VERTIKAL O‘QLI SHAMOL QURILMASINING SAMARADORLIGINI OSHIRISHDA VODOROD ENERGIYASINI INTEGRATSIYA QILISH

Qarshi davlat texnika Universtiteti
Energetika muhandisligi kafedrasi
ASRBEK TURABAYEV ILHOM O'G'LI

Annotatsiya: Ushbu maqolada vertikal o‘qli shamol qurilmalarining samaradorligini oshirishda vodorod energetikasini integratsiya qilish imkoniyatlari tahlil qilingan. Shamol energiyasining o‘zgaruvchanligi qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanishda asosiy texnik muammolardan biri hisoblanadi. Mazkur muammoni yumshatishda ortiqcha elektr energiyasidan foydalanib, elektroliz orqali yashil vodorod ishlab chiqarish istiqbolli yechim sifatida qaraladi. Tadqiqotda vertikal o‘qli shamol turbinasidan olinadigan elektr energiyasini elektroliz tizimiga yo‘naltirish, vodorodni saqlash va talab yuqori bo‘lgan davrda undan qayta elektr energiyasi olishning texnik imkoniyatlari ko‘rib chiqilgan. Shuningdek, shamol qurilmasi, elektrolizyor, vodorod saqlash tizimi va yoqilg‘i elementi o‘rtasidagi energiya almashinuvi tahlil qilingan. Natijalar vertikal o‘qli shamol qurilmasini vodorod energetikasi bilan integratsiyalash energiyani saqlash, elektr ta’minoti barqarorligini oshirish va qayta tiklanuvchi energiya manbasidan foydalanish ko‘lamini kengaytirishga xizmat qilishi mumkinligini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlar: vertikal o‘qli shamol qurilmasi, shamol energiyasi, vodorod energetikasi, yashil vodorod, elektroliz, energiya saqlash, yoqilg‘i elementi, qayta tiklanuvchi energiya, energiya samaradorligi.

KIRISH

Dunyo energetika tizimida qayta tiklanuvchi energiya manbalarining ulushi tobora ortib bormoqda. Bunga energiyaga bo‘lgan talabning o‘sishi, qazilma yoqilg‘ilardan foydalanish bilan bog‘liq ekologik muammolar va energiya xavfsizligini ta’minlash zarurati sabab bo‘lmoqda. Quyosh va shamol energetikasi

mazkur jarayonning asosiy yo‘nalishlaridan bo‘lsa-da, ushbu manbalarning tabiiy sharoitga bog‘liqligi energiyani barqaror yetkazib berish masalasini dolzarb qilib qo‘ymoqda.

Shamol energetikasining o‘ziga xos xususiyati shundaki, shamol tezligi sutka va fasl davomida o‘zgarib turadi. Shamol tezligi yuqori bo‘lgan davrda turbina tomonidan ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasi iste’mol talabidan ortiq bo‘lishi mumkin. Aksincha, shamol tezligi pasaygan paytda ishlab chiqarish hajmi keskin kamayadi. Shu sababli shamol energiyasini samarali saqlash va zarur vaqtda undan qayta foydalanish texnologiyalarini rivojlantirish muhim ahamiyatga ega.

Vodorod energetikasi ushbu muammoni hal qilishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biridir. Shamol turbinasida ishlab chiqarilgan elektr energiyasidan suvni elektroliz qilish orqali vodorod olish mumkin. Agar elektroliz uchun ishlatiladigan elektr energiyasi qayta tiklanuvchi manbadan olingan bo‘lsa, hosil bo‘lgan vodorod “yashil vodorod” deb ataladi.

Vertikal o‘qli shamol qurilmalari esa shamol yo‘nalishining o‘zgarishiga nisbatan moslashuvchanligi, konstruktiv soddaligi va ayrim sharoitlarda kichik maydonlarda joylashtirilishi mumkinligi bilan ajralib turadi. Shu sababli ularni vodorod ishlab chiqarish tizimlari bilan birlashtirish kichik va o‘rta quvvatli mahalliy energetik komplekslarni shakllantirish uchun qiziqarli texnik yechim hisoblanadi.

TADQIQOT MAQSADI VA VAZIFALARI

Tadqiqotning asosiy maqsadi vertikal o‘qli shamol qurilmasining samaradorligini vodorod energetikasini integratsiya qilish orqali oshirish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan tahlil qilishdan iborat.

Ushbu maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi: vertikal o‘qli shamol qurilmasining energetik xususiyatlarini tahlil qilish; shamol energiyasidan elektr energiyasi olish jarayonini o‘rganish; ortiqcha elektr energiyasini elektroliz jarayoniga yo‘naltirish imkoniyatlarini aniqlash; vodorodni saqlash va undan qayta

energiya olish tizimini ko‘rib chiqish; integratsiyalashgan tizimning afzalliklari va texnik cheklovlarini baholash.

Tadqiqotda tizimli tahlil, energetik balans, texnik taqqoslash va qayta tiklanuvchi energiya tizimlarini modellashtirishga asoslangan yondashuvlardan foydalanildi.

VERTIKAL O‘QLI SHAMOL QURILMASINING ENERGETIK XUSUSIYATLARI

Vertikal o‘qli shamol turbinasida shamol oqimining kinetik energiyasi rotorning mexanik energiyasiga, keyinchalik generator orqali elektr energiyasiga aylantiriladi. Shamol oqimining nazariy quvvati quyidagi formula orqali ifodalanadi:

$$P = 1/2\rho A v^3$$

bu yerda P — shamol oqimining quvvati, ρ — havo zichligi, A — rotorning shamol oqimini qabul qiluvchi yuzasi, v — shamol tezligi.

Mazkur ifodadan ko‘rinib turibdiki, shamol tezligining o‘zgarishi ishlab chiqariladigan energiya miqdoriga katta ta’sir ko‘rsatadi. Amaliy turbina esa shamol oqimidagi barcha energiyani o‘zlashtira olmaydi. Rotorning aerodinamik xususiyatlari, generator samaradorligi va mexanik yo‘qotishlar natijasida elektr chiqish quvvati kamayadi.

Vertikal o‘qli qurilmalarni takomillashtirishda parraklar shakli, rotor diametri, parraklar soni, aylanish tezligi va generator parametrlari muhim ahamiyatga ega. Bundan tashqari, qurilmaning mahalliy shamol sharoitlariga moslashtirilishi ham umumiy samaradorlikni oshiradi.

VERTIKAL O‘QLI SHAMOL QURILMASI VA ELEKTROLIZ TIZIMI INTEGRATSIYASI

Shamol turbinasini vodorod energetikasi bilan integratsiya qilishning asosiy g‘oyasi shamol qurilmasida ishlab chiqarilgan elektr energiyasining bir qismini suv

elektroliziga yo‘naltirishdan iborat. Elektroliz jarayonida elektr energiyasi yordamida suv vodorod va kislorodga ajratiladi.

Umumiy elektroliz reaksiyasi quyidagicha ifodalanadi:

$$2H_2O \rightarrow 2H_2 + O_2$$

Jarayon natijasida hosil bo‘lgan vodorod maxsus saqlash tizimida to‘planadi. Keyinchalik elektr energiyasiga ehtiyoj paydo bo‘lganda vodorod yoqilg‘i elementi yoki boshqa mos energiya qurilmasida qayta ishlatilishi mumkin.

Bunday tizimda shamol qurilmasi, quvvat elektronikasiga ega boshqaruv bloki, elektrolizyor, vodorod saqlash moduli va qayta elektr energiyasi ishlab chiqaruvchi qurilma o‘zaro bog‘langan holda ishlaydi.

Mazkur integratsiyaning muhim afzalligi energiyani uzoqroq vaqt davomida saqlash imkoniyatidir. Batareyalarga nisbatan vodorod katta miqdordagi energiyani uzoq muddat saqlash uchun boshqa texnik imkoniyatlarni taqdim etadi. Biroq vodorodni ishlab chiqarish, siqish, saqlash va qayta elektr energiyasiga aylantirish bosqichlarida energiya yo‘qotishlari mavjudligini hisobga olish kerak.

YASHIL VODOROD ISHLAB CHIQARISH

Yashil vodorod ishlab chiqarishning asosiy sharti elektroliz jarayoni uchun qayta tiklanuvchi elektr energiyasidan foydalanishdir. Vertikal o‘qli shamol qurilmasi ushbu elektr energiyasini ta’minlovchi manba sifatida ishlatilishi mumkin.

Shamol kuchli bo‘lgan paytda ishlab chiqarilgan elektr energiyasining iste’moldan ortiq qismi elektrolizyorni ishga tushirish uchun yo‘naltiriladi. Natijada ortiqcha elektr energiyasi bevosita yo‘qotilib ketmaydi, balki kimyoviy energiya shaklida vodorod tarkibida saqlanadi.

Shamol tezligi pasaygan vaqtda esa vodoroddan foydalanib, qo‘shimcha elektr energiyasi ishlab chiqarish mumkin. Shu tarzda shamol turbinasining o‘zgaruvchan ishlab chiqarish xarakteri qisman yumshatiladi.

Bu yondashuv ayniqsa elektr tarmog‘idan uzoq joylashgan kichik energetik obyektlar uchun muhim bo‘lishi mumkin. Bunday hududlarda shamol qurilmasi va

vodorod tizimining birgalikdagi ishlashi mahalliy energiya manbasini shakllantirish imkonini beradi.

ENERGIYA OQIMLARINI BOSHQARISH

Integratsiyalashgan shamol-vodorod tizimining samaradorligi energiya oqimlarini to‘g‘ri boshqarishga bevosita bog‘liq. Tizimda ishlab chiqarilgan elektr energiyasi bir vaqtning o‘zida bir nechta yo‘nalishga taqsimlanishi mumkin: to‘g‘ridan-to‘g‘ri iste’mol, akkumulyatorga uzatish, elektrolizyorni ta’minlash yoki tarmoqqa uzatish.

Boshqaruv tizimi shamol tezligi, rotor aylanish tezligi, generator quvvati, elektr yuklamasi, elektrolizyorning ish holati va vodorod zaxirasini nazorat qilishi kerak. Ushbu parametrlar asosida elektr energiyasining optimal taqsimoti aniqlanadi.

Masalan, shamol tezligi yuqori va elektr energiyasiga talab past bo‘lgan vaqtda ortiqcha quvvat elektrolizyor tomon yo‘naltirilishi mumkin. Shamol tezligi pasayganda esa iste’molchilarni ta’minlash uchun vodoroddan qayta foydalanish imkoniyati paydo bo‘ladi.

Bunday boshqaruv strategiyasi shamol qurilmasining foydali ishlash vaqtini oshiradi va ortiqcha ishlab chiqariladigan energiyadan foydalanish darajasini yaxshilaydi.

VODORODNI SAQLASH VA QAYTA ENERGIYAGA AYLANTIRISH

Elektroliz orqali olingan vodorodni xavfsiz va samarali saqlash integratsiyalashgan tizimning muhim qismlaridan biridir. Vodorod gaz holatida siqilgan holda yoki boshqa maxsus saqlash texnologiyalari yordamida saqlanishi mumkin.

Saqlash tizimini tanlashda bosim, harorat, hajm, xavfsizlik va ekspluatatsiya xarajatlari hisobga olinadi. Kichik quvvatli shamol-vodorod tizimlarida saqlash hajmi ishlab chiqarish va iste’mol o‘rtasidagi muvozanatga mos ravishda aniqlanishi kerak.

Vodoroddan qayta elektr energiyasi olishda yoqilg‘i elementlaridan foydalanish mumkin. Yoqilg‘i elementida vodorod va havodagi kislorod o‘rtasidagi elektrokimyoviy reaksiya natijasida elektr energiyasi va issiqlik hosil bo‘ladi. Bu esa tizimning qo‘shimcha issiqlik energiyasidan foydalanish imkoniyatini ham yaratadi.

Shunday qilib, vertikal o‘qli shamol qurilmasi, elektrolizyor, vodorod saqlash qurilmasi va yoqilg‘i elementi birgalikda energiyani ishlab chiqarish, saqlash va qayta foydalanishning yopiq tizimiga yaqinlashadi.

SAMARADORLIKNI OSHIRISHNING TEXNIK YO‘NALISHLARI

Vertikal o‘qli shamol qurilmasini vodorod energetikasi bilan integratsiya qilishda birinchi navbatda rotor samaradorligini oshirish zarur. Aerodinamik jihatdan takomillashtirilgan parraklar shamol energiyasidan ko‘proq mexanik energiya olish imkonini beradi.

Ikkinchi muhim yo‘nalish generator va elektrolizyorning quvvatlarini moslashtirishdir. Elektrolizyorning quvvati turbina ishlab chiqarish imkoniyatidan haddan tashqari katta bo‘lsa, undan to‘liq foydalanish qiyinlashadi. Aksincha, juda kichik elektrolizyor shamol kuchli bo‘lgan davrda mavjud ortiqcha energiyaning bir qismini o‘zlashtira oladi.

Uchinchi yo‘nalish — quvvat elektronikasini takomillashtirishdir. O‘zgaruvchan shamol sharoitida kuchlanish va chastotaning o‘zgarishi elektrolizyorning barqaror ishlashiga ta’sir qilishi mumkin. Shu sababli stabilizatsiya va boshqaruv vositalaridan foydalanish talab etiladi.

To‘rtinchi yo‘nalish — energiyani boshqarish algoritmlarini optimallashtirishdir. Tizim qachon elektr energiyasini bevosita iste’molchiga berish, qachon vodorod ishlab chiqarish va qachon saqlangan vodoroddan foydalanishni avtomatik aniqlashi mumkin.

Bundan tashqari, shamol qurilmasining konstruktiv ishonchliligi, vibratsiya darajasi, podshipniklarning mexanik yo‘qotishlari va generatorning issiqlik rejimini optimallashtirish ham umumiy samaradorlikka ijobiy ta’sir ko‘rsatadi.

ENERGETIK SAMARADORLIKNI BAHOLASH

Integratsiyalashgan tizim samaradorligini baholashda faqat shamol turbinasining quvvat koeffitsiyenti bilan cheklanib qolish yetarli emas. Tizimning umumiy samaradorligida elektrolizyor, vodorod saqlash, siqish va qayta elektr energiyasiga aylantirish bosqichlaridagi yo‘qotishlar ham hisobga olinishi lozim.

Shamol qurilmasining quvvat koeffitsiyenti:

$C_p = P_t/Pw$

ko‘rinishida aniqlanadi.

Bu yerda P_t — turbina tomonidan olinayotgan foydali mexanik quvvat, Pw — shamol oqimining mavjud quvvati.

Integratsiyalashgan tizimda esa energiya zanjiri shamol → rotor → generator → elektrolizyor → vodorod saqlash → yoqilg‘i elementi → elektr iste’molchisi ko‘rinishida shakllanadi.

Har bir bosqichdagi foydali ish koeffitsiyenti umumiy natijaga ta’sir qiladi. Shuning uchun tizimni loyihalashda alohida komponentlarning yuqori samaradorligi bilan birga, ularning o‘zaro mos ishlashi ham ta’minlanishi kerak.

NATIJALAR VA MUHOKAMA

Tahlil shuni ko‘rsatadiki, vertikal o‘qli shamol qurilmasining vodorod energetikasi bilan integratsiyasi shamol energiyasining o‘zgaruvchanligini boshqarishda samarali texnik yondashuvlardan biri bo‘lishi mumkin. Shamol kuchli bo‘lgan davrda ortiqcha elektr energiyasini vodorod shaklida saqlash, shamol zaiflashganda esa undan qayta foydalanish energiya ta’minotining barqarorligini oshirishga yordam beradi.

Biroq tizimni yaratishda energiyaning bir necha marta o‘zgarishi bilan bog‘liq yo‘qotishlarni hisobga olish zarur. Shamol energiyasini elektr energiyasiga, elektr

energiyasini vodorodga va vodorodni yana elektr energiyasiga aylantirish natijasida boshlang‘ich energiyaning ma’lum qismi yo‘qotiladi. Shu sababli vodorod tizimi har doim ham qisqa muddatli energiya saqlash uchun eng maqbul yechim bo‘lavermaydi.

Vodorodning asosiy afzalligi uzoq muddatli va katta hajmdagi energiyani saqlash imkoniyati bilan bog‘liq. Shuningdek, vodorod nafaqat elektr energiyasini qayta ishlab chiqarish, balki transport, sanoat va issiqlik ta’minoti kabi boshqa sohalarda ham qo‘llanishi mumkin.

Vertikal o‘qli shamol qurilmalari bilan bunday tizimni birlashtirish kichik energetik komplekslarni yaratish uchun istiqbolli hisoblanadi. Ayniqsa, shamol resurslari mavjud bo‘lgan va markazlashgan elektr tarmog‘iga ulanish imkoniyati cheklangan hududlarda texnologiyaning amaliy ahamiyati oshadi.

Vodorod ishlab chiqarish jarayonining iqtisodiy samaradorligi esa elektrolizyor narxi, elektr energiyasining tannarxi, saqlash tizimi, texnik xizmat ko‘rsatish va vodoroddan foydalanish qiymatiga bog‘liq bo‘ladi. Shu sababli kelgusidagi tadqiqotlarda texnik ko‘rsatkichlar bilan bir qatorda iqtisodiy va ekologik samaradorlikni ham kompleks baholash maqsadga muvofiq.

XULOSA

Vertikal o‘qli shamol qurilmasining samaradorligini oshirishda vodorod energiyasini integratsiya qilish qayta tiklanuvchi energetika tizimlarini rivojlantirishning istiqbolli yo‘nalishlaridan biridir. Bunday tizim shamolning o‘zgaruvchan energiyasini elektr energiyasidan vodorod shaklidagi kimyoviy energiyaga aylantirish orqali saqlash imkonini beradi.

Tadqiqot natijalariga ko‘ra, vertikal o‘qli shamol qurilmasi, elektrolizyor, vodorod saqlash tizimi va yoqilg‘i elementini yagona boshqaruv tizimiga birlashtirish energetik barqarorlikni oshirishga xizmat qilishi mumkin. Ayniqsa, shamol energiyasi ortiqcha ishlab chiqariladigan davrlarda vodorod ishlab chiqarish energiya yo‘qotishlarini kamaytirishga yordam beradi.

Tizim samaradorligini oshirish uchun rotorning aerodinamik parametrlarini optimallashtirish, generator va elektrolizyor quvvatlarini moslashtirish, zamonaviy quvvat elektronikasidan foydalanish hamda avtomatik energiya boshqaruv algoritmlarini joriy etish muhimdir.

Vodorod energetikasining yana bir muhim afzalligi shundaki, ishlab chiqarilgan vodorod faqat elektr energiyasini qayta olish uchun emas, balki transport, sanoat va issiqlik energetikasida ham ishlatilishi mumkin. Shu jihatdan shamol-vodorod integratsiyasi kelajakdagi ko‘p funksiyali qayta tiklanuvchi energetika tizimlarining tarkibiy qismiga aylanishi mumkin.

Umuman olganda, vertikal o‘qli shamol qurilmasi va vodorod energetikasining integratsiyasi energiya ishlab chiqarish, saqlash va iste’mol jarayonlarini yagona tizimda boshqarish imkonini beradi. Mazkur texnologiyaning amaliy samaradorligini oshirish uchun kelgusida real shamol sharoitlari asosida tajribaviy sinovlar, texnik-iqtisodiy hisob-kitoblar va raqamli modellashtirish ishlarini kengaytirish zarur.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Manwell J.F., McGowan J.G., Rogers A.L. Wind Energy Explained: Theory, Design and Application. Wiley.
2. Burton T., Jenkins N., Sharpe D., Bossanyi E. Wind Energy Handbook. Wiley.
3. Hau E. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics. Springer.
4. Paraschivoiu I. Wind Turbine Design: With Emphasis on Darrieus Concept. Polytechnic International Press.
5. Dawood F., Anda M., Shafiullah G.M. Hydrogen production for energy: An overview. International Journal of Hydrogen Energy.
6. International Renewable Energy Agency. Green Hydrogen Cost Reduction: Scaling up Electrolysers to Meet the 1.5°C Climate Goal.
7. International Energy Agency. Global Hydrogen Review.

8. Carmo M., et al. A comprehensive review on PEM water electrolysis. International Journal of Hydrogen Energy.