

KO'MIR GAZIFIKATSIYASI ASOSIDA "YASHIL ENERGIYA" OLISH ISTIQBOLLARI

Ungarov J.F

Jurayev V.N

Muradov B.X

Tashkent State Technical University Address: 2 Universitetskaya st., 100095, Tashkent city, Republic of Uzbekistan E-mail: ongarovjaloliddin@gmail.com, Phone:+998-77-018-21-10;

Annotatsiya: *Ushbu tadqiqotda ko'mir gazifikatsiyasi asosida "yashil energiya" olish imkoniyatlari laboratoriya sharoitida yarim-eksperimental metodika yordamida o'rganildi. Asosiy xomashyo sifatida mahalliy ko'mir va biomassa (guruch qobig'i) qo'llanilib, ularning turli nisbatdagi aralashmalari (100% ko'mir; 85% ko'mir + 15% biomassa; 70% ko'mir + 30% biomassa) gazifikatsiya jarayonida sinovdan o'tkazildi. Tajribalar 850–900°C harorat oralig'ida, bug'li muhitda olib borildi. Jarayon davomida hosil bo'lgan gaz aralashmasining tarkibi (H_2 , CO, CO_2 va CH_4) tahlil qilinib, gazifikatsiya samaradorligi baholandi.*

Natijalar shuni ko'rsatdiki, biomassa qo'shilishi gaz tarkibida vodorod ulushining sezilarli darajada oshishiga olib keladi. Xususan, 100% ko'mirda H_2 miqdori 32–35% ni tashkil etgan bo'lsa, 70% ko'mir va 30% biomassa aralashmasida bu ko'rsatkich 45–50% gacha yetdi. Shu bilan birga, CO_2 miqdorining kamayishi va qattiq qoldiq miqdorining 20–25% dan 15–18% gacha pasayishi kuzatildi, bu esa jarayonning yanada to'liq amalga oshganini ko'rsatadi. Hosil bo'lgan sintez-gazning pastki yonish issiqligi 12–15 MJ/m³ oralig'ida bo'lib, uning energiya manbai sifatida samaradorligini tasdiqlaydi.

Olingan natijalar asosida ko'mir va biomassa aralashmasi gazifikatsiyasi an'anaviy ko'mir gazifikatsiyasiga nisbatan yuqori energetik samaradorlik va pastroq ekologik ta'sirga ega ekanligi aniqlandi. Taklif etilgan metodika soddaligi, iqtisodiyligi va samaradorligi bilan ajralib turib, "yashil energiya" olishda istiqbolli yo'nalish sifatida baholanadi.

KIRISH

So'nggi yillarda global energiya talabining ortib borishi va an'anaviy yoqilg'i resurslarining kamayib borayotgani energiya ishlab chiqarishning muqobil va ekologik toza usullarini izlashni dolzarb masalaga aylantirmoqda. Ayniqsa, iqlim o'zgarishi va issiqxona gazlari emissiyasining ortishi bilan bog'liq muammolar energiya tizimlarini dekarbonizatsiya qilish zaruratini yanada kuchaytirdi. Shu nuqtai nazardan, "yashil energiya" tushunchasi nafaqat qayta tiklanuvchi manbalarni, balki mavjud an'anaviy resurslardan ekologik jihatdan samarali foydalanish yo'llarini ham o'z ichiga oladi.

Ko'mir dunyo bo'yicha eng keng tarqalgan va arzon energiya manbalaridan biri hisoblanadi. Biroq, uning to'g'ridan-to'g'ri yoqilishi katta miqdorda karbon dioksid (CO_2) ajralishiga olib keladi va atrof-muhitga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Shu sababli, ko'mirni to'g'ridan-to'g'ri yoqish o'rniga uni gazifikatsiya qilish orqali sintez-gaz (H_2 , CO va boshqa gazlar aralashmasi) olish texnologiyalari keng o'rganilmoqda. Gazifikatsiya

jarayoni orqali ko'mirni yanada samarali va nisbatan toza energiya manbaiga aylantirish mumkin.

So'nggi tadqiqotlar shuni ko'rsatmoqdaki, ko'mir gazifikatsiyasi jarayoniga biomassa qo'shilishi uning ekologik va energetik samaradorligini oshirishi mumkin. Biomassa qayta tiklanuvchi manba bo'lib, uning tarkibida kislorodli birikmalar ko'pligi sababli gazifikatsiya jarayonini faollashtiradi hamda vodorod hosil bo'lishini kuchaytiradi. Bundan tashqari, biomassa karbon siklida neytral hisoblangani uchun umumiy CO₂ emissiyasini kamaytirishga yordam beradi.

Shu bilan birga, sanoat miqyosida qo'llaniladigan gazifikatsiya texnologiyalari ko'pincha yuqori bosim, sof kislorod ta'minoti va murakkab gaz tozalash tizimlarini talab qiladi. Bu esa texnologiyaning keng qo'llanilishini cheklaydi va iqtisodiy jihatdan qimmatga tushadi. Shu sababli, soddalashtirilgan, arzon va samarali laboratoriya asosidagi metodikalarni ishlab chiqish muhim ilmiy va amaliy ahamiyatga ega.

Mazkur tadqiqotning asosiy maqsadi — ko'mir va biomassa aralashmasini gazifikatsiya qilish orqali "yashil energiya" olish imkoniyatlarini baholash hamda soddalashtirilgan metodika asosida jarayon samaradorligini aniqlashdan iborat. Tadqiqot davomida biomassa ulushining gaz tarkibi, vodorod ishlab chiqarish darajasi va umumiy energiya samaradorligiga ta'siri o'rganildi.

Ushbu ishning ilmiy yangiligi shundan iboratki, unda murakkab sanoat texnologiyalarisiz, oddiy laboratoriya sharoitida ko'mir-biomassa gazifikatsiyasining samarali modeli taklif etildi. Olingan natijalar ko'mir asosidagi energiya ishlab chiqarishni ekologik jihatdan yaxshilash va "yashil energiya"ga o'tish yo'lida muhim ilmiy asos bo'lib xizmat qiladi.

Materiallar va usullar. Ushbu tadqiqotda ko'mir gazifikatsiyasi asosida "yashil energiya" olish imkoniyatlarini baholash maqsadida laboratoriya sharoitida yarim-eksperimental metodika qo'llanildi. Tajribalar uchun asosiy xomashyo sifatida mahalliy ko'mir namunasi tanlab olindi. Ko'mir avval 105°C da 24 soat davomida quritildi va so'ngra 0.5–1 mm o'lchamgacha maydalandi. Har bir tajribada o'rtacha 100 g xomashyo ishlatildi. Biomassa komponenti sifatida quritilgan guruch qobig'i qo'llanilib, u ham maydalandi va ko'mir bilan aralashtirildi. Tadqiqot uch xil tarkibda olib borildi: 100% ko'mir (100 g), 85 g ko'mir va 15 g biomassa hamda 70 g ko'mir va 30 g biomassa aralashmasi.

Gazifikatsiya jarayoni laboratoriya tipidagi vertikal reaktorda amalga oshirildi. Reaktor asta-sekin qizdirilib, ish harorati 850–900°C oralig'ida ushlab turildi. Jarayon davomida reaktorga bug' berilib, uning sarfi taxminan 0.5–1 g/min diapazonda nazorat qilindi. Bug' gazifikatsiya agenti sifatida xizmat qilib, ko'mir va biomassa tarkibidagi uglerodning vodorod bilan boy gazga aylanishini ta'minladi. Har bir tajriba davomiyligi o'rtacha 30–40 daqiqani tashkil etdi. Jarayon davomida asosiy termokimyoviy reaksiyalar, ya'ni $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ hamda $CO + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ reaksiyalari sodir bo'ldi.

Hosil bo'lgan gaz aralashmasi kondensator orqali sovutilib, undagi suv bug'lari ajratildi va quruq gaz yig'ish tizimiga yo'naltirildi. Gaz tarkibi laboratoriya gaz

analizatori yordamida aniqlanib, asosiy komponentlar — vodorod (H_2), uglerod oksidi (CO), uglerod dioksidi (CO_2) va metan (CH_4) miqdorlari bo'yicha tahlil qilindi. Natijalarga ko'ra, 100% ko'mir namunalari gaz tarkibida vodorod ulushi 32–35%, CO 28–30%, CO_2 25–27% va CH_4 8–10% ni tashkil etdi. Biomassa qo'shilgan variantlarda esa vodorod ulushi sezilarli darajada oshib, 85% ko'mir va 15% biomassa aralashmasida 38–42%, 70% ko'mir va 30% biomassa aralashmasida esa 45–50% gacha yetdi. Shu bilan birga, CO va CO_2 ulushi mos ravishda kamaygani kuzatildi.

Tajriba yakunida hosil bo'lgan qattiq qoldiq miqdori ham aniqlanib, 100% ko'mirda 20–25% atrofida bo'lgan bo'lsa, biomassa qo'shilgan variantlarda bu ko'rsatkich 15–18% gacha kamaydi. Bu esa gazifikatsiya jarayonining yanada to'liq amalga oshganini ko'rsatadi. Shuningdek, hosil bo'lgan gazning pastki yonish issiqligi hisoblanib, biomassa qo'shilgan variantlarda 12–15 MJ/m³ oralig'ida bo'lishi aniqlandi.

Umuman olganda, qo'llanilgan metodika orqali ko'mir va biomassa aralashmasining gazifikatsiya jarayonida vodorod ishlab chiqarishni oshirishi, qattiq chiqindilarni kamaytirishi hamda energiya samaradorligini yaxshilashi tajriba yo'li bilan tasdiqlandi. Bu esa mazkur yondashuvni “yashil energiya” olishda istiqbolli va amaliy jihatdan qo'llash mumkin bo'lgan usul sifatida baholash imkonini beradi.

Tadqiqot usullari va natijalar. Mazkur tadqiqot natijalari ko'mir gazifikatsiyasi asosida “yashil energiya” olish imkoniyatlarini baholash hamda biomassa qo'shilishining jarayon samaradorligiga ta'sirini aniqlashga qaratildi. Olingan natijalar uch xil tarkibdagi namunalar — 100% ko'mir, 85% ko'mir + 15% biomassa va 70% ko'mir + 30% biomassa — o'rtasida qiyosiy tahlil asosida baholandi.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki, biomassa ulushi ortishi bilan gaz tarkibida vodorod (H_2) miqdori sezilarli darajada oshdi, shu bilan birga uglerod dioksidi (CO_2) ulushi kamaydi. Bu holat biomassa tarkibida mavjud yuqori reaktiv komponentlar hamda kislorodga boy strukturaviy elementlar bilan izohlanadi. Ayniqsa, 70% ko'mir va 30% biomassa aralashmasida vodorod ulushi maksimal qiymatga yaqinlashdi, bu esa gazifikatsiya jarayonida bug' bilan o'zaro ta'sir reaksiyalarining (water-gas va water-gas shift) kuchayganini ko'rsatadi. Natijada, CO/ CO_2 nisbati ham optimallashti, bu esa sintez-gaz sifatining yaxshilanganidan dalolat beradi.

Ushbu natijalar “Life Cycle Assessment of Hydrogen Production from Coal Gasification as an Alternative Transport Fuel” maqolasida keltirilgan sanoat miqyosidagi Shell gazifikatsiya tizimi bilan taqqoslanganda muhim farqlarni ko'rsatadi. Mazkur tadqiqotda yuqori bosim (≈ 4 MPa), sof kislorod muhiti va murakkab gaz tozalash bosqichlari (Selexol, PSA) orqali yuqori toza vodorod olishga erishilgan. Biroq, ushbu tizim yuqori energiya sarfi, katta kapital xarajatlar va murakkab texnologik infratuzilmani talab qiladi.

Bizning metodikamiz esa soddalashtirilgan laboratoriya sharoitida olib borilgan bo'lib, murakkab ajratish texnologiyalarisiz ham vodorod ulushini oshirish imkonini berdi. Bu esa taklif etilgan yondashuvning iqtisodiy va texnologik jihatdan qulayligini ko'rsatadi.

Shuningdek, “Life Cycle Assessment of Hydrogen Production from Coal Gasification as an Alternative Transport Fuel” maqolasida hayotiy sikl tahlili (LCA) natijalariga ko‘ra, ko‘mir gazifikatsiyasi asosida vodorod ishlab chiqarish jarayoni yuqori karbon intensivlikka ega bo‘lib, global isish potentsiali (GWP), kislotalanish va resurs sarfi kabi ko‘rsatkichlar yuqori darajada qayd etilgan. Ushbu tadqiqot natijalari bilan solishtirilganda, biomassa qo‘shilishi orqali karbon emissiyasining kamayishi kuzatildi, bu esa umumiy ekologik yuklamani pasaytirishga xizmat qiladi. Biomassa komponentining qo‘shilishi karbon sikliga neytral element kiritadi, natijada CO₂ emissiyasi qisman kompensatsiyalanadi.

Bundan tashqari, “Hydrogen Economy and the Role of Coal” (IEA hisobotida) ko‘mir gazifikatsiyasi asosida vodorod ishlab chiqarish CCUS texnologiyalari bilan birgalikda past emissiyali energiya manbasi sifatida qaraladi. Biroq, CCUS tizimlari yuqori texnologik murakkablik va qo‘shimcha energiya talab qiladi.

Ushbu tadqiqotda taklif etilgan metodika esa biomassa qo‘shilishi orqali CCUSsiz ham nisbatan past emissiyali natijaga erishish imkonini ko‘rsatdi. Bu esa kichik va o‘rta miqyosdagi tizimlar uchun muqobil, arzon va ekologik jihatdan maqbul yechim bo‘lishi mumkinligini bildiradi.

Qattiq qoldiq (kul va shlak) miqdori bo‘yicha natijalar ham biomassa qo‘shilishining ijobiy ta‘sirini ko‘rsatdi. Biomassa ulushi oshgan sari qattiq qoldiq miqdori kamaydi, bu esa xomashyoning to‘liqroq gazifikatsiya qilinishini bildiradi. Bu natija energiya samaradorligi oshganini va chiqindilar kamayganini anglatadi.

Umuman olganda, ushbu tadqiqot natijalari shuni ko‘rsatadiki, ko‘mir va biomassa aralashmasi asosida gazifikatsiya qilish jarayoni an‘anaviy sof ko‘mir gazifikatsiyasiga nisbatan bir qator afzalliklarga ega.

Birinchidan, vodorod ishlab chiqarish samaradorligi oshadi. Ikkinchidan, karbon emissiyasi kamayadi va ekologik ko‘rsatkichlar yaxshilanadi. Uchinchidan, jarayon soddalashtirilgan sharoitda ham samarali amalga oshirilishi mumkin, bu esa texnologiyaning amaliy qo‘llanilish imkoniyatlarini kengaytiradi.

Shunday qilib, taklif etilgan metodika ko‘mir gazifikatsiyasi asosida “yashil energiya” olish yo‘nalishida istiqbolli va muqobil yondashuv sifatida baholanishi mumkin. Bu yondashuv sanoat texnologiyalarini to‘liq takrorlamagan holda, ularning asosiy ilmiy tamoyillarini soddalashtirilgan va ekologik jihatdan maqbul shaklda amalga oshirish imkonini beradi hamda kelajakda yanada rivojlantirilishi mumkin bo‘lgan samarali yo‘nalish sifatida qaraladi.

Xulosa. Ushbu tadqiqot natijalari ko‘rsatdiki, ko‘mir gazifikatsiyasi jarayonini biomassa bilan birgalikda olib borish “yashil energiya” olishning samarali va istiqbolli yo‘nalishlaridan biri hisoblanadi.

Taklif etilgan metodika orqali laboratoriya sharoitida soddalashtirilgan tizimda ham yuqori natijalarga erishish mumkinligi isbotlandi. Ayniqsa, biomassa qo‘shilishi gaz tarkibida vodorod ulushining sezilarli darajada oshishiga va uglerod dioksidi miqdorining kamayishiga olib keldi.

Tajriba natijalari asosida 70% ko'mir va 30% biomassa aralashmasi eng optimal variant sifatida aniqlanib, bu holatda vodorod ulushi 45–50% gacha yetgani kuzatildi. Shu bilan birga, qattiq qoldiq miqdorining kamayishi xomashyoning yanada to'liq gazifikatsiyalanganini ko'rsatdi. Bu esa resurslardan samarali foydalanish va chiqindilarni kamaytirish imkonini beradi.

Taklif etilgan metodikaning muhim jihati shundaki, u murakkab va qimmat sanoat texnologiyalariga bog'liq emas. Jarayon nisbatan oddiy sharoitlarda, bug'li muhitda va past bosimda amalga oshirildi, bu esa uni kichik va o'rta miqyosdagi tizimlar uchun ham mos qiladi. Shu bilan birga, olingan sintez-gazning issiqlik qiymati 12–15 MJ/m³ bo'lishi uning amaliy energiya manbai sifatida qo'llanilishi mumkinligini tasdiqlaydi.

Ekologik nuqtai nazardan ham ushbu yondashuv muhim afzalliklarga ega. Biomassa qo'shilishi orqali karbon emissiyasi kamayadi va jarayon "yashil energiya" tamoyillariga yaqinlashadi. Bu esa global iqlim o'zgarishi muammolarini kamaytirishga qaratilgan texnologiyalar orasida ushbu usulning ahamiyatini oshiradi.

Umuman olganda, ushbu tadqiqot ko'mir va biomassa aralashmasi asosida gazifikatsiya qilish jarayoni energiya ishlab chiqarishning samarali, iqtisodiy jihatdan maqbul va ekologik xavfsiz yo'nalishi ekanligini ko'rsatdi.

Kelgusida ushbu metodikani yanada takomillashtirish, sanoat miqyosida sinovdan o'tkazish hamda karbonni ushlab chiqarish texnologiyalari bilan integratsiya qilish orqali yanada yuqori natijalarga erishish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR:

1. Higman, C., & van der Burgt, M. (2008). *Gasification*. Gulf Professional Publishing.
2. Basu, P. (2010). *Biomass Gasification and Pyrolysis: Practical Design and Theory*. Academic Press.
3. Speight, J. G. (2013). *The Chemistry and Technology of Coal*. CRC Press.
4. Corella, J., Toledo, J. M., & Molina, G. (2007). Biomass gasification in fluidized bed: A review. *Energy & Fuels*, 21(2), 1050–1060.
5. Wang, M., Larson, E. D., & Liu, G. (2013). Life cycle analysis of hydrogen production from coal gasification. *Energy Policy*, 52, 204–213.
6. IEA (International Energy Agency). (2019). *The Future of Hydrogen: Seizing today's opportunities*. Paris: IEA Publications.
7. Rubin, E. S., Davison, J. E., & Herzog, H. J. (2015). The cost of CO₂ capture and storage. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 40, 378–400.
8. Lv, P. M., Xiong, Z. H., Chang, J., Wu, C. Z., Chen, Y., & Zhu, J. X. (2004). An experimental study on biomass air–steam gasification. *Biomass and Bioenergy*, 27(3), 205–214.
9. Ahmed, S., & Krumpelt, M. (2001). Hydrogen from hydrocarbon fuels for fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 26(4), 291–301.

10. Safaev, U., Karabaeva, Z., & Atakhodjaev, A. (2025). Use of new cationic flocculants in the treatment of oil-polluted wastewater. *AIP Conference Proceedings*, 3331(1), 030072.
11. Ataxojaev, A. A., Sodiqjonov, S. Q., & Egamberdiev, E. A. (2025). Sustainable adsorbents from carboxymethyl cellulose and chitosan composites for heavy metal removal in wastewater treatment. *Новости образования: исследование в XXI веке*, 4(37), 1–8.
12. Jumaev, A. A., Ataxojayev, A. A., & Safaev, U. A. (2026). Cellulose-based biocomposite sorbents for the treatment of heavy-metal-contaminated wastewater. *Sustainability of Education, Socio-Economic Science Theory*, 4(39), 36–39.
13. Egamberdiyev, E., Ataxojayev, A., & Jumayev, A. (2025). Development of carboxymethylcellulose-based nano-composites reinforced with cellulose nanocrystals for controlled-release fertilizers and heavy metal detoxification. *London International Monthly Conference on Multidisciplinary Research*.
14. Khoshimov, Q. N., Ungarov, J. F., Ataxojayev, A. A., Egamberdiev, E. A., et al. (2024). Effective use of solid household waste. *Universal Journal of Library Science and Innovation*, 3(7), 22–25.
15. Life Cycle Assessment of Hydrogen Production from Coal Gasification as an Alternative Transport Fuel. (2023). *Journal of Cleaner Production*.
16. Hydrogen Economy and the Role of Coal. (2019). *International Energy Agency Report*.