

**SHAMOL ENERGETIKASI/ ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА/ WIND ENERGY****O‘ZBEKISTON JANUBIY HUDUDLARINING IQLIM SHAROITLARIGA
MOSLASHTIRILGAN SHAMOL ENERGETIK QURILMASINI MODELLASHTIRISH****Safarov A.B.¹, Uzoqov G‘.N.², O‘lmasov Q.N.¹**¹Buxoro muhandislik-texnologiya instituti, Buxoro, O‘zbekiston²Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, O‘zbekiston

Annotatsiya: Maqolada Buxoro viloyatining markazlashgan elektr ta‘minotidan uzoqda joylashgan aholi punktlarini uzluksiz va ishonchli elektr energiya bilan ta‘minlashda ekologik toza shamol energetik qurilmalaridan foydalanish imkoniyatlari tadqiqotining ilmiy asoslari keltirilgan. Mintaqaning turli balandlikda shamol energiyasi resurslar salohiyatini baholashda ikki parametrlil Veybull ehtimollik taqsimot funksiyasidan foydalanilgan. 10 m balandlikdagi shamol o‘rtacha tezligi 3,5 m/s dan 4,5 m/s oraliqda o‘zgarishi, solishtirma shamol quvvati 50-60 W/m² va solishtirma shamol energiyasi yiliga 500 kWh/m² ga, 80 m balandlikdagi shamol oqimining texnik salohiyati 3,5 mlrd. kWh tengliga aniqlangan. Bundan tashqari Buxoro viloyatining iqlim sharoitlariga moslashtirilgan yangi turdagi vertikal o‘qli shamol energetik qurilmasi ishlab chiqilgan va parametrlari ilmiy asoslangan. Shamol energetik qurilmasining barqaror ishlashini ta‘minlashda tashqi yo‘naltiruvchi sirtlardan foydalanish uslubiyoti keltirilgan. Tashqi yo‘naltiruvchi sirtlarni qo‘llanilishi hisobiga shamol oqimini sezilarli darazada oshirish imkoniyati yaratilgan. Shamol energetik qurilmasining kuchsiz shamol oqimlarida samarali ishlashini ta‘minlashda ko‘p qutbli stator va rotori bir-biriga nisbatan teskari aylanadigan takomillashtirilgan aksial generator ishlab chiqilgan. Elektr generatorni qo‘llanilishi hisobiga kuchsiz shamol oqimlarida elektr energiya ishlab chiqishni 20% ga oshirishga erishilgan. Ishlab chiqilgan 600 W quvvatli shamol energetik qurilmasi joriy etilishi hisobiga yiliga, taxminan 1200 kWh elektr energiya, 0,993 t.sh.yo tejalishi va 2 tonnadan ziyodroq karbonat angidrid (CO₂) gazi atmosferaga chiqarilib yuborilishi oldi olingani asoslangan. Tadqiqotning natijalariga asosan chekka hududlarda yashovchi kichik quvvatli iste‘molchilarni ushbu shamol energetik qurilmalaridan foydalanishni kengaytirishda iqtisodiy va ijtimoiy sohalarni rivojlantirishimiz mumkin.

Kalit so‘zlar: shamol oqimining solishtirma energiyasi, ikki parametrlil Veybull ehtimollik taqsimot funksiyasi, shakl parametri, masshtab parametri, shamol energiyasining texnik salohiyat, vertikal o‘qli shamol energetik qurilmasi, tashqi yo‘naltiruvchi sirtlar, aksial generator.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА,
АДАПТИРОВАННОГО К КЛИМАТИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ ЮЖНЫХ РАЙОНОВ
УЗБЕКИСТАНА****Сафаров А.Б.¹, Узаков Г.Н.², Улмасов Қ.Н.¹**¹Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан²Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан

Аннотация: В статье представлены научные основы исследования возможности и использования экологически чистых ветроэнергетических установок для обеспечения непрерывного и надежного электроснабжения населенных пунктов, удаленных от централизованного электроснабжения Бухарской области. Двухпараметрическая функция распределения вероятностей Вейбулла использовалась для оценки потенциала ветроэнергетических ресурсов на различных высотах региона. Средняя скорость ветра на





высоте 10 м колеблется от 3,5 м/с до 4,5 м/с, удельная мощность ветра 50-60 Вт/м² и удельная энергия ветра 500 кВтч/м² в год, ветер на высота 80 м, технический потенциал потока 3,5 млрд. дол. кВтч определяется уравнением. Кроме того, разработан новый тип ветроустановки с вертикальной осью, адаптированный к климатическим условиям Бухарской области, и его параметры научно обоснованы. Представлен способ использования внешних направляющих поверхностей для обеспечения устойчивой работы ветроэнергетического устройства. За счет использования наружных отклоняющих поверхностей удается значительно увеличить ветровой поток. Разработан усовершенствованный осевой генератор с многополюсным статором и ротором, вращающимися навстречу друг другу, для обеспечения эффективной работы ветроэнергетического устройства при слабых ветровых течениях. За счет использования электрогенератора достигнуто 20% увеличение выработки электроэнергии при слабых течениях ветра. Он основан на том, что благодаря внедрению разработанного ветроэнергетического устройства мощностью 600 Вт экономится около 1200 кВтч электроэнергии, 0,993 т.ш.год и предотвращается выброс более 2 тонн углекислого газа (CO₂). выпущено в атмосферу. По результатам исследований можно развивать экономическую и социальную сферы за счет распространения использования этих ветроэнергетических устройств между потребителями малой мощности, проживающих в отдаленных районах.

Ключевые слова: относительная энергия ветрового потока, двухпараметрическая функция распределения вероятностей Вейбулла, параметр формы, параметр масштаба, технический потенциал энергии ветра, ветроустановка с вертикальной осью, внешние направляющие поверхности, аксиальный генератор.

MODELING OF A WIND ENERGY FACILITY ADAPTED TO THE CLIMATE CONDITIONS OF SOUTHERN REGIONS OF UZBEKISTAN

Safarov A.B.¹, Uzakov G.N.², Ulmasov K.N.¹

Bukhara Engineering and Technology Institute, Bukhara, Uzbekistan
Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, Uzbekistan

Abstract: This article presents the scientific basis of the study of the possibilities of using environmentally clean wind energy devices in providing continuous and reliable electricity to the settlements located far from the centralized power supply of Bukhara region. The two-parameter Weibull probability distribution function was used to estimate the potential of wind energy resources at different altitudes of the region. Average wind speed at a height of 10 m varies from 3.5 m/s to 4.5 m/s, the relative wind power is 50-60 W/m² and the relative wind energy is 500 kWh/m² per year, 80 m the technical potential of the high-altitude wind flow is equal 3.5 bln kW·h. In addition, a new type of vertical axis wind energy device adapted to the climatic conditions of Bukhara region has been developed and its parameters are scientifically based. The method of using external guiding surfaces to ensure the stable operation of the wind energy device is presented. Due to the use of external deflecting surfaces, it is possible to significantly increase the wind flow. An improved axial generator with a multi-pole stator and rotor rotating opposite to each other has been developed to ensure the efficient operation of the wind energy device in weak wind currents. Due to the use of an electric generator, a 20% increase in electricity production in weak wind currents has been achieved. It is based on the fact that due to the introduction of the developed 600 W wind energy device, approximately 1200 kWh of electricity, 0.993 tons fuel are saved and more than 2 tons of carbon dioxide (CO₂) gas is prevented from being released into the atmosphere. Based on the results of the research, we can develop the economic and social spheres by expanding the use of these wind energy devices to small power consumers living in remote areas.





Key words: *relative energy of wind flow, two-parameter Weibull probability distribution function, shape parameter, scale parameter, technical potential of wind energy, vertical axis wind energy device, external guiding surfaces, axial generator.*

1. Kirish. Jahonda yoqilg'i-energiya resurslarini tejash, atrof-muhitni muhofaza qilish, energiya uzluksizligi va ishonchliligini oshirishda qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish ko'lamini kengaytirish borasidagi ilmiy va amaliy tadqiqotlar muhim ahamiyat kasb etmoqda. Rivojlangan davlatlarning "uzoq muddatli milliy energetika dasturlarida 2021 yildan 2030 yilgacha bo'lgan davrda issiqxona gazlari va chiqindilarni kamida 40% ga kamaytirish, qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish ulushini 32% ga, energiya samaradorligini 32,5% ga oshirish rejalashtirilgan" [1] ekanligini hisobga olsak ish unumi yuqori bo'lgan shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqish muhim vazifalardan hisoblanadi. Hududlarning iqlim sharoitlariga moslashtirilgan shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqish hamda ularni qo'llashga katta e'tibor qaratilmoqda.

Jahonda shamol energiyasi resurslar salohiyatini ishonchli baholash, kichik quvvatli energiya iste'molchilari uchun optimal shamol energetik qurilmalari konstruksiyasini yaratish va ularning parametrlarini ilmiy asoslashga qaratilgan tadqiqot ishlari olib borilmoqda. Ushbu yo'nalishda iqlim sharoitlariga moslashtirilgan shamol energetik qurilmalarini yaratish, ularning texnologik ish jarayoni va energetik parametrlarini asoslash bo'yicha maqsadli ilmiy izlanishlarni olib borish dolzarb hisoblanadi.

Shamol energiyasidan foydalanib elektr energiyasi ishlab chiqarishga mo'ljallangan energetik qurilmalarni yaratishning ilmiy-texnik yechimlarini ishlab chiqish va samaradorligini oshirishga yo'naltirilgan ilmiy tadqiqotlar P.P. Bezrukix, V.T. Chong, Vang Cho, Kooksun Li, N.Ye. Jukovskiy, Ya.I. Shefter, Ye.M. Fateev, J.M. Darrius, S.J. Savonius, A.M. Rasham, K.M Azad, E.V. Solomin, V.V. Yelistratov, S.G. Obuxov va boshqa xorijlik olimlar tomonidan olib borilgan.

Respublikamizda muqobil energiya manbalaridan foydalanish, shamol energetik qurilmalarining samaradorligini oshirish va takomillashtirish borasida Q.R. Allaev, R.A. Zaxidov, O'.A. Tadjiev, K.T. Alimxodjaev, U.G'. Dehqonov va boshqa olimlar ilmiy izlanishlar olib borib, bir qator ijobiy natijalarga erishilgan.

Amalga oshirilgan tadqiqotlar natijalaridan markazlashgan energiya ta'minotidan uzoqda joylashgan hududlarda shamol elektr stansiyalarini loyihalash ishlarida foydalanib kelinmoqda. Biroq, bu tadqiqotlarda respublikamizning janubiy hududlariga moslashtirilgan o'zgaruvchan va kuchsiz shamol oqimlarida ishlashga mo'ljallangan shamol energetik qurilmalarini ishlab chiqish masalalari yetarli darajada o'rganilmagan.

Buxoro viloyati O'zbekistonning janubiy 39,77⁰ kenglikda va g'arbiy 64,48⁰ uzunlikda joylashgan bo'lib, uning umumiy maydoni 39,4 ming km² ni yoki Respublika maydonining 9 % tashkil qiladi. Mintaqada oxirgi 10 yil mobaynida energiyaga bo'lgan talab ortib bormoqda. Bu esa o'z navbatida iqtisodiyot va aholining o'sishi, hayot tarzining yaxshilanib borayotgani bilan bog'liq. Iqtisodiy va ijtimoiy sohaning rivojlanishi, asosan, hududdagi iste'molchilarni energiya bilan ta'minlanganlik darajasiga bog'liq bo'lib qolmoqda.

Buxoro viloyati hududida markazlashgan elektr ta'minotidan uzoqda joylashgan elektr energiya istemolchilari (fermer xo'jaliklari, chorvadorlar va hokazo) hozirgi kunda taxminan 1000 dan ziyodini tashkil qiladi. Mintaqada vaxta rejimida ishlaydigan 100 ga yaqin tashkilotlar ish olib boryapti. Buxoro viloyati hududlarida turizmni rivojlantirish maqsadida 10 ga yaqin sahro va cho'llarda turistik zonalar tashkil etilyapti. Buxoro viloyati chekka hududlarida turizm, qishloq xo'jaligi, kichik biznes va xususiy tadbirkorlikni rivojlantirishdagi asosiy muammolardan biri bu - elektr energiyasi uzluksizligi va ishonchliligi bo'lib qolmoqda. Ushbu hududlarda atrof-muhit ifloslanishlarini barqarorlashtirishda, energiya xavfsizligi va uzluksizligini ta'minlashda qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanish imkoniyatlarini baholash lozim.

Tadqiqotning maqsadi Buxoro viloyatining shamol energiyasi resurslar salohiyatini baholash, kuchsiz shamol oqimlarida ishlaydigan vertikal o'qli shamol energetik qurilmasini ishlab chiqish va parametrlarini asoslashdan iborat.

Tadqiqotning vazifalari: Buxoro viloyatining turli balandlikdagi shamol energiyasi resurslar salohiyatini baholash; iqlim sharoitlariga moslashtirilgan yangi turdagi vertikal o'qli shamol energetik qurilmasini ishlab chiqish; vertikal o'qli shamol energetik qurilmasining konstruktiv o'lchamlari va energetik parametrlarining shamol oqimi tezligiga bog'liqligini tavsiflovchi matematik modelini ishlab chiqish; shamol qurilmasining barqaror va o'zgarmas aylantiruvchi momentni aniqlashda yo'naltiruvchi sirtlarning optimal geometrik parametrlarini aniqlash; tashqi yo'naltiruvchi sirtlarning optimal geometrik o'lchamlarini yo'naltirilgan shamol oqimi tezligi o'zgarishiga bog'liqligini aniqlash.

2. Metodologiya.

2.1. Shamol energiyasi resurslar salohiyatini baholash metodologiyasi. Ma'lum bir hududda o'rnatiladigan shamol energetik qurilmalarining samarali va ishonchli ishlashida ushbu hududning shamol energiyasi resurslar salohiyati aniq baholanishi lozim.

Hozirgi kunda jahon tajribasi shuni ko'rsatdiki, shamol energiyasi resurslar salohiyati statik tahlil qilishda eng ko'p tarqalgan ikki parametrlilik Veybull ehtimollik taqsimot funksiyasidan foydalanish shamol tezligi xususiyatlari va shamol energiyasi resurslar salohiyatini ishonchli baholashda yaxshi samara beradi [2].

Shamol tezligi xususiyatlarini baholashda ikki parametrlilik Veybull ehtimollik taqsimot funksiyasining zichlik (ehtimollik zichligiga teng, ya'ni tezlikning v va $v + dv$ oralig'ida joylashish ehtimolligining kengligi dv bo'lgan oraliqqa nisbatiga teng bo'lgan tarqalishning differensial) va taqsimlanish integrali (shamol tezligi v qiymatdan katta ehtimoliga teng bo'lgan taqsimlanish integral funksiyasi) funksiyalari aniqlanishi lozim. Ushbu matematik ifodalar quyidagicha aniqlanadi [3,4,5]:

$$f(\bar{v}) = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^k} \quad 0 \leq \bar{v} \leq \infty \quad (1)$$

$$F(\bar{v}) = \int_0^{\bar{v}} f(\bar{v}) d\bar{v} = 1 - e^{-\left(\frac{\bar{v}}{c}\right)^k} \quad 1 \leq k \leq 10 \quad (2)$$

bunda: k – shakl parametri (hududning joylashuviga bog'liq); c – funksiya taqsimlanishi masshtabini aniqlaydigan parametr (shamol o'rtacha tezligiga bog'liq parametr, m/s).

Shamol tezligi ma'lumotlarini tahlil qilish uchun Veybull ehtimollik taqsimotining ikki parametrlilik ya'ni shakl va masshtab parametrlarini aniqlashimiz kerak. Shakl va masshtab parametrlari quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi [5,6]:

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}}\right)^{-1,086} \quad (3)$$

$$c = \frac{\bar{v}}{G\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (4)$$

bunda: σ – standart chetlashish (standart og'ish, m/s), G – gamma funksiya.

Tanlanma to'plam belgisining kuzatilgan qiymatlari uning o'rta qiymati atrofida tarqoqligini xarakterlash uchun standart chetlanishdan foydalaniladi. Standart chetlanish ifodasi quyidagi bog'liqlik orqali aniqlanadi [7]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(v_1 - \bar{v})^2 + (v_2 - \bar{v})^2 + \dots + (v_n - \bar{v})^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2} \quad (5)$$

Ikki parametrlilik Veybull ehtimollik taqsimoti funksiyasidan aniqlangan parametrlar orqali ma'lum bir hududning shamol oqimidan olinadigan solishtirma quvvat va energiyasi qiymatlarini aniqlashimiz mumkin. Bu parametrlar quyidagi matematik ifodalar orqali aniqlanadi [8,9]:

$$P_v = \frac{1}{2} \rho c^3 G\left(1 + \frac{3}{k}\right) \quad (6)$$

$$E_v = \frac{1}{2} \rho c^3 G\left(1 + \frac{3}{k}\right) \cdot T \quad (7)$$

bunda: P_v – Veybull ehtimollik taqsimoti funksiyasida aniqlangan solishtirma quvvat, Vt/m^2 ; E_v – Veybull ehtimollik taqsimot funksiyasida aniqlangan solishtirma energiya, $kVt \cdot soat/m^2$; T –





vaqt davomiyligi, soat; ρ – havo oqimining zichligi (10 m balandlikda havo oqimining zichligi 1,25 kg/m³ ga teng).

Turli balandliklarda shamol energiyasi resurslar salohiyatini baholash uchun havo oqimi zichligi va shamolning tezligi o'zgarish qiymatlarini aniq baholashimiz lozim. Balandlikka mos ravishda havo oqimining zichligi o'zgarishi quyidagi soddalashtirilgan ifoda orqali aniqlanadi [10]:

$$\rho_{N2} = \rho_{N1} - (1,194 \cdot 10^{-4} \cdot H) \quad (8)$$

bunda: ρ_{N1} – normal sharoitdagi havo oqimining zichligi, kg/m³; H – shamol tezligi o'lchanadigan balandlik, m.

Shamol tezligi qiymatlari balandlikka bog'liq bo'lib, balandlik oshib borgan sari shamol tezligi ham, proporsional oshib boradi. Quyidagi formulada shamol tezligining balandlikka bog'liqlik ifodasi keltirilgan [11,12]:

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^\alpha \quad (9)$$

bunda: v_2 – ma'lum balandlikda o'lchangan shamol tezligi, m/s; v_1 – boshlang'ich balandlikda o'lchangan shamol tezligi, m/s; H_1 – boshlang'ich balandlik, m; H_2 – tanlangan balandlik, m; α – shamolni kesuvchi ko'rsatkich.

Shamolni kesuvchi ko'rsatkich quyidagi formula orqali aniqlanadi [13,14]:

$$\alpha = [0,096 \log_{10}(Z_0) + 0,016 (\log_{10}(Z_0))^2 + 0,24] \quad (10)$$

Z_0 – turli xil quruqlik yuzalarida sirt notekisliklarning uzunligi. Yaylov va dashtli joylarda $Z_0 = 0,01$ m ni tashkil qiladi [15].

Ma'lum balandlikda shakl va masshtab parametrlari qiymatlari ham o'zgaradi. Bu parametrlarni aniqlash quyidagi ifoda orqali amalga oshiriladi [16,17,18]:

$$k_{H2} = \frac{k_{H1}}{1 - 0,0881 \ln\left(\frac{H_2}{H_1}\right)} \quad (11)$$

$$c_{H2} = c_{H1} \left(\frac{H_2}{H_1}\right)^n \quad (12)$$

$$n = [0,37 - 0,0881 \ln(c_{H1})] \quad (13)$$

bunda: k_{H1} – 10 m balandlikda aniqlangan shakl parametri; s_{H1} – 10 m balandlikda aniqlangan masshtab parametri, m/s; H_1 – boshlang'ich balandlik (10 m); H_2 – tanlanadigan balandlik, m; n – tanlanadigan balandlikdagi masshtab parametrini aniqlaydigan koeffitsient.

Turli balandliklardagi shamol oqimining solishtirma quvvat va energiya qiymatlari, havo oqimi zichligining balandlikka bog'liqlik ravishda o'zgarish qiymatiga, Veybul va Reley ehtimollik taqsimot funksiyalarida aniqlangan shakl va masshtab parametrlarining balandlikka bog'liqlik ravishda o'zgarish qiymatlari bilan aniqlanadi. Ushbu bog'liqliklar quyidagi ifodalarda keltirilgan [19,20]:

$$P_{vN2} = \frac{1}{2} \rho_{H2} c_{H2}^3 G \left(1 + \frac{3}{k_{H2}}\right) \quad (14)$$

$$E_{vN2} = \frac{1}{2} \rho_{H2} c_{H2}^3 G \left(1 + \frac{3}{k_{H2}}\right) \cdot T \quad (15)$$

2.2. Shamol energetik qurilmasining nazariy hisobi. Shamol energetik qurilmasi parraklarida hosil bo'ladigan umumiy mexanik moment quyidagi ifoda orqali aniqlanadi [22]:

$$M_t = \sum F_d R \quad (18)$$

bunda: F_d – shamol parraklari hosil qilgan qarshilik kuchi, N; R – turbinaning markaziy o'qi bilan shamol parragi markazi orasidagi masofa, m.

Statsionar holatdagi shamol parraklari hosil qilgan qarshilik kuchini aniqlash ifodasi quyidagicha [23]:

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho S (V \cos(\alpha))^2 \quad (19)$$

bunda: ρ – havo oqimining zichligi, kg/m³; S – shamol parragining frontal yuzasi, m²; V – shamol oqimining tezligi, m/s; α – shamol tezligi yo'nalishi va shamol parraklari yuzasining normal tekisligi orasidagi burchak; C_d – qarshilik koeffitsienti.

Shamol energetik qurilmasi markaziy o'qqa nisbatan aylanganda shamol parraklari ikki holatda bo'ladi. Bular old va orqa shakllardan iborat. Qarshilik koeffitsientining qiymati shamol parraklarining shakliga bog'liq. Oldinga burilish momenti shamol parraklarining shamol yo'nalishiga qaragan oldingi shakli, qarama-qarshi moment esa shamol yo'nalishiga teskari qaragan orqa shakli yordamida hosil bo'ladi.

Statsionar holatdagi shamol parraklari orqali hosil qilinadigan umumiy mexanik momentni aniqlash ifodasi quyidagicha [24]:

$$M_{\text{st}} = \frac{1}{2} \rho S R \left[\sum_{1}^{i=m} C_{d1} (V \cos(\alpha_i))^2 - \sum_{1}^{i=n} C_{d2} (V \cos(\alpha_i))^2 \right] \quad (20)$$

bunda: C_{d1} va C_{d2} mos ravishda shamol parraklarining old va orqa tomon sirtlarining qarshilik koeffitsientlari. m va n shamol yo'nalishiga qaragan old va shamol yo'nalishiga teskari qaragan orqa tomonlari parraklarining soni.

Karusel tipdagi shamol energetik qurilmalari parraklarining qarshilik koeffitsientlarini R.D. Blevins o'zining tadqiqot ishlarida aniqladi. Bunga ko'ra old va orqa tomon sirtlarining qarshilik koeffitsientlari mos ravishda $C_{d1} = 2,3$ va $C_{d2} = 1,1$ teng ekanligi asoslangan [25].

Shamol energetik qurilmasi markaziy o'qqa nisbatan ma'lum bir ω burchak tezlik bilan aylanganda shamol parraklarida hosil bo'ladigan umumiy mexanik moment quyidagicha aniqlanadi [26]:

$$M_{\text{ay}} = \frac{1}{2} \rho S R \left[\sum_{1}^{i=m} C_{d1} (V \cos(\alpha_i) - \omega R)^2 - \sum_{1}^{i=n} C_{d2} (V \cos(\alpha_i) + \omega R)^2 \right] \quad (21)$$

Agar vertikal o'qli shamol energetik qurilmalariga tashqi yo'naltiruvchi sirtlar qo'llanilsa, shamol parraklariga hosil bo'luvchi umumiy mexanik moment quyidagicha aniqlanadi:

$$M_{\text{ay}} = \frac{1}{2} \rho S R \left[\sum_{1}^{i=m} C_{d1} (v \cos(\alpha_i) - \omega R)^2 \right] \quad (22)$$

Vertikal o'qli shamol energetik qurilmasi orqali olinadigan mexanik quvvat quyidagi bog'liqlik orqali aniqlanadi:

$$P_t = M_{\text{ay}} \omega = \frac{1}{2} \rho S R \omega \left[\sum_{1}^{i=m} C_{d1} (V \cos(\alpha_i) - \omega R)^2 \right] \quad (23)$$

Shamol energetik qurilmasining aylanish harakatini tavsiflashda quyidagi differensial tenglamadan foydalanamiz [27]:

$$J \frac{d\omega_t}{dt} = M_t - M_g - k\omega_t \quad (24)$$

bunda: M_t – shamol turbinasi validagi mexanik moment, $n \cdot m$; M_g – generatorning elektromagnit momenti, $n \cdot m$, k – ishqalanish koeffitsienti, J – shamol turbinasining umumiy inersiya momenti, $kg \cdot m^2$; ω_t – shamol g'ildiragining burchak tezligi, rad/s.

Qurilma aylanuvchi qismlarining umumiy inersiya momenti shamol turbinasi rotor va generator inersiya momentlarining yig'indisiga teng bo'ladi. Ushbu bog'liqlik quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$J = J_r + J_g \quad (25)$$

bunda: J_r – shamol turbinasi rotorining inersiya momenti, $kg \cdot m^2$; J_g – shamol turbinasi generatorining inersiya momenti, $kg \cdot m^2$.

Shamol turbinasi rotorining inersiya momenti quyidagi ifoda orqali aniqlanadi [28]:

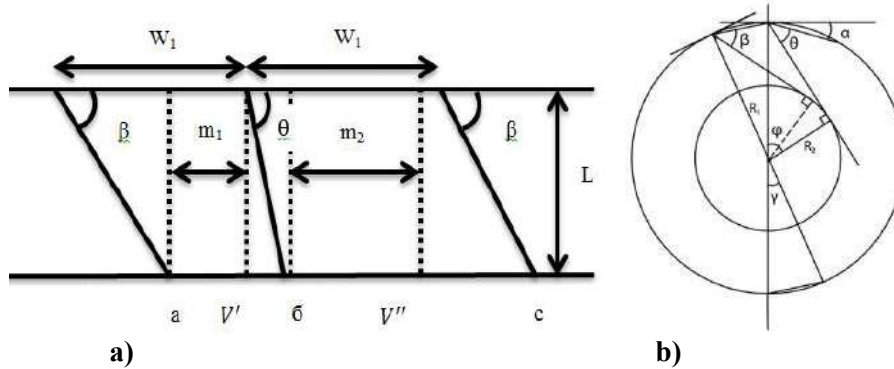
$$J_r = n \cdot J_0 = n \cdot \frac{m_1 \frac{m_2}{m_1 + \frac{m_2}{x}}}{x} l^2 \quad (26)$$

bunda: n – shamol turbinasi parraklarining soni, m_1 – turbina parragining massasi, kg ; m_2 – turbina parragi va rotor valini tutashiruvchi profil massasi, kg ; l – turbina parragi va rotor vali markazlari orasidagi masofa, m .

2.2. Tashqi yo'naltiruvchi sirtlarni maqbul geometrik o'lchamlarini aniqlash uslubiyoti. Ishlab chiqariladigan shamol energetik qurilmasi samarali va barqaror ishlashini ta'minlashda ushbu qurilmada qo'llaniladigan tashqi yo'naltiruvchi sirtlarni loyihalashdagi maqbul geometrik o'lchamlarini baholashni ko'rib chiqamiz.



Shamol energetik qurilmasiga qo‘llanilgan tashqi yo‘naltiruvchi sirtlarning geometrik maqbul o‘lchamlarini aniqlash uslubi ishlab chiqildi. 1-rasmda shamol energetik qurilmasiga qo‘llanilgan tashqi yo‘naltiruvchi sirtlarning geometrik o‘lchamlari belgilanish sxemasi keltirilgan. Bunda shamol oqimi V tezlik bilan yo‘naltiruvchi sirt quvurchalariga kirganda undan chiqishidagi tezliklari V' va V'' ikki burchak β va θ , sirt yuzalari orasidagi minimum masofalar m_1 va m_2 ga bog‘liq bo‘lishi aniqlandi.



1-rasm. Tashqi yo‘naltiruvchi sirtlarning geometrik o‘lchamlarini belgilanish sxemasi

Yo‘naltiruvchi sirtlarning vertikal o‘qqa nisbatan o‘rnatilish β va θ burchaklarning minimum va maksimum qiymatlarini aniqlash matematik ifodasi quyidagicha:

$$\cos(\alpha + \theta_{min}) = \cos(\alpha + \beta_{min}) = \frac{R_2}{R_1} \quad (27)$$

$$\theta_{min} = \beta_{min} = \arccos\left(\frac{R_2}{R_1} - \alpha\right) \quad (28)$$

$$\alpha = 90^\circ - \frac{(180^\circ - \frac{360^\circ}{N})}{2} \quad (29)$$

$$\theta_{max} = \beta_{max} = 90^\circ - \alpha$$

Ikkita sirt orasidagi minimum masofalarni quyidagi ifodalar orqali aniqlaymiz:

$$m_1 = \frac{w_1 \operatorname{tg}\beta - L}{\operatorname{tg}\beta} \quad (30)$$

$$m_2 = \frac{w_1 \operatorname{tg}\theta - L}{\operatorname{tg}\theta} \quad (31)$$

$$L = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad (32)$$

Shamol oqimi kiradigan sirt quvurchasining enini hisoblash ifodasi quyidagicha:

$$w_1 = \sqrt{2R_1^2 - 2R_2^2 \cos\left(\frac{360^\circ}{N}\right)} \quad (33)$$

bunda: R_1 – yo‘naltiruvchi sirtlarning tashqi radiusi.

Geometrik qonunlar asosida quyidagi shartlarni qabul qilamiz:

$$(m_1 + m_2) \cdot \frac{N}{2} < \pi D_2 \quad (34)$$

$$m_1 \geq d > 0; \quad m_2 > 0$$

bunda: d – ichki aylanuvchi shamol parraginging o‘lchami, m.

Yo‘naltiruvchi sirt quvurchalaridan chiqadigan shamol oqimining tezliklarini aniqlash ifodalari quyidagicha:

1 –rasm (a) dagi a va b soha uchun

$$V' = V \cdot \left(\frac{\frac{L}{\operatorname{tg}\beta} + m_1}{\frac{L}{\operatorname{tg}\theta} + m_2}\right) \cdot \frac{H_2}{H_1} \quad (35)$$

2 –rasm (a) dagi b va s soha uchun

$$V'' = V \cdot \left(\frac{\frac{L}{\operatorname{tg}\theta} + m_2}{\frac{L}{\operatorname{tg}\beta} + m_1}\right) \cdot \frac{H_2}{H_1} \quad (36)$$



bunda: V - yo'naltiruvchi sirt quvurchalariga kiradigan shamol oqimining tezligi, m/s; sirt quvurchalarning tashqi va ichki balandliklari $H_1 = H_2$ deb qabul qilingan.

2.3. Ko'p qutbli elektr generatorning nazariy hisobi. Ko'pgina kichik quvvatli shamol energetik qurilmalari reduktor ishlatilishi bilan bog'liq kamchiliklarni oldini olishda kichik aylanish tezligiga ega bo'lgan generatorlardan foydalaniladi. Shamolning o'rtacha tezligi past bo'lgan hududlarda qo'llanishi ko'zda tutilayotgan shamol energetik qurilmalari uchun kichik aylanish tezligiga ega bo'lgan elektr generatorlardan foydalanish qurilmalarning ishlash samaradorligini va ishonchliligini oshiradi.

Doimiy magnitlardan tashkil topgan sinxron generatorlarda stator chulg'amida vaqt davomida hosil bo'ladigan kuchlanish tenglamasi [29]:

$$\begin{cases} U_d = R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q \\ U_q = R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \psi_{PM} \end{cases} \quad (37)$$

Uch fazali doimiy magnitlardan tashkil topgan generatoridan olinadigan elektromagnit quvvatni hisoblash quyida keltirilgan ifodadan aniqlanadi [30]:

$$P_\circ = \frac{3}{2} \omega [\psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q \quad (38)$$

Juft qutublar soni rbo'lgan generatorning elektromexanik momenti quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$M_\circ = \frac{3}{2} p [\psi_{PM} + (L_d - L_q) i_d] i_q \quad (39)$$

bunda: ψ_{PM} – magnit oqim, Vb.

$$\psi_{PM} = \frac{\sqrt{2} E_f}{\omega} \quad (40)$$

Elektr generatorning stator va rotori teskari aylangandagi elektromagnit tezlik quyidagi ifoda orqali aniqlanadi:

$$\omega = p(\omega_{m1} + \omega_{m2}) \quad (41)$$

bunda: p – juft qutublar soni.

Generatorning dinamik modellashtirishdagi inersiya momenti quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M_m - M_\circ - k\omega_m \quad (42)$$

bunda: J – rotor massasining inersiya momenti $\text{kg}\cdot\text{m}^2$, M_m va M_\circ generatorning mexanik va elektromagnit momentlari, $\text{N}\cdot\text{m}$; k – ishqalanish koeffitsienti, ω_m – generatorning burchak tezligi, rad/s.

Statorchulg'ami induktivligini hisoblash [31]:

d o'qi va q o'qi bo'yicha

$$\begin{cases} L_d = m\mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'} \cdot k_{fd} \\ L_q = m\mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p}\right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g_q} \cdot k_{fq} \end{cases} \quad (43)$$

bunda: N – bitta chulg'amdagi o'ramlar soni; R_1 – statorning tashqi diametri, m; R_2 – statorning ichki diametri, m; r – juft qutublar soni; k_w – stator chulg'amini to'ldirish koeffitsienti; m – fazalar soni.

Doimiy magnitlarning sirt konfiguratsiyasi uchun d va q o'qlaridagi ekvivalent havo oralig'i quyidagi ifodalar orqali aniqlanadi:

stator o'zaksiz holat uchun

$$\begin{cases} g' = 2[(g + 0,5t_w) \cdot k_{sat} + \frac{h_m}{\mu_{rec}}] \\ g_q = 2(g + 0,5t_w + h_m) \end{cases} \quad (44)$$

Agar $\mu_{rec} \approx 1$ teng bo'lganda doimiy magnitlarning sirt konfiguratsiyasi $k_{fq} = k_{fd} = 1$ qabul qilamiz. Unda d va q o'qlardagi yakor reaksiyasi induktivligi quyidagi soddalashtirilgan ifodaga keladi:





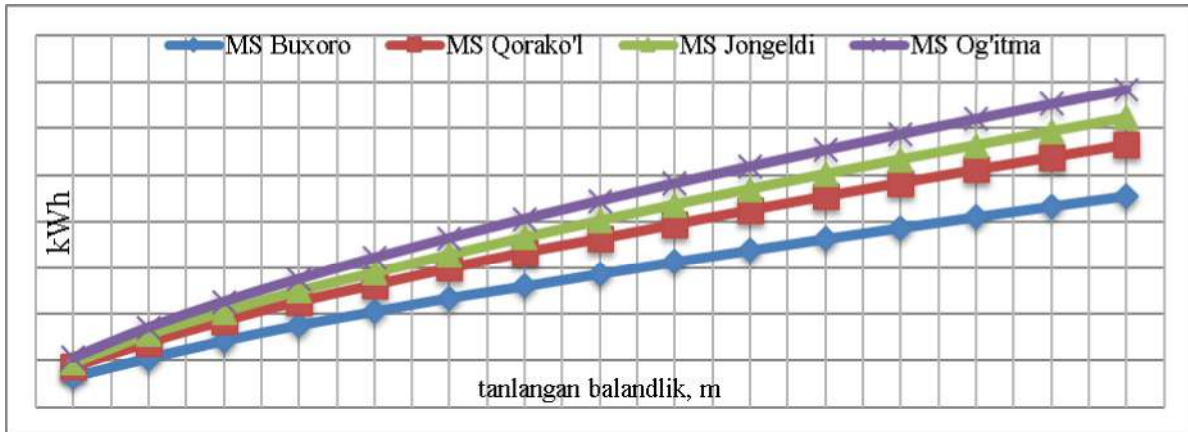
$$L_d = L_q = m \mu_0 \frac{1}{\pi} \cdot \left(\frac{Nk_w}{p} \right)^2 \cdot \frac{(R_1^2 - R_2^2)}{g'} \quad (45)$$

GeneratorchulgʻamlaridahosilboʻladiganEYuKquyidagibogʻliqlik bilan aniqlanadi [32].

$$E_f = \sqrt{2} \pi f p N k_w F_f = \sqrt{2} \pi n N k_w E_g (R_1^2 - R_2^2) \quad (46)$$

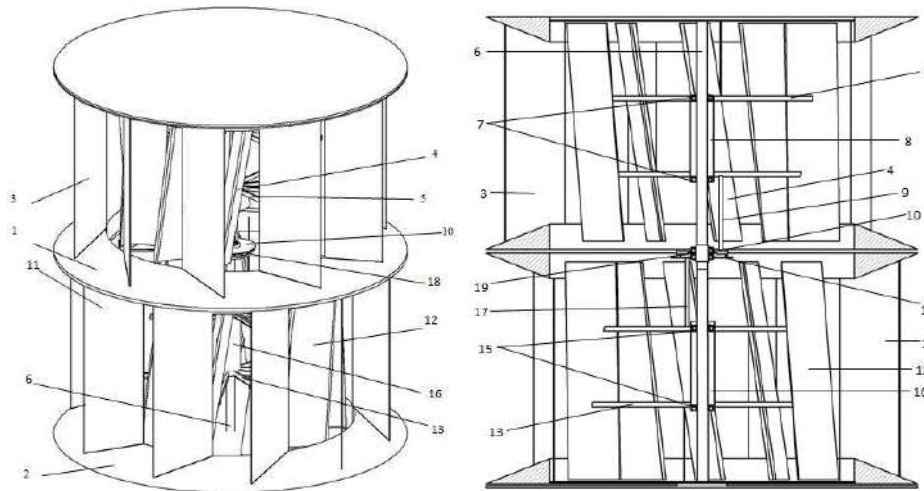
bunda: F_f – magnit oqim, Vb; E_g – magnit induksiya, Tl; f – chastota, 1/s.

3. Natijalar. 4-rasmda Buxoro viloyatining turli nuqtalari va turli balandliklarida shamol oqimining solishtirma energiya qiymatlari baholangan grafik keltirilgan. Ushbu parametrlarni hisoblashda (15) ifodadan foydalanildi.



4-rasm. Turli balandliklarda shamol oqimining solishtirma energiyasi keltirilgan grafik.

Buxoro viloyatining shamol energiyasi xususiyatlaridan kelib chiqib, mintaqaning iqlim sharoitlariga moslashtirilgan shamol energetik qurilmasi ishlab chiqildi (5-rasmga qarang). (Oʻzbekiston Respublikasi adliya vazirligi huzuridagi intellektual mulk agentligi. Foydali modelga patent (shamol energetik qurilmasi), № FAP 01607).

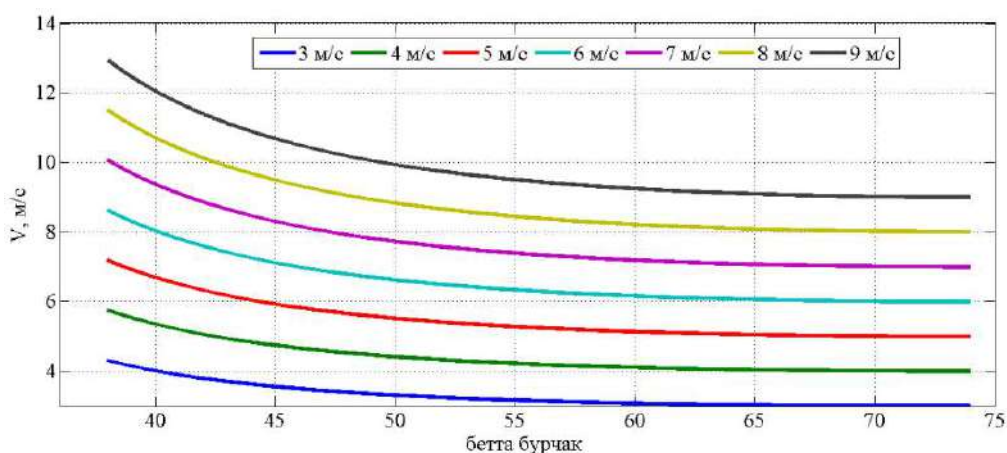


a) 1-ustki shamol turbinasi; 2-pastki shamol turbinasi; 3-tashqi yoʻnaltiruvchi sirtlar(ustki); 4-ustki aylanuvchi shamol parraklari; 5- maxsus profillar (parrakni ushlab ustki qism); 6-umumiy val; 7,15-konussimon podshipniklar; 8,16- quvur (ustki va pastki); 9,17- metal profil (ustki va pastki); 10-generator rotori; 11-tashqi yoʻnaltiruvchi sirtlar(pastki); 12-pastki aylanuvchi shamol parraklari; 13-maxsus profillar(parrakni ushlab uchun pastki qism); 18-generator statori.

5-rasm. Shamol energetik qurilmasining tashqi koʻrinishi (a) va qurilmaning frontal qirgimi (b).

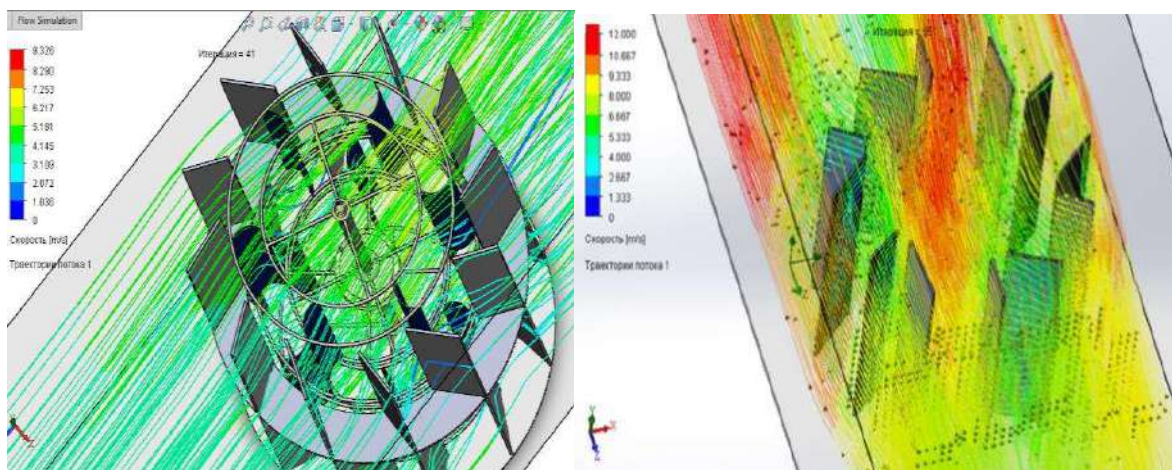
Tashqi yoʻnaltiruvchi sirtlar orqali yoʻnaltirilgan shamol oqimi tezligi oʻzgarishining minimal va maksimal qiymatlari yoʻnaltiruvchi sirtlarning vertikal oʻqqa nisbatan oʻrnatilish β va θ

burchaklari, m_1 va m_2 yo'naltiruvchi sirtlar orasidagi minimum masofalarga bog'liq bo'lishi aniqlandi va natijalari 6-rasmda keltirilgan.



6-rasm. Shamol tezligi o'zgarishi (V_s , β , θ , m_i) parametrlarga bog'liqlik egri chizig'i.

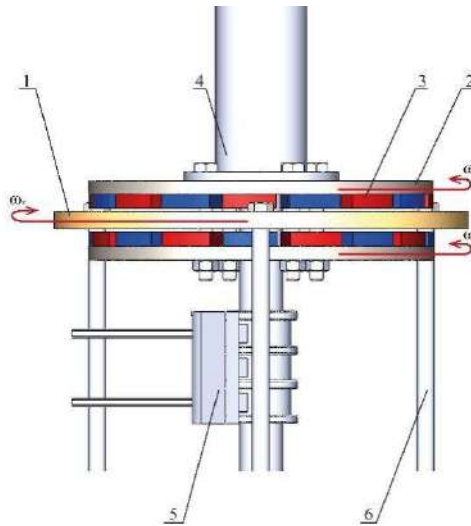
Shamol energetik qurilmasi Solidworks dasturida 3d konstruksiyasi loyihalandi hamda shamol oqimi harakati simulyatsiyasi baholandi (7-rasmga qarang). Ushbu loyihalash dasturi asosida tashqi yo'naltiruvchi sirt quvurchalari orqali yo'naltirilgan shamol oqimi o'zgarishining harakat dinamikasi o'rganildi. Natijalarga ko'ra yo'naltiruvchi sirt quvurchalari orqali yo'naltirilgan shamol oqimining tezligi taxminan 50 % gacha oshirish imkoniyati mavjudligi aniqlandi. Bundan tashqari qurilmaga yo'naltiruvchi sirtlarning qo'llanishi hisobiga simulyatsiya natijalariga ko'ra ichki aylanuvchi shamol parraklariga teskari ta'sir qiluvchi qarshilik quchlarining sezilarli darajada pasayishiga olib kelishi tadqiq qilindi.



7-rasm. Tashqi yo'naltiruvchi sirtlarni Solidworks loyihalash dasturida tadqiq qilingan simulyatsiya natijasi. a – shamol oqimi tezligi 4 m/s bo'lgandagi natijalar; b – shamol oqimi tezligi 8 m/s bo'lgandagi natijalar.

Biz taklif qilayotgan shamol energetik qurilmasiga tashqi yo'naltiruvchi sirtlarni qo'llanilishi hisobiga, o'zgaruvchan va kuchsiz shamol oqimlarida qurilmani barqaror va samarali ishlashini ta'minlashimiz mumkin.

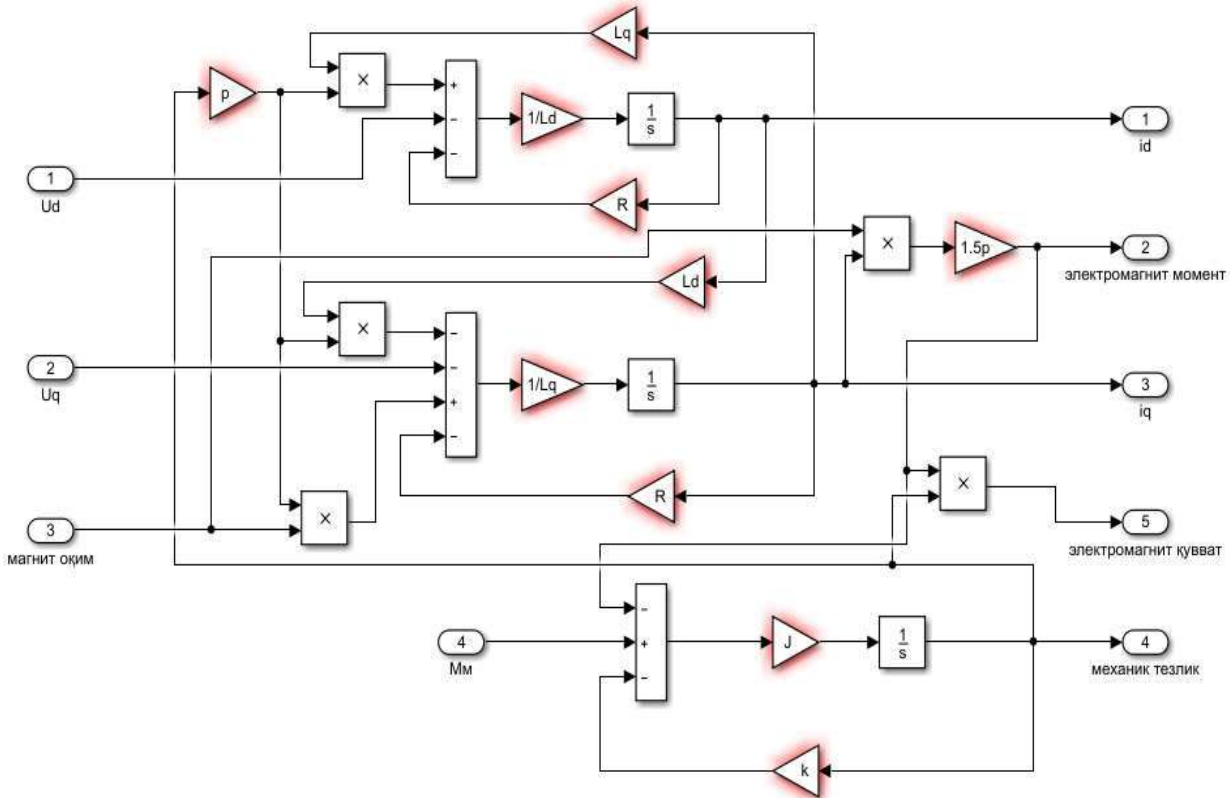
9-rasmda shamol energetik qurilmasi uchun stator va rotori bir-biriga nisbatan teskari aylanadigan ko'p qutbli takomillashtirilgan elektr generator umumiy ko'rinishi keltirilgan. Ushbu generator kichik aylanish tezliklarida yuqori EYuK hosil qilish mumkin.



1-stator; 2-rotor; 3- doimiy magnitlar; 4-Flansli biriktirma; 5-shotka-kollektor; 6-vtulka

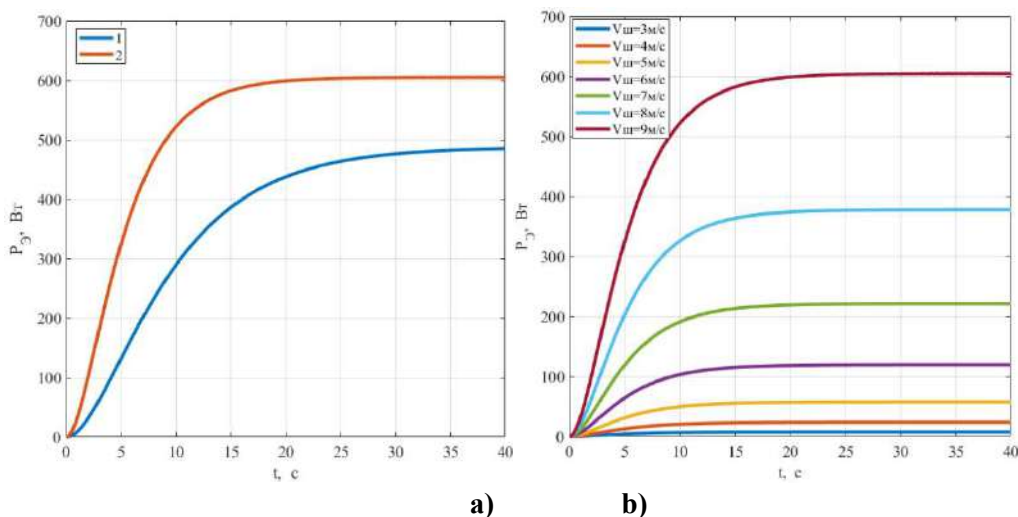
8-rasm. Takomillashtirilgan elektr generatorning tashqi ko‘rinishi.

9-rasm. Matlab/Simulink amaliy dasturida qurilmaning energetik qiymatlarini aniqlash matematik modeli qurilgan. Ushbu model orqali mexanik tezlik, elektromagnit moment, elektromagnit quvvat qiymatlarini aniqlash mumkin. Bunda shamol tezligi o‘zgarishi bilan energetik chiqish parametrlari ham o‘zgaradi. Modelda qurilma ish rejimining dinamik qiymatlari keltirilgan. Qurilma va generatorning inersiya momentlari ham aniqlanib ushbu modelda keltirilgan.



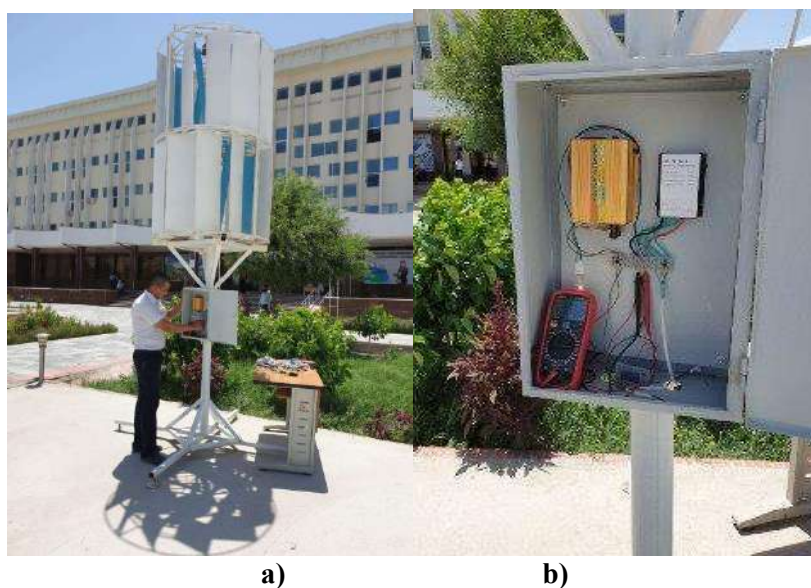
9-rasm. Matlab/Simulink amaliy dasturida qurilmaning energetik qiymatlarini aniqlash matematik modeli qurilgan.

10-rasm (a) grafikda generatorning elektromagnit quvvati qiymatlari solishtirilgan. Bunga ko‘ra generatorning stator va rotori bir-birigi nisbatan teskari aylanganda (1-egri chiziq), generatorning elektromagnit momenti va elektromagnit quvvati generator statori qo‘zg‘almas rotori aylangan holga (2-egri chiziq) nisbatan 20% oshgani aniqlandi. 10-rasm (a) grafikda turli shamol tezliklarida elektr generatorning dinamik rejimdagi elektromagnit quvvat qiymatlari 9-rasmdagi model orqali aniqlandi.



10-rasm. Elektr generatorning solishtirish egri chiqizqlari (a), turli shamol tezliklarida generatordan olingan elektromagnit quvvat qiymatlari.

11-rasm (a) shamol energetik qurilmasini tajriba-sinov ishlari olib borish jarayoni keltirilgan. Bunda turli shamol tezliklarida qurilmaning ishlashi, shamol oqimi ta'sirida qurilma ishlab chiqaradigan elektr energiya qiymatlari olingan. 11-rasm (b) shamol energetik qurilmasining boshqarish tizimi keltirilgan.



11-rasm. Shamol energetik qurilmasi ustida olib borilgan tajriba-sinov ishlari.

Shamol energetik qurilmasining texnik xarakteristikasi:

Nominal quvvati, V_t	600
Shamol tezligida ishlash diapazoni, m/s.....	3-20
Shamol g'ildiragining aylanish tezligi, ay/min	50-350
Shamol energiyasidan foydalanish koeffitsienti, %	<30
Elektr generator nominal quvvati, V_t	600
Kuchlanish, V	13-35
Tok, A	2-10
Shamol g'ildiragining diametri, m	1
Qurilmaning umumiy balandligi, m	2
Bitta parrakning frontal yuzasi, m^2	0,2
Og'irligi, kg	80



Eksperiment natijalarini qayta ishlash asosida yoʻnaltiruvchi sirtlar orqali yoʻnaltirilgan shamol oqimi tezligi oʻzgarishini aniqlovchi empirik tenglamalar olindi.

$$V' = 0.404 \cdot V_{sh}^{1.033} \cdot \text{tg}(\beta)^{-0.052} \cdot m_1^{-0.707} \quad (47)$$

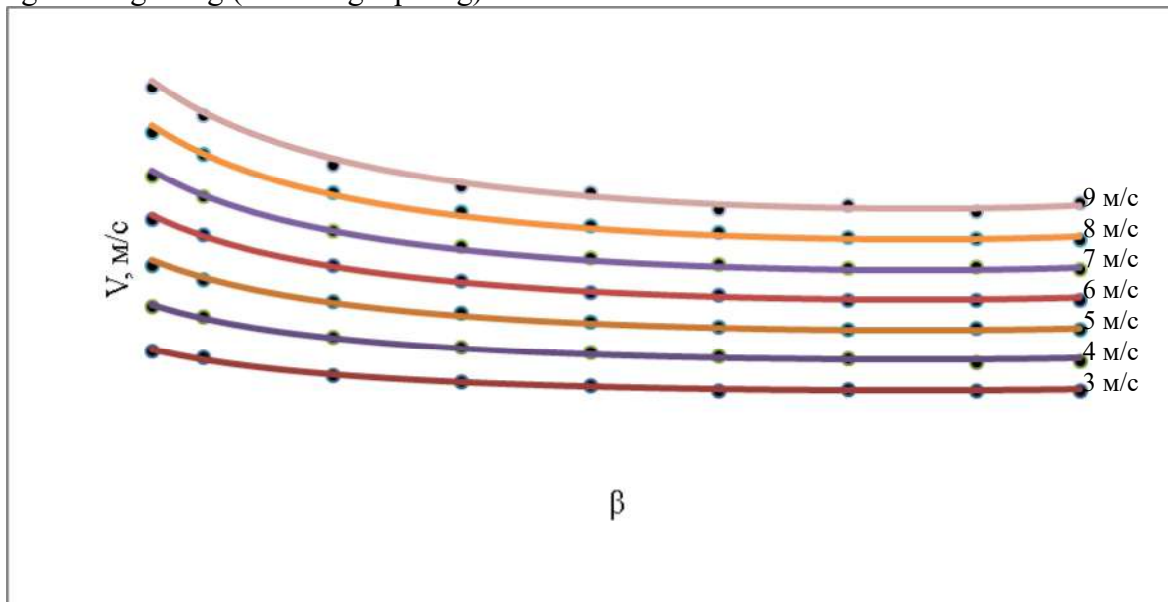
$$V'' = 0.669 \cdot V_{sh}^1 \cdot \text{tg}(\beta)^{0.306} \quad (48)$$

Bunda quyidagi boshlangʻich shartlar qabul qilinadi:

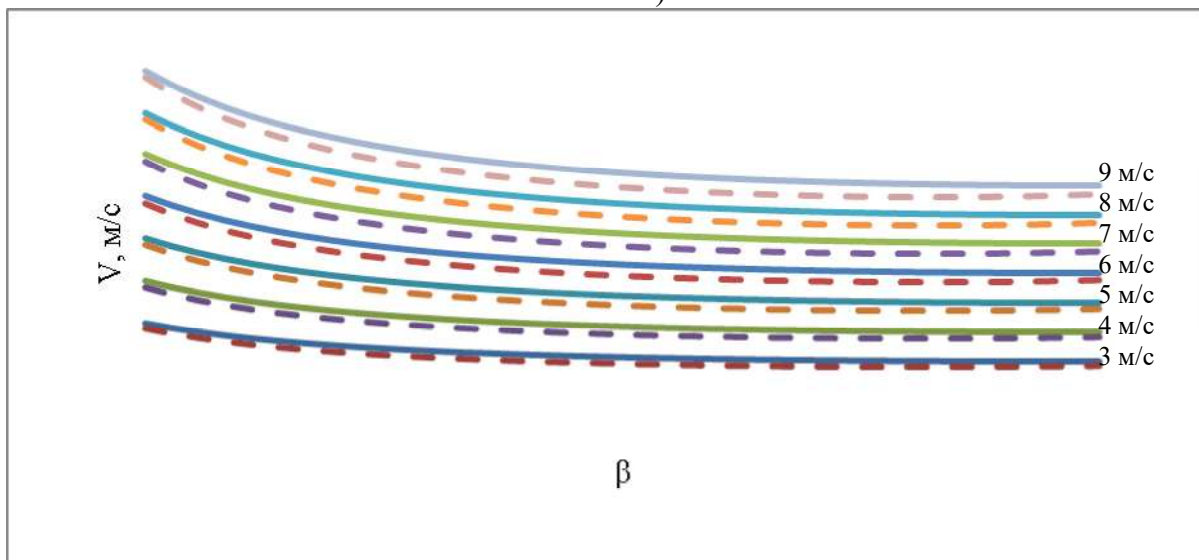
(47) ifoda uchun: $3 \leq V_{sh} \leq 9 \text{ m/s}$; $38^\circ \leq \beta \leq 74^\circ$; $\theta = 74^\circ$; $0,104 \leq m_1 \leq 0,303 \text{ m}$,

(48) ifoda uchun: $3 \leq V_{sh} \leq 9 \text{ m/s}$; $38^\circ \leq \beta \leq 74^\circ$; $\theta = 74^\circ$; $m_2 = 0,303 \text{ m}$.

Regressiya tenglamalarining ahamiyatliligi Fisherning F-kriteriyasi yordamida baholandi. Hisoblab chiqilgan qiymatlarni jadvaldagi qiymatlar bilan taqqoslaymiz. Ahamiyatlik darajasi 0,05 ga va erkinlik darajalarining $\nu_1 = 63$, $\nu_2 = 59$ sonida Fisher F-mezonining hisoblab chiqilgan qiymati V' holat uchun ($F_{his} = 1,03$) va V'' holat uchun ($F_{his} = 0,98$) jadvaldagi qiymatidan ($F_{jad} = 1,53$) kichik, demak, tuzilgan regressiya tenglamalari ahamiyatli. Hisoblashning nisbiy xatoligi $\pm 6\%$ ga teng (12-rasmga qarang).



a)



b)

12-rasm. Eksperiment natijalarini qayta ishlash; a – empirik tenglamalar orqali olingan natijalar; b – nazariy va eksperiment natijalarini monadligini baholash.

4. Xulosalar. Buxoro viloyatining meteoma'lumotlarini statik qayta ishlash orqali turli balandlikdagi shamol energiyasi resurslar salohiyatini hisoblash algoritmi ishlab chiqilib EHM dasturida guvohnoma olingan. G'ijduvon, Shofirkon, Peshku, Olot, Korako'l hududlarida shamol energiyasidan foydalanish imkoniyatlari yuqori ekanligi aniqlangan.

Tashqi yo'naltiruvchi sirt quvurchalari orqali yo'naltirilgan shamol oqimi o'zgarish tezligi V_{um} ni aniqlashda yo'naltiruvchi sirtlarni vertikal o'qqa nisbatan qiyalik burchaklari β va θ , sirtlar orasidagi minimum masofalar m_1 va m_2 larga bog'liq holda aniqlash imkonini beradigan analitik ifodalar olingan. Tashqi yo'naltiruvchi sirtlarning vertikal o'qqa nisbatan o'rnatilish burchaklari $\beta=38^\circ$ va $\theta=74^\circ$, yo'naltiruvchi sirtlar orasidagi minimum masofalar $m_1=0,104$ m, $m_2=0,303$ m bo'lganda shamol turbinasida barqaror va o'zgarmas aylantiruvchi momentni maksimal qiymatiga erishish shartlari aniqlangan.

Ishlab chiqilgan shamol energetik qurilmasiga tashqi yo'naltiruvchi sirtlar hamda stator va rotori bir-biriga nisbatan teskari aylanadigan past chastotali elektr generatorni qo'llanilishi hisobiga, kuchsiz shamol oqimlarida energiya ishlab chiqarish hajmi 20 % gacha oshirish imkoni yaratilgan.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_en
2. N.N. Sadullayev., A.B. Safarov., Sh.N. Nematov., R.A. Mamedov., Statistical Analysis of Wind Energy Potential in Uzbekistan's Bukhara Region Using Weibull Distribution. Applied Solar Energy, 2019. Volume 55, Issue 2, pp. 126–132
3. A.K. Azad., M.G. Rasul., R. Islam., I.R. Shishir. Analysis of Wind Energy Prospect for Power Generation by Three Weibull Distribution Methods. Energy Procedia, Volume 75, August 2015, Pages 722-727
4. N.N. Sadullaev., A.B. Safarov., Sh.N. Nematov. Analysis of Wind Energy Potential in Using Weibull Distribution in Bukhara Region, Uzbekistan. IJARSET. Vol.6, issue.1, 2019.pp.7846-7853
5. A. Allouhi., O. Zamzoum., M.R Islam., T. Kousksou., A. Jamil., A. Derouich. Evaluation of wind energy potential in Morocco's coastal regions. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 72 (2017). pp.311-324
6. S.A. Ahmed., H.O. Mahammed. A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Ralyeigh models of "Penjwen Region" Sulaimani/Iraq. JJMIE. Volume. 6. Number 2. 2012. pp. 135-140
7. C. Ozay., M.S Celiktas. Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alacati region. Energy Conversion and Management. 121(2016). pp. 49-54
8. M. Rasham. Analysis of Wind Speed Data and Annual Energy Potential at Three locations in Iraq. International Journal of Computer Applications. 137 (2016) 11-16
9. M. Soulouknga., S. Doka., N. Revanna., N. Djongyang., T. Kofane. Analysis of wind speed data and wind energy potential in Faya-Largeau, Chad, using Weibull distribution. Renewable energy. 121 (2018). pp.1-8
10. A.Y. Hatata., M.G. Mousa., R.M. Elmahdy. Analysis of wind data and assessing wind energy potentiality for selected locations in Egypt. International Journal of Scientific Engineering Research. Volume 6. Issue 3.2015. pp. 604-609
11. N.N. Sadullayev A.B. Safarov., Sh.N. Nematov., R.A. Mamedov. Research on Facilities of Power Supply of Small Power Capability Consumers of Bukhara Region by using Wind and Solar Energy. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, Volume 8, Issue 9S2, 2019. pp. 229 – 235
12. N.N. Sadullayev., A.B. Safarov., R.A. Mamedov., D. Qodirov. Assessment of wind and hydropower potential of Bukhara region // IOP Con. Series: Earth and Environmental Science 614(2020) 012036 (DOI: 10.1088/1755-1315/614/1/012036)



13. M. Shoaib., I. Siddiqui., Y.M Amir., S.U Rehman. Evaluation of wind power potential in Baburband (Pakistan) using Weibull distribution function. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 70(2017) 1343-1351
14. N.N. Sadullayev., A.B. Safarov., Sh.N. Nematov., R.A. Mamedov., A.B. Abdujabarov. Opportunities and Prospects for the Using Renewable Energy Sources in Bukhara Region. *Applied Solar Energy*.2020. Volume 56, Issue 4, pp. 291–301
15. J. Cataldo., M. Zeballos. Roughness terrain consideration in a wind interpolation numerical model. 11th Americas Conference on Wind Engineering San Juan, Puerto Rico. 2009.
16. B.F. Ragnarsson. Wind energy potential assessment costal analysis of a wind power generation system at Burfell. Dissertation, 2014.pp.132
17. L.N. Ongaki., Ch.M. Maghanga., J. Kerongo. Evaluation of the Technical Wind Energy Potential of Kisii Region Based on the Weibull and Rayleigh Distribution Models. 2018. DOI: 10.20944/preprints201810.0256.v1
18. P. Vais. “Two and three-parametr Weibull distribution in available wind power analysis”. *Renewable Energy*. 103 (2017) 15-29.
19. D. Hui Ko, Sh. Taek Jeong, Y. Chil Kim. “Assesment of wind energy for small-scale wind power in Chuuk State, Micronesia”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52 (2015) 613-622.
20. J. Touafio, S. Melenguiza, S. Oumarou, M. Kazet, R. Mouangue. “Statistical analysis and elaboration of the wind potential map of the city of Bangui (Central African Republic)”. *Renewable Energy Focus*. 29 (2019) 1-13.
21. P.P. Bezrukix., P.P. Bezrukix (ml.), S.V. Gripkov. *Vetroenergetika: Spravochno-metodicheskoe izdanie // Pod obshchey redaksiyey P.P Bezrukix.-M.: «Intexenergo-Izdat», «Teploenergetika», 2014. -304 s.*
22. M.G. Bronstein. Harnessing rivers of wind: a technology and policy assessment of high altitude wind power in the U.S // *Technological Forecasting and Social Change*. 2011.Vol. 78, pp.736-746.
23. S.R. Shah., R. Kumar., K. Raahemifar., A.S. Fung. Design, modeling and economic performance of a vertical axis wind turbine. *Energy Reports*, 4(2018) 619-623
24. Ahrens, U., Diehl, M., Schmehl, R. (eds.): *Airborne wind energy*. Springer, Berlin (2013). ISBN 978-3642399640
25. R.D. Blevins. *Applied Fluid Dynamic Handbook*. Krieger, Florida (2003). pp.180
26. P.M. Kumar., K. Sivalingam., T.Ch Lim., S. Ramakrishna., H. Wei. Review on the Evolution of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine: Large Wind Turbines. *Clean technologies*. 2019(1).pp.205-223
27. T. Ackermann., L. Söder. Wind energy technology and current status: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 4, Issue 4, December 2000, Pages 315-324
28. T. Komass., A. Sniders. Design and verification of vertical axis wind turbine simulation model. *Engineering for rural development*. 2014. Pp.335-340
29. K.C. Latoufis., G.M. Messinis., P.C. Kotsampopoulos., N.D. Hatziargyriou. Axial Flux Permanent Magnet Generator Design for Low Cost Manufacturing of Small Wind Turbines. *Wind engineering*. Volume 36, No.4, 2012. Pp 411-442
30. J.H. Kim., B. Sarlioglu. Preliminary design of axial flux permanent magnet machine for marine current turbine, in *Proceedings of the 2013 IEEE IECON*, pp. 3066-3071, November 2013.
31. J.F. Gieras, R.J. Wang, M.J. Kamper, *Axial flux permanent magnet brushless machines*. Springer Science, Business Media (2004). Rr. 345
32. Wang W., Weijun Wang., Mi H., Mao L., Zhang G., Hua Liu., Wen Y. Study and Optimal Design of a Direct-Driven Stator Coreless Axial Flux Permanent Magnet Synchronous Generator with Improved Dynamic Performance. *Energies*, 2018, 11(11):3162