VODOROD ENERGIYASIDAN FOYDALANISH ORQALI ENERGIYA TEJASH: ZAMONAVIY HOLAT VA ISTIQBOLLAR

To‘rayev S.D.
Buxoro davlat texnika universiteti “Elektr va energetika muhandisligi” kafedrasi katta o‘qituvchisi.
Shoboyev R. V.
AKSA ENERJI BUKHARA xorijiy korxonasi Boshqaruv pult operatori

Tayanch so‘zlar: vodorod, yashil vodorod, elektroliz, yoqilg‘i xujayrasi, ammiak, tabiiy gaz, energiya samaradorligi, dekarbonizatsiya.

Maqolada vodorodning energiya tashuvchi sifatidagi xususiyatlari, ishlab chiqarish usullari va ularning tannarxi, qo‘llanish sohalari hamda 2024–2025 yillardagi xalqaro ma’lumotlar asosida dunyo va O‘zbekistondagi holat yoritilgan. Vodorod energiya manbai emas, balki energiya tashuvchi ekani, uning energiya tejashdagi roli esa asosan organik yoqilg‘ini siqib chiqarish va chiqindilarni kamaytirish orqali namoyon bo‘lishi ko‘rsatilgan.

KirishQayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan bir qatorda, so‘nggi yillarda energetikada vodorodga e’tibor kuchaymoqda. Neft va gaz bozoridagi beqarorlik, iqlim o‘zgarishiga qarshi kurash majburiyatlari va qayta tiklanuvchi elektr energiyasining arzonlashuvi ko‘plab mamlakatlarni vodorod strategiyalarini qabul qilishga undadi. Shu bilan birga vodorod haqida ko‘pincha noto‘g‘ri tasavvurlar uchraydi: u tabiatda erkin holda deyarli uchramaydi, shuning uchun uni suv, tabiiy gaz yoki ko‘mir kabi xomashyodan olish uchun energiya sarflanadi. Demak, vodorod «bepul energiya» emas, balki energiyani to‘plash, tashish va turli sohalarda ishlatish imkonini beruvchi energiya tashuvchidir.

Vodorodning energetik xususiyatlari. Vodorodning massa birligiga to‘g‘ri keladigan quyi yonish issiqligi taxminan 120 MJ/kg bo‘lib, benzinnikidan (taxminan 44 MJ/kg) qariyb 2,7 baravar yuqori. Biroq normal sharoitda uning hajmiy zichligi juda past, shuning uchun amalda uni 350–700 bar bosimgacha siqib yoki −253 °C

gacha sovitib suyultirib saqlashga to‘g‘ri keladi, bu esa qo‘shimcha energiya sarfi va xarajat talab qiladi. Vodorod yonganda yoki yoqilg‘i xujayrasida kislorod bilan birikkanda faqat suv hosil bo‘ladi, ya’ni foydalanish joyida zararli gazlar chiqarilmaydi. Quvurlar orqali tashish mumkin, ammo mavjud gaz quvurlarini moslashtirish yoki yangi quvur qurish zarur, shu sababli uzatish tannarxi masofa va hajmga kuchli bog‘liq.

Ishlab chiqarish usullari va tannarxi. Xalqaro energetika agentligi (IEA) ma’lumotlariga ko‘ra, 2024-yilda dunyoda vodorodga talab 100 mln tonnaga yaqin bo‘lib, 2023-yilga nisbatan taxminan 2 % ga oshgan. Bu hajmning 99 % dan ortig‘i tabiiy gaz (taxminan 290 mlrd m^3) va ko‘mir (taxminan 90 mln t shartli yoqilg‘i) hisobiga olingan, kam emissiyali vodorod ulushi esa 1 % dan kam bo‘lgan [1]. Ya’ni bugungi vodorodning katta qismi organik yoqilg‘idan olinadi va u o‘zi ham CO_2 chiqindisi manbai hisoblanadi. Ishlab chiqarish usullari quyidagi jadvalda keltirilgan.

Vodorod ishlab chiqarishning asosiy usullari

1-jadval.

Usul	Xomashyo va jarayon	Xususiyati
«Kulrang» vodorod	Tabiiy gazni bug‘li konversiyalash (SMR), ko‘mirni gazlashtirish	Hozirgi ishlab chiqarishning asosiy qismi; CO_2 atmosferaga chiqariladi
«Ko‘k» vodorod	SMR yoki gazlashtirish + CO_2 ni tutib qolish va saqlash (CCUS)	Emissiya kamayadi, tannarx oshadi
«Yashil» vodorod	Qayta tiklanuvchi elektr energiyasi bilan suvni elektroliz qilish	Deyarli emissiyasiz; tannarx elektr energiyasi narxiga kuchli bog‘liq

Tannarx masalasida baholar mintaqa va yillarga qarab keskin farq qiladi. Frieden va Lekerning 2024-yildagi tahliliga ko‘ra, elektroliz yo‘li bilan olingan vodorod tannarxi 2020-yilda taxminan 5,3 EUR/kg ni tashkil etgan va 2030-yilga kelib 4,4 EUR/kg, 2050-yilga kelib 2,7 EUR/kg gacha pasayishi taxmin qilinadi; tabiiy gazga asoslangan vodorod tannarxi esa global miqyosda deyarli o‘zgarmay qolmoqda [3]. IRENA hisob-kitoblariga ko‘ra, elektr energiyasi narxi 20 USD/MWh va undan past bo‘lgan hududlarda yashil vodorod tannarxi kelgusi 5–10 yilda 2,5

USD/kg dan past bo‘lishi, elektrolizyorlar keng joriy etilgan holatda esa 2040-yilgacha 1 USD/kg ga yaqinlashishi mumkin [2]. Shunday qilib, yashil vodorodning kulrang vodorodga nisbatan qimmatligi hozircha asosiy to‘siq bo‘lib qolmoqda, IEA ham 2030-yilgacha bu farq, ayniqsa Xitoy va Yevropada, qisqarishini kutmoqda [1].

Kam emissiyali vodorod ishlab chiqarish hajmi hali kichik: IEA ma’lumotlariga ko‘ra, 2024-yilda u umumiy hajmning 1 % idan kam bo‘lgan, ammo bir yilda 10 % ga o‘sgan. Yakuniy investitsiya qarori qabul qilingan loyihalar 2030-yilga borib yiliga 4,2 mln tonna kam emissiyali vodorod beradi, bu 2024-yil darajasidan taxminan besh barobar ko‘p, lekin global ishlab chiqarishning atigi 4 % ga yaqinini tashkil etadi. Suv elektrolizi quvvati 2024-yilda 2 GW ga yetgan, o‘rnatilgan va rejalashtirilgan quvvatning taxminan 65 % i Xitoy hissasiga to‘g‘ri keladi [1].

Qo‘llanish sohalari. Hozirgi paytda vodorodning asosiy iste’molchilari neftni qayta ishlash va kimyo sanoati, birinchi navbatda ammiak va azotli o‘g‘itlar hamda metanol ishlab chiqarishdir; IEA ma’lumotlariga ko‘ra, tuzilgan majburiy xarid kelishuvlarining taxminan 80 % i aynan shu sohalarga to‘g‘ri keladi [1]. Kelajakda ko‘mir o‘rniga vodoroddan foydalanuvchi metallurgiya, kemachilik, aviatsiya va elektr energiyasi ishlab chiqarishda qo‘llanish istiqboli ko‘rilmoqda. Qishloq xo‘jaligi uchun ayniqsa ahamiyatlisi shuki, ammiak va azotli o‘g‘itlarni yashil vodorod asosida ishlab chiqarish ushbu sohaning tabiiy gazga bog‘liqligini va uglerod izini kamaytiradi.

Transport sohasida vodorodli yoqilg‘i xujayrasi bilan ishlaydigan avtomobillar, avtobuslar va yuk mashinalari yaratilgan; xujayra vodorodni elektr energiyasiga aylantirib, elektrodvigatelni harakatga keltiradi. Biroq yengil avtomobillar bozori kutilganidan sekin rivojlanmoqda: global vodorodli avtomobillar sotuvi 2024-yilda ketma-ket ikkinchi yil 20 % dan ko‘proq pasaygan, Xitoyda tijorat transporti sotuvi esa dunyoning qolgan barcha bozorlari yig‘indisidan oshib ketgan [6]. Buning sabablari — yoqilg‘i quyish infratuzilmasining yetishmasligi, vodorod narxining yuqoriligi va akkumulyatorli elektromobillar bilan

raqobatdir. Shu bois vodorodning yaqin istiqboldagi eng maqbul o‘rni og‘ir yuk tashish, jamoat transporti va elektrlashtirish qiyin bo‘lgan sanoat jarayonlari deb hisoblanmoqda.

O‘zbekistondagi holat. O‘zbekistonda tabiiy gaz umumiy energiya ta’minotining 82 %, elektr energiyasi ishlab chiqarishning 88 % ini tashkil etadi, qayta tiklanuvchi energiya salohiyati esa asosan quyosh energiyasiga to‘g‘ri keladi [4]. Bu mamlakat uchun yashil vodorodning ham energetik xavfsizlik, ham ekologik jihatdan ahamiyatini oshiradi. Qashqadaryo viloyatidagi GTL majmuasida vodorod tabiiy gazni bug‘li konversiyalash orqali ishlab chiqariladi [4]. 2023-yil may oyida ACWA Power kompaniyasi bilan yashil vodorod bo‘yicha kelishuvlar imzolandi, 2023-yil 29-noyabrda esa loyiha qurilishi tantanali boshlandi; loyihaning birinchi bosqichi yiliga 3 ming tonna yashil vodorod (ammiak ko‘rinishida) ishlab chiqarishni nazarda tutadi, kengaytirilganda esa ancha yuqori hajmlar rejalashtirilgan [5, 8]. Shuningdek, vodorod energetikasini rivojlantirish bo‘yicha Prezident qarori bilan Qayta tiklanuvchi energiya manbalari milliy ilmiy-tadqiqot instituti, vodorod bo‘yicha tadqiqot markazi va sinov laboratoriyasi tashkil etilishi belgilangan [7]. Tadqiqotchilar mavjud gaz-avtomobil parkida tabiiy gaz bilan aralashtirilgan vodoroddan (HCNG), og‘ir transportda va elektrlashtirilmagan temir yo‘l tarmoqlarida toza vodoroddan foydalanish yo‘nalishlarini ham ko‘rib chiqmoqdalar [4].

Xulosa

Vodorod energiya tejash va dekarbonizatsiya vositasi sifatida katta istiqbolga ega, lekin uning samarasi ishlab chiqarish usuliga bog‘liq: kulrang vodorod energiya tejamaydi va emissiyani kamaytirmaydi, yashil vodorod esa qayta tiklanuvchi energiya arzon bo‘lgan hududlarda raqobatbardosh bo‘lishi mumkin. Elektr energiyasini vodorodga aylantirish va qayta ishlatishda yo‘qotishlar bo‘lgani uchun, elektr energiyasini bevosita ishlatish mumkin bo‘lgan joyda vodorodni qo‘llash maqsadga muvofiq emas; uning o‘rni — kimyo sanoati, o‘g‘it ishlab chiqarish, og‘ir transport va uzoq muddatli energiya saqlash. O‘zbekiston uchun, ayniqsa qishloq

xo‘jaligi uchun azotli o‘g‘itlar ishlab chiqarishda yashil vodorod eng real yo‘nalish bo‘lib ko‘rinadi.

Adabiyotlar ro‘yxati:

1. IEA. Global Hydrogen Review 2025. Paris: International Energy Agency, 2025. https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2025

2. IRENA. Green hydrogen cost reduction: Scaling up electrolysers to meet the 1.5 °C climate goal. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, 2020. https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen/Electrolyser-costs

3. Frieden F., Leker J. Future costs of hydrogen: a quantitative review // Sustainable Energy & Fuels. 2024. https://pubs.rsc.org/en/content/articlehtml/2024/se/d4se00137k

4. Yakhshilikov J., Cavana M., Leone P. A Review of the Energy System and Transport Sector in Uzbekistan in View of Future Hydrogen Uptake // Energies. 2024. Vol. 17, No. 16, 3987. https://www.mdpi.com/1996-1073/17/16/3987

5. ACWA Power breaks ground on green hydrogen project in Uzbekistan. ACWA Power, 2023. https://acwapower.com/en/media-center/latest-news/acwa-power-breaks-ground-on-green-hydrogen-project-in-uzbekistan/

6. Global hydrogen vehicle sales fell by more than 20% for second year in a row in 2024 // Hydrogen Insight. https://www.hydrogeninsight.com/transport/global-hydrogen-vehicle-sales-fell-by-more-than-20-for-second-year-in-a-row-in-2024/2-1-1778041

7. Presidential decree formalises Uzbekistan hydrogen energy strategy // Power Engineering International.https://www.powerengineeringint.com/hydrogen/presidential-decree-formalises uzbekistan-hydrogen-energy-strategy/

8. Saudi Arabia group supports renewables, hydrogen projects in Uzbekistan // POWER Magazine. https://www.powermag.com/saudi-arabia-group-supports-renewables-hydrogen-projects-in-uzbekistan/