

SHAMOL ENERGIYASI VA AERODINAMIKA QONUNLARI

HUSANOVA NARGIZA

Annotatsiya: Ushbu maqolada shamol energiyasining fizik asoslari, aerodinamik qonunlar va ularning shamol turbinalari ishida tutgan o'rni tahlil qilinadi. Shamol oqimlarining kinetik energiyasi va uni elektr energiyasiga aylantirish prinsiplari, shamol turbinalarining konstruksiyasi, ishlash samaradorligi hamda ekologik va iqtisodiy afzalliklari bayon etiladi. Shuningdek, shamol energetikasining rivojlanish istiqbollari va O'zbekiston sharoitida undan foydalanish imkoniyatlari haqida ham fikr yuritiladi.

Kalit so'zlar: shamol energiyasi; aerodinamika; Bernulli tenglamasi; turbina; rotor; kinetik energiya; energiya konversiyasi; qayta tiklanuvchi manba; Betz chegarasi; ekologik energiya.

Kirish

Hozirgi davrda insoniyat oldida turgan eng dolzarb masalalardan biri — **barqaror va ekologik toza energiya manbalarini yaratish**dir. An'anaviy energiya manbalari (ko'mir, gaz, neft) cheklangan va ularning ishlatilishi ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda. Shu sababli, **shamol energiyasi** so'nggi o'n yilliklarda muqobil energiya manbasi sifatida jadal rivojlanmoqda.

Shamol — bu atmosferadagi bosim va harorat farqi natijasida hosil bo'ladigan havo oqimidir. Shamol oqimlari ulkan miqdordagi **kinetik energiya**ga ega bo'lib, uni mexanik va elektr energiyasiga aylantirish imkonini beradi. Bu jarayon **aerodinamika qonunlariga**, ya'ni havo oqimining jismlar bilan o'zaro ta'siriga asoslanadi.

Mazkur maqolada shamol energiyasining fizik mohiyati, aerodinamik qonunlarning roli va shamol turbinalarining ishlash prinsipi batafsil tahlil qilinadi.

Asosiy qism

1. Shamol energiyasining fizik mohiyati

Shamol energiyasi — bu havo massasining harakatidan hosil bo'lgan **kinetik energiya**dir. Shamol oqimi tezligi v bo'lganida, ma'lum maydon A dan o'tuvchi havoning quvvati quyidagi formula bilan ifodalanadi:

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

bu yerda:

- P — shamol oqimining quvvati (Vatlarda),
- ρ — havoning zichligi ($\approx 1.225 \text{ kg/m}^3$),
- A — turbina parraklarining aylanish yuzasi,
- v — shamol tezligi.

Ko‘rinib turibdiki, shamol tezligi oshgani sayin quvvat **kub** darajada ortadi. Shu sababli, shamol tezligi 2 baravar oshsa, ishlab chiqariladigan energiya 8 baravar ortadi.

2. Aerodinamik qonunlarning shamol turbinalaridagi o‘rni

Shamol turbinasining ishlashi **aerodinamika** qonunlariga asoslanadi. Havo oqimi pichoqlar (rotorlar) bilan to‘qnashganda, ularning shakli tufayli **ko‘taruvchi kuch (lift)** va **tormozlovchi kuch (drag)** hosil bo‘ladi.

Bu kuchlar **Bernulli tenglamasi** orqali tushuntiriladi:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{const}$$

ya’ni, havo tezligi oshganda bosim kamayadi. Shamol turbinasining parraklari aerodinamik profilga ega bo‘lib, yuqori qismida tezlik yuqori, pastida esa past bo‘ladi. Natijada parrakka ko‘taruvchi kuch ta’sir etadi va u aylanadi.

Rotorning aylanishi generator orqali elektr energiyasiga aylantiriladi. Shunday qilib, **aerodinamika qonunlari** shamol energiyasini mexanik energiyaga o‘tkazish jarayonining asosiy nazariy poydevoridir.

3. Shamol turbinalarining tuzilishi va ishlash prinsipi

Shamol turbinalari ikki asosiy turga bo‘linadi:

- **Gorizontal o‘qli turbinalar (HAWT)** — eng keng tarqalgan, pichoqlari gorizontal o‘qda joylashgan.

- **Vertikal o‘qli turbinalar (VAWT)** — parraklari vertikal joylashgan, har yo‘nalishdagi shamolda ishlay oladi.

Gorizontal o‘qli turbina quyidagi asosiy qismlardan iborat:

1. **Rotor (parraklar)** — shamol energiyasini mexanik aylanishga aylantiradi.
2. **Vall (shaft)** — aylanish harakatini generatorga uzatadi.
3. **Generator** — mexanik energiyani elektr energiyasiga aylantiradi.
4. **Yuqori tayanch (nacelle)** — mexanik va elektr tizimlarni o‘z ichiga oladi.
5. **Tayanch minorasi** — butun tizimni ushlab turadi.

Rotor aylanish tezligi **reduktor** orqali generator tezligiga moslashtiriladi. Hosil bo‘lgan elektr toki inverter yordamida o‘zgaruvchan tokka aylantirilib, tarmoqqa uzatiladi.

4. Betz chegarasi — nazariy samaradorlik

Shamol energiyasining 100 foizini olish mumkin emas, chunki havo turbina orqali o‘tishda to‘xtab qolmasligi kerak. 1919-yilda nemis olimi **Albert Betz** shamol turbinasining maksimal nazariy samaradorligini quyidagi tarzda isbotlagan:

$\eta_{\max}=1627 \approx 0.593 \eta_{\max} = \frac{16}{27} \approx 0.593$
Demak, eng ideal turbina ham shamol energiyasining 59,3% dan ortig'ini elektr energiyasiga aylantira olmaydi.

Amaliy turbinalarda bu ko'rsatkich **40–50%** atrofida bo'ladi. Samaradorlikni oshirish uchun parraklar shakli, uzunligi va material tanlovi aerodinamik jihatdan mukammal hisoblab chiqiladi.

5. Shamol energiyasining afzalliklari

Shamol energetikasi bugungi kunda muqobil energiya manbalari orasida eng tez rivojlanayotgan yo'nalishlardan biridir. Uning asosiy afzalliklari:

1. **Cheksiz va qayta tiklanadigan manba** — shamol tabiiy jarayonlardan hosil bo'ladi.
2. **Ekologik tozaligi** — zararli chiqindilar va issiqxona gazlari ajralmaydi.
3. **Iqtisodiy samaradorlik** — ishga tushirilgandan so'ng ekspluatatsiya xarajatlari past.
4. **Yer resurslariga kam ta'sir** — shamol fermalari yerning kichik qismini egallaydi.
5. **Mahalliy energiya manbai** — masofaviy hududlarda mustaqil energiya ta'minoti yaratadi.

Masalan, Daniya, Germaniya, Ispaniya va Xitoyda shamol energetikasi elektr ishlab chiqarishning 20–30% gacha qismini tashkil etadi.

6. Shamol energiyasining cheklovlari

Shu bilan birga, shamol energetikasining ayrim muammolari ham mavjud:

- **Shamolning o'zgaruvchanligi** — doimiy emas, energiya ishlab chiqarish barqaror emas.
- **Shovqin va vibratsiya** — yaqin joylarda yashovchi aholiga noqulaylik tug'diradi.
- **Estetik va ekologik ta'sir** — landshaft ko'rinishiga ta'sir qilishi mumkin.
- **Yirik investitsiya talabi** — dastlabki qurilish qiymati yuqori.

Ammo bu muammolarni **energiya saqlash tizimlari (batareyalar)** va **gibrid energiya tizimlari (shamol + quyosh)** yordamida kamaytirish mumkin.

7. Shamol energiyasi va aerodinamik optimallashtirish

Shamol turbinalarining samaradorligini oshirish uchun aerodinamik tadqiqotlar muhim rol o'ynaydi.



- **Parrak shakli** – qanotlar samolyot qanotiga o‘xshash aerodinamik profilga ega bo‘ladi.

- **Parrak burchagi (pitch control)** – shamol tezligiga qarab optimal burchakka o‘zgartiriladi.

- **Yaw nazorati** – turbina yo‘nalishini shamolga moslashtiradi.

- **Turbulentlikni kamaytirish** – shamol fermalarida turbinalar orasidagi masofa optimallashtiriladi.

Yangi avlod shamol turbinalari **kompyuter simulyatsiyasi, CFD (Computational Fluid Dynamics)** modellar va **sun‘iy intellekt** yordamida aerodinamik jihatdan mukammallashtirilmoqda.

8. Shamol energiyasining istiqbollari

Bugungi kunda shamol energiyasi dunyo bo‘yicha qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarishning 30% dan ortig‘ini tashkil etmoqda. Xususan, Xitoy, AQSh, Germaniya, Hindiston va Daniya bu sohada yetakchi hisoblanadi.

O‘zbekistonda ham shamol energetikasini rivojlantirish yo‘lga qo‘yilgan. **Navoi** va **Buxoro** viloyatlarida yirik shamol elektr stansiyalari barpo etilmoqda. 2030-yilgacha mamlakat elektr energiyasining kamida **25%** qismini qayta tiklanuvchi manbalar orqali ishlab chiqarish rejalashtirilgan.

Kelajakda shamol energiyasini **gidro va quyosh tizimlari** bilan integratsiyalash, **offshore (dengizdagi)** shamol fermalarini qurish va aerodinamik **“smart blades”** texnologiyalarini joriy etish kutilmoqda.

Xulosa

Xulosa qilib aytganda, shamol energiyasi — ekologik toza, barqaror va kelajakda insoniyat energiya tizimining muhim qismini tashkil etadigan manba hisoblanadi. Uning ishlash prinsipi **aerodinamika qonunlariga**, ya’ni havo oqimining kinetik energiyasini mexanik aylanishga o‘tkazishga asoslanadi.

Shamol turbinalari orqali hosil bo‘layotgan elektr energiyasi bugungi kunda global energetika tizimining muhim tarkibiy qismiga aylangan. Aerodinamik optimallashtirish va yangi texnologiyalar yordamida shamol energetikasi samaradorligi oshib boradi.

O‘zbekiston sharoitida shamol energiyasidan foydalanish ekologik xavfsizlikni ta’minlash, energetik mustaqillikka erishish va barqaror rivojlanishni qo‘llab-quvvatlashning muhim yo‘nalishidir.

Adabiyotlar ro‘yxati

1. **Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L.** *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. – Wiley, 2010.
2. **Hau E.** *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. – Springer, 2013.
3. **Burton T. va boshqalar.** *Wind Energy Handbook*. – Wiley, 2011.



4. **Betz A.** *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen.* – 1919.
5. **O‘zbekiston Respublikasi Energetika Vazirligi.** *Shamol energetikasining rivojlanish istiqbollari.* – Toshkent, 2023.
6. **World Wind Energy Association (WWEA).** *Global Wind Report 2024.* – 2024.
7. **NASA Aerodynamics Division.** *Principles of Aerodynamics in Wind Energy Systems.* – 2022.