



INNOVATIVE
WORLD

ISSN: XXXX-XXXX

ORIENTAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MODERN TECHNOLOGIES

SHARQ MUHANDISLIK VA ZAMONAVIY
TEXNOLOGIYALAR JURNALI

Scientific Journal

- Civil
- Robotic
- Material
- Chemical
- Computer
- Electrical
- Mechanical
- Agricultural
- Manufacturing
- Qurilish
- Robototexnika
- Materialshunoslik
- Kimyo-texnologiya
- Informatika
- Elektr texnologiya
- Mexanika
- Qishloq xo'jaligi
- Ishlab chiqarish



xomidovanvarbek07@gmail.com
www.innoworld.net
+998 33 5668868



ORIENTAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MODERN TECHNOLOGIES

Volume 2, Issue 2
2025

Journal has been listed in different indexings

Google Scholar



ResearchGate

zenodo



ADVANCED SCIENCE INDEX

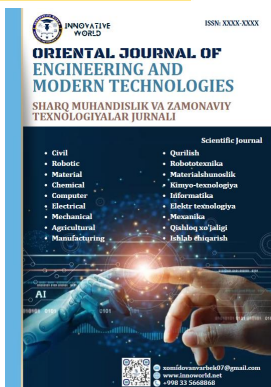


Directory of Research Journals Indexing

The official website of the journal:

www.innoworld.net

Uzbekistan-2025



O'ZBEKISTON ELEKTROENERGETIKA TIZIMIDA SHAMOL GENERATORLARINING INFRATUZILMASI VA RIVOJLANISHINING METODIK ASOSLARI

Yusupov Sarvarbek Sodiqovich

Toshkent Kimyo Xalqaro Universiteti

"Mashinasozlik texnologiyasi" kafedrası t.f.f.d., dotsenti

E-mail: sarvarbek.83@mail.ru, Tel.: +99 890 217 5427

Akmaliyev Aymar Aldiyar o'g'li

Talaba: Toshkent Kimyo xalqaro universiteti,

"Renewable energy" yo'nalishi 4-bosqich, 71U guruh

Sodiqov Umarbek Sarvarbek o'g'li

Talaba: Toshkent Kimyo xalqaro universiteti,

"Mechatronics and Robotics" yo'nalishi 2-bosqich, 31U
guruh

Annotatsiya. Mazkur maqolada O'zbekiston elektroenergetika tizimida shamol generatorlarini rivojlantirishning ilmiy-metodik asoslari tahlil qilingan. Shamol resurslarini baholash, GIS texnologiyalari yordamida istiqbolli hududlarni aniqlash, iqtisodiy samaradorlik ko'rsatkichlari (LCOE, NPV, IRR)ni hisoblash hamda milliy elektr tarmoqlariga integratsiya masalalari yoritilgan. Xalqaro tajribalar bilan solishtirish asosida O'zbekiston sharoitiga mos metodik yondashuv taklif etilgan. Tadqiqot natijalari mamlakatda shamol energetikasini rivojlantirish istiqbollari belgilashda amaliy ahamiyat kasb etadi.

Аннотация. В статье рассматриваются научно-методические основы развития инфраструктуры ветровой энергетики в электроэнергетической системе Узбекистана. Анализируются методы оценки ветровых ресурсов, применение ГИС-технологий для выявления перспективных зон, экономические показатели эффективности (LCOE, NPV, IRR), а также вопросы интеграции в национальные электрические сети. На основе сопоставления с международным опытом предложен методический подход, адаптированный к условиям Узбекистана. Результаты исследования имеют практическую значимость для определения перспектив развития ветроэнергетики в стране.

Abstract. This article examines the scientific and methodological foundations for the development of wind energy infrastructure within Uzbekistan's power system. It focuses on wind resource assessment, the use of GIS technologies to identify promising areas, economic efficiency indicators (LCOE, NPV, IRR), and integration into the national grid. Based on a comparison with international experience, a methodological approach adapted to Uzbekistan's conditions is proposed. The findings provide practical significance for defining the prospects of wind energy development in the country.

Kalit so'zlar: shamol energetikasi, elektroenergetika tizimi, GIS, qayta tiklanuvchi energiya, metodik asoslar, investitsion samaradorlik.

Ключевые слова: ветроэнергетика, электроэнергетическая система, ГИС, возобновляемая энергия, методические основы, инвестиционная эффективность.

Keywords: wind energy, power system, GIS, renewable energy, methodological framework, investment efficiency.

Kirish. O'zbekiston elektroenergetika tizimi so'nggi yillarda tubdan o'zgarish va modernizatsiya jarayonlarini boshdan kechirmoqda. Respublikada energiya manbalarini diversifikatsiya qilish, qayta tiklanuvchi energiya resurslari ulushini oshirish va uglevodorod yoqilg'ilariga bo'lgan yuqori qaramlikni kamaytirish strategik vazifalardan biri sifatida belgilangan.

Mamlakatning geografik joylashuvi, iqlim sharoiti va hududiy xususiyatlari shamol energetikasini rivojlantirish uchun qulay imkoniyatlar yaratadi. Ayniqsa, Qoraqalpog'iston Respublikasi, Navoiy, Buxoro va Jizzax viloyatlarida yil davomida shamol tezligining o'rtacha 5-7 m/s atrofida bo'lishi bu hududlarni shamol generatorlari uchun istiqbolli hudud sifatida ajratib turadi.

Shamol energetikasining joriy etilishi O'zbekiston uchun bir qator afzalliklarni taqdim etadi:

- ekologik toza energiya ishlab chiqarish orqali atmosferaga chiqariladigan zararli moddalarning kamayishi;
- milliy elektroenergetika tizimining barqarorligini oshirish;
- hududiy energiya ta'minotida mustaqillik va xavfsizlikni kuchaytirish;
- yangi ish o'rinlari yaratish va iqtisodiy rivojlanishni rag'batlantirish.

So'nggi yillarda O'zbekistonda qayta tiklanuvchi energiya bo'yicha yirik investitsiya loyihalari amalga oshirilmoqda. Masalan, xalqaro kompaniyalar bilan hamkorlikda Navoiy va Qoraqalpog'istonda shamol elektr stansiyalari qurilishi bo'yicha kelishuvlar imzolangan. 2025-yilga borib shamol energetikasining umumiy o'rnatilgan quvvati 500 MVt ga yetishi rejalashtirilmoqda.

Mamlakatimizda barqaror energiyani ta'minlash maqsadida O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Sh.Mirziyoyevning 2023-yil 28-sentabrda **"Energetika sohasini isloh qilishning navbatdagi bosqichini amalga oshirish chora-tadbirlari to'g'risida"** gi PF-166-sonli farmoni qabul qilindi. Unga asosan **2023 — 2030-yillarga mo'ljallangan elektr energiyasining ulgurji va chakana bozori mexanizmlariga bosqichma-bosqich o'tish konsepsiyasi** qabul qilindi.

Shuningdek, Vazirlar mahkamasi tomonidan **"2020-2030 yillarda O'zbekiston Respublikasini elektr energiyasi bilan ta'minlash konsepsiyasi"**ga asosan qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushi umumiy

elektr energiya ishlab chiqarishning 30 foizini tashkil etishi rejalashtirilgan. Unga asosan: "...qayta tiklanuvchi energiya manbalarining salohiyatidan keng foydalanish evaziga "yashil energiya" ishlab chiqarish ko'lamini kengaytirish; ..." kabi vazifalari belgilangan [1-3].

Shu boisdan ham shamol generatorlari infratuzilmasini ilmiy-metodik asosda rivojlantirish dolzarb masala bo'lib, bu yo'nalishda xalqaro tajribani o'rganish, mahalliy resurslarni tahlil qilish va elektroenergetika tizimiga integratsiyalashgan yondashuvni ishlab chiqish zarurdir.

O'zbekistondagi shamol elektr stansiyasi (ShES)larini qurish uchun aniqlangan yer maydonlaridagi shamol potentsiali ko'rsatkichlari jahonda mavjud shamol elektr stansiyalarining o'rtacha ko'rsatkichlaridan yuqori hisoblanadi. Ya'ni, quvvatdan foydalanish koeffitsiyentlari taqqoslanganda, respublika ko'rsatkichlari jahondagi o'rtacha ko'rsatkichlardan 1,5 baravar yuqoriligi aniqlangan. Misol uchun, bir yilda 8760 soat bo'lsa, O'zbekistonda barpo qilinadigan shamol elektr stansiyalari taxminan 3900 soat to'liq quvvati bilan ishlashi mumkin (1-rasm).



1-rasm. O 'zbekistonda muqobil energiya turlaridan foydalanishning potentsial geoxaritasi

Bugungi kunda O'zbekistonda SHESlarni qurish bo'yicha bir nechta loyihaga start berildi. Jumladan: BAAning "Masdar" kompaniyasi tomonidan Navoiy viloyatining Tomdi tumanida qiymati 600 million AQSH dollari bo'lgan 500 MVt quvvatli shamol elektr stansiyasini qurish bo'yicha kelishuvlar imzolandi. Ushbu stansiya 2024 yilda to'liq foydalanishga topshirilgach, yillik

1,8 milliard kVt·soat elektr energiyasi ishlab chiqaradi va 1 yilda 546 million kub metr tabiiy gaz tejaladi.

Saudiya Arabistonining “ACWA Power” kompaniyasi Buxoro viloyatining G'ijduvon va Peshko' tumanlarida qiymati 1,3 milliard AQSH dollari bo'lgan 1000 MVt quvvatli 2ta SHES qurishi bo'yicha kelishuv imzolangan bo'lib, ushbu stansiyalar 2023 yilda ishga tushirilgach, yillik 3,6 milliard kVt·soat elektr energiyasi yetkazib beriladi va yiliga 1,1 milliard kub metr tabiiy gaz tejalishini ta'minlaydi.

Qoraqalpog'istonning Beruniy va Qorao'zak tumanlarida qiymati 110 million AQSH dollari bo'lgan 100 MVt quvvatli shamol elektr stansiyasini qurish bo'yicha Yevropa tiklanish va taraqqiyot banki bilan birgalikda tanlov o'tkazildi. “ACWA Power” kompaniyasi 1 kVt·soat elektr energiyasi uchun 2,57 AQSH syenti tarif taklifi bilan tanlov g'olibi bo'ldi. Ushbu stansiya 2023 yilda ishga tushgach, yiliga 350 million kVt·soat elektr energiyasi ishlab chiqaradi va bir yilda 106 million kub metr tabiiy gazni tejaydi [2-5].

Metodik qismi. O'zbekiston shamol energetikasini rivojlantirishda metodik yondashuvlar quyidagi bosqichlardan iborat bo'lishi lozim:

1. Shamol resurslarini baholash metodikasi;

- Meteorologik kuzatuvlar asosida shamol tezligi, yo'nalishi va davomiyligi bo'yicha ko'p yillik ma'lumotlar yig'iladi.
- GIS (Geografik axborot tizimlari) texnologiyalari yordamida shamol xaritalari tuziladi va istiqbolli hududlar aniqlanadi.
- Matematik modellashtirish orqali shamol generatorlari samaradorligi prognoz qilinadi.

Masalan, O'zbekistonda shamol tezligi 5–7 m/s bo'lgan hududlar o'rtacha samarali ishlash uchun qulay hisoblanadi.

2. Iqtisodiy samaradorlikni aniqlash metodikasi;

- Shamol generatorlarining qurilish va ekspluatatsiya xarajatlari hisoblab chiqiladi.
- LCOE (Levelized Cost of Electricity) usuli asosida ishlab chiqarilgan elektr energiyasining o'rtacha tannarxi aniqlanadi.
- Loyihaning NPV (Net Present Value) va IRR (Internal Rate of Return) ko'rsatkichlari orqali investitsion jozibadorligi baholanadi.

3. Texnik infratuzilmani integratsiyalash metodikasi;

- Shamol generatorlari ishlab chiqargan elektr energiyasini milliy elektr tarmog'iga ulash uchun transformator punktlari va yuqori kuchlanishli uzatish liniyalari loyihalashtiriladi.
- Smart Grid elementlari joriy etilib, shamol energiyasining barqarorligi ta'minlanadi.
- Shamol generatorlarini boshqa qayta tiklanuvchi manbalar (quyosh, biogaz) bilan gibrid tizimlar asosida birlashtirish ko'zda tutiladi.

4. Xalqaro tajribalarni moslashtirish metodikasi;

- Germaniya va Daniya tajribasida shamol energetikasining elektr tarmoqlariga yuqori darajada integratsiyasi muvaffaqiyatli joriy etilgan.
- Xitoy shamol elektr stansiyalarini yirik hududlarda qurib, ichki tarmoqlarni modernizatsiya qilish orqali samaradorlikka erishgan.
- Qozog'iston Markaziy Osiyo sharoitida shamol energetikasining rivojlanishida asosiy qo'shni tajriba sifatida namuna bo'la oladi.



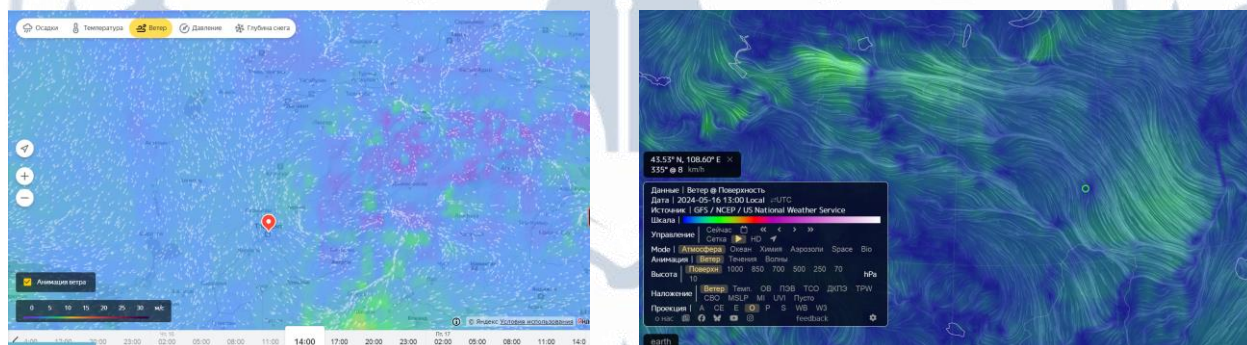
2-rasm. Metodik yondashuvning konseptual modeli

Shamolning tezligini aniqlashning bir qancha usullari mavjud.

1 – usul. Internet tarmog'i va rasmiy manbalardan olingan ma'lumotlar.

Internet tarmog'ida bir qancha saytlar mavjud bo'lib ulardan yer yuzining xohlagan hududidagi shamolning tezligi va bosimi haqida ma'lumotni olish mumkin [11-12].

Saytlarda yer yuzasidan 20, 50 va 80 m balandlikdagi shamolning ko'rsatkichlari haqida bepul ma'lumotlar berilgan (3-rasm).



3-rasm. O'zbekistonda shamolning yo'nalishi va tezligi.

2 – usul. Meteoxizmat va mahalliy aeroportdan olingan ma'lumotlar.

Shamolning tezligi va bosimi haqidagi ma'lumotlarni so'rab mahalliy aeroportning meteoxizmat bo'limiga murojaat etish mumkin. Shuni esdan chiqarmaslik kerakki, aeroportning meteoxizmati bergan ma'lumotlar o'ziga xos jihatlariga ega. Bularga o'rtacha ko'rsatkichlarda berilgan ma'lumotlar va o'lchash ballandligi ko'rsatkichlari kiradi.

O'rtacha ko'rsatkichlar. Odatda meteoxizmat xodimlari tomonidan shamolning tezligi, bosimi haqidagi sutka mobaynidagi ma'lumotlar to'planadi, umumlashtiriladi va o'rtacha ko'rsatkichga keltirib taqdim etiladi.

Faqat ushbu ma'lumotlarni sizning hududingiz uchun qo'llash hamma vaqt ham to'g'ri emas. Asboblari o'lchash joyidan 30 ... 50 m ga ko'chirilsa shamolga oid ma'lumotlar ham keskin o'zgarishi mumkin. Agar masofa 2 ... 5 km ga o'zgarsa ushbu ma'lumot o'z kuchini yo'qotadi. Yana bir sabab

meteoizmat o'lchash asboblari o'rnatilgan joydagi yer yuzi landshaftining shamol qurilmasini quriladigan joydan farq qilishi ham sabab bo'ladi.

O'lchash balandligi. Shamolning tezligi balandlikka bog'liq holda o'zgaradi. Meteoizmat tomonidan taqdim etiladigan ma'lumotlar odatda 10 m balandlikdan olingan. Shu sababli, o'lchash balandligini shamol qurilmasi talab etadigan balandlik uchun olish kerak.

3 - usul. Shamol elektrik qurilmasi o'rnatiladigan joydagi shamolni portativ ko'chma asboblarni yordamida o'lchash.

Ustun tomonlari: Ushbu usulning ijobiy tomoni aniq ma'lumotlarga ega bo'lish imkoniyatining mavjudligidir. Shamol qurilmasi o'rnatiladigan joyda o'lchovlar olib borish uchun meteoizmatning kichik o'lchamdagi ko'chma datchigini o'rnatib shamolning ko'rsatkichlari o'lchanadi. Bundan tashqari, xududning bir qancha nuqtalariga ko'chma datchiklarni o'rnatib kerakli ma'lumotlar to'planadi. Ma'lumotlarning tahlili asosida kuchli shamol esadigan joyni to'g'ri aniqlash va shamol generatorini o'rnatish mumkin. Ushbu usul eng ma'qul usul bo'lib shamol qurilmasi o'rnini to'g'ri belgilash, maksimal quvvat olish va yuqori foydali ish koeffitsientiga erishish imkonini beradi.

Zaif tomonlari: O'lchovning uzoq muddatda olib borilishi. O'lchovlarni obyektiv olib borish uchun ko'chma meteostansiyaning uzoq muddatga o'rnatish kerak (*kamida 1 oy muddatga*). Aslini olganda ushbu meteorologiya yil davomidagi shamolning xarakteristikasini va ob-havo o'zgarishlarini qayd etishi kerak. Chunki Respublikamizning har bir regionida ob-havo, landshaft va tabiiy holat turlicha. Shu sababli, qisqa muddatli o'lchovlar natijasida olingan ma'lumotlar ayni olingan hududdagi holatni to'liq va atroflicha ochib bera olmaydi [5-8].

Natijalar qismi. O'rganishlar shuni ko'rsatmoqdaki, Energetika vazirligi shamol energetikasini rivojlantirish konsepsiyasida belgilangan rejalarni muddatidan oldin bajarmoqda. Natijada, 2030 yilga qadar mamlakatdagi ShESlar umumiy quvvatini 5000 MVtga yetkazish kutilmoqda. Ularning katta qismini Qoraqalpog'istonda barpo etish nazarda tutilmoqda.

ShES loyihalarini amalga oshirish davomida ularni yagona energetika tizimiga xavfsiz integratsiya qilish tadbirlari ham amalga oshirilmoqda. ShES shamol oqimining kinetik energiyasini elektr energiyasiga aylantiruvchi kurilma. Shamol dvigateli, elektr toki generatori, generator va dvigatelning ishini boshkaruvchi avtomatik kurilma xamda ular o'rnatiladigan inshootlardan iborat. Shamol elektr stansiyasidan, ko'pincha, shamol oqimining o'rtacha yillik tezligi yuqori (*5 m/sek dan katta*) bo'lgan va markazlashtirilgan elektr ta'minot tarmoqlaridan uzoqda joylashgan hududlarda (*O'rta Osiyoda — dasht, cho'l va chala cho'llarda*) elektr energiyasi manbai sifatida foydalaniladi. Shamol elektr stansiyasida 8 kVt dan 1,2 mVt gacha quvvatli elektr energiyasi hosil qilish mumkin.

Yer yuzida aholi sonining oshishi, iqtisodiyotning jadal rivojlanishi bilan birga, barcha turdagi mahsulotlar qatori energiya resurslaridan foydalanishga bo'lgan talab ham kun sayin ortib boryapti. Olimlarning fikricha, energiya resurslaridan hozirgiday darajada foydalanishda davom etsak, dunyodagi neft zaxirasi 50-60 yilga, tabiiy gaz 70-75 yilga, ko'mir esa 150-160 yilga yetadi, xolos. Bu masalaning yechimi sifatida jahonda muqobil energiya manbalari, ya'ni tabiatda qayta tiklanadigan quyosh, shamol, suv kabilardan energiya olish jadallashib bormoqda.

Muqobil energiya manbalari va energiya tashuvchilardan foydalanishning dolzarbligi sayyoramizda so'nggi o'n yilliklarda yuzaga kelgan global ekologik muammolar - iqlim o'zgarishi, ozon qatlamining yemirilishi va boshqa sabablar bilan ham bog'liq. Tahlillarga ko'ra, har yili atmosfera qatlamiga birgina sanoat korxonalaridan 5 milliard tonnadan ortiq karbonat angidrid, 300 million tonna atrofida uglerod oksidi chiqariladi. Achinarlisi, dunyoda atmosferaga chiqarilayotgan ifloslantiruvchi moddalar hajmi o'tgan asrning 50-yillariga nisbatan qariyb 4 barobarga ortgan va u barqaror o'sish tendensiyasiga ega.

Shu bois, muqobil energetika dunyoda innovatsion rivojlanishning muqarrar omiliga aylanib bormoqda. Qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish elektroenergiya va issiqlik hosil qilishning yangi texnologik bazasi shakllanishiga olib keladi, elektroenergetika samaradorligini oshiradi, yangi ish o'rinlari yaratib, insonlar hayot sifati oshishiga xizmat qiladi. Qolaversa, atmosferaga tarqalayotgan zaharli gazlar hajmi keskin kamayib, ekologik sharoit yaxshilanadi, texnogen falokatlar tahdidi kamayadi.

Ma'lumotlarga ko'ra, hozir jahonda energiya ishlab chiqarishning 0,04 foizdan kamroq qismigina quyosh energetikasiga to'g'ri kelmoqda. Agar yerdagi cho'llarning bor-yo'g'i 4 foizi quyosh panellari bilan qoplansa, hosil bo'ladigan energiya butun insoniyatning energiya talabini qondirishga yetar ekan. Shu sababli, bugungi kunda dunyoning 65 dan ortiq mamlakati o'z oldiga quyosh, shamol, suv energiyasi, shuningdek, vodorod, biogaz va boshqa muqobil energiya manbalaridan kengroq foydalanishni maqsad qilib qo'ygan. Bu boradagi harakatlar ham kun sayin faollashib boryapti.

Yurtimizda elektr energiyaga talab ayniqsa, oxirgi yillarda o'sib bormoqda. Bu iqtisodiyot va sanoat tarmoqlarining rivojlanishi, aholining elektrotexnika uskunalaridan foydalanish ko'rsatkichi oshib borayotgani bilan bog'liq. Hisob-kitoblarga ko'ra, O'zbekistonda bir yilda 10 milliard dollarlik elektr va gaz iste'mol qilinadi. Bugungi kunda 2-3 milliard kilovatt soat elektr energiyasiga qo'shimcha talab ham bor. Kelgusi 5 yilda esa bu ehtiyoj 10 milliard kilovatt soatga oshishi kutilmoqda.

Shamol energiyasi. Insoniyat suv energiyasi hamda bug' dvigatellaridan ancha oldin, shamol energiyasidan foydalanib kelgan. Angliya, Germaniya, Fransiya, Daniya, Gollandiya, AQSh va boshqa mamlakatlarda, shamol

energiyasi juda katta masshtabda, sanoat va qishloq xo'jaligida qo'llanib kelingan. Shamol energiyasidan foydalanish bo'yicha olib borilayotgan hozirgi ishlar, alohida katta quvvatli shamol generatorlarini yaratish va ularning energiyasini ishlab turgan energiya tarmoqlariga ulash va asosiy tarmoq sifatida foydalanishdan iboratdir.

Shamol – bu quyosh nurining intensivligi hisobiga, bosimning o'zgarib turishi natijasida havo massasining harakatidir. Havo oqimi hosil qiladigan mexanik energiyani elektr energiyaga aylantirish, shamol elektrostansiyalari yordamida amalga oshiriladi. Bir necha shamol qurilmalarining yig'indisi shamol elektrostansiyasini tashkil (4-rasm).

Havo massasining yer atmosferasi atrofida aylanishi ekspertlar tomonidan turlicha baholangan. Shamollarning yillik nazariy zahirasi yer yuzidagi barcha energiya zahiralaridan 100 marta ortiq bo'lib, 3300×10^{12} kVt/soatni tashkil qiladi. Ammo bu energiyaning faqatgina 10-12 % foydalanish mumkin. Masalan, 1987 yilda yer yuzidagi barcha shamol qurilmalari tomonidan 10×10^{12} kVt/soat energiya ishlab chiqilgan, ya'ni yillik zahiraning atiga 0,3 % dan foydalanilgan. Iqtisodiy jihatdan joydagi shamolning tezligi 5 m/s dan kam bo'lmasa shamol generatorlaridan foydalanish maqsadga muvofiqdir. Shamol elektrogeneratorlari an'anaviy generatorlardan 2-4 barobar qimmatdir. Ammo shamol energiyasi doimiy bo'lgan ba'zi bir hududlarda u muhim energiya manbalaridan hisoblanadi.



4-rasm. Shamol elektrostansiyalari

Ko'pgina shamol generatorlari sekundiga 3-4 m/s dan yuqori tezlikdagi shamol yordamida ishlaydi. Shamol generatorlari 8-25 m/s tezlikda esadigan shamol yordamida maksimal quvvatga ega bo'ladi. Odatda shamol generatorlarining maksimal ishlash tezligi 25-30 m/s ni tashkil qiladi. Shamol energetikasi ekalogik toza energiya manbaidir. Ammo shamol elektrostansiyalari uchun juda katta hududlar zarur (shamol energetik qurilmalarining bir – biridan uzoqda joylashishi va ular orasidagi masofa ish g'ildiragi diametrining 6-18 barobariga teng bo'lishi kerak). Masalan, ish g'ildiragi $D=100$ m bo'lgan shamol energetik qurilmasi uchun 5-7 km² hudud

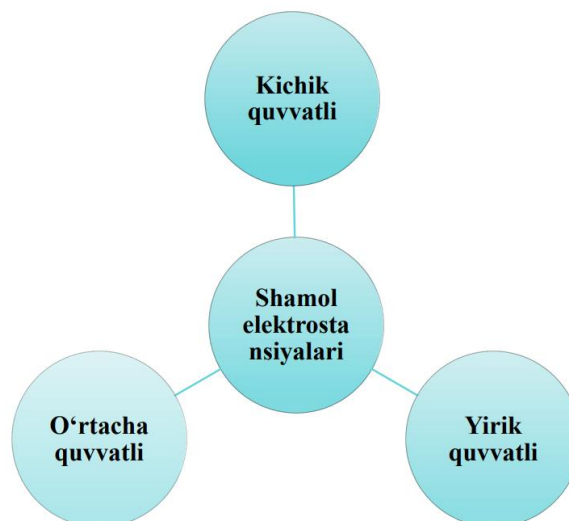
kerak. Butun boshli shamol elektr stansiyasi uchun esa o'nlab km² hudud zarur. Boshqa bir noqulay tarafi – ish g'ildiragi shovqin chiqarib va havoni tebratib ishlashi natijasida tele-va radio eshittirishlarga halaqit beriladi. Shamol energiyasidan foydalanish bo'yicha Germaniya birinchi o'rnini egallab kelmoqda. Bu mamlakatda shamol energiyasini ishlab chiqarish yiliga 500-1500 MVt ga ko'paymoqda, hozirgi vaqtda ishlab chiqariladigan energiya miqdori 2 mln.kVt/soatdan oshib ketdi.

Dunyo mamlakatlari bo'yicha shamol energiyasidan foydalanish ko'rsatgichlari

1-jadval

Mamlakat, region	2015 yilda kiritilgan quvvat, mVt	2015 yil oxirida o'rnatilgan quvvat, MVt
AQSh va Kanada	-	1685,0
Janubiy va Markaziy Amerika	1,05	11,05
Amerika qit'asi	1,05	1696,05
Germaniya	505,29	1119,37
Daniya	78,0	610,0
Gollandiya	94,0	248,0
Buyuk Britaniya	39,50	189,0
Ispaniya	46,5	122,05
Shvetsiya	10,2	32,20
Gretsiya	0,70	27,40
Irlandiya	5,0	21,48
Portugaliya	5,0	13,50
Finlyandiya	1,5	7,09
Boshqa Yevropa mamlakatlari	10	37,60
Yevropa qit'asi	824,64	2495,37
Osiyo qit'asi	380,0	618,0
Avstraliya va yangi Zellandiya	-	620
Boshqa regionlar	20,0	63,7
Jami:	1225,69	4878,27

Shamol elektrostansiyalari. Bir necha shamol qurilmalarining yig'indisi shamol elektrostansiyasini tashkil qiladi. Quvvatiga nisbatan shamol elektrostansiyalarini 3 guruhga bo'lish mumkin (5-rasm).



5-rasm. Shamol elektrostansiyalarining turlari

Shamol generatori o'rnatiladigan joy xususiyatidan kelib chiqib shamolning yo'nalishini va tezligini aniqlash kerak. Shamol generatorining maksimal samara bilan ishlashi uchun parragingning boshlang'ich aylanish tezligi 2 m/s bo'lishi va generatorning tezligi 9 ... 12 m/s bo'lishi talab etiladi. Shamol generatorining quvvati shamolning tezligi va parragingning diametriga bog'liqligini esdan chiqarmaslik kerak.

Jihozni tanlash uchun shamol generatorini o'rnatilishi kerak bo'lgan joyga aniq yo'nalishni va o'rtacha shamol tezligini aniq belgilash kerak. Shuni esda tutish kerakki, shamol generatorlarining parraklari (*pichoqlari*) aylanish tezligi 2 m/s, generator maksimal rentabellik bilan ishlayotgan tezlik esa 9-12 m/s dir. Shamol generatorining quvvati shamol tezligiga va vintning diametriga bog'liq. Maxsus adabiyotlarda hisoblash uchun bir qancha formulalar ishlab chiqilgan. Ushbu formulalardan ikkita eng oddiy formulani keltiramiz. Ularning har biri ham bir xil natija beradi [8-10].

$$P = \frac{D^2 \cdot V^3}{1000}, kVt \quad (1)$$

bu yerda:

P - quvvat, kVt;

D - vint (parrak) ning diametri, metr;

V - shamolning tezligi, m/s.

$$P = 0,65 \cdot S \cdot V^3, Vt \quad (2)$$

bu yerda:

P - quvvat, Vt;

S - shamol esadigan perependikulyar yuza, m²;

V - shamolning tezligi, m/s (*formulada m³*).

Shamol o'rtacha tezligi ma'lum bo'lganda tanlash vint (*parrak*) ning diametriga asosan amalga oshiriladi. Bundan tashqari hisoblarni talab etiladigan quvvatga qarab bajarish mumkin. Shamolning tezligi shamol generatori tomonidan ishlab chiqariladigan energiya miqdoriga bevosita ta'sir etadigan ko'rsatkich hisoblanadi. Odatda generator tomonidan ishlab

chiqariladigan elektr energiyasi miqdori shamol tezligining ortishi bilan kubli ravishda ortadi. Ya'ni shamolning tezligi 2 martaga ortsa, rotor tomonidan olingan kinetik energiya 8 martaga ko'payadi.

2-jadvalda, standart holatda (*havo quruq bo'lganda, zichligi – 1,225 kg/m³, atmosfera bosimi 766 mm simob ustunigda teng*) shamol energiyasining qiymatlari keltirilgan.

Energiya miqdorini hisoblash uchun quyidagi formuladan foydalanamiz:

$$P = 0,5 \cdot 1,225 \cdot V^3, Vt/m^3 \quad (3)$$

bu yerda:

V - shamolning tezligi, m/s (*Daniya shamol trubinalarini ishlab chiqarish assotsiatsiyasi ma'lumotlariga ko'ra*).

Standart sharoitlardagi shamol energiyasini qiymatlari

2-jadval

Nº	Shamolning tezligi, m/s	Shamol generatori 1 m ² maydoniga teng keluvchi shamolning quvvati, Vt/m ²
1.	1	1
2.	3	17
3.	5	77
4.	9	477
5.	11	815
6.	18	3572
7.	21	5672
8.	23	7452

Biror bir hududdagi shamolning tezligini o'lchashda avvalo quyidagilarga e'tiborni qaratish lozim:

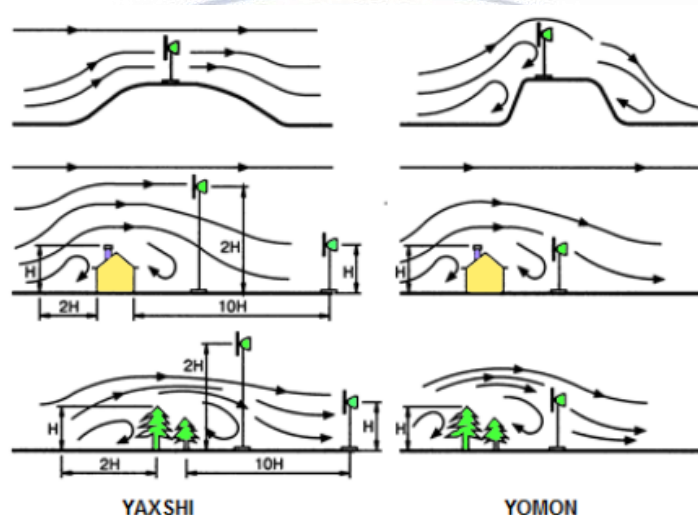
Yer sathidan balandlik. Odatda shamol yerga yaqin joydan esganda yerga ishqalanish va tabiiy to'siqlar (*draxtlar, binolar, do'ngliklar, adirlar va h.k.*) ga urilishi hisobiga sekinlashadi. Qishloq xo'jalik ekinlari yetishtiriladigan maydonlar, cho'l va dasht hududlarda yer sathidan balandga ko'tarilib borgan sari shamolning tezligi ortib boradi va u o'rtacha taxminan 12% ga ortadi.

Yilning mavsumi. Ko'pchilik hududlarda mavsum o'zgarishi bilan shamolni oqimi ham o'zgaradi. Ayniqsa qish mavsumida shamolning tezligi yozga nisbatan yuqori bo'ladi. Kunduzi shamol tezligi kechqurungiga qaraganda katta. Katta suv havzalari, daryolarning bo'ylari va ko'llarning yoqasida ham shamol katta tezlik va kuchga ega.

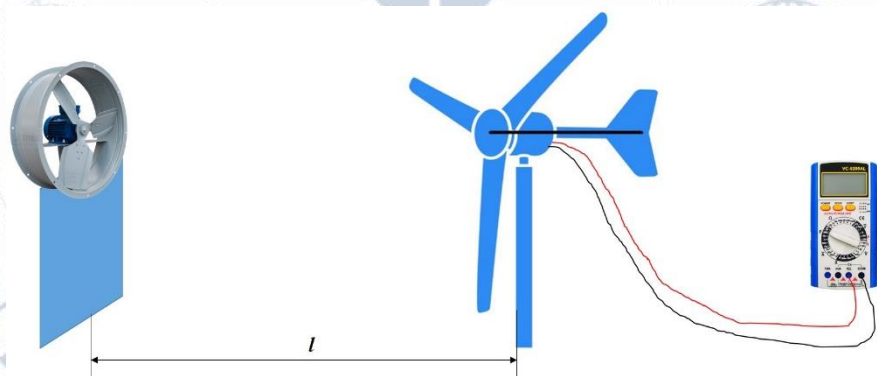
Ertalab quyosh yerni suvga nisbatan qattiqroq qizdiradi, shu sababli shamol qirg'oq bo'yi (*yerdan suvga tomon*) tomonga esadi. Kechqurunga borib yer, suvga nisbatan tezroq sovuydi shu sababli shamol qirg'oq bo'yidan (*suvdan qirg'qlikka tomon*) esadi.

Yer yuzasining xususiyati. Ochiq lanshaftdagi adirlar, do'ngliklar, tog' cho'qqilari odatda shamol elektr qurilmalarini joylashtirish uchun juda qulay

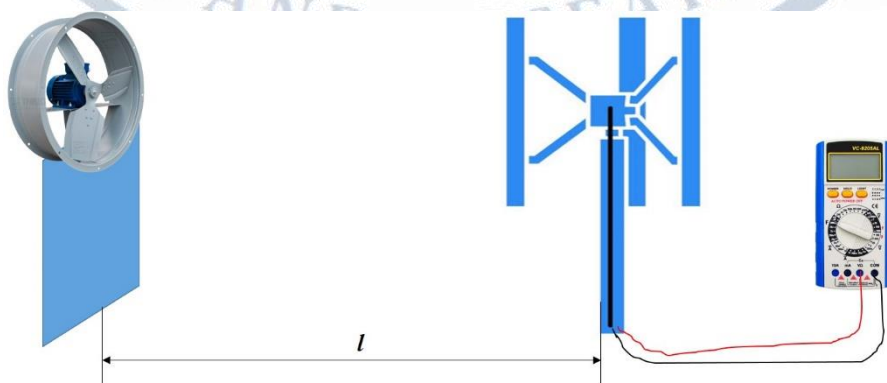
joy hisoblanadi. Do'ngliklarda shamolning tezligi shamolning tezligi past tekisliklardagiga qaraganda ancha katta va bosimi kuchli. Ta'kidlash joizki, shamol tepaliklarga yaqinlashganda o'z yo'nalishini o'zgartiradi, chunki yuqori bosimli havo hududi tepalikka yaqin joyda keskin kengayadi. Esdan chiqarmaslik kerakki, tepalikning keskin o'zgarishi shamolning turbulentligi o'zgarishiga ta'sir etadi. Qiyalik qancha katta bo'lsa shamolning bosimi shuncha ortadi, yoyiqlik qancha katta bo'lsa, aksincha shamol bosimi pasayadi (6-rasm).



6-rasm. Shamol elektrostansiyasini joylashtirishning yaxshi va yomon variantlari

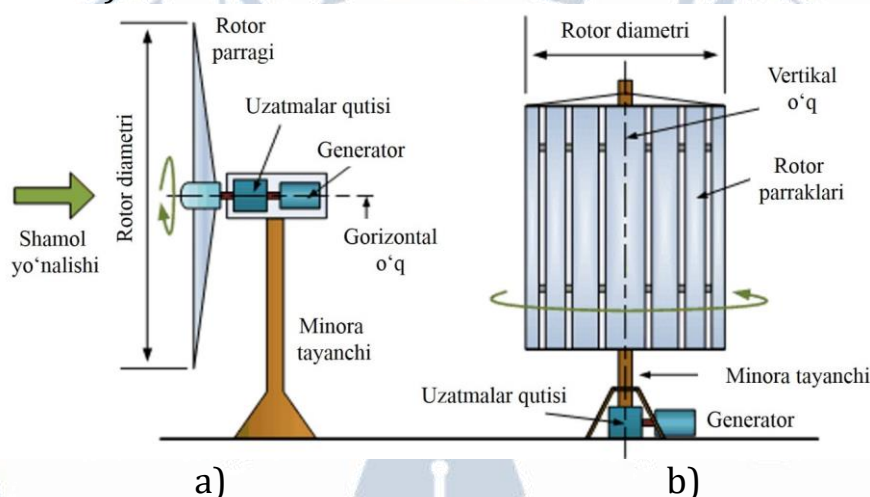


7-rasm. Gorizontali o'qli shamol generatorida hosil bo'layotgan energiyani o'lchash



8-rasm. Vertikal o'qli shamol generatorida hosil bo'layotgan energiyani o'lchash

Muhokama qismi. Shamol energiyasidan mexanik yoki elektr energiyasini ishlab chiqarish uchun foydalanish mumkin. Shamol turbinasi (*shamol elektrostansiyasi yoki shamol energetik qurilmasi*) shamolning kinetik energiyasini elektr energiyasiga aylantirib berishga xizmat qiladi. Energiya miqdori esa bevosita shamol tezligiga bog'liq. Shamol generatorining standart turbinasi quvursimon po'lat tirgakda joylashgan uch parrakli rotordan iboratdir (9-rasm).



9-rasm. Shamol elektrik qurilmasi (*elektrostansiyasi*) ning tuzilishi:

- a) Gorizonttal o'qli shamol generatori (HAWT - Horizontal axis wind turbine);
- b) Vertikal o'qli shamol generatori (VAWT - Vertical axis wind turbine).

Burilish mexanizm rotorni shamol esayotgan tomonga yo'naltirib turadi. Rotor reduktor va asinxron generatorni ishga tushiradi.

Shamol generatorlari olisdan turib boshqarilishi va nazorat qilinishi, alohida yoki bir qancha yoxud ko'plab qurilmalardan iborat yirik shamol fermasi sifatida o'rnatilishi mumkin. Bunday fermalarga birlashtirilgan shamol generatorlaridan asosiy energiya tizimi uchun elektr tarmog'ining yuklamasini boshqarishda foydalanish mumkin (4-rasm). Shamol generatorlarini ikki turga ajratish mumkin: sanoat va mahalliy (*xususiy foydalanuvchilar uchun*).

Sanoat shamol elektrostansiyalari davlat yoki yirik energiya kompaniyalar tomonidan o'rnatiladi. Odatda, ular tarmoqqa ulangach shamol elektr stansiyasi maqomiga ega bo'ladi. Shamol elektrostansiyalari odatdagi an'anaviy: issiqlik, atom va h.k. dan xomashyo va chiqindisining umuman yo'qligi bilan farq qiladi. Shamol elektr stansiyalari (ShES) uchun yagona muhim talab shamolning o'rtacha yillik darajasidir. Zamonaviy shamol generatorlarining quvvati 6 MVt gachani tashkil etadi.

Dunyo iqtisodiyoti instituti ma'lumotlariga asosan oxirgi 30 yillikda jahon miqyosidagi elektr energiyaning iste'mol miqdori har 10 yillikda ikki

marotaga o'smoqda. O'sib borayotgan energiya iste'moli esa asosan an'anaviy energiya manbaalar - ko'mir, neft, gaz, torf va suv resurslari hisobiga qondirilmoqda. Energiyaga bo'lgan iste'molchilarning jadal suratda o'sayotgan talabi o'z navbatida yonilg'i va energiyaning qimmatlashuviga, yonilg'i energetika komplekslaridagi (YoEK) iqtisodiy va ekologik muammolarning keskinlashuviga olib kelib, tabiiy resurslardan tejamli va oqilona foydalanishning yanada asoslangan tartib-qoidalarini ishlab chiqishni talab etadi. Shu sababli yil sayin noan'anaviy elektr energiya manbaalaridan foydalanishning alternativ usuli sifatida shamol energetikasiga qiziqish ortmoqda. Noan'anaviy energiya manbaalarining (*quyosh, shamol, geotermal, kichik suv oqimlari va h.k.*) ma'lum qismini, yagona umumiy elektr energiya ishlab chiqarishning 2% ni tashkil etib, 2020-yilga borib davlat tomonidan imtiyozli ko'mak ko'rsatib uni 4% dan ham oshirish mo'ljallangan. Qayta tiklanadigan energiya manbaalarida shamol energetikasi asosiy o'rinni egallaydi. AQSH ning "Pacific Northwest Laboratory" ma'lumotlariga ko'ra flyugerning baladligi 8 - 10 m bo'lib, shamol tezligi 5,1 m/s li bo'lgan maydonlar yer yuzining 25% ni tashkil etadi. Iqtisodiy, texnikaviy, ekologik va boshqa cheklanishlarni e'tiborga olib 2030-yilga borib ShESning umumiy quvvati 450 mln.kVt ga teng bo'ladi, u yer yuzida ishlab chiqariladigan elektr energiyaning 3,5 % ni tashkil etadi. Sanoati rivojlangan va shamol podstansiyalariga ega bo'lgan aksariyat mamlakatlarda, jumladan shamol texnikasidan foydalanish rivojlangan va shamol texnikasini rivojlantirish bo'yicha davlat dasturlari ishlab chiqilayotgan davlatlarda bu sohani rivojlantirish davlat tomonidan qo'llab quvvatlanib kelgusida undan tijorat usulida elektr energiya ishlab chiqarish mo'ljallangan. Misol uchun Daniyada, umumiy elektr energiya ishlab chiqarishning 35% ni shamol elektr stansiyalarda ishlab chiqarilgan energiya tashkil etadi.

Mutaxassislarinng hisob-kitoblari bo'yicha, sayyoramizning shamol energiya salohiyati jahonda hozir ishlatilayotgan elektr energiya hajmiga nisbatan 30 marotaba yuqori. Bu yer yuzasiga yaqin havo qatlami, ya'ni 100 metr balandlikkacha shamol energiyasining imkoniyati xolos. 100 metr va undan balandda shamol tezligi yanada kuchli va undagi energiya beradigan shamol quvvatining imkoniyati ham anchayin katta.

Shamol qurilmalarini joylashish xarakteristikasining termatizatsiyasi uchun ularning aniq regionda effektiv energetik qo'llash maqsadi bilan qoidaga ko'ra shamol energetika kadastri ishlab chiqiladi, u o'zi bilan shamolning aerologik va energetik xarakteristikalar majmuasini tashkil etadi. Bu esa uning energetik bahosini, hamda aniq parametrlarni va shamol qurilmalarining ishlash rejimini aniqlashda yordam beradi.

Shamol energetikasi kadastrining asosiy xarakteristikasi bu:

- Shamolning o'rtacha yillik tezligi, yillik va sutkali shamolning yo'li;
- Tezliklarning qaytarilishi, tezlik funksiyalarining taqsimlanish parametrlari va turlari;

- Shamolning eng kata tezligi;
- Shamol davrlarini va energetik tinchib qolish davrlari taqsimlanishi;
- Quvvat va solishtirma shamol energiyasi;
- Shamol energetik resurslari.

Shamol hududi xaritalarida shamolning o'rtacha yillik tezligi haqidagi meteo ma'lumotlar statistik qayta ishlash yordamida topiladi va ular anemometrlar yordamida standart balandlikka keltirib (*yer sathidan 10 m balandda*) eng yaxshi ochiq hududlar meteostansiyalar tomonidan hisoblanadi.

Yo'nalishlar bo'yicha shamolning taqsimlanishi haqida hisobga olish, odatga ko'ra o'tkazilmaydi. Shuning uchun har bir aniq joyda shamol potensialini aniqlash uchun mahalliy samarani – orfografiyani hisobga olish, hududning g'adur-budurligini, uning ochiqligi, daryo ustidagi sathini va boshqalarni, ya'ni shamolning kuchiga va yo'nalishiga ta'sir etuvchi shamol energiyasini mavsumlarda o'ziga xos ravishda notekisligi va aniq vaqtda davomiy emasligini hisobga olgan holda, bundan esa, haqiqiy shamol potensialini baholashga va shamol elektrostansiyasini montaj qilish hamda samarali maydon tanlash uchun maxsus ishlar olib borish maqsadga muvofiqligidan kelib chiqadi.

Respublikamizning shamol energetik potentsiali tahlili shuni ko'rsatdiki, kichik iste'molchilar soni ko'p bo'lgan hududlarda, yaxshi shamol mavjud emas. Bu joylarda shamol tezligi 3-4 m/s dan oshmaydi. Aksincha shamol potentsialiga ega bo'lgan hududlarda iste'molchilar mavjud bo'lmagan joylarda, shamol potentsiali tezligi 10-12 m/s bo'lib asosan poyalar orasida, g'orlarda hamda murakkab joylarda (*borish yoki chiqish qiyin bo'lgan*) mavjud. Respublika hududida shamol potentsiali uncha yuqori emas va uning tezligi 2-5 m/s oralig'idadir.

O'zbekistonning ayrim hududlarida shamolning o'rtacha oylik tezligi (m/s)

3-jadval

Regions	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
Tashkent	1,1	1,2	1,5	1,3	1,4	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,1
Nukus	3,4	4,3	4,0	3,5	3,8	3,6	4,1	3,7	2,6	2,6	2,7	3,8
Urgench	3,6	4,4	4,1	3,3	3,1	3,3	2,7	2,7	2,3	2,4	2,8	4,0
Bukhara	2,9	2,9	3,7	2,6	3,2	3,7	4,6	4,0	3,7	2,2	2,3	3,4
Navoi	3,7	4,0	5,1	2,5	2,8	2,5	3,6	1,9	2,6	2,7	3,1	4,2
Samarkand	1,6	1,4	1,6	1,5	1,3	1,3	1,5	1,0	0,9	0,7	0,8	0,8
Jizzakh	1,5	1,6	2,1	1,8	2,1	1,7	1,5	1,4	1,6	1,1	1,5	1,3
Sirdarya	1,2	1,2	1,5	1,2	1,3	1,0	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1
Karshi	2,7	3,1	3,6	2,7	3,0	3,3	3,5	2,7	2,5	2,1	2,1	2,5
Termiz	2,9	3,7	4,6	2,7	2,9	2,5	2,6	2,3	2,4	2	2,4	2,4
Andijan	0,8	1,2	1,7	2,1	2,1	2,3	1,9	1,4	1,5	0,8	0,8	0,8
Namangan	1,7	1,8	2,3	2,4	2,6	2,8	2,5	2,2	2,3	2,1	1,9	1,5
Fergana	0,7	0,8	1,0	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,8	0,9	0,8

O'zbekistonda kichik quvvatli (1-5 kVt) shamol energetik qurilmalarini qo'llash orqali, respublika shamol energetikasi istiqboli belgilanadi.

Shamol energiyasini o'ziga xos xususiyati, bu vaqt bo'yicha paydo bo'lishini notekisligi, bu esa shamol agregat o'rnatilgan hududi energiya ishlab chiqarishga ta'sir etadi. Shamol agregati qo'shimcha zahira bilan turli sohalar bo'yicha mahsulot olinsa, shamol energiyasidan foydalanish istiqbolli hisoblanadi. Shamol agregatini suv ko'tarishda, issiqlik ishlab chiqarishda, sovutishda va minerallangan suvlarni ichimlik suviga aylantirishda qo'llash samarali hisoblanadi.

Xulosa va takliflar. O'zbekistonning shamol energetikasi salohiyati yuqori bo'lib, Qoraqalpog'iston, Navoiy, Buxoro va Jizzax viloyatlarida barqaror shamol oqimlari mavjud. Aniqlangan maydonlardagi quvvatdan foydalanish koeffitsiyentlari jahon o'rtacha ko'rsatkichlaridan yuqori ekani yirik shamol elektr stansiyalarini iqtisodiy jihatdan samarali qiladi. Amaldagi xalqaro hamkorlikdagi loyihalar mamlakat energetika xavfsizligini ta'minlash, tabiiy gaz sarfini kamaytirish va barqaror rivojlanishni jadallashtirishga xizmat qiladi. Shamol generatorlarini rivojlantirish metodikasi resurslarni baholash, iqtisodiy samaradorlikni aniqlash, texnik integratsiya va ekologik tahlilga asoslangan bo'lib, milliy energetika tizimining barqarorligini mustahkamlashda muhim ahamiyatga ega.

Quyidagi takliflarni keltrishimiz mumkin:

1. Shamol resurslarini baholash va joylashtirish bo'yicha milliy metodik reglament ishlab chiqish;
2. Shamol kadastrini yaratish va GIS asosida muntazam yangilash;
3. ShESlarni milliy elektr tarmog'iga samarali integratsiya qilish uchun Smart Grid texnologiyalarini joriy etish;
4. Investitsion jozibadorlikni oshirish maqsadida imtiyozlar va auktsion mexanizmlarini kengaytirish;
5. Kichik quvvatli shamol qurilmalarini qishloq xo'jaligi va off-grid hududlarda qo'llashni rivojlantirish.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПФ-166 «О мерах по реализации следующего этапа реформирования энергетического сектора». – Ташкент, 28.09.2023. – 15 с.
2. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПҚ-171 «О мерах по дальнейшему развитию использования возобновляемых источников энергии и повышения энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере». – Ташкент, 2023. – 12 с.
3. Кабинет Министров Республики Узбекистан. Концепция обеспечения Республики Узбекистан электрической энергией на 2020–2030 годы. – Ташкент: ВМ РУз, 2020. – 35 с.

4. International Energy Agency (IEA). Renewables 2024: Analysis and forecast to 2030. – Paris: IEA Publications, 2024. – 256 p.
5. International Renewable Energy Agency (IRENA). Global Wind Energy Report 2023. – Abu Dhabi: IRENA, 2023. – 184 p.
6. Bekmurodov, Sh. B. Perspektivy razvitiya vetroenergetiki v Tsentralnoy Azii // Energetika i elektrotehnika. – 2022. – №4. – С. 45–52.
7. Liu, H., Zhang, Y., Wang, J. Development of wind energy in China: Current status and future challenges // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2023. – Vol. 181. – P. 113–129.
8. Møller, B., Sørensen, P. Wind power integration in Denmark: Lessons for developing countries // Energy Policy. – 2022. – Vol. 160. – P. 25–34.
9. World Bank. Uzbekistan: Renewable Energy Development Support Program Report. – Washington DC: World Bank, 2022. – 92 p.
10. Global Wind Energy Council (GWEC). Global Wind Report 2023. – Brussels: GWEC, 2023. – 112 p.
11. <https://www.accuweather.com/en/uz/national/wind-flow>.
12. <https://yandex.uz/pogoda/maps/wind>,
<https://earth.nullschool.net/ru>.