ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

UO‘K 621.311.24 https://doi.org/10.70769/218-4732.ITJ.2026-3.10

O‘ZGARUVCHAN SHAMOL OQIMI SHAROITIDA VERTIKAL O‘QLI SHAMOL TURBINASINING AERODINAMIK SAMARADORLIGINI SONLI BAHOLASH

Safarov Alisher Bekmurodovich[1], PhD, doktorant (DSc), E-mail: a-safarov91@mail.ru,
ORCID: 0000-0003-1164-9027, Science ID: FBX-0825-0009
Ahmadov Elmurod Kamol o‘g‘li[2], doktorant (PhD), E-mail: ahmadovelmurod3@gmail.ru,
ORCID: 0009-0009-8236-3158, Science ID: FBX-0626-0115

[1]Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O‘zbekiston
[2]Buxoro davlat texnika universiteti, Buxoro, O‘zbekiston

Annotatsiya. *Jahonda energiya resurslarini tejashda, ekologik muammolarni barqarorlashtirish, elektr energiyasi uzluksizligi va ishonchliligini oshirishda yashil texnologiyalardan jumladan, gibrid vertikal o‘qli shamol energetik qurilmalardan foydalanish yetakchi o‘rinlardan birini egallamoqda. Kuchsiz shamol tezliklarida vertikal o‘qli shamol energetik qurilmalarning samaradorligini oshirish muhim ahamiyatga ega.*

Shamol parraklarining maqbul o‘lchamlarini loyihalashda Ansys Fluent tizimining CFD modelidan foydalanish yaxshi samara berishi tahlillar asosida aniqlangan. Gibrid Savonius va Darye tipli shamol turbinasi Ansys Fluent tizimida 2D shaklda loyihalangan, modellashtirilgan va o‘zgaruvchan shamol oqimlarida ishlash samaradorligi baholangan.

O‘zgaruvchan shamol oqimlarida gibrid Savonius va Darye shamol turbinasining samaradorlik koeffitsiyenti ko‘rsatkichlari keltirilgan. Parraklarning tez aylanuvchanlik koeffitsiyenti 3 bo‘lganda samaradorlik ko‘rsatkichi maksimal 0,42 bo‘lishi tadqiq qilingan.

Vertikal o‘qli shamol energetik qurilmalarining o‘zgaruvchan shamol oqimlaridagi samaradorligini va ishonchliligini oshirishda turbina parraklarining shakli, materiali va aerodinamikasiga bog‘liqligi aniqlangan. Shamol parraklarining maqbul o‘lchamlarini loyihalashda Ansys Fluent tizimining CFD modelidan foydalanish yaxshi samara berishi tahlillar asosida aniqlangan. Gibrid Savonius va Darye tipli shamol turbinasi Ansys Fluent tizimida 2D shaklda loyihalandi, modellashtirildi va o‘zgaruvchan shamol oqimlarida ishlash samaradorligi baholandi. DU-06-W-200 aerodinamik profil, chegara shartlari va kirish ma’lumotlari oqim tezligi 10 m/s, ishchi harorat 23 °C, ishchi bosim $1\cdot10^5$ Pa, havo oqimining zichligi 1,23 kg/m³, aerodinamik sirt vatar uzunligi 0,2 m, havo oqimining dinamik yopishqoqligi $1{,}7894\cdot10^{-5}$ kg/m·s, turbulent model turlari SST k-ω, k-epsilon (k-ε) va Reynolds soni $1{,}4\cdot10^6$ bo‘lgan holatda modellashtirilgan. Parraklarning tez aylanuvchanlik koeffitsiyenti 2,5 ga teng bo‘lganda shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti 0,4 bo‘lishi tadqiq qilingan.

Kalit so‘zlar: *gibrid Savonius-Darye shamol turbinasi, shamol tezligi, shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti, Ansys Fluent, CFD, modellashtirish, tez aylanuvchanlik koeffitsiyenti.*

UDC 621.311.24

NUMERICAL ASSESSMENT OF THE AERODYNAMIC PERFORMANCE OF A VERTICAL-AXIS WIND TURBINE UNDER VARIABLE WIND CONDITIONS

Alisher Safarov[1], PhD, DSc Doctoral Student
Elmurod Ahmadov[2], Doctoral Student

[1]Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan
[2]Bukhara State Technical University, Bukhara, Uzbekistan

Abstract. *In the modern world, the use of green technologies, particularly hybrid vertical-axis wind energy systems, occupies one of the leading positions in saving energy resources, stabilizing*

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

environmental issues, and increasing the reliability and continuity of power supply. Enhancing the efficiency of vertical-axis wind energy systems under low wind speeds is of great importance.

Based on analysis, it has been determined that using the CFD model in the Ansys Fluent system provides good results in designing the optimal dimensions of wind turbine blades. The hybrid Savonius–Darrieus wind turbine was designed in a two-dimensional (2D) model in Ansys Fluent, simulated, and its performance under variable wind flow conditions was evaluated.

The efficiency coefficient indicators of the hybrid Savonius–Darrieus wind turbine under variable wind flow conditions are presented. It was found that when the blade tip speed ratio is 2,5, the maximum power coefficient reaches 0.4.

It has been identified that the efficiency and reliability of vertical-axis wind energy systems under variable wind flow conditions depend on the shape, material, and aerodynamics of the turbine blades. The analysis showed that using the CFD model in the Ansys Fluent system for designing optimal blade dimensions gives good results. The hybrid Savonius–Darrieus wind turbine was designed, simulated, and evaluated in a two-dimensional setup in Ansys Fluent under variable wind speeds. The aerodynamic profile DU-06-W-200 was used for modeling with the following boundary conditions and input parameters: airflow velocity 10 m/s, operating temperature 23 °C, operating pressure $1 \cdot 10^5$ Pa, air density 1.23 kg/m³, aerodynamic chord length 0.2 m, air dynamic viscosity $1.7894 \cdot 10^{-5}$ kg/m·s. The turbulence models SST k-ω and k-ε were applied, and the Reynolds number was $1.4 \cdot 10^6$. When the blade tip speed ratio was equal to 2,5, the wind energy utilization coefficient reached 0.4.

Keywords: *hybrid Savonius–Darrieus wind turbine, wind speed, wind energy utilization coefficient, Ansys Fluent, CFD, modeling, tip speed ratio.*

УДК 621.311.24

ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННОГО ВЕТРОВОГО ПОТОКА

Сафаров Алишер Бекмуродович[1], PhD, докторант (DSc)
Ахмадов Элмурод Камол угли[2], докторант (PhD)

[1]Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан
[2]Бухарский государственный технический университет, г. Бухара, Узбекистан

Аннотация. *В современном мире использование зелёных технологий, в частности гибридных ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения, занимает одно из ведущих мест в экономии энергетических ресурсов, стабилизации экологических проблем, повышении надёжности и бесперебойности электроснабжения. Повышение эффективности ветроустановок с вертикальной осью при слабых скоростях ветра имеет важное значение.*

На основе анализа установлено, что применение CFD-модели системы Ansys Fluent даёт хорошие результаты при проектировании оптимальных размеров лопастей ветровой турбины. Гибридная ветровая турбина типа Савониуса–Дарье была спроектирована в двумерной модели (2D) в системе Ansys Fluent, смоделирована и оценена её эффективность при переменных потоках ветра.

Приведены показатели коэффициента эффективности гибридной ветровой турбины Савониуса–Дарье при переменных потоках ветра. Установлено, что при коэффициенте быстроты вращения лопастей, равном 2,5, максимальный коэффициент использования энергии ветра составляет 0,4.

Определено, что эффективность и надёжность работы ветроэнергетических установок с вертикальной осью при переменных потоках ветра зависят от формы, материала и аэродинамики лопастей турбины. На основе анализа установлено, что использование CFD-модели системы Ansys Fluent при проектировании оптимальных размеров лопастей даёт хорошие результаты. Гибридная ветровая турбина типа Савониуса–Дарье

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

была спроектирована, смоделирована и оценена в системе Ansys Fluent в двумерной постановке при переменных скоростях ветра. Для моделирования использован аэродинамический профиль DU-06-W-200 с начальными параметрами: скорость потока 10 м/с, рабочая температура 23 °C, рабочее давление $1 \cdot 10^5$ Па, плотность воздуха 1,23 кг/м³, длина хорды аэродинамической поверхности 0,2 м, динамическая вязкость воздуха $1{,}7894 \cdot 10^{-5}$ кг/м·с. В качестве турбулентных моделей применялись SST k-ω и k-ε, при числе Рейнольдса $1{,}4 \cdot 10^6$. При коэффициенте быстроты вращения, равном 2,5, коэффициент использования энергии ветра составил 0,4.

Ключевые слова: *гибридная ветровая турбина Савониуса–Дарье, скорость ветра, коэффициент использования энергии ветра, Ansys Fluent, CFD, моделирование, коэффициент быстроты вращения.*

Kirish

Jahonda energetika xavfsizligi, ekologik muammolarni barqarorlashtirish va tabiiy yoqilg‘i manbalarini tejashda qayta tiklanadigan energiya manbalari jumladan, shamol energiyasidan foydalanish yetakchi o‘rinlardan birini egallamoqda. O‘zgaruvchan iqlim sharoitlarida shamol energetik qurilmalarining samaradorligini oshirish va ulardan foydalanishni rivojlantirish bo‘yicha ko‘plab davlatlarda strategiyalar qabul qilingan. Hozirgi kunda shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqish va amaliyotga joriy etish bo‘yicha Xitoy, Hindiston va Yevropa davlatlari yetakchilik qilmoqda. Xitoy davlati yiliga 82 GW quvvatga ega bo‘lgan quruqlikdagi shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqarish bo‘yicha yetakchilik qilmoqda. Yevropa davlatlari dunyodagi ikkinchi yiliga 21,6 GW, undan keyin AQSh (13,6 GW), Hindiston (11,5 GW) va lotin Amerikasi (6,2 GW) yirik shamol elektr stansiyalarini ishlab chiqarmoqda [1]. 2023-yilning birinchi yarmida 2022-yilga nisbatan 38 foizga ko‘p yangi shamol energetik qurilmalari o‘rnatildi, 2022-yil iyunidan 2023-yil iyungacha 100 GW qo‘shildi va 976 GW yillik o‘sish surati 11,4 % ga yetdi [2].

2030-yilgacha O‘zbekiston Respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o‘tishiga qaratilgan islohotlar samaradorligini oshirish bo‘yicha chora-tadbirlar ishlab chiqilgan. Bunda qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ishlab chiqarish quvvatini 15 GWga oshirish va ularning ulushini elektr energiyasini ishlab chiqarish umumiy hajmining 30 foizidan ko‘prog‘iga yetkazish bo‘yicha amaliy ishlar bajarilmoqda [3]. O‘zbekistonning iqlim sharoitlariga moslashtirilgan qayta tiklanuvchi energiya manbalarini ishlab chiqish va samaradorligini oshirish bo‘yicha ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda [4, 5, 6, 7, 8].

Shamol energetik qurilmalarining o‘zgaruvchan shamol tezliklarida samaradorligini oshirishda konstruksiyasini takomillashtirish asosan uning parraklari aerodinamikasini tadqiq qilish muhim hisoblanadi. Shu sababli, ushbu maqolada shamol energetik qurilmalarida qo‘llaniladigan turli shakldagi aerodinamik sirtlarni yaratish va tadqiq qilish bo‘yicha olib borilgan ilmiy ishlar tahlil qilindi.

Farhan L. Rashid boshchiligidagi bir guruh olimlar CFD usullaridan foydalangan holda turli xil NACA 2412 profil geometriyalari atrofida havo oqimi ta’sirining aerodinamik tadqiqot o‘tkazilgan. Ilmiy tadqiqotning asosiy yo‘nalishi CFD model bilan bog‘liq o‘zgartirilgan NACA 2412 profili atrofidagi havo oqimini tahlil qilish uchun samarali muhandislik protseduralari takomillashtirilgan. Simulyatsiya boshqaruvchi tenglamalarni (uzluksizlik, Reynolds o‘rtacha Navier-Stokes va energiya tenglamasi) Reynolds soni $1 \cdot 10^6$ da Fluent tahlilidan foydalangan holda 2-D formatida yechish orqali amalga oshirilgan. Taqdim etilgan natijalarga ko‘ra, ko‘tarilish va tortish kuchlari to‘xtash joyiga yetguncha hujum burchagi ortib borishi bilan mos ravishda ortishi kuzatilgan. Optimal hujum burchagi 4^o ekanligi aniqlangan [9].

Sher Afghan Khan turli xil turbulentlik modellarining NACA0018 profili aerodinamikasining CFD bashoratlariga ta’sirini solishtirish bo‘yicha ilmiy tadqiqot olib borgan. Ushbu ish turli xil turbulentlik modellaridan foydalangan holda NACA 0018 profilining aerodinamik ishlashining raqamli tahlilini taqdim etgan. Ushbu raqamli tadqiqot uchun Ansys Fluent Computational Fluid Dynamics (CFD) modelidan foydalanilgan. NACA 0018 profilining mavjud eksperimental

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

ma'lumotlari raqamli natijalarni taqqoslash uchun ishlatilgan va mos ravishda ko‘tarish, tortish va bosim koeffitsiyentlaridagi farqlari baholangan. Aerodinamik koeffitsiyentlar va sirt bosimi o‘lchovlari Re = $0{,}8\cdot10^5$ dan Re = $0{,}3\cdot10^6$ oralig‘ida va hujum burchaklari (0° dan 18° gacha) uchun qayd etilgan. SST k-omega modeli hujumning past burchaklari uchun eng yaxshi ko‘tarish koeffitsiyenti prognozlarini taqdim etgan [10].

Brian Steenwijk va Pablo Druetta tomonidan 2D NACA 0012 profili atrofidagi havo oqimi hujumning turli burchaklaridagi RANS SST turbulent oqim modeli yordamida simulyatsiya qilingan va eksperimental ma’lumotlar bilan taqqoslangan. Modifikatsiya qilingan aerodinamik profil standart NACA 0012 bilan solishtirganda yuqori C_L va C_D qiymatlarini ko‘rsatgan. Taklif etilayotgan aerodinamik profil samaradorligi yuqoriligini inobatga olib vertikal o‘qli shamol energetik qurilmalarida foydalanish mumkin [11].

Nasser Shelil DTU-LN221 aerodinamik profilining Ansys Fluent tizimida 2D simulyatsiya modeli yaratilgan va tahlil qilingan. ANSYS Fluent yetti xil turbulentlik modellari bilan taklif etilayotgan aerodinamik profil simulyatsiya qilinib solishtirilgan. Turli xil turbulentlik modellari bo‘lgan aerodinamik profil uchun simulyatsiya natijalari bir xil ish sharoitida amalga oshirilgan shamol tunnelining eksperimental ma’lumotlari bilan taqqoslangan. Shamol tunnelining eksperimental ma’lumotlari bilan, ayniqsa, -5^o dan +10^o gacha bo‘lgan hujum burchagi bilan hisoblash suyuqlik dinamikasi (CFD) prognoz qilingan aerodinamik kuch koeffitsiyentlari o‘rtasida samaradorligi yuqoriligi aniqlangan [12].

Hozirgi kunda o‘zgaruvchan shamol oqimlariga moslashtirilgan vertikal o‘qli shamol turbinalarini loyihalash, shamol turbinasi parraklarining aerodinamik jarayonlarini tadqiq qilish, modellashtirish va optimal parametrlarini aniqlash bo‘yicha tadqiqotlar o‘tkazish muhim ahamiyatga ega.

Tadqiqotning maqsadi gibrid Savonius-Darye shamol turbinasini Ansys Fluent tizimida modellashtirish va o‘zgaruvchan shamol oqimlarida ishlash samaradorligini aniqlashdan iborat.

Materiallar va uslublar

Gibrid Savonius va Darye tipli shamol turbinasini Ansys Fluent tizimida CFD modellashtirishda quyidagi aerodinamik parametrlar muhim hisoblanadi. k-epsilon (k-ε) va SST k-ω turbulent modellar [16, 17, 18, 19]**.** Ushbu turbulentlik modellari turbulent oqim sharoitlari uchun o‘rtacha oqim xususiyatlarini simulyatsiya qilish uchun hisoblash gaz va suyuqliklar dinamikasida (CFD) qo‘llaniladigan eng keng tarqalgan modellardan biridir. Keltirilgan modellardan aerodinamik profillarning shamol oqimi o‘zgarishiga bog‘liqlik modellarini Ansys Fluent tizimida olish mumkin.

k-epsilon (k-ε) turbulent model.

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k\overline{u}_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+G_k+G_b-\rho\varepsilon-Y_M+S_k \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon\overline{u}_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right]+\rho C_1 S\varepsilon- \\ -\rho C_2\frac{\varepsilon^2}{k+V\varepsilon}+\ C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}C_{3\varepsilon}G_b+S_\varepsilon \end{cases} . \quad (1)$$

SST k-ω turbulent model.

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k)+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho k\overline{u}_j\right)=P-\beta^*\rho\omega k+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\sigma_k\mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right] \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho\omega)+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho\omega\overline{u}_j\right)=\frac{\gamma}{\nu_t}P-\beta\rho\omega^2+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[(\mu+\sigma_k\mu_t)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+ \\ +2(1-F_1)\frac{\rho\sigma_{\omega2}}{\omega}\frac{\partial k}{\partial x_j}\frac{\partial \omega}{\partial x_j} \end{cases} . \quad (2)$$

Savonius va Darye shamol turbinalarining umumiy shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti quyidagi matematik ifoda orqali aniqlanadi [20]:

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

$$C_P = (C_{P(D)} + C_{P(S)}) = \frac{P_D + P_S}{\frac{1}{2}\cdot\rho\cdot A_1\cdot V_\infty^3} = \lambda \cdot C_m\,, \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{R\cdot\omega}{V_\infty}\,, \quad (4)$$

bunda: $C_{P(D)}$ – Darye shamol turbinasining shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti; $C_{P(S)}$ – Savonius shamol turbinasining shamol energiyasidan foydalanish koeffitsiyenti; P_D va P_S – Darye va Savonius shamol turbinalarining mexanik quvvatlari; V_∞ – shamol oqimi tezligi; ρ – havo oqimining zichligi; A_1 – shamol turbinasi ko‘ndalang kesim yuzasi; λ – parraklarning tez aylanuvchanlik koeffitsiyenti; C_m – shamol turbinasining moment koeffitsiyenti; R – shamol turbinasining radiusi; ω – shamol turbinasining aylanma burchak tezligi.

1-jadvalda DU-06-W-200 aerodinamik profil geometrik o‘lchamlarining ma’lumotlari keltirilgan. Ushbu ma’lumotlar X va Y o‘qi bo‘yicha jami 201 ta nuqta olingan. Jadvalning o‘ng tomonida Ansys Fluent tizimi uchun kodlangan DU-06-W-200 aerodinamik sirtning o‘zgartirilgan ma’lumotlar fayli keltirilgan.

1-jadval. DU-06-W-200 aerodinamik sirt geometrik o‘lchamlarining ma’lumotlari

DU-06-W-200 aerodinamik sirtning haqiqiy ma’lumotlar fayli			DU-06-W-200 aerodinamik sirtning o‘zgartirilgan ma’lumotlar fayli				
X	*Y*		*Guruh raqami*	*Nuqtalar raqami*	*X*	*Y*	*Z*
1,00300	*0,00000*		*1*	*1*	*1,00300*	*0,00000*	*0*
1,00003	*0,00033*		*1*	*2*	*1,00003*	*0,00033*	*0*
0,99507	*0,00099*	→	*1*	*3*	*0,99507*	*0,00099*	*0*
0,98874	*0,00179*		*1*	*4*	*0,98874*	*0,00179*	*0*
0,98084	*0,00282*		*1*	*5*	*0,98084*	*0,00282*	*0*
0,97135	*0,00413*		*1*	*6*	*0,97135*	*0,00413*	*0*

Chegaraviy shartlarni aniqlash har qanday hisoblash suyuqliklar va gaz dinamikasi muammosining muhim qismidir. O‘rganilgan aerodinamik profil modeli ustidagi turbulent oqimni hujum burchagi o‘zgaruvchanligini nazarda tutadi. Simulyatsiyani o‘tkazish uchun muammoning chegara shartlari va ba’zi bir dastlabki ma’lumotlar olinadi va ular 2-jadvalda keltirilgan.

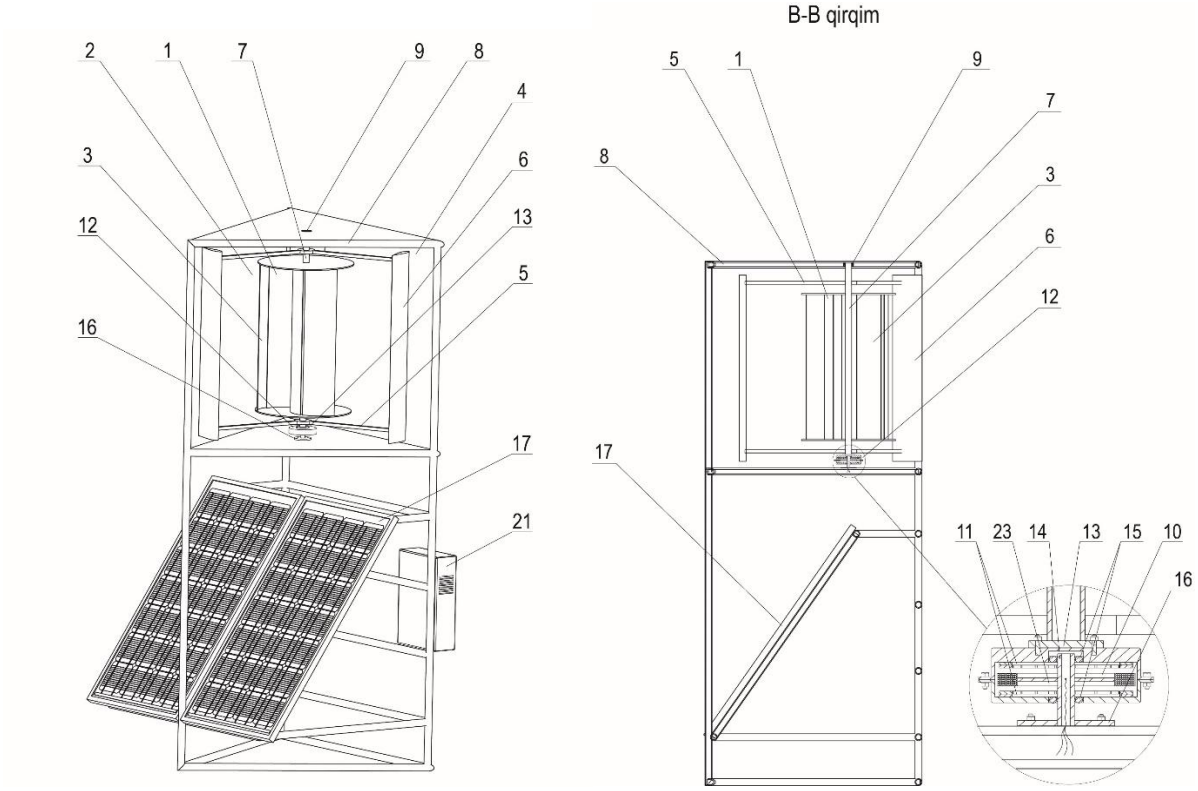
2-jadval. Chegara shartlari va kirish ma’lumotlari

Parametrlar	**Qiymatlar**
Tahlil turi	Barqaror holat
Aerodinamik sirt turi (Darye)	DU-06-W-200
Oqim tezligi	10 m/s
Ishchi harorat	23 ºC
Ishchi bosim	$1\cdot10^5$ Pa
Havo oqimining zichligi	1.23 kg/m^3
Aerodinamik sirt vatar uzunligi	L=0,2 m
Havo oqimining dinamik yopishqoqligi	$\mu=1.7894\cdot10^{-5}$ kg/m·s
Turbulent model turlari	SST k-ω, k-epsilon (k-ε)
Reynold soni	$Re=1.05\cdot10^6$
Turbulent oqim	$Re>5\cdot10^5$

1-rasmda shamol turbinasining umumiy (a) va B-B qirqim (b) ko‘rinishi keltirilgan. Vertikal o‘qli shamol energetik qurilmasi (r) radiusli yarim aylana shaklidagi shamol parraklari (1) orasidagi masofa (d) va radiusi (R) bo‘lgan Savonius shamol turbinasi (2) parraklaridan (3) (h) masofada

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

joylashtirilgan, Darye shamol turbinasining (4) aylana urinmasiga metall profillar (5) orqali optimal (β) burchak ostida DU-06-W-200 tipli shamol parraklari (6) o‘rnatilgan, asosiy val (7) bir uchi metall ramada (8) joylashtirilgan podshipnikda (9) o‘rnatilgan ikkinchi uchi stator (chulg‘amlar) (10) va rotorlardan (doimiy magnitlar) (11) iborat elektr generatorga (12) flans (13) orqali bog‘langan, stator (10) biriktirilgan metall truba (14) elektr generatorga (12) podshipniklar (15) orqali o‘rnatilgan, metall trubaga (14) biriktirilgan flans (16) metall ramaga (8) joylashtirilgan, quyosh fotoelektr panellari (17), gibrid kontroller (18) akkumulyator batareyalari (19) va invertor (20) qurilmalari o‘rnatilgan elektr shit (21), o‘zgarmas va uch fazali o‘zgaruvchan tok kabellari (22,23) metall ramada (8) joylashtirilgan.



a) b)

1-rasm. Shamol turbinasining umumiy (a) va B-B qirqim (b) ko‘rinishi.

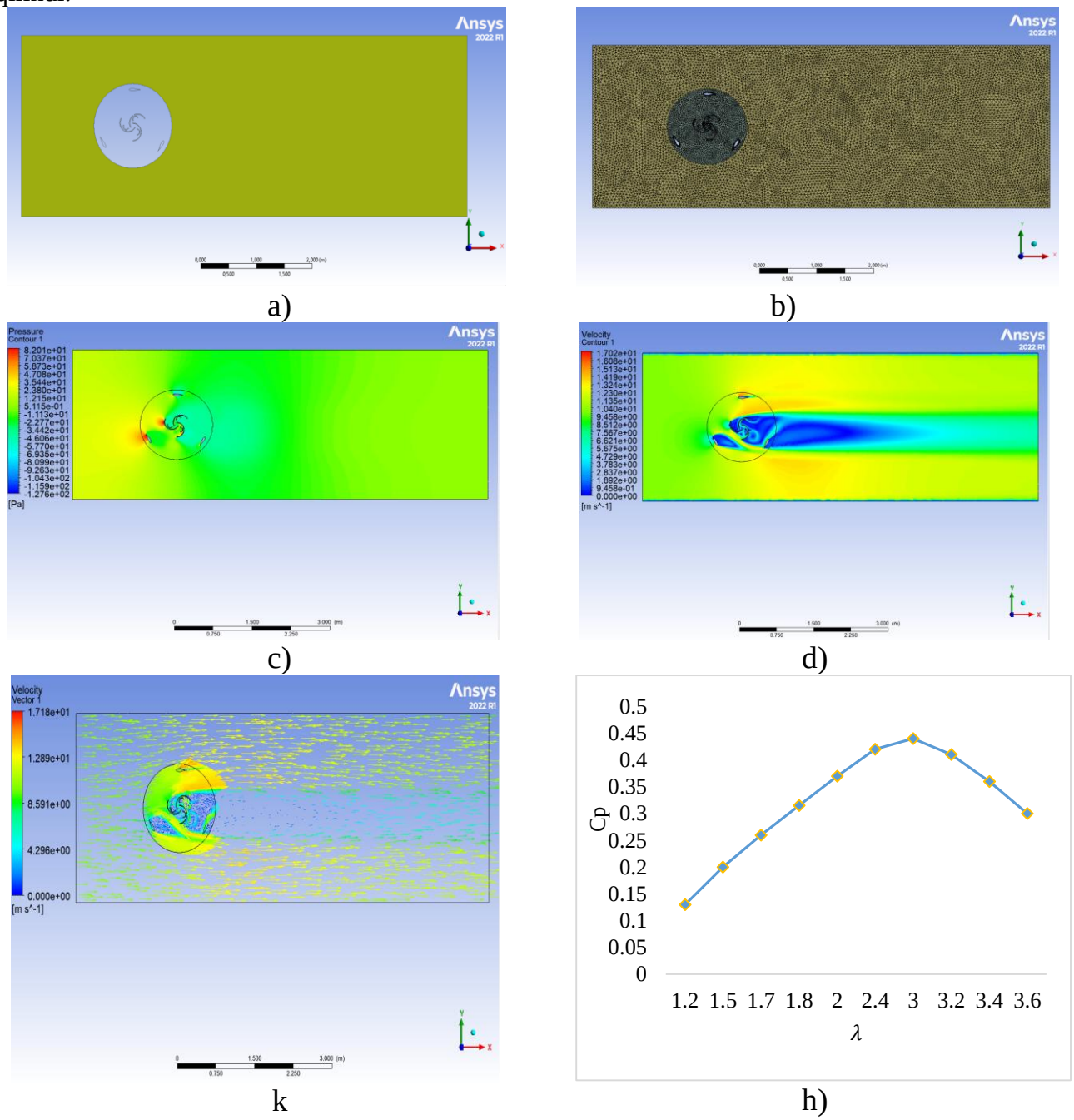
Taklif etilayotgan vertikal o‘qli shamol energetik qurilmasi o‘zgaruvchan shamol oqimlarida ishlash samaradorligi yuqori bo‘lib, asosan markazlashgan energiya ta’minotidan uzoqda joylashgan avtonom iste’molchilar uchun mo‘ljallangan.

Natijalar

2-rasmda gibrid Savonius va Darye shamol turbinasining Ansys Fluent tizimida geometrik loyihalash va shamol oqimining tezligi 10 m/s bo‘lgandagi modellashtirish natijalari keltirilgan. 2-rasm (a) da shamol turbinasining ikki o‘lchamli geometrik domeni keltirilgan. Bunda shamol turbinasining diametri 0,6 m deb qabul qilingan. 2-rasm (b) da shamol turbinasining simulyatsiya qilishda meshdan (to‘r) foydalanildi. Mesh haqiqiy modelni (turbinaning 2D shakli) juda ko‘p kichik elementlarga (katakchalarga) bo‘lib chiqadi. Har bir katakchada tenglama (Navier–Stokes va energiya) yechiladi. To‘rdagi elementlar soni 58400 ni tashkil qildi. 2-rasm (c) da shamol turbinasiga ta’sir qiluvchi shamol oqimi bosimining ko‘rsatkichlari keltirilgan. Bosim maksimal 82 Pa gacha ko‘tarilishi aniqlandi. 2-rasm (d) va (k) da shamol turbinasi parraklariga ta’sir qiluvchi shamol oqimi tezligining ko‘rsatkichlari keltirilgan. Bunda parraklarga ta’sir qiluvchi shamol oqimi tezliklari 2 dan 15 m/s bo‘lishi aniqlandi. 2-rasm (h) da o‘zgaruvchan shamol oqimlarida gibrid Savonius va Darye shamol turbinasining samaradorlik koeffitsiyenti ko‘rsatkichlari keltirilgan. Parraklarning tez

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

aylanuvchanlik koeffitsiyenti 2,5 bo‘lganda samaradorlik ko‘rsatkichi maksimal 0,4 bo‘lishi tadqiq qilindi.

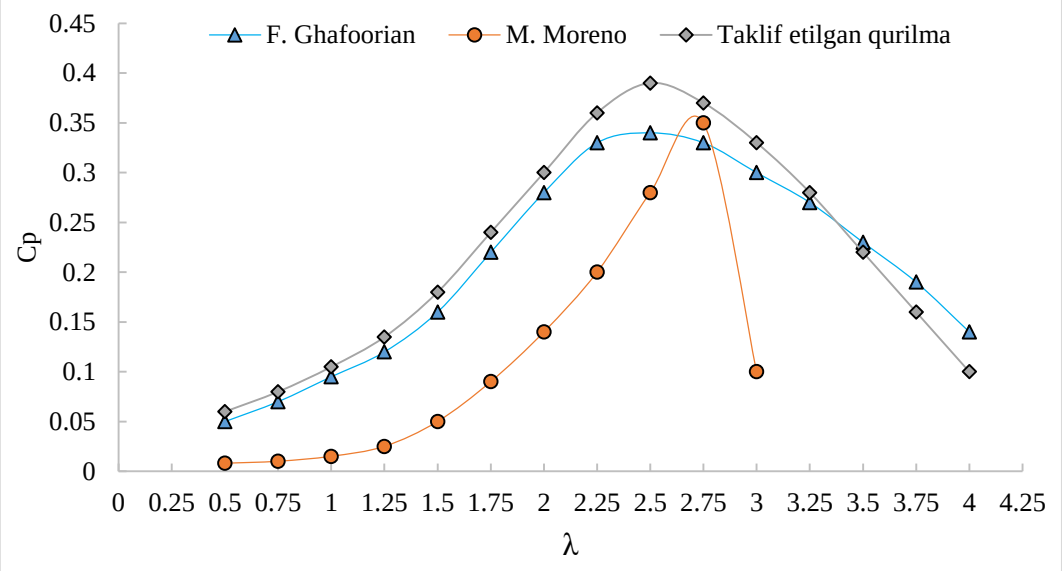


2-rasm. Shamol turbinasini Ansys Fluent tizimida modellashtirish natijalari.

Ishlab chiqilgan kompyuter modeli (CFD) eng yaqin analog qurilmalar bilan samaradorlik ko‘rsatkichlari $C_p(\lambda)$ validatsiya qilindi. Tekshiruv modellashtirish tezlik koeffitsiyenti λ ning 0,5 dan 4 gacha bo‘lgan oraliqda 0,25 qadam bilan turli qiymatlarida bajarildi. Ushbu diapazon F. Ghafoorian [21] va M. Moreno [22] ishlariga o‘xshash tarzda tanlandi. λ ning taqqoslanadigan diapazonidan foydalanish quvvat koeffitsiyenti Cp ning o‘zgarish xarakterini obyektiv solishtirish va modelni sifat jihatidan validatsiya qilish imkonini berdi. CFD modellashtirish natijasida $C_p = f(\lambda)$ bog‘liqlik grafigi qurildi. Ushbu bog‘liqlik gibrid shamol turbinasining turli aylanish rejimlarida oqimning kinetik energiyasini mexanik energiyaga aylantirish samaradorligini aks ettiradi. 3-rasmda gibrid shamol turbinalarining optimallashtirilgan konfiguratsiyasi ($\lambda = 2,5$; $\alpha = 5^o$; $\beta = 60^o$; $h = 0,02$) uchun olingan $C_p(\lambda)$ bog‘liqligi hamda F. Ghafoorian va M. Moreno ishlarida keltirilgan, gibrid shamol turbinalari uchun sonli model natijalari taqqoslangan. Har uchala egri chiziq ham xarakterli bog‘liqlikni

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

namoyish etadi, tezlik koeffitsiyenti ortishi bilan C_p qiymati oshadi. λ = 2,0–2,5 oralig‘ida maksimal qiymatga erishadi va undan so‘ng samaradorlik pasayadi.



3-rasm. Tezlik koeffisiyentining quvvat koeffisiyentiga bog‘liqlik grafigi (validatsiya natijalari)

Ishlab chiqilgan gibrid shamol turbinasi quvvat samaradorligi F. Ghafoorian taklif qilgan gibrid shamol turbinasidan 15 % va M. Moreno taklif qilgan gibrid shamol turbinasidan 11 % yuqori ekanligi asoslandi. Shu bilan birga, egri chiziqning umumiy xatti-harakati adabiyotlarda keltirilgan ma’lumotlarga mos keladi, bu esa bajarilgan CFD modellashtirish natijalarining fizik jihatdan asoslanganligini ko‘rsatadi.

Xulosa

Vertikal o‘qli shamol energetik qurilmalarining o‘zgaruvchan shamol oqimlaridagi samaradorligini va ishonchliligini oshirishda turbina parraklarining shakli, materiali va aerodinamikasiga bog‘liqligi o‘rganildi. Shamol parraklarining maqbul o‘lchamlarini loyihalashda Ansys Fluent tizimining CFD modelidan foydalanish yaxshi samara berishi tahlillar asosida aniqlandi. Gibrid Savonius va Darye tipli shamol turbinasi Ansys Fluent tizimida 2D shaklda loyihalandi, modellashtirildi va o‘zgaruvchan shamol oqimlarida ishlash samaradorligi baholandi. DU-06-W-200 aerodinamik profil, chegara shartlari va kirish ma’lumotlari oqim tezligi 10 m/s, ishchi harorat 23 ºC, ishchi bosim $1 \cdot 10^5$ Pa, havo oqimining zichligi 1,23 kg/m^3, aerodinamik sirt vatar uzunligi 0,2 m, havo oqimining dinamik yopishqoqligi $1{,}7894 \cdot 10^{-5}$ kg/m·s, turbulent model turlari SST k-ω, k-epsilon (k-ε) va Reynolds soni $1{,}4 \cdot 10^6$ bo‘lgan holatda modellashtirildi. O‘zgaruvchan shamol oqimlarida gibrid Savonius va Darye shamol turbinasining samaradorlik koeffitsiyenti ko‘rsatkichlari keltirilgan. Parraklarning tez aylanuvchanlik koeffitsiyenti 2,5 bo‘lganda samaradorlik ko‘rsatkichi maksimal 0,4 bo‘lishi tadqiq qilindi.

Adabiyotlar

[1] Jahonda shamol energiyasidan foydalanish ko‘rsatkichlari. https://gwec.net/globalwindreport2023/#:~:text=Total%20installed%20global%20capacity%20grew,%2Dyear%20growth%20of%2015%25.

[2] Shamol energetik qurilmalarini rivojlantirish tendensiyalari. https://wwindea.org/wwea-half-year-report-2023-additional-momentum-for-windpower-in-2023.

[3] O‘zbekiston Respublikasi Prezidentining 2022-yil 2-dekabrdagi PQ-436-son “2030-yilgacha O‘zbekiston Respublikasining “yashil” iqtisodiyotga o‘tishiga qaratilgan islohotlar samaradorligini oshirish bo‘yicha chora-tadbirlar to‘g‘risida”gi qarori. https://lex.uz/docs/-6303230.

ISSN 2181-4732
E-ISSN 2181-4015

[4] J. S. Akhatov, Kh. S. Ahmadov. Extraction of Hydrogen from Water Using CeO_2 in a Solar Reactor Using a Concentrated Flux of Solar Radiation. Applied Solar Energy, 2022, Vol. 58, No. 6, pp. 889–894.
[5] A.B Safarov, H.A. Davlonov, R.A Mamedov, M. Charieva, D. Kodirov. Design and modeling of dynamic modes of low speed electric generators for electric power generation from renewable energy sources. (2022) AIP Conference Proceedings 2686(1):020013.
[6] A. Safarov, R. Mamedov. Study of effective omni-directional vertical axis wind turbine for low speed regions. IIUM Engineering Journal, Vol. 22, No. 2, 2021.
[7] G.N. Uzakov, H.A. Davlonov, K.N. Holikov. Study of the influence of the source biomass moisture content on pyrolysis parameters. Applied Solar Energy. Volume 54, pages 481–484, (2018).
[8] N.N Sadullayev, A.B Safarov, R.A Mamedov, D. Kodirov. Assessment of wind and hydropower potential of Bukhara region. (2020) IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 614 012036.
[9] Farhan L. Rashid, Hussain S. Abd and Emad Q. Hussein. Numerical study of the air flow over modified NACA 2412 airfoil using CFD. AIP Conference Proceedings 2415, 020005 (2022); https://doi.org/10.1063/5.0092303.
[10] S.A. Khan, M. Bashir, M.A. Ali Baig, F.A. Ghasi Mehaboob Ali. Comparing the Effect of Different Turbulence Models on The CFD Predictions of NACA0018 Airfoil Aerodynamics. CFD Letters 12, Issue 3 (2020) 1-10.
[11] B. Steenwijk, P. Druetta. Numerical Study of Turbulent Flows over a NACA 0012 Airfoil: Insights into Its Performance and the Addition of a Slotted Flap. Appl. Sci. 2023, 13, 7890. https://doi.org/10.3390/app13137890.
[12] N. Shelil. 2D Numerical Simulation Study of Airfoil Performance. Wind Energy Science Discussion. https://doi.org/10.5194/wes-2021-45.
[13] Y. F. Görgülü, M. A. Özgür, R. Köse. CFD Analysis of a Naca 0009 Aerofoil at a Low Reynolds Number. Politeknik Dergisi, 2021; 24(3) : 1237-1242
[14] A. Kulshreshtha, S. Kumar Gupta, P. Singhal. FEM/CFD analysis of wings at different angle of attack. Materials Today: Proceedings. March 2020 Materials Today Proceedings 26(18).
[15] A. Ullah, M. B. Zaman, M. A. Bhatti, D. Qasim, A. Hamid, Q. Xiong, A. Khan. CFD study of drag and lift coefficients of non-spherical particles. Journal of King Saud University - Engineering Sciences. https://doi.org/10.1016/j.jksues.2021.10.003.
[16] M. Shirzadi, P. A. Mirzaei, M. Naghashzadegan. Improvement of k-epsilon turbulence model for CFD simulation of atmospheric boundary layer around a high-rise building using stochastic optimization and Monte Carlo Sampling technique. Volume 171, December 2017, Pages 366-379.
[17] H. Wei, Y. Chen. Assessment of different turbulence models on the large scale internal heated water pool natural convection simulation. Annals of Nuclear Energy. Volume 131, September 2019, Pages 23-38.
[18] A. Rezaeiha, H. Montazeri, B. Blocken. On the accuracy of turbulence models for CFD simulations of vertical axis wind turbines. Energy. Volume 180, 1 August 2019, Pages 838-857
[19] R. Lanzafame, S. Mauro, M. Messina. Wind turbine CFD modeling using a correlation-based transitional model. Renewable Energy. Volume 52, April 2013, Pages 31-39.
[20] L. Santamaría, M. G. Vega, A. Pandal, J. G. Pérez, S. Velarde-Suárez, J. Manuel Fernández Oro. Aerodynamic Performance of VAWT Airfoils: Comparison between Wind Tunnel Testing Using a New Three-Component Strain Gauge Balance and CFD Modelling. Energies 2022, 15, 9351. https://doi.org/10.3390/en15249351.
[21] G. Farzad, M. Seyed Reza, E. Mohammad, M. Mehdi. A systematic investigation on the hybrid Darrieus-Savonius vertical axis wind turbine aerodynamic performance and self-starting capability improvement by installing a curtain, Next Energy 6 (2025) 100203.
[22] M. Moreno, I. Trejo-Zúñiga, J. Terrazas, A. Díaz-Ponce, A. Pérez-Terrazo. Hybridization of a Micro-Scale Savonius Rotor Using a Helical Darrieus Rotor, Fluids 2025, 10, 63.