



УДК 620.92

doi.10.70769/2181-284.ME.2(23).2026.12

**BIOGAZ ISHLAB CHIQUARISH QURILMALARI SAMARADORLIGIGA
TA'SIR ETUVCHI ICHKI VA TASHQI OMILLAR****Yakubov Komiljon Ruzmetovich** - dotsent,<https://orcid.org/0000-0002-7577-943X> e-mail: yakubovkomiljon419@gmail.com**Qurbanov Ollashukur Otajon o'g'li** - tayanch doktorant,<https://orcid.org/0009-0003-1034-5344> e-mail: ollashukurqurbanov@gmail.com**Rahimboyev Rahmatjon Shavkatovich** - tayanch doktorant<https://orcid.org/0009-0006-5123-8045> e-mail: rahimboyev19rahmatjon92@gmail.com**Urganch davlat universiteti, Urganch, O'zbekiston**

Annotatsiya. Kirish. Biogaz ishlab chiqarish qurilmalarining samaradorligi ichki (harorat, pH darajasi, C/N nisbati, organik yuklama tezligi – OLR, gidravlik saqlash vaqti – HRT va inhibitor moddalar) va tashqi (iqlim sharoitlari, xom ashyo zaxirasi, iqtisodiy to'siqlar va texnik bilimsizlik) omillarga bog'liq.

Material va usullar. Mazkur maqolaning maqsadi biogaz ishlab chiqarish samaradorligiga ta'sir etuvchi ichki va tashqi omillarni tizimli ravishda tahlil qilish hamda O'zbekiston sharoitida ularni optimallashtirish imkoniyatlarini aniqlashdan iborat.

Natijalar. Adabiyot tahlili asosida optimal qiymatlar (mezofil rejimda harorat 35–40°C, pH 6.8–7.2, C/N 20–30:1) va buzilish oqibatlari (metan hosildorligining 30–80% ga pasayishi) aniqlandi. O'zbekiston sharoitida sovuq kunlar (psixrofil rejim), chiqindi tashish muammolari va subsidiyalar yetishmasligi asosiy cheklovlar sifatida ko'rsatildi.

Xulosa. Maqolada quyosh yordamida isitish, qo'shma fermentasiya, mikroaerob sharoit va kichik bioreaktor kabi texnik yechimlar, shuningdek subsidiyalar, ta'lim dasturlari va pilot loyihalarni kengaytirish taklif etildi. Ushbu choralar amalga oshirilsa, O'zbekistonda biogaz texnologiyalari samarali rivojlanib, qishloq xo'jaligi chiqindilarini qayta ishlash va uglerod chiqindilarini kamaytirish maqsadlariga erishish mumkin.

Kalit so'zlar: biogaz, anaerob digestiya, ichki omillar, tashqi omillar, harorat, psixrofil rejim, qo'shma fermentatsiya, quyosh isitish tizimlari.

Дата поступления: 10.04.2026. После обработки: 13.04.2026 Принято печать: 22.06.2026

For citation: Komiljon R.Y., Kurbanov O.O., Rahimboyev R.Sh. Factors Affecting the Efficiency of Biogas Production Systems. *Alternative energy*. 2026. 2(23). pp. 127-136. (In Uz)

УДК 620.92

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ УСТАНОВОК ПО
ПРОИЗВОДСТВУ БИОГАЗА****Якубов Комилжон Рузметович** – доцент<https://orcid.org/0000-0002-7577-943X> e-mail: yakubovkomiljon419@gmail.com**Курбанов Оллашукур Отажон угли** – базовый докторант<https://orcid.org/0009-0003-1034-5344> e-mail: ollashukurqurbanov@gmail.com**Рахимбоев Рахматжон Шавкатович** – базовый докторант<https://orcid.org/0009-0006-5123-8045> e-mail: rahimboyev19rahmatjon92@gmail.com**Ургенчский государственный университет, г. Ургенч, Узбекистан**



Аннотация. Введение. Эффективность установок по производству биогаза зависит от внутренних (температура, уровень pH, соотношение C/N, скорость органической нагрузки - OLR, гидравлическое время удержания - HRT, а также ингибирующие вещества) и внешних факторов (климатические условия, наличие сырья, экономические барьеры и недостатки технических знаний).

Материалы и методы. Целью данной статьи является системный анализ внутренних и внешних факторов, влияющих на эффективность производства биогаза, а также определение возможностей их оптимизации в условиях Узбекистана.

Результаты. На основе анализа литературы были определены оптимальные параметры (температура в мезофильном режиме 35-40°C, pH 6.8-7.2, соотношение C/N 20-30:1), а также последствия отклонений (снижение выхода метана на 30-80%). В условиях Узбекистана основными ограничивающими факторами являются холодные периоды (психрофильный режим), проблемы транспортировки отходов и недостаток субсидий.

Заключение. В статье предложены технические решения, такие как использование солнечного нагрева, совместная ферментация, микроаэробные условия и малые биореакторы, а также меры государственной поддержки (субсидии, образовательные программы и расширение пилотных проектов). Реализация данных мер позволит эффективно развивать биогазовые технологии в Узбекистане, перерабатывать сельскохозяйственные отходы и снижать выбросы углерода.

Ключевые слова: Ключевые слова: биогаз, анаэробное сбраживание, внутренние факторы, внешние факторы, температура, психрофильный режим, совместная ферментация, системы солнечного подогрева.

UDC 620.92

FACTORS AFFECTING THE EFFICIENCY OF BIOGAS PRODUCTION SYSTEMS

Yakubov Komiljon Ruzmetovich – Associate Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-7577-943X> e-mail: yakubovkomiljon419@gmail.com

Qurbanov Ollashukur Otajon ogli – PhD Student,

<https://orcid.org/0009-0003-1034-5344> e-mail: ollashukurqurbanov@gmail.com

Rahimboyev Rahmatjon Shavkatovich – PhD Student

<https://orcid.org/0009-0006-5123-8045> e-mail: rahimboyev19rahmatjon92@gmail.com

Urgench State University, Urgench, Uzbekistan

Abstract. Introduction. The efficiency of biogas production systems depends on internal factors (temperature, pH level, C/N ratio, organic loading rate – OLR, hydraulic retention time – HRT, and inhibitory substances) as well as external factors (climatic conditions, availability of feedstock, economic barriers, and lack of technical expertise).

Materials and Methods. The aim of this study is to systematically analyze the internal and external factors affecting biogas production efficiency and to identify optimization opportunities under the conditions of Uzbekistan.

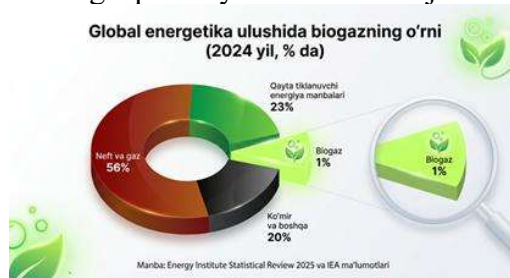
Results. Based on literature analysis, optimal parameters were identified (mesophilic temperature range of 35–40°C, pH 6.8–7.2, C/N ratio of 20–30:1), along with the consequences of deviations (a decrease in methane yield by 30–80%). In Uzbekistan, key limiting factors include cold periods (psychrophilic conditions), challenges in waste transportation, and insufficient subsidies.

Conclusion. The study proposes technical solutions such as solar-assisted heating, co-digestion, microaerobic conditions, and small-scale bioreactors, as well as policy measures including subsidies, educational programs, and expansion of pilot projects. Implementation of these measures can significantly enhance the development of biogas technologies in Uzbekistan, promote agricultural waste recycling, and reduce carbon emissions.

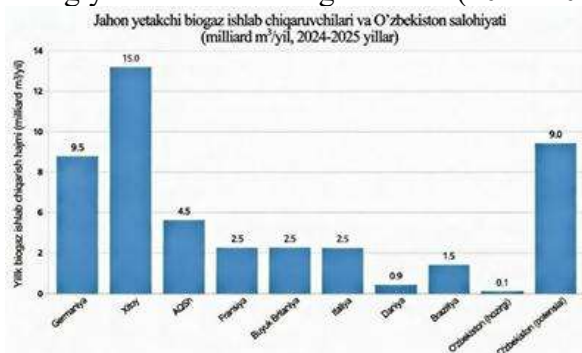
Keywords: biogas, anaerobic digestion, internal factors, external factors, temperature, psychrophilic conditions, co-digestion, solar heating systems.

Kirish.

Ma'lumki biogaz organik chiqindilarning (chorva go'ngi, qishloq xo'jaligi qoldiqlari, shahar chiqindilari va oziq-ovqat qoldiqlari) anaerob parchalanishi (anaerob digestiya, AD) natijasida hosil bo'ladigan qayta tiklanuvchan energiya manbai hisoblanadi. U asosan metan (CH_4 , 50-70%) va karbonat angidrid (CO_2 , 30-50%) gazlaridan iborat bo'ladi [1,2]. So'nggi yillarda biogaz ishlab chiqarish texnologiyalari jadal rivojlanib, global energiya ta'minotida muhim o'rin egallamoqda. Bu texnologiya iqlim o'zgarishiga qarshi kurashda issiqxona gazlari emissiyasini kamaytirish, chiqindilarni qayta ishlash va organik o'g'it olish imkonini beradi [3,4]. Anaerob fermentatsiya jarayonining samaradorligi harorat, pH, organik yuklama tezligi (OLR), gidravlik saqlash muddati (HRT) va C/N nisbati kabi ichki omillarga, shuningdek iqlim sharoitlari, iqtisodiy rivojlanish darajasi va siyosiy qo'llab-quvvatlash kabi tashqi omillarga bog'liq [2,5]. Rivojlanayotgan mamlakatlarda, xususan Markaziy Osiyoda, qishloq xo'jaligi chiqindilari (yiliga millionlab tonna chorva go'ngi va paxta qoldiqlari) biogazni muhim muqobil energiya manbaiga aylantiradi [6]. O'zbekiston misolida, ayniqsa Orol bo'yi hududida (Qoraqalpog'iston va Xorazm viloyatlari), biogaz salohiyati juda yuqori bo'lib, mintaqada chorvachilik va qishloq xo'jaligi chiqindilarining ko'pligi tufayli yiliga 6-11 milliard m^3 gaz ishlab chiqarish imkoniyati mavjud [8,9]. Shu bilan birga, mahalliy iqlimiy sharoitlar (qishda sovuq haroratlar fermentatsiyani to'xtatishi), iqtisodiy cheklovlar (yuqori qurilish xarajatlari va subsidiyalar yetishmasligi), texnik xizmat ko'rsatishning kamligi hamda fermerlarning malakasi pastligi sababli ko'plab loyihalar muvaffaqiyatsizlikka uchraydi, jumladan, 2015-yil holatiga ko'ra faqat 42 ta biogaz qurilmasi o'rnatilgan bo'lsada texnik bilimlarning yetishmasligi, biogaz ishlab chiqarish rejimlarining to'liq o'rganilmaganligi va ushbu sohada chuqur ilmiy asoslarga ega bo'linmaganligi sababli ularning barqaror ishlashi ta'minlanmagan [8,10]. Ushbu omillarni hisobga olmagan holda biogaz texnologiyalari O'zbekistonning "Yashil energiya" strategiyasi va uglerod chiqindilarini kamaytirish maqsadlariga yetarli darajada hissa qo'sha olmaydi [9]. Jahon miqyosida biogaz hali energiya balansida kichik ulushga ega bo'lib, 2024-2025-yillarda global energiya iste'molida biogaz va biometan atigi 1-2% ni tashkil etgan [22, 23]. Lekin shunga qaramay bu sohada rivojlanish potentsiali yuqori hisoblanadi.



1-rasm. Jahon energiya iste'molida biogaz ulushi (2024–2025 yillar holati).



2-rasm. Jahon yetakchi biogaz ishlab chiqaruvchi mamlakatlari va O'zbekiston salohiyati (yillik ishlab chiqarish hajmi, milliard m^3 /yil, 2024–2025 yillar).

Biogaz hali kichik ulushga ega, lekin rivojlanish potentsiali yuqori [22, 23].



Ushbu grafik jahonning biogaz ishlab chiqaruvchi yetakchilarini, shuningdek, O'zbekistonning texnik salohiyatini milliard m³ birlikda taqqoslaydi. Unda Xitoy yillik 15 milliard m³, Germaniya 9,5 milliard m³ va AQSh 4,5 milliard m³ hajm bilan yetakchi mavqega ega bo'lib, bu mamlakatlarning bunday natijalariga siyosiy rag'batlantirish, texnologik innovatsiyalar va chiqindilarni samarali qayta ishlash tizimlariga asoslanganligini va yana birqancha faktorlarni misol qilib ko'rsatish mumkin. O'zbekistonning hozirgi ishlab chiqarish hajmi juda past bo'lib, faqat pilot loyihalar bosqichida (<0,1 milliard m³), ammo texnik potentsiali yiliga 9 milliard m³ miqdorida baholanmoqda. Bu potentsial to'liq ishlatilsa, taxminan 27-28 TWsoat/y elektr energiyasi (mamlakatning yillik elektr ishlab chiqarishining 30 % ulushiga) yoki 9 milliard kub metr tabiiy gaz ekvivalenti (umumiy gaz ishlab chiqarishining 21 % ulushi) ni qoplay oladi. Bu ko'rsatkichlar chorvachilik, qishloq xo'jaligi chiqindilari va maishiy chiqindilarni qayta ishlash orqali hisoblangan bo'lib, O'zbekistonning qayta tiklanuvchi energiya manbalari ulushini oshirish va energiya xavfsizligini ta'minlashda muhim rol o'ynashi mumkin. [23,26]

Ichki omillar tahlili.

Biogaz ishlab chiqarish qurilmalarining (anaerob fermentatorlarning) samaradorligi asosan ichki omillarga bog'liq bo'lib, ular anaerob fermentatsiya jarayonining mikrobiologik va kimyoviy bosqichlariga (gidroliz, asidogenez, asetogenez va metanogenez) bevosita ta'sir qiladi [1,2]. Ushbu omillar optimal darajada bo'lmaganda metan hosildorligi sezilarli darajada pasayishi mumkin hatto 30–80% gacha [1,3]. Quyida asosiy ichki omillar va ularning ta'siri jadvalda jamlangan (adabiyot tahlili asosida):

1-Jadval.

Biogaz qurilmalari samaradorligiga ta'sir qiluvchi ichki omillar

Ichki omil	Ta'rif va optimal qiymat	Ta'siri va oqibatlar	Misollar va O'zbekiston konteksti	Manba
Harorat	Mezofil: 35-40°C; Termofil: 50–60°C	Harorat pasayganda (masalan, <30°C) metanogenez sekinlashadi, hosildorlik 50% ga tushishi mumkin. Yuqori harorat jarayonni tezlashtirishi mumkin, lekin energiya sarfi ko'payadi va jarayon beqarorlashadi VFA akkumulyatsiyasi va beqarorlik xavfi yuqori bo'ladi.	O'zbekistonning qishki sovuq havosi (Qoraqalpog'iston va Xorazmda -10...+5°C) digestorni sovitib, jarayonni to'xtatishi mumkin. Quyosh yordamida isitish tizimlarini o'rnatish va reaktorni izolyatsiyalash tavsiya etiladi	[1,2,6,]
pH darajasi	Optimal: 6.8–7.2 (metanogenlar uchun); kengroq 6.5–7.5	pH darajasi 8 bo'lganda ammoniy zaharlanishi paydo bo'ladi. Optimal pH darajasida metan hosildorligi maksimal darajada bo'lishi mumkin.	Chorva go'ngi bilan ishlaganda ammoniy ko'payib, pH oshishi mumkin – bu O'zbekiston fermer xo'jaliklarida keng tarqalgan muammo. Doimiy monitoring va ohak qo'shish zarur.	[2, 3, 5, 12]
C/N nisbati	Optimal: 20–30:1 (ideal 25–30:1)	Past C/N (> azot) – ammoniy inhibitsiyasi; yuqori C/N (> uglerod) – azot yetishmasligi, jarayon sekinlashadi. Muvozanat buziladi.	Paxta qoldiqlari (yuqori C/N) va chorva go'ngini (past C/N) aralashtirib qo'shma fermentatsiya qilish hosildorlikni 20–50% ga oshirishi mumkin – O'zbekiston uchun dolzarb yechim.	[1, 6, 9, 11]
Organik yuklama tezligi (OLR)	Optimal: 2–4 kg VS/m ³ ·kun (mezofilda); termofil rejimda yuqoriroq bo'lishi mumkin	Yuqori OLR inhibitorlar (VFA) hosil qiladi, jarayon buziladi; past OLR – hosildorlik kamayadi. Optimal OLR da metan hosildorligi maksimal.	Katta fermer xo'jaliklarida chiqindilar ko'p bo'lganda OLR yuqori bo'lib, monitoring va bosqichma-bosqich yuklama zarur.	[1,3,10, 11]



Gidravlik saqlash vaqti (HRT)	Optimal: 15–30 kun (mezofil rejimda); termofilda qisqaroq	Qisqa HRT – to‘liq parchalanish bo‘lmaydi; uzun HRT – reaktor hajmi kattalashadi, xarajat oshadi. Uzunroq HRT sovuq sharoitda hosildorlikni saqlaydi.	Sovuq iqlimda HRT ni uzaytirish kerak, ammo bu qurilish xarajatlarini oshiradi - O‘zbekiston qishloq xo‘jaligi uchun muhim.	[1,6,11]
Inhibitor moddalar va oldindan ishlov berish	Ammoniy <300 mg/L; sulfidlar, og‘ir metallar; oldindan ishlov berish (ultrasonik, termik, mikroaeratsiya)	Oldindan ishlov berish hosildorlikni 20–50% ga oshiradi; inhibitorlar monitoring orqali nazorat qilinadi.	O‘zbekistonda chiqindilar tarkibida ammoniy yuqori bo‘lgani uchun oldindan aralashtirish va mikroaeratsiya usullari samarali bo‘lishi mumkin.	[3, 4, 9, 10]

Ushbu ichki omillar o‘zaro bog‘liq. Masalan, harorat pH va ammoniy konsentratsiyasiga ta’sir qiladi, OLR esa VFA hosil bo‘lishini kuchaytirishi mumkin [2,3,10]. Optimal sharoitlarni saqlash uchun doimiy monitoring (pH sensorlari, harorat regulyatorlari) zarur - bu zamonaviy digestorlarda AI va avtomatik tizimlar orqali amalga oshirilmoqda [3,4,11]. O‘zbekiston sharoitida ichki omillarni optimallashtirish potentsiali yuqori: chorva go‘ngi va qishloq xo‘jaligi chiqindilari (paxta, pilak) bilan ishlaganda C/N nisbati va oldindan ishlov berish orqali metan hosildorligini 30-50% ga oshirish mumkin [7,8]. Biroq, qishki sovuq haroratlar ichki parametrlarning buzilishiga olib keladi, shuning uchun, izolyatsiya, quyosh yordamida isitish va mikroaeratsiya kabi innovatsion texnologiyalar tavsiya etiladi [6,7,10,13].

Tashqi omillar tahlili.

Biogaz ishlab chiqarish jarayoniga ta’sir etuvchi tashqi omillar asosan iqtisodiy, ekologik va ijtimoiy jihatlardan iborat bo‘lib, ular texnologiyaning keng qo‘llanilishi va samaradorligini belgilaydi. Siyosiy omillar doirasida hukumat siyosati va qonunchilik bazasi muhim rol o‘ynaydi, chunki, subsidiyalar va tartibga solish mexanizmlari yetishmasligi rivojlanayotgan mamlakatlarda biogaz loyihalarining rivojlanishini sekinlashtirishi mumkin [5,7]. Masalan, global miqyosda biogaz va biomethan ishlab chiqarishni rag‘batlantiruvchi qarorlar soni ortib borayotgan bo‘lib, ko‘plab mamlakatlarda uzoq muddatli kafolatlar va tarmoqqa ulanish standartlarining yo‘qligi asosiy to‘siq bo‘lib qolmoqda [22]. Iqtisodiy omillar, xususan, yuqori boshlang‘ich investitsiya xarajatlari va texnik xizmat narxlari, biogaz texnologiyasining keng tarqalishini cheklaydi, ayniqsa resurslari cheklangan qishloq xo‘jaligi sektorida [6,7]. Shu bilan birga, past foizli kreditlar va bozor mexanizmlari orqali iqtisodiy foyda olish imkoniyati ortmoqda, ammo rivojlanayotgan hududlarda moliyalashtirish va kredit olish qiyinchiliklari loyihalarni amalga oshirishni qiyinlashtirmoqda [5,23].

2-jadval.

Biogaz qurilmalari samaradorligiga ta’sir qiluvchi tashqi omillar

Tashqi omil	Ta’rif va xususiyatlari	Ta’siri va oqibatlari	Misollar va O‘zbekiston konteksti	Manbalar
Iqlim va atrof-muhit sharoitlari	Harorat o‘zgarishi, namlik, sovuq qishlar, tuproq turi va suv tanqisligi	Sovuq iqlimda (qishda<10°C) digestor ichki harorati pasayib, jarayon sekinlashadi yoki to‘xtaydi; yuqori namlik yoki tuproq eroziyasi qurilishni qiyinlashtiradi. Issiq va quruq iqlimda suv tanqisligi chiqindi namligini kamaytiradi	O‘zbekistonning kontinental iqlimi (qishda -10...+5°C, yozda +40°C) va Orol bo‘yi hududidagi suv tanqisligi biogaz zavodlarini samaradorligini pasaytirib, hosildorlikni 50% gacha tushirishi mumkin. Shuning uchun Quyosh yordamida	[6, 7, 13,16]



			isitish tizimlari va izolyatsiya zarur.	
Xom ashyo mavjudligi va logistika	Chiqindi (chorva go'ngi, qishloq xo'jaligi qoldiqlari) mavjudligi, yig'ish va tashish infratuzilmasi	Chiqindi mavjud bo'lmasa yoki logistika qimmat bo'lsa, qurilma ishlamay qoladi; mavsumiy o'zgarishlar va uzoq masofalar xarajatni oshiradi.	O'zbekistonda chorva va paxta chiqindilari ko'p, ammo yig'ish va tashish muammolari (qishloq yo'llari yomon) zavodlarni barqaror ta'minlashni qiyinlashtiradi. Markazlashgan yig'ish punktlari va kooperativlar kerak.	[7, 8, 13,15]
Iqtisodiy to'siqlar	Qurilish va ekspluatatsiya xarajatlari, subsidiyalar yetishmasligi, kredit olish qiyinligi	Yuqori boshlang'ich xarajat (katta digesterlar uchun millionlab so'm) va subsidiyalar yo'qligi fermerlar uchun to'siq; o'zini oqlash muddati 5-10 yilga cho'ziladi.	O'zbekistonda subsidiyalar va kreditlar yetishmasligi sababli ko'plab loyihalar to'xtab qolgan; kichik fermer xo'jaliklari uchun arzon modellar va hukumat yordami zarur.	[5, 14, 16]
Ijtimoiy va texnik bilimsizlik	Fermerlar malakasi, texnik xizmat ko'rsatish, jamoaviy hamkorlik va texnologiyaga ishonchsizlik	Fermerlarning malakasi yetishmasligi va texnik xizmat yo'qligi zavodlarni ishlamay qolishiga sabab bo'ladi (50% gacha); ijtimoiy qarshilik va bir qancha loyihalarning muvaffaqiyatsizligi ishonchni pasaytiradi.	O'zbekiston qishloqlarida texnik bilimsizlik va ta'lim dasturlari yetishmasligi sababli ko'plab qurilmalar ishlamay qolgan; ta'lim va pilot loyihalar orqali ishonchni oshirish kerak.	[5, 7, 14,15]

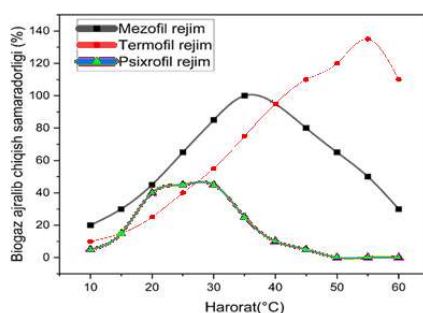
Tashqi omillar ichki omillarga bilvosita ta'sir qiladi: masalan, sovuq iqlim ichki haroratni pasaytiradi, tashish muammolari chiqindi sifatini buzadi, iqtisodiy cheklovlar monitoring tizimlarini o'rnatishni qiyinlashtiradi [5,6,13]. Rivojlanayotgan mamlakatlarda bu omillar tufayli biogaz qurilmalari ko'pincha (50% gacha) barqaror ishlamaydi [5,14]. O'zbekiston kontekstida tashqi omillar ayniqsa dolzarb: Orol bo'yi hudularida suv va energiya tanqisligi, sovuq qishlar va chiqindi tashish muammolari biogaz potensialini cheklaydi [7,8,13]. Biroq, chorva chiqindilari ko'pligi va "Yashil energiya" siyosati orqali subsidiyalar, quyosh gibril tizimlari va fermerlar ta'limi bilan bu to'siqlarni yengish mumkin [8,9,15]. Masalan, pilot loyihalar (REPIC va FAO/UNDP) orqali texnik xizmat va subsidiyalarni joriy etish samaradorlikni oshirishi mumkin.

Muhokama.

Biogaz ishlab chiqarish qurilmalarining samaradorligi ichki va tashqi omillarning murakkab o'zaro ta'siriga bog'liq bo'lib, bu jarayonning mikrobiologik va texnologik muvozanatini belgilovchi asosiy omil hisoblanadi. Ichki omillar (harorat, pH darajasi, C/N nisbati, organik yuklama tezligi- OLR, gidravlik saqlash vaqti - HRT hamda inhibitor moddalar) anaerob digestiya jarayonining to'rt bosqichiga (gidroliz, asidogenez, asetogenez va metanogenez) to'g'ridan-to'g'ri ta'sir ko'rsatadi [1,2,3,9,10,11]. Adabiyotlarda ushbu parametrlarning optimal qiymatlari aniq belgilangan: mezofil sharoitda harorat 35-40°C, pH 6.8-7.2 va C/N nisbati 20-30:1 oralig'ida bo'lganda metan hosildorligi eng yuqori darajaga yetadi [1,3,12]. Bu qiymatlarning buzilishi (masalan, haroratning 20°C dan pastga tushishi yoki pH ning 6.5 dan past bo'lishi) metanogenez bosqichini sezilarli darajada sekinlashtirib, hosildorlikni 30-80% ga kamaytirishi mumkin [1,3,12, 17]. So'nggi tadqiqotlarda oldindan ishlov berish usullari (ultrasonik, termik yoki mikroaeratsiya) hamda qo'shma fermentatsiya (bir necha turdagi chiqindilarni birgalikda qayta ishlash) ichki omillarni optimallashtirish orqali metan hosildorligini 20-50% ga oshirishi isbotlangan [4,9, 13,17]. Metanogenik yo'llar (asetoklastik va gidrogenotropik metanogenez) substrat tarkibi, harorat va ammoniy miqdoriga qattiq bog'liq bo'lib, yuqori ammoniy va termofil sharoitlarda gidrogenotropik yo'l ustunlik qiladi [17,18]. Tashqi omillar esa bu jarayonni bilvosita cheklaydi yoki qo'llab-



quvvatlaydi. Sovuq iqlim sharoitlari ichki haroratni pasaytirib, metanogenez bosqichini to'xtatishi yoki sekinlashtirishi mumkin [6,7,13,19]; xom ashyo mavjudligi va tashish muammolari chiqindi sifatini buzib, OLR ni beqaror holatga keltiradi [8,15,19]; iqtisodiy va ijtimoiy to'siqlar (subsidiyalar yetishmasligi, texnik malaka kamligi va jamoaviy hamkorlikning past darajasi) esa monitoring tizimlari va innovatsion yondashuvlarni joriy etishni qiyinlashtiradi [5,14,16,20]. Jahon adabiyotida rivojlanayotgan mamlakatlarda biogaz qurilmalari ko'pincha (50% gacha) barqaror ishlamay qolishi aynan shu o'zaro ta'sir natijasi ekanligi ta'kidlanadi [5,14,20]. So'nggi hisobotlarda (2025-yil) biogazni rivojlantirishda ijtimoiy va iqtisodiy to'siqlar (subsidiyalar, infratuzilma va ta'lim sohasi) asosiy cheklovlar sifatida ko'rsatilgan [10, 20]. O'zbekiston sharoitida bu bog'liqlik yanada yaqqol namoyon bo'ladi. Kontinental iqlim va sovuq kunlar (ayniqsa Orol bo'yi hudolari, Qoraqalpog'iston va Xorazm viloyatlarida) ichki haroratni pasaytirib, gidravlik saqlash vaqtini uzaytirishni talab qiladi, bu esa qurilish va ekspluatatsiya xarajatlarini oshiradi [7, 8,13,19]. Chorva go'ngi va paxta qoldiqlari kabi xom ashyo ko'pligi ichki omillarni (C/N nisbati, OLR) optimallashtirish uchun katta potensial beradi, lekin mavsumiy o'zgarishlar, tashish muammolari va chiqindi yig'ish infratuzilmasining zaifligi tashqi to'siq sifatida ishlaydi [8,15]. Subsidiyalar yetishmasligi va texnik bilimsizlik fermerlarning zamonaviy monitoring tizimlari, oldindan ishlov berish va ko-digestion texnologiyalaridan foydalanishini cheklaydi, natijada ko'plab loyihalar muvaffaqiyatsiz yakunlanadi [5,14,20]. Global tajribadan farqli o'laroq, O'zbekistonda quyosh energiyasi bilan integratsiya (solar assisted heating) va kichik modulli fermentatorlar (household yoki community scale) tashqi iqlimiy va iqtisodiy to'siqlarni yengishda samarali yechim bo'lishi mumkin [6,7,16]. Bundan tashqari, qo'shma fermentatsiya (chorva go'ngi + qishloq xo'jaligi chiqindilari) kabi arzon va texnologik jihatdan oddiy usullar mahalliy sharoitda ichki omillarni optimallashtirish uchun dolzarbdir [9,11,13,17]. Shu bilan birga, bu yechimlarning muvaffaqiyati davlat qo'llab quvvatlovi (subsidiyalar, texnik standartlar, ta'lim dasturlari), fermerlar o'rtasida jamoaviy hamkorlik va pilot loyihalarni kengaytirishga bog'liq [5,8,15,20]. Masalan, REPIC va FAO/UNDP loyihalari orqali olingan tajriba shuni ko'rsatadiki, mahalliy sharoitga moslashtirilgan texnologiyalar va moliyaviy qo'llab-quvvatlash bilan biogaz qurilmalari barqaror ishlashi mumkin [7,8]. Ushbu muhokama shuni ko'rsatadiki, biogaz texnologiyalarini O'zbekistonda rivojlantirish uchun faqat texnik parametrlar emas, balki, iqtisodiy va ijtimoiy omillarni ham birgalikda hisobga olish zarur. Bu yondashuv nafaqat biogaz hosildorligini oshiradi, balki qishloq xo'jaligi chiqindilarini samarali boshqarish, uglerod chiqindilarini kamaytirish va qishloq hududlarida energiya xavfsizligini ta'minlash maqsadlariga erishishga yordam beradi [10, 20].



2-rasm. Harorat darajasining biogaz ishlab chiqarish samaradorligiga ta'siri.

Ushbu grafikdan ko'rinadiki, psixrofil rejimda (20-25°C) hosildorlik mezofil rejimga nisbatan o'rtacha 30-40% gacha past bo'ladi, bu esa O'zbekistonning qishki sovuq iqlimida quyosh yordamida isitish tizimlarini joriy qilish zarurligini ko'rsatadi. Termofil rejimda esa hosildorlik o'rtacha 20-35% yuqori bo'lishi mumkin, ammo qo'shimcha energiya sarfi va jarayonning barqarorligi muammolari mavjud [24,25].

Xulosa va takliflar.

Ushbu maqolada biogaz ishlab chiqarish qurilmalariga ta'sir etuvchi ichki va tashqi omillar batafsil tahlil qilindi. Ichki omillar (harorat, pH darajasi, C/N nisbati, OLR, HRT va inhibitor



moddalar) anaerob fermentatsiya jarayonining mikrobiologik muvozanatini belgilab, optimal sharoitlarda metan hosildorligini maksimal darajaga yetkazadi [1,2,3,9,10,11,17]. Tashqi omillar (iqlim sharoitlari, xom ashyo logistika, iqtisodiy to'siqlar, davlat tarafidan qo'llab-quvvatlash va texnik bilimsizlik) esa jarayonni bilvosita cheklaydi va ko'pincha qurilmalarning barqaror ishlashiga asosiy to'sqinlik qiladi [5,6,7,14,16,20]. O'zbekiston sharoitida biogaz potentsiali yuqori bo'lsa-da (yiliga millionlab tonna chorva go'ngi va qishloq xo'jaligi chiqindilari mavjud), sovuq qishlar (psixrofil rejim), tashish muammolari, subsidiyalar yetishmasligi va texnik xizmat ko'rsatishning zaifligi sababli mavjud loyihalarning ko'pchiligi muvaffaqiyatsiz yakunlanmoqda [7,8,13,19]. Muhokama shuni ko'rsatdiki, faqat texnik parametrlar optimallashtirilsa ham yetarli emas, shuningdek, iqtisodiy va ijtimoiy omillarni ham birgalikda hal qilish zarur [10, 20, 22, 23]. Grafik tahlillar psixrofil sharoitda hosildorlikning keskin pasayishini tasdiqlaydi, bu O'zbekistonning qishki iqlimida katta muammo ekanligini yana bir bor isbotlaydi. Shu asosda quyidagi taklif va tavsiyalar beriladi:

3-jadval.

Taklif va tavsiyalar

Bo'lim	Taklif	Tafsilotlar va qo'shimchalar	Tavsiya
Texnik va texnologik takliflar	Quyosh yordamida isitish tizimlari va izolyatsiya	Quyosh isitish tizimlari orqali psixrofil sharoitlarda digestorni isitish va izolyatsiyalash jarayonni barqarorlashtirish. Qo'shimcha taklif: O'zbekistonning quyoshli iqlimidan foydalanib, gibrid quyosh-biogaz tizimlarini joriy etish, va bu orqali gaz ishlab chiqarishni 20-30% oshirishi.	O'zbekistonda Quyosh energiyasidan foydalanish potentsilai yuqori hisoblanadi, shuning uchun bu texnologiyani fermer xo'jaliklarida sinab ko'rish mumkin.
Texnik va texnologik takliflar	Qo'shma fermentatsiya va mikroaeratsiya	Chorva go'ngi bilan paxta qoldiqlarini aralashtirib fermentatsiya qilish orqali C/N nisbati va VFA darajasini optimallashtirish. Qo'shimcha taklif: Mikroorganizmlarni maxsus shtammlar bilan boyitish (masalan, metanogen bakteriyalar), bu inhibitsiyani 15-25% kamaytirishi mumkin.	O'zbekistonning paxta chiqindilari ko'p, shuning uchun bu usulni paxtani ko'p yetishtiruvchi viloyatlarda pilot loyihalarda qo'llash mumkin.
Texnik va texnologik takliflar	Kichik modulli fermentatorlar va monitoring	Uy xo'jaligi darajasidagi reaktorlar va sensorlar (pH, harorat, gaz chiqishi) orqali monitoring qilish. Qo'shimcha taklif: IoT (Internet of Things) asosidagi mobil ilovalarni qo'shish, bu fermerlar real vaqtda ma'umotlarni kuzatib, xatolarni tez bartaraf etishiga yordam beradi.	Bu texnologiya arzon va O'zbekistonning qishloq hududlarida elektr tarmog'i bilan to'liq taminlanmagan joylarda foydali bo'ladi.
Iqtisodiy takliflar	Subsiyalar, kreditlar va soliq imtiyozlari	Hukumat subsidiyalari orqali xarajatlarni kamaytirish. Qo'shimcha taklif: Biogazdan olingan biogumusni (qoldiq o'g'it) sotish orqali qo'shimcha daromad manbaini yaratish, bu loyihaning o'zini o'zi oqlash muddatini 2-3 yilga qisqartirishi mumkin.	O'zbekistonning "Yashil iqtisodiyot" dasturiga mos, xususiy investorlar jalb qilish.
Iqtisodiy takliflar	Milliy standartlar va sertifikatlash	Texnik talablar va nazorat tizimini ishlab chiqish. Qo'shimcha taklif: Biogaz qurilmalarini import qilish o'rniga mahalliy ishlab chiqarishni rag'batlantirish, bu ish o'rinlarini yaratadi va narxlarni pasaytiradi	O'zbekistonning sanoat siyosatiga mos, masalan, "Made in Uzbekistan" brendini biogaz texnologiyalariga qo'llash.
Ijtimoiy va ta'limiy takliflar	Ta'lim dasturlari	Fermerlar uchun maxsus kurslar (monitoring, xavfsizlik) tashkil etish. Qo'shimcha taklif: Onlayn	O'zbekistonning ta'lim tizimida raqamli resurslarni



		platformalar va video darsliklarni yaratish, bu qishloq aholisiga masofaviy ta'lim berishga yordam beradi.	kengaytirish, masalan, YouTube kanallari orqali.
Ijtimoiy va ta'limiy takliflar	Pilot loyihalarni kengaytirish	Orol dengizi havzasida loyihalarni rivojlantirish, REPIC va FAO tajribasidan foydalanish. Qo'shimcha taklif: Mahalliy jamoalarni jalb qilish orqali "Do-it-yourself" (o'z qo'llaringiz bilan) fermentatyorlar qurilishini o'rgatish, bu xarajatlarni kamaytiradi.	Qoraqalpog'iston va Xorazmda ekologik muammolar ko'p, shuning uchun bu loyihalar ijtimoiy ta'sir ko'rsatadi.
Umumiy xulosa	Takliflarni amalga oshirish	Biogaz rivoji orqali chiqindilar boshqarish, dekarbonizatsiya va energiya xavfsizligini ta'minlash. Qo'shimcha taklif: Yillik monitoring va baholash tizimini joriy etish, bu takliflarni doimiy ravishda takomillashtirishga yordam beradi.	"Yashil energiya" strategiyasiga moslashtirib, 2030-yilgacha biogazdan 10% qishloq energiyasini ta'minlash maqsadini qo'yish.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

- [1]. Nwokolo N., et al. Factors affecting anaerobic digestion for biogas production: a review // Advanced Biorefineries for Sustainable Production and Distribution. – 2023. – DOI: 10.1016/B978-0-323-85792-5.00020-4.
- [2]. Alimoradi A., et al. Biogas: Production, properties, applications, economic and challenges: A review // Fuel. – 2024. – Vol. 377. – Art. 132782. – DOI: 10.1016/j.fuel.2024.132782.
- [3]. Bose D., et al. Emerging technologies for biogas production: A critical review on recent progress, challenges and future perspectives // Progress in Energy and Combustion Science. – 2024. – Vol. 103. – Art. 101345. – DOI: 10.1016/j.peccs.2024.101345.
- [4]. Elsharkawy K., et al. Enhancing anaerobic digestion efficiency: A comprehensive review on innovative intensification technologies // Energy Conversion and Management. – 2024. – Vol. 317. – Art. 118863. – DOI: 10.1016/j.enconman.2024.118863.
- [5]. Mittal S., et al. Barriers to the wider implementation of biogas as a source of energy: A state-of-the-art review // Energy Strategy Reviews. – 2019. – Vol. 26. – Art. 100414. – DOI: 10.1016/j.esr.2019.100414.
- [6]. Glivin G., et al. A review on operating parameters, types of biodigesters, solar assisted heating systems, socio-economic benefits and challenges // Chemosphere. – 2022. – Vol. 293. – Art. 133579. – DOI: 10.1016/j.chemosphere.2022.133579.
- [7]. Saidmamatov O., Rudenko I., Baier U., Khodjanizayov E. Challenges and solutions for biogas production from agriculture waste in the Aral Sea Basin // Processes. – 2021. – Vol. 9, No. 2. – Art. 199. – DOI: 10.3390/pr9020199.
- [8]. Saidmamatov O., et al. Biogas production from agricultural waste in the Aral Sea Basin: Development of pilot plants. – REPIC Project Report, 2020.
- [9]. Ibro M. K., et al. Biogas production optimization in the anaerobic codigestion process: A critical review on process parameters modeling and simulation tools // Journal of Chemistry. – 2024. – DOI: 10.1155/2024/4599371.
- [10]. Advances and Challenges in Anaerobic Digestion for Biogas Production: Policy, Technological, and Microbial Perspectives // Processes. – 2025. – Vol. 13, No. 11. – Art. 3648. – DOI: 10.3390/pr13113648.
- [11]. Kinetics and Energy Yield in Anaerobic Digestion: Effects of Substrate Composition and Fundamental Operating Conditions // Energies. – 2025. – Vol. 18, No. 23. – Art. 6262. – DOI: 10.3390/en18236262.
- [12]. Optimization of the Factors Affecting Biogas Production Using the Taguchi Design of Experiment Method // Biomass. – 2024. – Vol. 4, No. 3. – P. 687–703. – DOI: 10.3390/biomass4030038.



- [13]. Emerging materials and pretreatment strategies in anaerobic digestion for biogas production: A review on recent advances, limitations, and future perspectives // *Industrial Crops and Products*. – 2025. – Vol. 224. – Art. 120218. – DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.120218.
- [14]. New insights into the factors influencing methanogenic pathways in anaerobic digesters // *Anaerobe*. – 2024. – Art. 102925. – DOI: 10.1016/j.anaerobe.2024.102925.
- [15]. Effect of Anaerobic Digestion Parameters for Enhanced Biogas Production in Wastewater Treatment Process Using Statistical Experimental Design Analysis // *International Journal of Environmental Science and Development*. – 2024. – Vol. 16, No. 3. – DOI: 10.7763/IJESD.2024.V16.1524.
- [16]. Development and performance analysis of a biogas reactor using livestock manure // *Science, Technology and Environmental Trends*. – 2025. – No. 1. – Art. 340385. – DOI: 10.21608/stet.2025.340385.
- [17]. A critical review of biogas production and upgrading from organic wastes: Recent advances, challenges and opportunities // *Biomass and Bioenergy*. – 2025. – Vol. 194. – Art. 107566. – DOI: 10.1016/j.biombioe.2024.107566.
- [18]. Investigating the barriers and mitigation strategies for biogas adoption in a developing economy: A multi-stakeholder networks perspective // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2024. – DOI: 10.1016/j.psep.2024.6281.
- [19]. Kumar R., et al. A comprehensive review on biogas production from food waste: Exploring cutting-edge technologies and innovations // *Bioresource Technology Reports*. – 2024. – Vol. 25. – Art. 101739. – DOI: 10.1016/j.biteb.2023.101739.
- [20]. *Biogases – Renewables 2025 – Analysis*. – Paris: International Energy Agency (IEA), 2025.
- [21]. *Reshaping Energy in Eurasia: Insights from Kazakhstan and Uzbekistan*. – PwC Report. – 2025.
- [22]. Moset V., Poulsen M., de Albuquerque B. M. R., Nielsen J. L. Mesophilic versus thermophilic anaerobic digestion of cattle manure: methane productivity and microbial ecology // *Microbial Biotechnology*. – 2015. – Vol. 8, No. 5. – P. 787–800. – DOI: 10.1111/1751-7915.12271.
- [23]. Saady N. M. C. Impact of organic loading rate on psychrophilic anaerobic digestion of solid dairy manure // *Energies*. – 2015. – Vol. 8, No. 3. – P. 1990–2015. – DOI: 10.3390/en8031990.
- [24]. O‘zbekiston Respublikasi Ekologiya, atrof-muhitni muhofaza qilish va iqlim o‘zgarishi vazirligi. «Ecoenergy» tadqiqot markazi hisoboti. – Toshkent, 2024.