



ISSN: 3060-4966



JIZPI XABARNOMASI

ILMIY-TEXNIK JURNAL

- 05.00.00 - Texnika fanlari
- 05.02.00 - Mashinasozlik va mashinashunoslik.
Mashinasozlikda materiallarga ishlov berish.
Metallurgiya. Aviasiya texnikasi
- 05.03.00 - Asbobsozlik, metrologiya va axborot-o'lchov
asboblari va tizimlari
- 05.04.00 - Radiotexnika va aloqa
- 05.05.00 - Energetika va elektrotexnika.
Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini elektrlashtirish
texnologiyasi. Elektronika
- 05.06.00 - To'qimachilik va yengil sanoat materiallari
va buyumlari texnologiyasi
- 05.07.00 - Qishloq xo'jaligi ishlab chiqarishini
mexanizasiyalash texnologiyasi
- 05.08.00 - Transport
- 05.09.00 - Qurilish
- 05.10.00 - Inson faoliyati xavfsizligi

2026
maxsus son

 **JURNAL.JIZPI.UZ**

JIZPI XABARNOMASI

Muassis:

Jizzax politexnika instituti

O‘zR Oliy attestatsiya komissiyasi Rayosatining 2024-yil 25- dekabrda 365/4-son qarori bilan jurnal 05.00.00 – Texnika fanlari bo‘yicha OAK milliy nashrlari ro‘yxatiga kiritilgan

JizPI xabarnomasi

ILMIY-TEXNIK JURNAL

Vestnik DjizPI

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Bulletin of JizPi

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Bir yilda to‘rt marta chop etiladi.

Jizzax viloyati Matbuot va axborot boshqarmasi tomonidan 2019 yil 14 martda 06-042 raqam bilan ro‘yxatga olingan.

Nashr uchun mas‘ul:

K.Karimova

Bosishga ruxsat etildi: 04.10.2026.

Qog‘oz bichimi: 60x84 1/8.

Bosma tabog‘i: 13,5.

Ofset bosma. Ofset qog‘ozi.

Adadi: 100 dona.

Bahosi kelishilgan narxda.

Buyurtma №14

“JIZPI TIPOGRAFIYASI” MChJ tomonidan tayyorlangan.

“JIZPI TIPOGRAFIYASI” MChJ bosmaxonasida chop etildi.

130100, Jizzax shahri, Islom Karimov shoh ko‘chasi, 4 - uy.

Telefon: (+99888) 140 00 74

BOSH MUHARRIR:

A.USMANKULOV, texnika fanlari doktori, professor

BOSH MUHARRIR O‘RINBOSARI:

J.ABDUNAZAROV, texnika fanlari doktori, professor

MAS‘UL MUHARRIR

K.KARIMOVA, texnika fanlari bo‘yicha falsafa doktori

TAHRIR HAY‘ATI:

S.M.Turobjonov, texnika fanlari doktori, akademik (TDTU)

S.S. Shaumarov, texnika fanlari doktori, professor (TDTrU)

U.Yu.Yuldashev, fizika-matematika fanlari doktori, professor (JizPI)

J.N.Abdunazarov, texnika fanlari doktori, professor (JizPI)

A.Parpiyev, texnika fanlari doktori, professor (JizPI)

I.S.Shukurov, texnika fanlari doktori, professor (SamGASU)
Q.J.Jumaniyozov, texnika fanlari doktori, professor (TEITI)
M.T.Xodjiyev, texnika fanlari doktori, professor (GulDU)
A.Z.Mamatov, texnika fanlari doktori, professor (TTYeSI)
U.B. Yusupov, texnika fanlari doktori, dotsent (TDTrU)
Sh. A.Qorabayev, texnika fanlari doktori, professor (NDTU)
S.L. Eshkobilov, PhD, professor (AQSH)
M.Mikusova, PhD, professor (Slovakia)
V.A.Kondratev, texnika fanlari doktori, professor (Belarus)
M.M. Ganiyev, texnika fanlari doktori, professor (Rossiya)
F.A. Egamberdiyev, texnika fanlari doktori, dotsent (JizPI)
I.Z.Abbazov, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
O.Zafarov, texnika fanlari doktori, dotsent (JizPI)
I.B.Asqarov, pedagogika fanlari doktori, professor (JizPI)
W. Pangwei, PhD, professor (Xitoy)
K. Kim, PhD, professor (Janubiy Koreya)
K. Széll, - PhD, Dotsent (Vengriya)
A. Cansiz – PhD, Professor (Turkiya)
M. Pogatsnik – PhD, Dotsent (Vengriya)
Sh. Madjidov – DSc, Dotsent (Xitoy)
V.I. Rimshin, texnika fanlari doktori, professor (Rossiya)
A.B. Zabiyeva, PhD, dotsent (Qozog'iston)
S.X.Baxriev, texnika fanlari nomzodi, dotsent (Tojikiston)
I.V.Yakimenko, texnika fanlari doktori, professor (Rossiya)
S.O. Eshbekova, fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent
O.K.Adilov, texnika fanlari nomzodi, professor (JizPI)
S.Tavboyev, Texnika fanlari nomzodi, dotsent (O'zMU JF)
Sh.M. Musayev, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
A.O. Sultonov, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
S.V.Djiyanbayev, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
G'I.Mamayev, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
O.B.Berdiyev, texnika fanlari nomzodi, professor (JizPI)
B.I.Matniyazov, texnika fanlari nomzodi, professor (JizPI)
S.A. Sattarov, fizika-matematika fanlari nomzodi, dotsent (JizPI)
G'.G'.Egamnazarov, texnika fanlari nomzodi, dotsent (JizPI)
B.B.Doniyorov, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
M.A.Doniyorova, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
T.A.Berdiyev, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
O'.I.Jamolov, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
S.A.Usmanov, pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori, professor (JizPI)
A.A.Taylaqov, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
B.A.Tursunov, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
M.Anorboyev, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
E.Abdullayev, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (JizPI)
L.M.Qurbonova, kimyo fanlari falsafa doktori, PhD (JizPI)
B.U.Meliyev, texnika fanlari falsafa doktori, dotsent (JizPI)

TEXNIK MUHARRIRLAR:

M.Eshqulov - assistent o'qituvchi, (UZ, ENG, RUS)

X.Xamdamova – filologiya fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (UZ)

M.Ziyayeva - pedagogika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent (RU)

F.Xiloliddinova - v.b.dotsent (ENG)

Tahririyat manzili:

Jizzax shahri, Islom Karimov shoh ko'chasi, 4-uy

Faks: (0372) 226-45-47. Rasmiy sayt jurnal.jizpi.uz

Mundarija

1	Oybek Achilovich Kayumov, Nazokat Rashitovna Kayumova. A Safety-Constrained Speaker-Adaptive Algorithm for Foreign Language Pronunciation Assessment in Correctional Education	6
2	Хамиджонов Шермурод Хомиджон ўғли. Namangan viloyatida sanoat tarmoqlari joylashuvining o'ziga xos xususiyatlari va rivojlanish tendensiyalari	10
3	Fakhriddin A. Boboyev, Malokhat U. Ilkhamova, Shakhruzbe O. Ozodov. Optimizing Overlock Seam Parameters for Joining Footwear Uppers to Nonwoven Strobel Insoles	14
4	Nuriddin Tojiyev, Shohruh Safarov, Behzod Tahirov, Otabek Abdullayev. Thermo-Magneto-Electro-Elastic Nonlinear Bending of Anisotropic Plates of Complex Shape	18
5	Yusufov Khakim, Khamidov Ilyosbek. Investigation of the strength properties of polymer-modified asphalt concrete mixtures	24
6	Nazarov Furqat Daminovich, Saodullayev Abror Saypullayevich. Shamol tezligi nisbatan past bo'lgan hududlar uchun ikki rotorli qarama-qarshi aylanadigan shamol turbinalarini hisoblash (Jizzax hududi misolida)	27
7	Kamoliddin Kadirov, Nazarov Furqat Daminovich, Xoldarov Botir. Yengil sanoat korxonalarining rivojlanishi va elektr energiya iste'moli holati tahlili	32

Shamol tezligi nisbatan past bo'lgan hududlar uchun ikki rotorli qarama-qarshi aylanadigan shamol turbinalarini hisoblash (Jizzax hududi misolida)

Nazarov Furqat Daminovich
Energetika va elektr texnologiyasi
kafedrası katta o'qituvchisi t.f.n
Jizzax politexnika instituti
nazarovf1961.com

Saodullayev Abror Saypullayevich
Energetika va elektr texnologiyasi
kafedrası katta o'qituvchisi
Jizzax politexnika instituti
saodullaev@gmail.com

Abstract—Maqolada o'rtacha yillik shamol tezligi 5 m/s dan oshmaydigan hududlar, xususan Jizzax viloyati sharoitlari uchun ikki rotorli qarama-qarshi aylanadigan gorizontal o'qli shamol turbinasi (QAIR-ShT) aerodinamik hisobining muhandislik usuli taklif etilgan. Usul bir o'lchamli oqim nazariyasi, Veybull taqsimoti va rotorlararo iz (wake) ta'sirini hisobga oluvchi empirik tuzatish koeffitsiyentiga asoslangan. Rotor diametrlari 12 va 11 m, hisobiy tezlik koeffitsiyenti 8, tayanch balandligi 40 m bo'lgan turbina uchun hisob bajarildi. Natijalarga ko'ra, tayanch balandligidagi o'rtacha tezlik 4,9 m/s bo'lganda ikki rotorli sxema xuddi shunday oldingi rotorli bir rotorli turbinaga nisbatan yillik energiya ishlab chiqarishni taxminan 8,6 % ga, quvvat egri chizig'ining nominalgacha bo'lgan qismida esa 11,7 % ga oshiradi. Shamol tezligi ortishi bilan nisbiy samara kamayadi (6,5 m/s da 5,8 %). Maqola natijalaridan Jizzax viloyatining Do'stlik, Mirzacho'l va Sh. Rashidov tumanlarida kichik va o'rta quvvatli avtonom qurilmalarni loyihalashda foydalanish mumkin.

Keywords—shamol turbinasi, qarama-qarshi aylanish, ikki rotorli tizim, past shamol tezligi, Veybull taqsimoti, quvvat koeffitsiyenti, Jizzax viloyati.

KIRISH

O'zbekiston Respublikasida qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirish davlat siyosatining ustuvor yo'nalishlaridan biriga aylandi. Shamol energetikasi bo'yicha 2030-yilgacha 3000 MVt quvvat yaratish maqsadi belgilangan bo'lib, Navoiy, Buxoro, Qoraqalpog'iston va Jizzax viloyatlarida yirik shamol elektr stansiyalari loyihalari amalga oshirilmoqda [1]. Biroq respublika hududining katta qismida o'rtacha yillik shamol tezligi 2–2,5 m/s atrofida bo'lib, bu zamonaviy megavatt sinfidagi turbinalarning iqtisodiy samarali ishlashi uchun yetarli emas [1]. Shu sababli past tezlikli shamol sharoitida energiyani samarali o'zlashtiruvchi konstruksiyalarni izlash dolzarb ilmiy-texnik masala hisoblanadi.

An' anaviy bir rotorli gorizontal o'qli turbinaning quvvat koeffitsiyenti nazariy jihatdan Bets chegarasi ($16/27 \approx 0,593$) bilan cheklanadi, amalda esa zamonaviy qanotlar uchun 0,45 – 0,50 atrofida bo'ladi. Rotor ortidagi oqim burilishi (swirl) va qoldiq kinetik energiya yo'qotilishining bir qismini ketma-ket joylashgan ikkinchi rotor yordamida qaytarib olish g'oyasi qarama-qarshi aylanadigan ikki rotorli tizimlarning asosini tashkil etadi. Bunday sxemada ikkinchi

rotor birinchisiga teskari yo'nalishda aylanadi, natijada oqimning tangensial tashkil etuvchisi qisman so'ndiriladi va generatorning ikki yakori (ichki va tashqi) o'rtasidagi nisbiy aylanish tezligi oshadi, bu esa past tezlikli shamolda generator chiqish kuchlanishi va quvvatini oshirishga imkon beradi.

Mazkur ishning maqsadi — Jizzax viloyati shamol resursi xususiyatlarini hisobga olgan holda ikki rotorli qarama-qarshi aylanadigan turbinaning hisob metodikasini ishlab chiqish va uning energetik samaradorligini bir rotorli o'xshash turbina bilan solishtirib baholashdir. Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar hal etildi: hududning shamol resursini tahlil qilish va hisob uchun ssenariy tanlash; ikki rotorli tizimning aerodinamik modelini tuzish; quvvat egri chizig'i va yillik energiya ishlab chiqarishni hisoblash; rotorlar orasidagi masofa, diametrlar nisbati va shamol tezligining samaradorlikka ta'sirini tahlil qilish.

ADABIYOTLAR TAHLILI

Shamol turbinalari nazariyasining asosi A. Bets va G. Glauert ishlarida qo'yilgan bo'lib, ular o'q bo'yicha induksiya koeffitsiyenti va rotor ortidagi oqim burilishi orqali ideal rotor quvvatini aniqlaydi [2, 3]. Qanot elementi va impuls nazariyasi (BEM) real profililar uchun tortishish va ko'tarish kuchlarini hisoblashning asosiy vositasi bo'lib qolmoqda [2, 4]. Sodda hisoblar uchun Xayer tomonidan taklif qilingan quvvat koeffitsiyentining parametrik ifodasi keng qo'llaniladi [5].

Qarama-qarshi aylanadigan ikki rotorli turbinalar bo'yicha so'nggi tadqiqotlardan biri Adema va hammualliflarining ishidir [6]. Mualliflar diametri 1,6 m bo'lgan ikki rotorli turbinani CSTB (Nant) shamol tunnelida 4–15 m/s tezliklarda sinab ko'rgan. Tajribada elektr quvvati 1014 Vt gacha yetgan, o'lchangan quvvat koeffitsiyenti 0,33 ni tashkil etgan, turbina 3,5 m/s tezlikda o'zi ishga tushgan. Rotorlar orasidagi masofa 0,39 D, diametrlar nisbati 1:1 bo'lgan; oldingi va keyingi rotorlarning o'rtacha tezlik koeffitsiyentlari mos ravishda 3,2 va 6,6 qiymatni olgan. BEM modeli asosida bir rotorli turbinaga nisbatan yillik energiya ishlab chiqarishning taxminan 11 % ga oshishi olingan (shu bilan birga ishda optimallashtirilgan variant uchun boshqa qiymat ham keltirilgani sababli bu raqam taxmini hisoblanadi) [6]. Aynan shu natija bizning modelimizdagi rotorlararo ta'sir koeffitsiyentini sozlash uchun tayanch nuqta sifatida qabul qilindi.

Hududiy jihatdan O'zbekiston shamol resursi bir qator ishlarda baholangan. Texnik-iqtisodiy tahlilda 17 ta punkt bo'yicha 10 m balandlikdagi o'rtacha yillik tezlik 0,61 dan 3,98 m/s gacha, solishtirma shamol quvvati 1,74 dan 88,55 Vt/m^2 gacha o'zgarishi ko'rsatilgan [7]. Izzatillayev va hammualliflari Jizzax viloyati uchun vertikal o'qli kichik shamol qurilmalarining qo'llanilish istiqbollarini tahlil qilib, viloyatda yuqori salohiyatli (Do'stlik, Mirzacho'l, Sh. Rashidov) va past salohiyatli (Zomin, Zafarobod) tumanlar mavjudligini, yalpi shamol energiyasi salohiyati esa 205 km^2 maydonda yiliga 649,6 $GVt \cdot soat$ ekanligini keltirgan [1]. Shuningdek, O'zbekiston shamol energiyasi salohiyatining yalpi baholanishi bo'yicha alohida tadqiqot ham e'lon qilingan [8].

Adabiyotlar tahlili shuni ko'rsatadiki, ikki rotorli qarama-qarshi tizimlarning chet el tajribasi asosan shamol tunnelidagi kichik modellar va dengiz sharoitlariga tegishli; O'zbekistonning o'rtacha tezligi past hududlari uchun bunday turbinalarning hisobi va energetik samaradorligi mahalliy ma'lumotlar asosida yetarlicha yoritilmagan. Mazkur maqola shu bo'shliqni to'ldirishga qaratilgan.

JIZZAX HUDUDINING SHAMOL RESURSI VA HISOB SSENARIYSI

Jizzax viloyati Mirzacho'l cho'li, Turkiston tizmasi etaklari va Nurota tog'lari oralig'ida joylashgan. Viloyat hududi uchun tipik holat — bahor va yoz oylarida «Bahmal» deb ataladigan Farg'ona va Sirdaryo yo'nalishidan kuchayuvchi shamollar, qishda esa nisbatan sokin davrlar. Relif xilma-xil bo'lgani sababli shamol tezligi tumanlar bo'yicha sezilarli farq qiladi: Do'stlik, Mirzacho'l va Sh. Rashidov tumanlari yuqori salohiyatli, Zomin va Zafarobod tumanlari esa past salohiyatli hudud sifatida ajratilgan [1].

TABLE I
JIZZAX VILOYATI VA AYRIM
HUDUDLARNING YALPI SHAMOL SALOHİYATI KO'RSATKICHLARI

Hudud	Maydon, km^2	Yalpi energiya, $GVt \cdot soat/yil$	Solishtirma quvvat, Vt/m^2
Jizzax viloyati	205	649,6	manbada keltirilmagan
Navoiy viloyati	1108	7931,4	104
Samarqand viloyati	164	690,6	61
O'zbekiston bo'yicha	4474	25849	84 (o'rtacha)

Hisob uchun aniq o'lchov ma'lumotlari mavjud bo'lmagan holatda ehtiyotkor (konservativ) ssenariy tanlandi. Ayrim reanaliz ma'lumotlarida Jizzax uchun yuqoriroq tezliklar keltirilgan bo'lsa-da [1], ular o'rtacha yillik qiymat emasligi va mahalliy relefini to'liq aks ettirmasligi mumkinligi sababli, hisobda 10 m balandlikdagi o'rtacha yillik tezlik $\bar{v}_{10} = 3,8$ m/s deb qabul qilindi. Bu qiymat O'zbekiston bo'yicha 10 m dagi o'rtacha ko'rsatkichlar diapazoni (0,61–3,98 m/s) [7] ning yuqori chegarasiga yaqin bo'lib, «past tezlikli hudud» tushunchasiga mos keladi. Hisob natijalarining shamol tezligiga sezgirli 4,0–6,5 m/s oralig'ida alohida tahlil qilindi, shuning uchun aniq o'lchovlar (kamida bir yillik anemometriya) natijasida qiymatni aniqlashtirish natijalarni qayta hisoblash orqali amalga oshiriladi.

Balandlik bo'yicha shamol tezligi darajali qonun bilan ifodalandi:

$$v(h) = \bar{v}_{10} \cdot (h/10)^{\alpha}, \quad (1)$$

bunda α — ishqalanish (shear) ko'rsatkichi. Ochiq cho'l-dasht relefi uchun $\alpha = 0,18$ qabul qilindi. Unda 30 m da $v = 4,63$ m/s, 40 m da 4,88 m/s, 50 m da 5,08 m/s va 80 m da 5,53 m/s hosil bo'ladi. Kichik va o'rta quvvatli turbina uchun tayanch (hub) balandligi 40 m deb olindi, ya'ni hisobiy o'rtacha tezlik $\bar{v}_h = 4,88$ m/s.

Shamol tezligining ehtimoliy taqsimoti ikki parametrlil Veybull qonuni bilan berildi:

$$f(v) = (k/c) \cdot (v/c)^{(k-1)} \cdot \exp[-(v/c)^k], \quad (2)$$

$$c = \bar{v} / \Gamma(1 + 1/k), \quad (3)$$

bunda k — shakl, c — masshtab parametri, Γ — gamma-funksiya. Quruqlik hududlari uchun odatiy bo'lgan $k = 2$ (Reyley taqsimoti) qabul qilindi; unda $\bar{v} = 4,88$ m/s uchun $c = 5,50$ m/s. Havо zichligi Jizzax shahri balandligi (taxminan 400 m) va o'rtacha yillik harorat (+14...+16 °C) uchun $\rho = 1,18$ kg/m^3 deb olindi.

TABLE II
SSENARIY BO'YICHA BALANDLIK
BO'YICHA O'RTACHA TEZLIK VA SOLISHTIRMA SHAMOL QUVVATI ($A = 0,18$, $k = 2$)

Balandlik, m	O'rtacha tezlik, m/s	Solishtirma quvvat, Vt/m^2
10	3,80	61,8
30	4,63	111,9
40	4,88	130,7
50	5,08	147,5
80	5,53	190,1

Solishtirma shamol quvvati Reyley taqsimoti uchun $P/A = 1/2 \rho (6/\pi) \bar{v}^3$ formulasi bo'yicha hisoblandi. Ko'rinib turibdiki, 10 m dan 40 m gacha balandlikda solishtirma quvvat ikki baravardan ko'proq oshadi, shu sababli past tezlikli hududlarda minora balandligi energiya olishning asosiy omillaridan biridir. Shu bilan birga, 130 Vt/m^2 qiymat 40 m balandlikda ham o'rtacha ko'rsatkichdan yuqori emasligi (respublika bo'yicha 84 Vt/m^2 [1]) hisob ssenariysining haddan tashqari optimistik emasligini bildiradi.

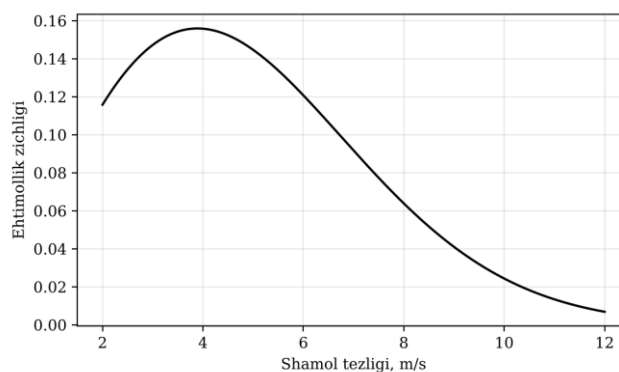


Fig 1. Tayanch balandligida (40 m) shamol tezligining Veybull taqsimoti ($k = 2$, $\bar{v} = 4,88$ m/s)

IKKI ROTORLI QARAMA QARSHI TRUBINANING HISOB MODELI

Rotorning shamoldan olgan mexanik quvvati quyidagicha aniqlanadi:

$$P = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot Cp(\lambda, \beta), \quad (4)$$

bunda $A = \pi D^2/4$ — rotor tomonidan yoritiladigan yuza; Cp — quvvat koeffitsiyenti; $\lambda = \omega R/v$ — tezlik koeffitsiyenti;

β — qanotlarning oʻrnatilish burchagi. Quvvat koeffitsiyenti uchun Xayer ifodasidan foydalanildi [5]:

$$C_p = 0,5176 \cdot (116/\lambda_i - 0,4\beta - 5) \cdot \exp(-21/\lambda_i) + 0,0068 \cdot \lambda_i, \quad (5)$$

$$1/\lambda_i = 1/(\lambda + 0,08\beta) - 0,035/(\beta^3 + 1). \quad (6)$$

$\beta = 0^\circ$ da (5)–(6) ifodalar maksimum $C_{p,\max} = 0,480$ qiymatni $\lambda_{opt} = 8,1$ da beradi (2-rasm). Bu qiymat zamonaviy uch qanotli rotorlarning amaliy koʻrsatkichlariga mos keladi.

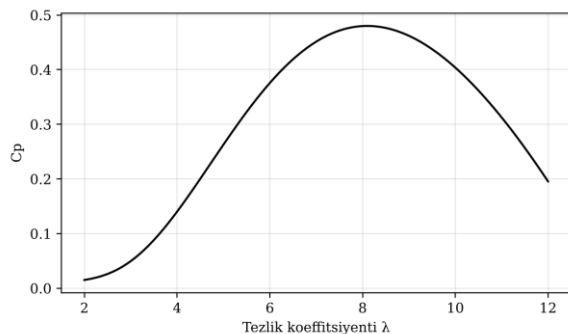


Fig 2. Bir rotorli turbina quvvat koeffitsiyentining tezlik koeffitsiyentiga bogʻliqligi ($\beta = 0^\circ$)

Impuls nazariyasiga koʻra, birinchi rotor uchun C_{p1} va oʻq boʻyicha induksiya koeffitsiyenti a_1 oʻzaro quyidagicha bogʻlangan:

$$C_{p1} = 4 \cdot a_1 \cdot (1 - a_1)^2. \quad (7)$$

(7) tenglamaning kichik ildizi a_1 ni beradi; $C_{p1} = 0,480$ uchun $a_1 \approx 0,19$. Rotor tekisligida tezlik $v(1 - a_1)$, uzoq izda esa $v(1 - 2a_1)$ boʻladi. Ikkinchi rotor birinchisidan x masofada joylashganda, uning tekisligidagi tezlik quyidagicha olindi:

$$u_2 = v \cdot [1 - 2a_1 \cdot g(x)], \quad g(x) = 0,5 + 0,5 \cdot [1 - \exp(-2x/D_1)], \quad (8)$$

yaʼni masofa ortgani sari tezlik $v(1 - a_1)$ dan $v(1 - 2a_1)$ ga qadar pasayadi (oqim trubkasi kengayishi bilan bogʻliq). Uzlaksizlik tenglamasidan ikkinchi rotor tekisligidagi oqim trubkasining yuzasi topiladi:

$$A_t = A_1 \cdot (1 - a_1) \cdot v / u_2. \quad (9)$$

Ikkinchi rotor orqali oʻtadigan oqim yuzasi $A_{oqim} = \min(A_2, A_t)$ deb olinadi, yaʼni diametri kichik rotor oqim trubkasining faqat bir qismini qamrab oladi.

Ikkinchi rotorning quvvati oʻz tekisligidagi tezlik u_2 orqali hisoblanadi:

$$P_2 = \eta_{int} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{oqim} \cdot u_2^3 \cdot C_{p2}, \quad (10)$$

$$C_{p2} = C_p(\lambda_2) \cdot (1 + \varepsilon_{sw}), \quad \varepsilon_{sw} = 1 / (2\lambda_1^2). \quad (11)$$

Bu yerda ε_{sw} — qarama-qarshi aylanish hisobiga oqim burilishi energiyasining qaytarib olinishini hisobga oluvchi tuzatma (burilish energiyasining nisbiy yoʻqotilishi taxminan $1/(2\lambda^2)$ tartibida); η_{int} — rotorlararo taʼsir koeffitsiyenti boʻlib, iz oqimining aralashishi, rotorlar orasidagi bosim maydoni taʼsiri, profil va uchlar yoʻqotishlarini jamlaydi. Bir oʻlchamli model bu yoʻqotishlarni toʻliq hisobga olmaganligi uchun η_{int} ning qiymati mustaqil tarzda aniqlanishi lozim. Ishda $\eta_{int} = 0,35$ qabul qilindi: aynan shu qiymatda model bir rotorli turbina nisbatan quvvatning taxminan 11–12 % ga oshishini beradi, bu esa [6] da keltirilgan BEM natijasi (≈ 11 %) bilan mos keladi. Demak, η_{int} — empirik kalibrash

parametri boʻlib, uni aniq konstruksiya uchun shamol tunnelida yoki CFD/BEM hisobida aniqlashtirish zarur.

Turbinaning umumiy quvvati $P\Sigma = P_1 + P_2$, uni elektr quvvatiga aylantirishda mexanik uzatma va generator FIK birgalikda $\eta_{gen} = 0,92$ deb olindi. Elektr quvvati nominal qiymat $P_{nom} = 25$ kVt (generator chiqishida ≈ 23 kVt) bilan chegaralandi; ishga tushish tezligi $v_{in} = 3$ m/s, uzilish tezligi $v_{out} = 25$ m/s. Taqqoslash uchun bir rotorli turbina oldingi rotor bilan bir xil diametrda ($D = 12$ m) va bir xil sozlamalarga ega deb olindi.

Yillik energiya ishlab chiqarish quyidagicha topildi:

$$E = 8760 \cdot \Sigma P(v_i) \cdot f(v_i) \cdot \Delta v, \quad (12)$$

$$CF = E / (8760 \cdot P_{nom}), \quad (13)$$

bunda $\Delta v = 0,5$ m/s — tezlik oraligʻi qadami, CF — oʻrnatilgan quvvatdan foydalanish koeffitsiyenti.

TABLE III

HISOBDA QABUL QILINGAN TURBINA PARAMETRLARI

Parametr	Qiymati
Birinchi (old) rotor diametri D_1	12 m
Ikkinchi (orqa) rotor diametri D_2	11 m
Rotorlar orasidagi masofa x	$0,35 D_1 \approx 4,2$ m
Hisobiy tezlik koeffitsiyenti $\lambda_1 = \lambda_2$	8,0
Tayanch balandligi	40 m
Havo zichligi ρ	$1,18$ kg/m ³
Rotorlararo taʼsir koeffitsiyenti η_{int}	0,35 (kalibrlangan)
Uzatma va generator FIK	0,92
Nominal elektr quvvati	≈ 23 kVt (25 kVt mexanik chegara)
Ishga tushish / uzilish tezligi	3 / 25 m/s

Hisob quyidagi tartibda bajarildi: (1) hududning oʻrtacha tezligi va balandlik boʻyicha oʻzgarishi (1) formula bilan aniqlanadi; (2) Veybull parametrlari (2)–(3) boʻyicha topiladi; (3) har bir tezlik oraligʻi uchun birinchi rotor C_{p1} va a_1 hisoblanadi; (4) (8)–(9) boʻyicha ikkinchi rotor tekisligidagi tezlik va oqim yuzasi topiladi; (5) (10)–(11) boʻyicha P_2 va yigʻindi quvvat aniqlanadi; (6) elektr quvvati nominal qiymat bilan chegaralanadi; (7) (12)–(13) boʻyicha energiya va CF topiladi. Tezlik koeffitsiyentlari λ_1 va λ_2 ning optimal qiymatlari 5–9 va 3–9 oraligʻida toʻliq saralash yoʻli bilan izlandi, yigʻindi quvvat maksimumi $\lambda_1 = \lambda_2 = 8$ da kuzatildi. Hisoblar Python (NumPy) dasturida bajarildi.

Taklif etilgan model muhandislik darajasidagi dastlabki baholash uchun moʻljallangan. U qanot profilarning aniq geometriyasi, burilish burchagi taqsimoti, rotorlararo koʻndalang oqim, turbulentlik va yoʻnalish oʻzgarishlarini bevosita hisobga olmaydi. Shuningdek, ikki rotorli tizim uchun mexanik yuklamalar, tebranish va generatorning elektromagnit hisobi alohida koʻrib chiqilishi kerak. Shu sababli modelning natijalari raqamli ustunlikning aniq qiymati sifatida emas, balki turli konstruktiv variantlarni oʻzaro taqqoslash vositasi sifatida qabul qilinishi lozim.

HISOB MODELI HISOB NATIJALARI VA ULARNI MUHOKAMA QILSIH

Hisobiy rejimda ($\lambda_1 = \lambda_2 = 8$, $v = 6$ m/s) birinchi rotorning quvvat koeffitsiyenti 0,480, induksiya koeffitsiyenti $a_1 = 0,19$,

ikkinchi rotor tekisligidagi tezlik esa kirish tezligining 73 % ini tashkil etadi. Birinchi rotor 6,92 kVt, ikkinchi rotor esa 0,81 kVt mexanik quvvat beradi; yig'indi quvvat 7,72 kVt bo'lib, bir rotorli turbina (6,92 kVt) dan 11,7 % yuqori. Quvvat egri chizig'i 3-rasmda keltirilgan.

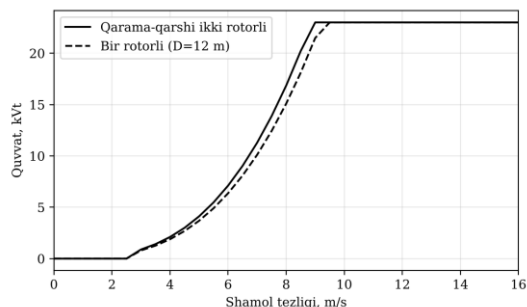


Fig 3. Elektr quvvatining shamol tezligiga bog'liqligi (quvvat egri chiziqlari)

Nominal tezlikkacha (taxminan 10 m/s) ikki rotorli tizimning nisbiy ustunligi deyarli o'zgarib 11,7 % ni tashkil etadi; undan keyin ikkala turbina ham nominal quvvat bilan chegaralanadi va farq yo'qoladi. Past shamol sharoitida nominal rejim kam uchrashi sababli ikki rotorli tizim ustunligi yillik energiyada to'liq namoyon bo'ladi, biroq nominal rejimga ega bo'lgan vaqtning kamayishi tufayli yillik energiya bo'yicha farq 11,7 % dan past bo'ladi.

TABLE IV YILLIK ENERGIYA ISHLAB CHIQARISHNING O'RTACHA TEZLIKKA BOG'LIQLIGI (TAYANCH BALANDLIGIDA, K = 2)

O'rtacha tezlik, m/s	Ikki rotorli, MVt·soat/yil	Bir rotorli, MVt·soat/yil	Ikki rotorli ustunlik, %
4,0	28,9	26,2	10,4
4,5	39,8	36,4	9,4
4,88 (hisobiy)	48,6	44,7	8,6
5,0	51,4	47,4	8,4
5,5	63,1	58,7	7,4
6,0	74,3	69,8	6,6
6,5	85,0	80,3	5,8

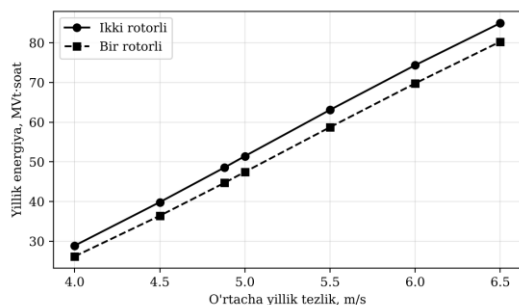


Fig 4. Yillik energiya ishlab chiqarishning o'rtacha yillik shamol tezligiga bog'liqligi

Hisobiy $\bar{v}_h = 4,88$ m/s da ikki rotorli turbina yiliga taxminan 48,6 MVt·soat energiya ishlab chiqaradi, bu 22,2 % quvvatdan foydalanish koeffitsiyentiga mos keladi (bir rotorli turbina uchun 44,7 MVt·soat va 20,4 %). Birinchi rotor yoritadigan yuza (113 m²) bo'yicha solishtirma yillik energiya mos ravishda 430 va 395 kVt·soat/m² ni tashkil etadi. Past tezlikli hududlar uchun CF $\approx 20 - 22$ % qiymati qoniqarli hisoblanadi, chunki 10 m balandlikda tezlik 3,8 m/s

bo'lgan joyda ham 40 m balandlikda yetarli energiya olish mumkin.

3-jadvaldan ko'rinib turibdiki, shamol tezligi ortishi bilan ikki rotorli tizimning nisbiy ustunligi 10,4 % dan 5,8 % gacha kamayadi. Buning sababi shundaki, yuqori tezliklarda nominal quvvat cheklovi ko'proq vaqt ishlaydi. Shuning uchun mazkur sxema aynan o'rtacha tezligi past hududlar uchun maqsadga muvofiqdir. Mutlaq energiya ustunligi esa tezlik ortishi bilan ortib boradi (4,0 m/s da 2,7 MVt·soat, 6,5 m/s da 4,7 MVt·soat).

KONSTRUKTIV PARAMETRLARNING SEZGIRLIGI

Rotorlar orasidagi masofa. Modelga ko'ra, $x/D_1 = 0,1$ dan 1,0 gacha oshirilganda ikki rotorli tizimning ustunligi 14,6 % dan 8,9 % gacha kamayadi (5-jadval). Sababi, masofa ortishi bilan ikkinchi rotor tekisligida tezlik $v(1 - a_1)$ dan $v(1 - 2a_1)$ ga yaqinlashadi, ya'ni oqim energiyasi pasayadi. Biroq bu tendensiya faqat modelga tegishli; amalda juda yaqin masofada rotorlarning mexanik ta'siri (qanot uchlari to'qnashuvi, tebranish, ovoz) va aerodinamik halaqitlar mavjud bo'ladi. Shuning uchun amaliy tanlov sifatida $x \approx 0,3-0,5 D_1$ oralig'i tavsiya etiladi, bu [6] dagi tajriba sharoitiga (0,39 D) mos keladi.

TABLE IV KONSTRUKTIV PARAMETRLARNING IKKI ROTORLI TIZIM USTUNLIGIGA TA'SIRI ($v = 6$ m/s, BIR ROTORLI TURBINAGA NISBATAN)

O'zgaruvchi parametr	Qiymat	Yig'indi quvvat, kVt	Ustunlik, %
Masofa x / D_1	0,1	7,93	14,6
	0,35 (bazaviy)	7,73	11,7
	0,5	7,65	10,6
	1,0	7,53	8,9
Diametrlar nisbati D_2 / D_1	0,6	7,26	5,0
	0,8	7,53	8,9
	0,9	7,70	11,2
	1,0	7,88	13,9

Diametrlar nisbati. $D_2/D_1 = 0,6$ dan 1,0 gacha oshirilganda ustunlik 5,0 % dan 13,9 % gacha ortadi, chunki kattaroq ikkinchi rotor kengaygan oqim trubkasini to'liqroq qamrab oladi. Bu natija [6] dagi 1:1 nisbatni tanlash mantiqiga mos keladi. Biroq D_2 ning ortishi qo'shimcha material sarfi va minora yuklamasining ortishiga olib keladi; shuning uchun $D_2/D_1 \approx 0,9$ qiymati (bazaviy variantda $11/12 \approx 0,92$) texnik-iqtisodiy murosala sifatida qabul qilindi.

Burilishni qaytarib olish hissasi. ε_{sw} ning 0 dan 10 baravar oshirilgan qiymatigacha o'zgartirilishi yig'indi quvvatni atigi 0,2 % dan 1,3 % gacha o'zgartiradi. Demak, $\lambda \approx 8$ bo'lgan tez yurar rotor uchun foyda asosan oqim burilishining so'nishidan emas, balki ikkinchi rotorning birinchi rotor ortidagi oqim energiyasini qo'shimcha o'zlashtirishidan kelib chiqadi. Burilish hissasi tezlik koeffitsiyenti kamayganda (past tezlikli rotorlarda) ortishi kutiladi.

Shamol tezligi va balandlik. Tayanch balandligini 40 dan 50 m ga oshirish tezlikni 4,88 dan 5,08 m/s ga ko'taradi va (4-jadvalga qarang) yillik energiyani taxminan 5–6 % ga oshiradi. Biroq minora narxi va yuklamasi ham ortishini

hisobga olib, balandlikni tanlash alohida iqtisodiy hisob talab qiladi.

JIZZAX VILOYATIDA QO'LLANISH BO'YICHA TAVSIYALAR

Birinchidan, qurilmalarni joylashtirish uchun yuqori salohiyatli hisoblangan Do'stlik, Mirzacho'l va Sh. Rashidov tumanlarini ustuvor deb qabul qilish maqsadga muvofiq [1]. Zomin va Zafarobod tumanlarida esa dastlabki o'lchovlarsiz qurilma o'rnatish tavsiya etilmaydi. Ikkinchidan, ikki rotorli tizimning mexanik murakkabligi (qo'sh yakorli generator, ikki rotor, qo'shimcha podshipniklar) va ishonchlilik masalalari sababli uni avtonom iste'molchilar — fermer xo'jaliklari, nasos stansiyalari, chorvachilik majmualari, aloqa va telemetriya shoxobchalari — uchun kichik va o'rta quvvatli qurilma sifatida qo'llash mantiqiy.

Uchinchidan, Jizzax sharoitida tuproq changi, yozgi yuqori harorat (+40 °C dan ortiq) va qishki muzlash xavfi qanot sirtlarining va podshipniklarning ishlash muddatiga ta'sir qiladi; shu bois qanot profilari sirt g'adir-budurligiga sezgirligi kam bo'lgan turlardan tanlanishi va tashqi yakorli generatoridagi muhr tizimi himoyalangan bo'lishi lozim. To'rtinchidan, ishga tushish tezligining past bo'lishi (3 m/s dan kam) talab qilingani uchun generatorda sekin aylanishda ham yetarli kuchlanish beruvchi doimiy magnitli sxema afzal. Beshinchidan, loyihalash oldidan kamida bir yillik 10 va 40 m balandlikdagi o'lchovlar o'tkazilib, ushbu maqoladagi ssenariy ($\bar{v}_{10} = 3,8$ m/s, $\alpha = 0,18$, $k = 2$) aniqlashtirilishi kerak.

Iqtisodiy jihatdan ikki rotorli tizim ustunligi (6–12 %) qo'shimcha rotor, ikkinchi qanotlar to'plami va qo'sh yakorli generator narxini qoplashi lozim. Bu shartni tekshirish uchun qurilmaning solishtirma narxi (so'm/kVt·soat) hisoblanadi; ushbu ko'rsatkichni ishlab chiqaruvchining haqiqiy narxlariga asosida alohida aniqlash zarur, chunki maqolada iqtisodiy ko'rsatkichlar uchun ishonchli mahalliy ma'lumotlar mavjud emas.

XULOSALAR

1. O'zbekistonning katta qismida, shu jumladan Jizzax viloyatining past salohiyatli tumanlarida, o'rtacha yillik shamol tezligi pastligi sababli, rotor yuzasi birligidan ko'proq

energiya oladigan konstruksiyalarni qo'llash maqsadga muvofiq.

2. Bir o'lchamli impuls nazariyasi, Veybull taqsimoti va kalibrangan rotorlararo ta'sir koeffitsiyentiga asoslangan hisob usuli ishlab chiqildi; usul oddiy, tezkor va parametrlar bo'yicha tahlil o'tkazishga imkon beradi.

3. $D_1 = 12$ m va $D_2 = 11$ m diametrli, $\lambda = 8$ bo'lgan turbina uchun Jizzax ssenariysida ($\bar{v}_h = 4,88$ m/s) yillik energiya ishlab chiqarish 48,6 MVt·soat, quvvatdan foydalanish koeffitsiyenti 22,2 % ni tashkil etdi, bu o'xshash bir rotorli turbinadan 8,6 % ko'p.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- [1] Izzatillaev J., Khudoyberdiyev U., Kushakov G. Prospects for the application of a small wind power device with a vertical axis in the Jizzakh region // E3S Web of Conferences, 2023, vol. 461, 01089 (RSES 2023). <https://www.e3s-conferences.org/10.1051/e3sconf/202346101089>
- [2] Burton T., Jenkins N., Sharpe D., Bossanyi E. Wind Energy Handbook. 2nd ed. – Chichester: Wiley, 2011. – 780 p.
- [3] Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application. 2nd ed. – Chichester: Wiley, 2009. – 704 p.
- [4] Hansen M.O.L. Aerodynamics of Wind Turbines. 3rd ed. – London: Routledge, 2015. – 192 p.
- [5] Heier S. Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems. – Chichester: Wiley, 1998. – 300 p.
- [6] Adema N.C., Gil-Vernet Pagonabarraga J., Swart Ranshuysen W., de Ruijter A., Schepers G. Experimental validation and extension of a blade element momentum model for counter-rotation dual-rotor wind turbine with double rotational armature design // Wind Energy Science, 2026, vol. 11, pp. 2037–2051. <https://wes.copernicus.org/articles/11/2037/2026/>
- [7] Technical and economic analysis of wind energy potential in Uzbekistan // Journal of Cleaner Production, 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.140
- [8] Evaluation of Wind Energy Potential of Uzbekistan. Part I: Gross Potential Assessment // Renewable Energy Research and Applications. https://rera.shahroodut.ac.ir/article_3562.html