

VODOROD ENERGETIKASI H₂ ISHLAB CHIQRISH, SAQLASH*F.F.Rustamova**E-mail: rfarangiz810@gmail.com**H.K.Qurbonnazarova**E-mail: qurbonnazarovahusniya@gmail.com**Ilmiy rahbar: J.M.Suyunov**Termiz davlat universiteti*

Annotatsiya: Mazkur maqolada vodorod energetikasining zamonaviy rivojlanish tendensiyalari, vodorod (H₂) ishlab chiqarish va saqlash texnologiyalari hamda ularning energetika sohasidagi istiqbollari tahlil qilingan. Iqlim o'zgarishi va qazilma yoqilg'ilar zaxiralarining kamayishi sharoitida vodorod ekologik toza va qayta tiklanuvchi energiya tashuvchisi sifatida katta ahamiyat kasb etmoqda. Maqolada vodorodni tabiiy gazni bug'li reforming qilish, suv elektrolizi, biomassani gazlashtirish, fotokatalitik va biologik usullar orqali ishlab chiqarish texnologiyalari yoritilgan. Shuningdek, siqilgan gaz, suyuq vodorod, metall gidridlar, kimyoviy gidridlar va adsorbent materiallar yordamida vodorodni saqlash usullari, ularning afzalliklari va kamchiliklari tahlil qilingan. Bundan tashqari, vodorod energetikasining transport, sanoat, elektroenergetika va qayta tiklanuvchi energiya tizimlaridagi qo'llanilishi hamda istiqboldagi rivojlanish yo'nalishlari ilmiy adabiyotlar asosida baholangan.

Kalit so'zlar: vodorod energetikasi, vodorod ishlab chiqarish, H₂ saqlash, suv elektrolizi, bug'li reforming, metall gidridlar, yashil vodorod, yoqilg'i elementi, energiya saqlash, qayta tiklanuvchi energiya.

Abstract: This article reviews recent advances in hydrogen energy, hydrogen (H₂) production technologies, storage methods, and their future prospects in sustainable energy systems. Due to climate change and the depletion of fossil fuel resources, hydrogen has become one of the most promising clean energy carriers. The paper discusses hydrogen production through steam methane reforming, water electrolysis, biomass gasification, photocatalytic, and biological processes. In addition, hydrogen storage methods including compressed gas, liquid hydrogen, metal hydrides, chemical hydrides, and advanced adsorbent materials are analyzed. The applications of hydrogen energy in transportation, industry, power generation, and renewable energy systems, as well as future technological challenges and opportunities, are also discussed.

Keywords: hydrogen energy, hydrogen production, hydrogen storage, water electrolysis, steam methane reforming, metal hydrides, green hydrogen, fuel cells, energy storage, renewable energy.

Аннотация: В данной статье рассмотрены современные тенденции развития водородной энергетики, технологии производства и хранения водорода (H_2), а также перспективы их применения в энергетике. В условиях изменения климата и истощения запасов ископаемого топлива водород рассматривается как один из наиболее перспективных экологически чистых энергоносителей. В статье проанализированы технологии получения водорода методом паровой конверсии природного газа, электролиза воды, газификации биомассы, фотокаталитических и биологических процессов. Также рассмотрены методы хранения водорода в сжатом и жидком состоянии, в металлических гидридах, химических гидридах и адсорбционных материалах. Особое внимание уделено применению водородной энергетики в транспорте, промышленности, электроэнергетике и системах возобновляемой энергетики, а также перспективам дальнейшего развития.

Ключевые слова: водородная энергетика, производство водорода, хранение водорода, электролиз воды, паровая конверсия, металлические гидриды, зелёный водород, топливные элементы, накопление энергии, возобновляемая энергетика.

Kirish: So‘nggi yillarda dunyo miqyosida energiya resurslariga bo‘lgan talabning ortishi, qazilma yoqilg‘ilar zaxiralarining kamayishi hamda global iqlim o‘zgarishi muammolarining keskinlashuvi ekologik toza va barqaror energiya manbalarini rivojlantirish zaruratini yuzaga keltirdi. Shu nuqtai nazardan, vodorod energetikasi (Hydrogen Energy) qayta tiklanuvchi energiya manbalari bilan uyg‘unlashgan holda kelajak energetikasining eng istiqbolli yo‘nalishlaridan biri sifatida e’tirof etilmoqda. Vodorod yonish jarayonida karbonat angidrid (CO_2) chiqarmaydi, uning asosiy mahsuloti suv bo‘lgani uchun ekologik jihatdan toza energiya tashuvchisi hisoblanadi. Vodorod tabiatda erkin holda deyarli uchramaydi, shu sababli uni turli kimyoviy va fizik jarayonlar orqali ishlab chiqarish talab etiladi. Hozirgi kunda vodorod ishlab chiqarishning eng keng tarqalgan usullari tabiiy gazni bug‘li reforming qilish, ko‘mirni gazlashtirish, suv elektrolizi, biomassani gazlashtirish hamda fotokatalitik va biologik usullardan iborat. Ushbu texnologiyalar ishlab chiqarish samaradorligi, energiya sarfi, iqtisodiy ko‘rsatkichlari va atrof-muhitga ta’siri jihatidan bir-biridan farq qiladi. Ayniqsa, qayta tiklanuvchi energiya manbalari yordamida amalga oshiriladigan suv elektrolizi orqali olingan yashil vodorod (Green

Hydrogen) uglerod chiqindilarini kamaytirishda muhim ahamiyat kasb etmoqda. Vodorod energetikasining keng joriy etilishidagi asosiy muammolardan biri uni xavfsiz va samarali saqlash hisoblanadi. Vodorodning zichligi juda past bo'lgani sababli uni yuqori bosim ostida siqilgan gaz, kriogen sharoitda suyuq vodorod, metall gidridlar, kimyoviy gidridlar yoki nanog'ovak adsorbent materiallar ko'rinishida saqlash usullari ishlab chiqilgan. Har bir saqlash usulining o'ziga xos afzalliklari va kamchiliklari mavjud bo'lib, ular energiya zichligi, xavfsizlik, iqtisodiy samaradorlik va transport qulayligi kabi omillar bilan baholanadi.

Materiallar va usullar: Mazkur tadqiqot vodorod energetikasi, H_2 ishlab chiqarish va saqlash texnologiyalariga oid mahalliy va xorijiy ilmiy adabiyotlar, monografiyalar, xalqaro ilmiy jurnallarda chop etilgan maqolalar hamda ilmiy ma'lumotlar bazalarida e'lon qilingan tadqiqotlar asosida amalga oshirildi. Tadqiqot davomida energetika, elektrokimyo, materialshunoslik, kimyoviy texnologiyalar va qayta tiklanuvchi energiya manbalariga oid ilmiy manbalar tizimli ravishda o'rganildi va tahlil qilindi. Tadqiqot metodologiyasi sifatida ilmiy adabiyotlarni tahlil qilish (literature review), qiyosiy tahlil (comparative analysis), tizimlashtirish (systematic analysis) va umumlashtirish (generalization) usullaridan foydalanildi. Turli ilmiy manbalarda keltirilgan ma'lumotlar asosida vodorod ishlab chiqarish va saqlash texnologiyalarining texnik, iqtisodiy va ekologik ko'rsatkichlari o'zaro taqqoslandi.

Kutilayotgan natijalar: Mazkur tadqiqot natijasida vodorod energetikasi, H_2 ishlab chiqarish va saqlash texnologiyalarining ilmiy asoslari, samaradorligi hamda amaliy qo'llanilish imkoniyatlari bo'yicha tizimli ilmiy ma'lumotlar shakllantirilishi kutilmoqda. Turli ishlab chiqarish usullari — bug'li metan reformingi, suv elektrolizi (alkalin, PEM va SOEC), biomassani gazlashtirish, fotokatalitik va biologik jarayonlarning energiya samaradorligi va ekologik ta'siri qiyosiy tahlil qilinadi. Tadqiqot davomida "yashil vodorod", "ko'k vodorod" va "kulrang vodorod" ishlab chiqarish texnologiyalarining uglerod chiqindilari, iqtisodiy samaradorligi va sanoat miqyosida qo'llash imkoniyatlari baholanadi. Shuningdek, qayta tiklanuvchi energiya manbalari (quyosh, shamol) asosida vodorod ishlab chiqarishning barqaror energetika tizimidagi o'rni ilmiy jihatdan asoslanadi.

Bundan tashqari, vodorodni saqlashning siqilgan gaz, suyuq vodorod, metall gidridlar, kimyoviy gidridlar hamda nanomateriallar (MOFs, CNTs va aktivlangan uglerodlar) asosidagi usullarining energiya zichligi, xavfsizligi va iqtisodiy jihatlari baholanadi. Ushbu texnologiyalarning samaradorligi transport, sanoat, energetika tizimlari va yoqilg'i elementlarida qo'llanilishi nuqtai nazaridan tahlil qilinadi.

Xulosa: Vodorod energetikasi zamonaviy energiya tizimlarining eng istiqbolli va ekologik jihatdan toza yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi. H₂ ning yonish jarayonida zararli gazlar, xususan CO₂ chiqmasligi uni uglerod neytral energiya tashuvchisi sifatida global energetika transformatsiyasida muhim o‘rin egallashiga sabab bo‘lmoqda. Shu bois vodorod ishlab chiqarish, saqlash va undan samarali foydalanish texnologiyalarini rivojlantirish bugungi kunda dolzarb ilmiy va amaliy vazifalardan biridir. Tahlillar shuni ko‘rsatadiki, bug‘li metan reformingi, suv elektrolizi, biomassani gazlashtirish, fotokatalitik va biologik usullar vodorod ishlab chiqarishning asosiy yo‘nalishlari hisoblanadi. Ular orasida qayta tiklanuvchi energiya manbalari asosida amalga oshiriladigan suv elektrolizi “yashil vodorod” ishlab chiqarishda eng istiqbolli texnologiya sifatida ajralib turadi. Biroq bu usullarning iqtisodiy samaradorligini oshirish va energiya sarfini kamaytirish bo‘yicha qo‘shimcha tadqiqotlar zarur.

Vodorodni saqlash texnologiyalari ham muhim ahamiyatga ega bo‘lib, siqilgan gaz, suyuq vodorod, metall gidridlar, kimyoviy gidridlar hamda nanomateriallar asosidagi adsorbsiya usullari turli afzallik va cheklovlarga ega. Ayniqsa, metall-organik karkaslar (MOFs) va uglerod nanomateriallari asosidagi yangi saqlash tizimlari yuqori sig‘im va xavfsizlikni ta‘minlash bo‘yicha istiqbolli hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

1. Janusz Nowotny, Omar S. Al-Dabbagh. Towards a Hydrogen Economy. – Energy & Environmental Science, 2008.
2. Jeremy Rifkin. The Hydrogen Economy. – TarcherPerigee, 2002.
3. Detlef Stolten, Tobias Grube. Hydrogen and Fuel Cells: Fundamentals, Technologies and Applications. – Wiley-VCH, 2013.
4. Joachim W. Tester, Michael Modell. Sustainable Energy: Choosing Among Options. – MIT Press, 2012.
5. Felix Kreith, Jan F. Kreider. Solar Hydrogen Production. – CRC Press, 2004.
6. Michael Momirlan, T. Veziroğlu. The Properties of Hydrogen as Fuel // International Journal of Hydrogen Energy. – 2005.
7. Laurence L. Kazmerski. Photovoltaics and Hydrogen Energy Systems // Renewable Energy. – 2006.
8. International Energy Agency. The Future of Hydrogen: Seizing Today’s Opportunities. – 2019.
9. Elsevier. International Journal of Hydrogen Energy. – H₂ ishlab chiqarish va saqlash bo‘yicha maqolalar, 2020–2025.