalari (Counter-Rotating Dual Rotor Wind Turbines — CR-DRWT) so'nggi yillarda faol ravishda tadqiq etilmoqda. Goude va Ågren tadqiqotlarida ikkinchi rotorning teskari yo'nalishda aylanishi aylanishli oqim impulsini kompensatsiya qilishi va natijada umumiy aerodinamik samaradorlikni oshirishi ko'rsatilgan [7].

Shen va Sørensen tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlarda CFD modellashirish asosida qarama-qarshi aylanuvchi rotorlar holatida 5–15 % gacha qo'shimcha quvvat olish mumkinligi asoslab berilgan [8]. Shu bilan birga, mualliflar rotorlar o'rtasidagi o'zaro ta'sirni hisobga olish modellashirish aniqligini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini qayd etadilar.

Adabiyotlar sharhi bo'yicha xulosa. O'tkazilgan adabiyotlar tahlili quyidagilarni ko'rsatadi:

- qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli shamol turbinalari yuqori energetik samaradorlik salohiyatiga ega;
- aerodinamik o'zaro ta'sirni hisobga oluvchi matematik modellarni yanada takomillashtirish imkoniyatlari mavjud;
- elektromexanik dinamika va MPPT algoritmlari bilan integratsiyalashgan kompleks modellarni ishlab chiqish dolzarb hisoblanadi.

Shu sababli, ushbu maqolada qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli shamol turbinasining kompleks matematik modelini ishlab chiqish ilmiy va amaliy jihatdan muhim vazifa sifatida qaraladi.

TADQIQOT METODOLOGIYASI

Ikki rotorli turbinalarning matematik modellari. Ikki rotorli shamol turbinalari uchun matematik modellar asosan quyidagi yondashuvlarga tayanadi:

- impuls nazariyasiga asoslangan analitik modellar [5, 9];
- BEM (Blade Element Momentum) usulining kengaytirilgan variantlari [8];
- CFD (Computational Fluid Dynamics) asosida yuqori aniqlikdagi modellar [10].

Xu va Cartwright tadqiqotlarida ikki rotorli tizim uchun quvvat koeffitsiyentini quyidagicha ifodalash taklif etilgan [11]:

$$C_{p,tot} = C_{p,1} + \eta_{int} C_{p,2}$$

Bu yerda η_{int} — rotorlar o'rtasidagi aerodinamik o'zaro ta'sir koeffitsiyentini ifodalaydi. Ko'plab tadqiqotlarda asosan aerodinamik qismga e'tibor qaratilib, elektromexanik dinamika va generator modelini yanada kengroq hisobga olish imkoniyatlari mavjudligi ko'rsatib o'tiladi.

Doimiy magnitli generatorli ikki rotorli tizimlar. So'nggi tadqiqotlarda qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli tizimlarni doimiy magnitli sinxron generator (PMSG) bilan integratsiyalashga alohida e'tibor qaratilmoqda [12]. Boldea ta'kidlaganidek, PMSG yuqori samaradorlik, past yo'qotishlar va keng tezlik diapazonida barqaror ishlash imkoniyatiga ega [13].

Bir qator ishlarda generatorning dq-modeli aerodinamik moment bilan bog'langan holda umumiy dinamik model ishlab chiqilgan [14]. Shu bilan birga, MPPT algoritmlari bilan to'liq integratsiyalashgan modellarni yanada rivojlantirish uchun keng imkoniyatlar mavjud.

MPPT va optimal boshqaruv bo'yicha tadqiqotlar. Ikki rotorli shamol turbinalarida MPPT (Maximum Power Point Tracking) algoritmlari, xususan, TSR, P&O, shuningdek, evolyutsion algoritmlar (PSO, NSGA-II) qo'llanilmoqda [15–17]. Tadqiqotlar shuni ko'rsatadiki, ushbu yondashuvlarni ikki rotorli tizimlarning o'ziga xos xususiyatlarini inobatga olgan holda moslashtirish ularning samaradorligini yanada oshirish imkonini beradi.

Ikki rotorli shamol turbinasining konstruktiv sxemasi. Qaralayotgan tizim quyidagi asosiy qismlardan iborat:

- 1-rotor (oldingi rotor) — shamol oqimiga birinchi bo'lib duch keladi;
- 2-rotor (orqa rotor) — birinchi rotordan keyin joylashadi va teskari yo'nalishda aylanadi;
- ikki valli yoki differensial reduktorli uzatma;



— qarama-qarshi aylanuvchi doimiy magnitli generator (PMG).

Mazkur konfiguratsiya oqim impulsining saqlanish qonuniga asoslanib qo'shimcha quvvat olish imkonini beradi [6].

TAHLIL VA NATIJALAR

Aerodinamik matematik model. Shamol oqimining quvvati. Shamol oqimida mavjud bo'lgan quvvat quyidagicha ifodalanadi [1]:

$$P_w = \frac{1}{2} A v^3$$

Bu yerda: ρ — havo zichligi, A — rotorning supurish maydoni, v — shamol tezligi.

Birinchi va ikkinchi rotor quvvati. Ikki rotorli tizim uchun umumiy quvvat quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2$$

$$P_i = \frac{1}{2} \rho A_i v_i^3 C_p(\lambda_i), i = 1, 2$$

Bu yerda $C_{p,i}$ — i -rotorning quvvat koeffitsiyenti.

Aylanish tezligi nisbati (Tip Speed Ratio).

$$\lambda_i = \frac{\omega_i R_i}{v_i}$$

Qarama-qarshi aylanish holatida:

$$\omega_2 = -k_w \omega_1$$

Bu yerda k_w — tezlikni korreksiya qilish koeffitsiyenti [7].

Ikki rotorli C_p - λ modeli. Ikki rotor o'rtasidagi aerodinamik ta'sirni hisobga olgan holda quyidagi korrektsiyalangan model qo'llaniladi [5, 8]:

$$C_{p,\text{tot}} = C_{p,1}(\lambda_1) + \eta_{\text{int}} C_{p,2}(\lambda_2)$$

Bu yerda η_{int} — rotorlar o'rtasidagi o'zaro ta'sir koeffitsiyentini ifodalaydi.

η_{int} ning fizik ma'nosi.

$$\eta_{\text{int}} = \frac{2 - \text{ро́тор ола́диган ре́ал қу́вват}}{\text{иде́ал ҳо́лда олиши мумкин бў́лган қу́вват}}$$

Ya'ni, ushbu koeffitsiyent 1-rotordan keyin saqlanib qolgan shamol tezligi va aylanish impulsi 2-rotor tomonidan qay darajada samarali o'zlashtirilishini ifodalaydi.

Klassik analitik (Actuator Disk) modeli. Newman (1986) va Jamieson (2011) ishlariga asoslangan holda:

$$\eta_{\text{int}} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^3 (1 - k_s)$$

Bu yerda:

v_1 — 1-rotorning kirish tezligi;

v_2 — 2-rotorning kirish tezligi;

k_s — aylanishli oqim (swirl) yo'qotishlar koeffitsiyenti.

Tezliklar nisbati.

Wake modeliga ko'ra:

$$v_2 = v_\infty (1 - 2a_1)$$

$$a_1 = \frac{1}{2} (1 - \sqrt{1 - C_{T1}})$$

C_{T1} — birinchi rotorning turtki koeffitsiyenti.

Girdob kompensatsiyasi (qarama-qarshi aylanishning afzalligi). Agar rotorlar qarama-qarshi yo'nalishda aylansa:

$$k_s \approx 0.05 - 0.15$$

Bir xil yo'nalishda aylansa:

$$k_s \approx 0.2 - 0.35$$

Shu sababli:

$$\eta_{int}^{CR} > \eta_{int}^{SR}$$

Empirik (muhandislik amaliyotida eng ko'p qo'llaniladigan) model. Amaliyotda ilmiy maqolalarda quyidagi sodda, biroq ishonchli model qo'llaniladi:

$$\eta_{int}(d, \lambda) = \eta_0 \exp\left(-\alpha \frac{d}{R}\right) \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^{\gamma}$$

Bu yerda:

Parametr	Tavsif
d	rotorlar orasidagi masofa
R	rotor radiusi
η_0	maksimal o'zaro ta'sir (0,85–1,10)
α	turtki tarqalish koeffitsiyenti (0,30–0,60)
γ	TSR moslik koeffitsiyenti (0,20–0,40)

Amaliy qiymatlar:

$$\eta_{int} = \begin{cases} 1.05 - 1.02 \text{ қарама – қарши айланишда} \\ 0.85 - 1.00 \text{ бир томонга айланишда} \end{cases}$$

$C_p - \lambda$

modelida

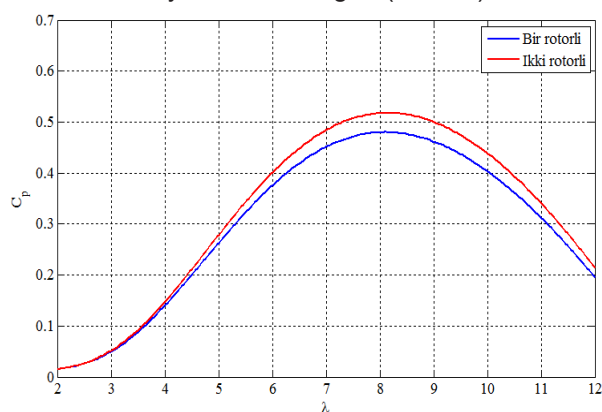
qo'llash.

Ikki rotorli umumiy $C_{p,tot}$:

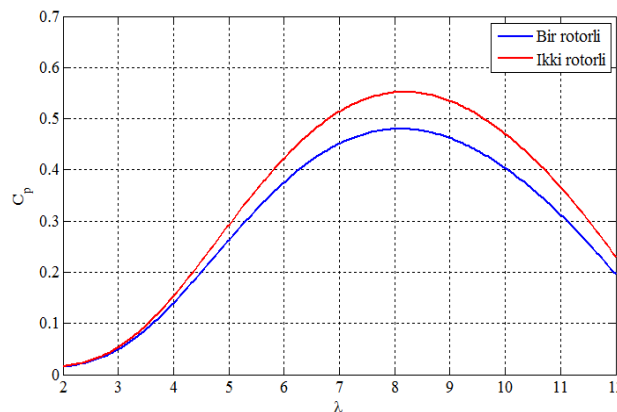
$$C_{p,tot} = C_{p,1}(\lambda_1) + \eta_{int} C_{p,2}(\lambda_2)$$

$\lambda_2 = \lambda_1$

1-rasmda rotorlar orasidagi masofa d ga bog'liq holda $C_{p,tot}$ ning o'zgarishi keltirilgan. Unda aylanuvchi rotorlar orasidagi masofa qancha oshsa, shamol energiyasidan foydalanishning foydali ish koeffitsiyenti shuncha kamayishi aks ettirilgan (1-rasm).



a)



b)

1-rasm. C_p ning rotorlar orasidagi masofa d ga bog'liqligi

a) d=2.5 metrga teng, b) d=0.5 metrga teng

Mexanik dinamika tenglamalari. Har bir rotor uchun harakat tenglamasi:

$$J_i \frac{d\omega_i}{dt} = T_{ai} - T_{e,i} - B_i \omega_i$$

Bu yerda: J_i — inertsia momenti, T_{ai} — aerodinamik moment, $T_{e,i}$ — elektr yuklama momenti, B_i — ishqalanish koeffitsiyenti.

Aerodinamik moment:

$$T_{ai} = \frac{P_i}{\omega_i}$$

Doimiy magnitli generator (PMG) modeli. Qarama-qarshi aylanuvchi PMG uchun elektromagnit moment [9]:



$$T_e = k_t(i_{q1} - i_{q2})$$

Generatorning elektr qismi dq-koordinatalarda:

$$u_d = R_{sd} + L_d \frac{di}{dt} - \omega_e L_q i_q$$

$$u_q = R_{sq} + L_q \frac{di}{dt} - \omega_e L_d i_d + \omega_e \psi_f$$

XULOSA VA TAKLIFLAR

Maqolada qarama-qarshi aylanuvchi ikki rotorli shamol turbinasining kengaytirilgan matematik modeli ishlab chiqildi. Ushbu model aerodinamik, mexanik va elektr jarayonlarni kompleks tarzda ifodalaydi hamda yuqori samaradorlikka ega shamol energetika qurilmalarini loyihalash uchun ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi. Aerodinamik o'zaro ta'sir koeffitsiyenti η_{int} quyi oqim rotor tomonidan o'zlashtirilgan qoldiq kinetik va girdob (uyurma) energiyasining ulushini miqdoriy baholash uchun kiritildi. Qarama-qarshi aylanuvchi konfiguratsiyalar uchun η_{int} girdobning tiklanishi hisobiga birdan katta bo'lishi mumkin va u rotorlar oralig'i hamda aylanish tezligi nisbatining funksiyasi sifatida modellashiriladi. Shuningdek, η_{int} doimiy kattalik emasligi, balki masofa, TSR va aylanish yo'nalishiga bog'liqligi hamda qarama-qarshi aylanish holatida $\eta_{int} > 1$ bo'lishi fizik jihatdan asosli ekani ko'rsatildi. Taklif etilgan matematik model ikki rotor aerodinamikasidagi o'zaro ta'sirni hisobga oladi, MPPT (TSR, P&O) algoritmlarini ishlab chiqish uchun qulay nazariy asos yaratadi, MATLAB/Simulink muhitida tizimni to'liq simulyatsiya qilish imkonini beradi hamda bir rotorli tizimga nisbatan 5–15 % gacha qo'shimcha quvvat olish imkoniyatini nazariy jihatdan asoslaydi [4, 5].

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. Betz, A. Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen. Göttingen, 1926.
2. Jamieson, P. Innovation in Wind Turbine Design. Wiley, 2011.
3. Newman, B. G. Multiple actuator-disc theory for wind turbines. Journal of Fluid Mechanics (JFM), 1986.
4. Shen, W. Z., Sørensen, J. N. Double-rotor wind turbine analysis. Renewable Energy, 2012.
5. Goude, A., Ågren, O. Counter-rotating wind turbine concepts. Wind Energy, 2014.
6. Vermeer, L. J., Sørensen, J. N. Wake aerodynamics of wind turbines. Progress in Aerospace Sciences, 2003.
7. Burton, T., et al. Wind Energy Handbook. Wiley, 2011.
8. Xu, L., Cartwright, P. Direct active and reactive power control of PMSG. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2006.
9. Boldea, I. Permanent Magnet Synchronous Generators. CRC Press, 2016.
10. Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogers, A. L. Wind Energy Explained. Wiley, 2010.
11. Shen, W. Z., Sørensen, J. N. Aerodynamic interaction of counter-rotating rotors. Renewable Energy, 2014.
12. Wang, L., et al. Aerodynamic modeling of counter-rotating wind turbines. Energy, 2016.
13. Gharali, K., Johnson, D. A. Wake interaction in CRWT systems. Wind Energy, 2013.

muhandislik **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Ingliz tili muharriri: Feruz Hakimov

Musahhih: Zokir Alibekov

Sahifalovchi va dizayner: Abdurahmon Qurbonov

2026. № 2

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelamasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.
Litsenziya raqami: №095310.

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



t.me/yait_2100