BIOGAZ OLISH MANBALARINI QAYTA ISHLASH USULLARI VA TEXNOLOGIYALAR

Uzoqova Ruhiya Uzoq qizi
Qarshi davlat universiteti mustaqil izlanuvchisi

Annotatsiya. Ushbu maqolada biogaz olish manbalarini (organik chiqindilar, qishloq xo'jaligi qoldiqlari, go'ng, lignotsellyuloza biomassa va boshqalar) qayta ishlashning asosiy usullari va zamonaviy texnologiyalari tahlil qilinadi. Anaerob hazm qilish (AD) jarayonining to'rt bosqichi (gidroliz, atsidogenez, asetogenez, metanogenez), xomashyoni oldindan ishlov berish (pretreatment) texnologiyalari (fizikaviy, kimyoviy, termik, biologik va kombinatsiyalashgan), bioreaktor konfiguratsiyalari hamda biogazni tozalash va yangilash usullari batafsil ko'rib chiqiladi. Adabiyotlar tahlili asosida oldindan ishlov berish usullarining metan hosildorligini 25–360 % gacha oshirishi, O'zbekiston sharoitida qishloq xo'jaligi chiqindilaridan foydalanish imkoniyatlari va amaliy tavsiyalar beriladi. Tadqiqot natijalari biogaz texnologiyalarining energiya xavfsizligi, chiqindilarni kamaytirish va organik o'g'it ishlab chiqarishdagi ahamiyatini tasdiqlaydi.

Kalit so'zlar: biogaz, anaerob hazm qilish, oldindan ishlov berish (pretreatment), lignotsellyuloza biomassa, bioreaktor, metanogenez, qayta tiklanuvchi energiya, organik chiqindilar.

Kirish. Biogaz — organik moddalarning kislorodsiz muhitda mikroorganizmlar tomonidan parchalanishi natijasida hosil bo'ladigan, asosan metan (CH_4, 50–75 %) va karbonat angidrid (CO_2, 25–50 %) dan iborat yonuvchi gazdir. U qayta tiklanuvchi energiya manbai sifatida elektr va issiqlik ishlab chiqarish, transport yoqilg'isi (biometan) va sanoatda qo'llaniladi. Shu bilan birga, jarayon natijasida hosil bo'ladigan digestat yuqori sifatli organik o'g'it hisoblanadi.

Jahonda biogaz ishlab chiqarishning asosiy manbalari qishloq xo'jaligi chiqindilari (go'ng, o'simlik qoldiqlari, somon, paxta guli va poya qoldiqlari), oziq-ovqat chiqindilari, oqava suvlar loyi va shahar qattiq maishiy chiqindilarining organik qismidir. Lignotsellyuloza tarkibli biomassaning murakkab tuzilishi (lignin, selluloza, gemitsellyuloza) anaerob hazm qilish samaradorligini cheklaydi. Shuning uchun xomashyoni oldindan qayta ishlash (pretreatment) usullari va texnologiyalari muhim ahamiyat kasb etadi.

O'zbekiston sharoitida chorvachilik va paxtachilik chiqindilarining katta hajmi mavjudligi biogaz texnologiyalarini rivojlantirish uchun katta potensial yaratadi. Maqolaning maqsadi — biogaz olish manbalarini qayta ishlashning ilmiy asoslangan usullari va texnologiyalarini tizimli tahlil qilish, eng muhim adabiyotlarni o'rganish hamda amaliy tavsiyalar ishlab chiqishdan iborat.

Asosiy qism. Biogaz ishlab chiqarishning asosiy mexanizmi anaerob hazm qilish (anaerobic digestion, AD) jarayonidir. U to'rt asosiy bosqichdan iborat:

1. **Gidroliz** — murakkab organik polimerlar (oqsil, yog', uglevodlar) gidrolitik bakteriyalar ta'sirida oddiy monomerlarga (aminokislotalar, yog' kislotalari, shakarlar) parchalanadi.
2. **Atsidogenez** — monomerlar organik kislotalar, spirtlar, H_2 va CO_2 ga aylanadi.
3. **Asetogenez** — organik kislotalar sirka kislotasi (atsetat), H_2 va CO_2 ga o'tadi.
4. **Metanogenez** — metanogen arxeyalar tomonidan atsetat yoki $H_2 + CO_2$ dan metan hosil qilinadi.

Jarayonning samaradorligi harorat (mezofil 30–40 °C, termofil 50–60 °C), pH (6,5–7,5), gidravlik ushlab turish vaqti (HRT), organik yuklama tezligi (OLR) va aralashtirish rejimiga bog'liq.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

Xomashyoni oldindan ishlov berish (pretreatment) usullari. Lignotsellyuloza biomassasining recalcitrant (qiyin parchalanish) xususiyati tufayli oldindan ishlov berish zarur. Asosiy usullar:

- **Fizikaviy usullar**: maydalash (milling, chipping), ekstruziya, ultratovush, mikroto'lqinli nurlanish. Ular sirt maydonini oshiradi va lignin to'siqini buzadi. Ekstruziya metan hosildorligini 190 % gacha oshirishi mumkin.
- **Termik va termokimyoviy usullar**: bug' portlashi (steam explosion), issiq suv bilan ishlov berish (liquid hot water), termik gidroliz. Bu usullar vodorod bog'larini uzadi va gemitsellyulozani eritadi.
- **Kimyoviy usullar**: ishqoriy (NaOH, KOH, $Ca(OH)_2$), kislotali (H_2SO_4, HCl), oksidlovchi (H_2O_2, ozon) ishlovlar. Ishqoriy ishlov ligninni olib tashlashda samarali.
- **Biologik usullar**: qo'ziqorinlar (white-rot, brown-rot), bakteriyalar yoki fermentlar yordamida. Energiya sarfi past, ekologik toza, lekin vaqt talab qiladi.
- **Kombinatsiyalashgan usullar**: fizik-kimyoviy yoki termokimyoviy yondashuvlar eng yuqori samara beradi (ba'zi hollarda 360 % gacha metan oshishi).

Bioreaktor texnologiyalari. Asosiy konfiguratsiyalar: CSTR (uzluksiz aralashtiriladigan tank reaktor), UASB (yuqoriga oqadigan anaerob shlam qatlami), plug-flow, batch reaktorlar, membrana bioreaktorlar. Nam (TS <15 %) va quruq (TS 16–40 %) hazm qilish tizimlari mavjud. Ko'p bosqichli (multi-stage) va harorat-fazali tizimlar barqarorlikni oshiradi.

Biogazni tozalash va yangilash. Xom biogazdan H_2S, namlik, CO_2 va boshqa aralashmalarni olib tashlash uchun suv yuvish, kimyoviy absorbsiya, bosim o'zgarishi adsorbsiyasi (PSA), membrana ajratish va biologik usullar qo'llaniladi. Natijada biometan (CH_4 >95 %) olinadi.

O'zbekiston sharoitida go'ng, somon, paxta qoldiqlari va oziq-ovqat chiqindilaridan foydalanish eng istiqbolli yo'nalishdir. Mezofil rejim (35–40 °C) va oddiy CSTR yoki batch reaktorlar kichik va o'rta fermer xo'jaliklari uchun mos keladi.

Mavzu yuzasidan eng muhim adabiyotlar tahlili. So'nggi yillardagi sharh maqolalari (MDPI, ScienceDirect, Frontiers) biogaz texnologiyalarining jadal rivojlanishini ko'rsatadi. Abraham va boshqalar (2020), Khan va boshqalar (2022) oldindan ishlov berish usullarining taqqoslama tahlilini bergan. Emerging technologies sharhida (2024) ekstruziya, mikroto'lqin va biologik usullarning yuqori samaradorligi ta'kidlangan.

O'zbek olimlarining ishlarida (Ibragimov, Imamov va boshqalar) mahalliy xomashyo (go'ng, o'simlik qoldiqlari) asosida kichik biogaz qurilmalarining texnologik sxemalari va iqtisodiy ko'rsatkichlari o'rganilgan. Jahon adabiyotida digester konfiguratsiyalari, co-digestion (birgalikda hazm qilish) va biogazni yangilash texnologiyalari alohida e'tibor qozongan.

Tahlil shuni ko'rsatadiki, bitta universal usul yo'q — xomashyo turiga, miqyosga va iqtisodiy sharoitga qarab tanlash kerak. Biologik va kombinatsiyalashgan usullar ekologik jihatdan afzal, lekin sanoat miqyosida termokimyoviy usullar ko'proq qo'llaniladi.

Tahlil natijalari va tavsiyalar. Tahlil natijalariga ko'ra:

- Oldindan ishlov berish metan hosildorligini sezilarli oshiradi, lekin energiya va moliyaviy xarajatlarni hisobga olish lozim.
- Co-digestion (masalan, go'ng + o'simlik qoldiqlari) C/N nisbatini optimallashtiradi va barqarorlikni oshiradi.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.

• O‘zbekiston uchun tavsiyalar: kichik va o‘rta fermer xo‘jaliklarida oddiy mezofil batch yoki CSTR reaktorlarini joriy etish; paxta va don qoldiqlarini ishqoriy yoki biologik oldindan ishlov berish; digestdan bioo‘g‘it sifatida foydalanish; davlat subsidiya va texnik yordam dasturlarini kengaytirish.

• Kelajakdagi tadqiqotlar: mahalliy mikroorganizmlar konsorsiumlarini tanlash, raqamli monitoring tizimlari va vodorod yordamida metanatsiya (power-to-gas) texnologiyalarini o‘rganish.

Xulosalar. Biogaz olish manbalarini qayta ishlash usullari va texnologiyalari qayta tiklanuvchi energiya ishlab chiqarish, chiqindilarni utilizatsiya qilish va qishloq xo‘jaligini barqaror rivojlantirishning muhim vositasidir. Anaerob hazm qilish jarayonining samaradorligi xomashyoni to‘g‘ri tanlash, oldindan ishlov berish va optimal reaktor sharoitlariga bog‘liq. O‘zbekiston sharoitida qishloq xo‘jaligi chiqindilaridan foydalanish katta potensialga ega. Kelgusida mahalliy sharoitga moslashtirilgan, past xarajatli va ekologik toza texnologiyalarni rivojlantirish dolzarb vazifa hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Production of Biogas and Biomethane as Renewable Energy Sources: A Review. Applied Sciences, 2023.
2. Emerging technologies for biogas production: A critical review. Process Safety and Environmental Protection, 2024.
3. Biogas Production Systems and Upgrading Technologies: A Review. Food Technology and Biotechnology, 2021.
4. A comparative analysis of pre-treatment technologies for enhanced biogas production. Industrial Crops and Products, 2024.
5. Fundamentals, Operation and Global Prospects for the Development of Biogas Plants—A Review. Energies, 2024.
6. A comprehensive review on the pretreatment of lignocellulosic wastes for improved biogas production. International Journal of Environmental Science and Technology, 2022.
7. Review of feedstock pretreatment strategies for improved anaerobic digestion. Bioresource Technology, 2016.
8. O‘zbekiston olimlarining ishlari: Ibragimov A., Imamov Sh. va boshqalar. Biogaz texnologiyalari bo‘yicha mahalliy tadqiqotlar (2010–2022).
9. Advances in biogas production technologies. Applied Environmental Technologies, 2026.
10. Biogas Production, Upgrading, and Utilization: A Comprehensive Review. Journal of Engineering and Applied Sciences, 2024.

© Ushbu material Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) litsenziyasi asosida tarqatiladi.