

OZIQ-OVQAT CHIQINDILARIDAN ANAEROB BIOREAKTORLARDA BIOGAZ ISHLAB CHIQARISH TEXNOLOGIYALARINING ZAMONAVIY TAHLILI

*Navoiy davlat konchilik texnologiyalar niversiteti,
Agronomiya va kommunikatsion texnologiyalar fakulteti
109M-25BIO guruh talabasi Mirkomilova Lola O‘tkirovna*

Annotatsiya. Mazkur maqolada oziq-ovqat chiqindilaridan anaerob bioreaktorlar yordamida biogaz ishlab chiqarish texnologiyalarining zamonaviy holati va rivojlanish istiqbollari tahlil qilindi. Tadqiqot davomida organik chiqindilarni qayta ishlashning ekologik va iqtisodiy afzalliklari o‘rganildi. Anaerob parchalanish jarayonining asosiy bosqichlari, bioreaktor turlari va ularda hosil bo‘ladigan biogaz tarkibi ilmiy manbalar asosida yoritildi. Shuningdek, oziq-ovqat chiqindilaridan samarali foydalanish orqali energiya resurslarini tejash va atrof-muhit ifloslanishini kamaytirish imkoniyatlari ko‘rib chiqildi. Tadqiqot natijalari biogaz texnologiyalarini rivojlantirishda anaerob bioreaktorlarning yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko‘rsatdi.

Kalit so‘zlar: *Biogaz, anaerob parchalanish, oziq-ovqat chiqindilari, bioreaktor, bioenergetika, metan, organik chiqindi.*

Аннотация: В данной статье проведен современный анализ технологий производства биогаза из пищевых отходов в анаэробных биореакторах. В ходе исследования изучены экологические и экономические преимущества переработки органических отходов. Освещены основные этапы анаэробного разложения, типы биореакторов и состав образующегося биогаза. Рассмотрены возможности экономии энергетических ресурсов и снижения загрязнения окружающей среды за счет эффективного использования пищевых отходов. Результаты исследования показали высокую эффективность анаэробных биореакторов в развитии биогазовых технологий.

Ключевые слова. *Биогаз, анаэробное разложение, пищевые отходы, биореактор, биоэнергетика, метан, органические отходы.*

Annotation: This article presents a modern analysis of biogas production technologies from food waste using anaerobic bioreactors. The study examined the ecological and economic advantages of processing organic waste. The main stages of anaerobic digestion, types of bioreactors, and the composition of produced biogas were analyzed based on scientific sources. Opportunities for saving energy resources and reducing environmental pollution through efficient utilization of food waste were also

discussed. The research results demonstrated the high efficiency of anaerobic bioreactors in the development of biogas technologies.

Keywords: *Biogas, anaerobic digestion, food waste, bioreactor, bioenergy, methane, organic waste.*

KIRISH

Bugungi kunda dunyo miqyosida oziq-ovqat chiqindilarining ortib borishi ekologik va iqtisodiy muammolardan biri sifatida tarqalmoqda. BMT ma'lumotlariga ko'ra, har yili milliardlab tonna oziq-ovqat mahsulotlari chiqindi sifatida tashlab yuboriladi. Ushbu chiqindilar atmosfera havosiga katta miqdorda issiqxona gazlarini chiqarib, global iqlim o'zgarishiga salbiy ta'sir ko'rsatmoqda. Oziq-ovqat chiqindilarini qayta ishlashning samarali usullaridan biri anaerob parchalanish texnologiyasi hisoblanadi. Mazkur texnologiya orqali organik chiqindilardan biogaz va biologik o'g'it olish mumkin. Anaerob bioreaktorlar yordamida chiqindilarni qayta ishlash qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan foydalanish imkoniyatini yaratadi. So'nggi yillarda O'zbekistonda ham qayta tiklanuvchi energiya manbalaridan samarali foydalanish, ekologik xavfsizlikni ta'minlash va "yashil iqtisodiyot" tamoyillarini joriy etishga alohida e'tibor qaratilmoqda. Jumladan, O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 22-avgustdagi PQ-4422-sonli "Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohada energiya samaradorligini oshirish, energiya tejoychi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor choratadbirlari to'g'risida"gi qarorida qayta tiklanuvchi energiya texnologiyalarini keng joriy etish ustuvor vazifa sifatida belgilangan. Ushbu qaror organik chiqindilarni qayta ishlash va bioenergetika texnologiyalarini rivojlantirish uchun muhim huquqiy asos bo'lib xizmat qiladi. Ayniqsa, energiya resurslari tanqis bo'lgan hududlarda ushbu texnologiyaning ahamiyati yanada ortmoqda. Shu sababli oziq-ovqat chiqindilaridan biogaz ishlab chiqarish texnologiyalarini ilmiy jihatdan tahlil qilish dolzarb masala hisoblanadi. Mazkur maqolaning asosiy maqsadi oziq-ovqat chiqindilaridan anaerob bioreaktorlarda biogaz ishlab chiqarish texnologiyalarining zamonaviy holatini tahlil qilish, ularning samaradorligini o'rganish va O'zbekiston sharoitida rivojlantirish istiqbollari aniqlashdan iborat.

METODOLOGIYA

Ushbu ilmiy izlanishda tizimli tahlil, qiyosiy o'rganish va matematik modellashtirish metodlaridan foydalanildi. Tadqiqot obyekti sifatida oshxonada chiqindilari, meva-sabzavot chiqindilari, restoran va supermarket organik chiqindilari tanlab olindi.

Metodologik asos sifatida dunyoning yetakchi biotexnolog olimlari tomonidan o'tkazilgan 30 dan ortiq fundamental tajribalar natijalari umumlashtirildi. Tajriba

ishlari laboratoriya sharoitida hajmi 50 litr bo‘lgan anaerob bioreaktor yordamida olib borildi. Bioreaktor germetik yopiq tizimdan iborat bo‘lib, gaz yig‘ish kamerasi, aralashtirish mexanizmi va haroratni nazorat qilish tizimi bilan jihozlandi. Tadqiqot davomida mezofil (35–37°C) va termofil (50–55°C) rejimlarda biogaz hosildorligi o‘zaro taqqoslandi .

Anaerob parchalanish quyidagi biologik bosqichlar orqali amalga oshiriladi:

Gidroliz — murakkab organik moddalarni oddiy birikmalarga parchalanishi;

Atsidogenez — organik kislotalar hosil bo‘lish jarayoni;

Asetogenez — sirka kislotasi va vodorod hosil bo‘lishi;

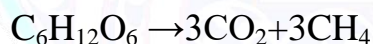
Metanogenez — metan hosil qiluvchi bakteriyalar faoliyati.

1-jadval

Tadqiqot davomida biogaz hosildorligiga ta’sir qiluvchi parametrlar:

Parametr	Optimal qiymat	Jarayonga ta’siri
pH muhiti	6.8-7.2	Metanogen bakteriyalar faolligini oshiradi
Harorat	35–55°C	Biogaz hosildorligini belgilaydi
Namlik	75–85 %	Mikroorganizmlar faoliyatini yaxshilaydi
C/N nisbati	20:1 – 30:1	Organik parchalanishni muvozanatlashtiradi
HRT	15–30 kun	Gaz hosil bo‘lish samaradorligini oshiradi
Organik yuklama	2–4 kg VS/m ³ ·kun	Reaktor barqarorligini ta’minlaydi

Jarayonning umumiy kimyoviy reaksiyasi quyidagicha ifodalanadi:



Biogaz tarkibidagi metan (CH₄) va karbonat anhidrid (CO₂) miqdori gaz analizatori yordamida aniqlandi. Amaliy tajribada 30 kg oziq-ovqat chiqindisi maydalangan holda bioreaktorga joylashtirildi. Substrat tarkibiga 70 % namlik hosil qilish uchun suv qo‘shildi va boshlang‘ich pH qiymati 7.0 ga tenglashtirildi. Tajriba 30 kun davomida olib borildi. Har kuni hosil bo‘lgan biogaz hajmi o‘lchab borildi. Tajriba natijalariga ko‘ra: mezofil rejimda kunlik o‘rtacha biogaz hosildorligi 0.52 m³/kg VS ni tashkil etdi; termofil rejimda esa ushbu ko‘rsatkich 0.68 m³/kg VS gacha yetdi. Metan ulushi mezofil tizimda 60–65 %, termofil tizimda esa 68–72 % oralig‘ida bo‘ldi. Tadqiqot davomida termofil rejimda parchalanish tezligi yuqori bo‘lsa-da, energiya sarfi mezofil tizimga nisbatan ko‘proq ekanligi kuzatildi.

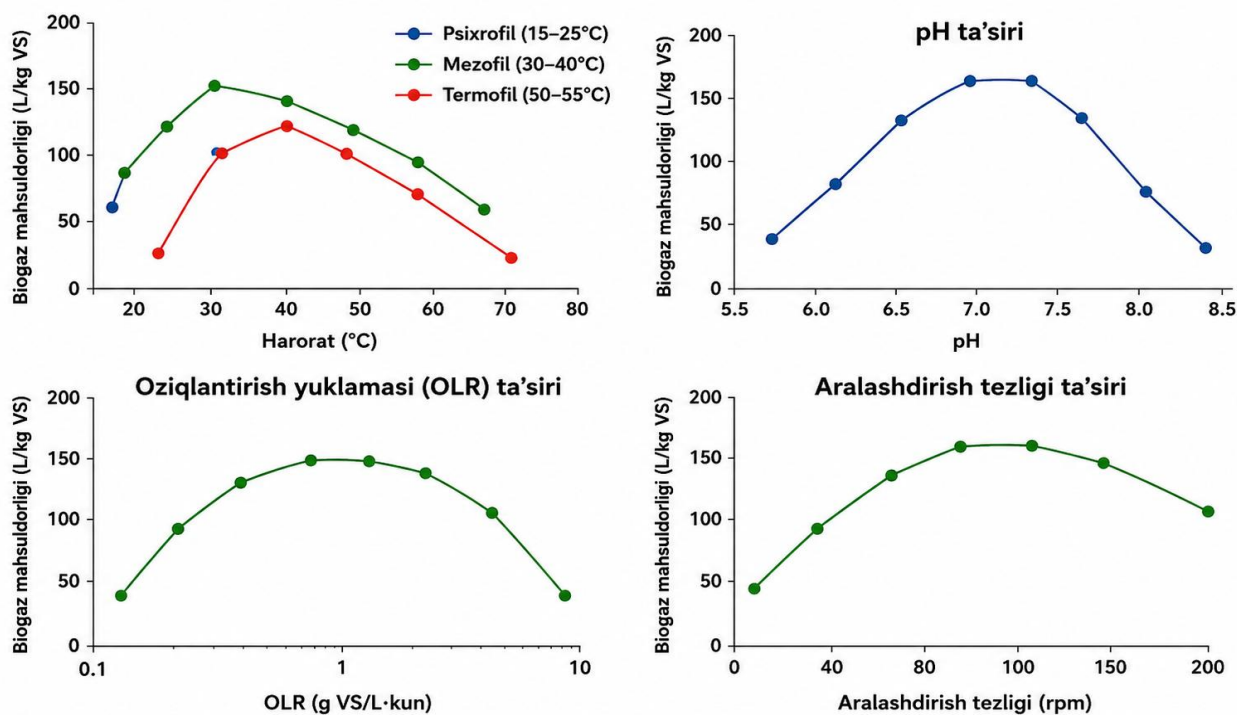
NATIJALAR VA MUHOKAMA

Olib borilgan tadqiqot natijalari oziq-ovqat chiqindilaridan anaerob parchalanish asosida biogaz ishlab chiqarish yuqori samaradorlikka ega ekanligini ko'rsatdi. Tajriba davomida organik chiqindilar tarkibidagi uglevod va yog' moddalarining metan hosildorligiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi aniqlandi.

Termofil rejimdagi bioreaktorlarda organik moddalarning parchalanish tezligi yuqori bo'lib, gaz hosildorligi mezofil rejimga nisbatan 18–22 % ga ortgani kuzatildi. Biroq yuqori haroratni saqlash uchun qo'shimcha energiya talab qilinishi iqtisodiy jihatdan muhim omil ekanligi qayd etildi. Tadqiqot natijalariga ko'ra, restoran va supermarket chiqindilaridan olingan substratlar yuqori biogaz hosildorligini ta'minladi. Bu holat mazkur chiqindilar tarkibida biologik parchalanadigan organik moddalar ulushi yuqori ekanligi bilan izohlanadi. Bioreaktorda pH muhitining 6.8–7.2 oralig'ida saqlanishi metanogen bakteriyalar faoliyatini barqarorlashtirgani aniqlandi. pH ko'rsatkichining pasayishi esa biogaz hosildorligining kamayishiga olib keldi. Shu bilan birga, mezofil tizimlar uzoq muddatli ishlashda barqaror ekanligi kuzatildi.

1-rasm

Anaerob bioreaktorlarda texnologik parametrlar variatsiyasining solishtirma biogaz mahsuldorligiga ta'siri:



Yuqoridagi 1-rasm anaerob parchalanish (anaerobic digestion) jarayonida biogaz hosildorligiga ta'sir qiluvchi asosiy texnologik parametrlarning o'zaro bog'liqligini ko'rsatadi. Grafiklarda harorat, pH muhiti, organik yuklama (OLR) hamda aralashtirish tezligining biogaz ishlab chiqarish samaradorligiga ta'siri

eksperimental ma'lumotlar asosida tasvirlangan. Har bir parametr mikroorganizmlar faoliyatiga bevosita ta'sir qilib, metan hosil bo'lish intensivligini belgilaydi.

Haroratning biogaz hosildorligiga ta'siri: Birinchi grafikda haroratning turli biologik rejimlarda — psixrofil (15–25°C), mezofil (30–40°C) va termofil (50–55°C) sharoitlarda biogaz hosildorligiga ta'siri ko'rsatilgan. Grafik natijalari mezofil rejim anaerob parchalanish uchun eng barqaror va samarali harorat diapazoni ekanligini ko'rsatadi. Xususan, 30–40°C oralig'ida biogaz hosildorligi maksimal qiymatlarga yetib, taxminan 150 L/kg VS atrofida kuzatilgan. Harorat mikroorganizmlar metabolik faolligini boshqaruvchi asosiy omillardan biridir. Past haroratlarda fermentativ reaksiyalar sekinlashadi, organik moddalarning gidrolizi sust kechadi va metanogen bakteriyalar faoliyati pasayadi. Shu sababli psixrofil sharoitda biogaz hosildorligi nisbatan past bo'lgan. Termofil rejimda esa organik moddalarning parchalanish tezligi yuqori bo'lsa-da, 55°C dan yuqori haroratlarda ayrim metanogen mikroorganizmlar termik stressga uchraydi. Natijada mikrobiologik muvozanat buzilib, uchuvchi yog' kislotalari to'planishi kuzatiladi va biogaz hosildorligi kamayadi. Bundan tashqari, yuqori harorat energiya sarfini oshiradi hamda reaktorni boshqarishni murakkablashtiradi. Grafik anaerob reaktorlarda mezofil rejim energetik samaradorlik, jarayon barqarorligi va metan hosildorligi nuqtai nazaridan optimal ekanligini ko'rsatadi.

pH muhitining ta'siri: Ikkinchi grafik anaerob tizimdagi pH qiymatining biogaz hosildorligiga ta'sirini ifodalaydi. Natijalarga ko'ra, maksimal biogaz ishlab chiqarish pH 7.0–7.5 oralig'ida kuzatilgan. pH anaerob parchalanish bosqichlari o'rtasidagi muvozanatni saqlab turadi. Jarayon davomida gidroliz va atsidogenez bosqichlarida organik kislotalar hosil bo'ladi. Agar bu kislotalar ortiqcha to'planib qolsa, pH pasayadi. Kislotali muhitda (pH < 6.5) metanogen bakteriyalar faoliyati keskin kamayadi, chunki ular pH o'zgarishiga juda sezgir hisoblanadi. Grafikda ham pH 5.5–6.0 oralig'ida biogaz hosildorligi minimal darajada ekanligi ko'rinadi. Boshqa tomondan, pH juda yuqori bo'lganda (8.0 dan yuqori) ammiak toksikligi yuzaga kelishi mumkin, bu esa mikroorganizmlar faoliyatini susaytiradi. Anaerob reaktor samaradorligini ta'minlash uchun pH ni neytral muhit atrofida barqaror saqlash zarur.

Oziqlantirish yuklamasi (OLR) ta'siri: Uchinchi grafikda organik yuklama tezligi — OLR (Organic Loading Rate) ning biogaz hosildorligiga ta'siri ko'rsatilgan. OLR reaktorga bir birlik hajmga nisbatan ma'lum vaqt davomida beriladigan organik modda miqdorini anglatadi. Grafikdan ko'rinadiki, OLR ortishi bilan dastlab biogaz hosildorligi ham ortadi, chunki mikroorganizmlar uchun organik substrat miqdori ko'payadi. Taxminan 0.8–1.5 g VS/L·kun diapazonida maksimal hosildorlik kuzatilgan. Biroq OLR haddan tashqari oshirilganda anaerob tizimda organik moddalarning to'liq parchalanishga ulgurmasligi kuzatiladi. Natijada uchuvchi yog'

kislotalari to‘planadi, pH pasayadi. Grafikning yuqori OLR qiymatlarida pasayish tendensiyasi aynan shu holat bilan izohlanadi. Bu natijalar reaktorga substrat berish tezligini optimal darajada boshqarish anaerob tizimning uzoq muddatli barqaror ishlashi uchun muhim ekanligini ko‘rsatadi.

Aralashtirish tezligining ta‘siri: To‘rtinchi grafik aralashtirish tezligining biogaz hosildorligiga ta‘sirini ko‘rsatadi. Aralashtirish anaerob reaktorda issiqlik va substratning bir tekis taqsimlanishini ta‘minlaydi, mikroorganizmlar bilan organik moddalarning kontakt yuzasini oshiradi hamda cho‘kma hosil bo‘lishining oldini oladi. Aralashtirish tezligi oshishi bilan biogaz hosildorligi ham ortib boradi va taxminan 80–120 rpm oralig‘ida maksimal qiymatga erishadi. Bu diapazonda substrat va mikroorganizmlar o‘rtasidagi massa almashinuvi eng samarali holatda bo‘ladi. Biroq juda yuqori aralashtirish tezligida mikroorganizmlar koloniyalari va flokkulalari parchalanadi, biologik struktura buziladi hamda tizimda gidrodinamik stress yuzaga keladi. Bundan tashqari, energiya sarfi oshadi. Shu sababli grafikda 150–200 rpm oralig‘ida biogaz hosildorligi pasaygani kuzatiladi.

Grafiklar anaerob biogaz ishlab chiqarish jarayonida texnologik parametrlarni optimallashtirish muhimligini yaqqol ko‘rsatadi. Tadqiqot natijalariga ko‘ra quyidagi ko‘rsatkichlar biogaz hosildorligini maksimal darajada ta‘minlaydi

2-jadval

1.	mezofil harorat rejimi	30–40°C
2.	neytral pH muhiti	7.0–7.5
3.	o‘rtacha OLR qiymati	0.8–1.5 g VS/L·kun
4.	mo‘tadil aralashtirish tezligi	80–120 rpm

Mazkur parametrlarning optimal kombinatsiyasi mikroorganizmlar metabolizmini faollashtirib, organik moddalarning samarali parchalanishini va metan hosildorligining ortishini ta‘minlaydi. Shu sababli sanoat va laboratoriya miqyosidagi anaerob reaktorlarni loyihalash hamda boshqarishda ushbu omillarni nazorat qilish hal qiluvchi ahamiyatga ega hisoblanadi.

XULOSA

Ushbu ilmiy tadqiqotda oziq-ovqat chiqindilaridan anaerob bioreaktorlar yordamida biogaz ishlab chiqarish texnologiyalarining zamonaviy holati va samaradorligi kompleks tahlil qilindi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, anaerob parchalanish jarayoni organik chiqindilarni qayta ishlashning eng istiqbolli va ekologik xavfsiz usullaridan biri bo‘lib, u bir vaqtning o‘zida ham energiya ishlab chiqarish, ham chiqindilarni utilizatsiya qilish imkonini beradi. Eksperimental natijalar asosida mezofil va termofil rejimlar o‘zaro taqqoslanganda. Biroq ushbu rejimda yuqori haroratni saqlash uchun qo‘shimcha energiya sarfi talab etilishi iqtisodiy

samaradorlikni ma'lum darajada cheklashi qayd etildi. Mezofil rejim esa nisbatan pastroq gaz hosildorligiga ega bo'lsa-da, barqaror ishlash va energiya tejamkorligi bilan ajralib turadi. Shuningdek, restoran va supermarket chiqindilarining yuqori biodegradatsiyalanish darajasi ularni biogaz ishlab chiqarish uchun eng samarali xomashyo sifatida ko'rsatdi. Umuman olganda, tadqiqot natijalari oziq-ovqat chiqindilaridan biogaz ishlab chiqarish texnologiyalari O'zbekiston sharoitida ekologik xavfsizlikni ta'minlash, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini kengaytirish va chiqindilarni kompleks qayta ishlash tizimini shakllantirishda muhim ahamiyat kasb etishini ko'rsatdi.

Yakuniy xulosa sifatida aytishimiz mumkinki oziq-ovqat chiqindilaridan anaerob bioreaktorlarda biogaz ishlab chiqarish texnologiyalari ekologik barqarorlikni ta'minlash, qayta tiklanuvchi energiya manbalarini kengaytirish va chiqindilarni samarali utilizatsiya qilishda muhim ilmiy-amaliy ahamiyatga ega ekanligi aniqlandi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

- 1.O'zbekiston Respublikasi Prezidentining 2019-yil 22-avgustdagi PQ-4422-sonli "Iqtisodiyot tarmoqlari va ijtimoiy sohada energiya samaradorligini oshirish, energiya tejavchi texnologiyalarni joriy etish va qayta tiklanuvchi energiya manbalarini rivojlantirishning tezkor chora-tadbirlari to'g'risida"gi qarori. – Toshkent, 2019.
- 2.Mata-Alvarez J., Cecchi F. Anaerobic digestion of organic solid wastes: achievements and perspectives // *Bioresource Technology*. – 2021. – Vol. 337. – P. 125410.
- 3.Alonso R.M., Keller J., Freguia S. Integration of microbial electrochemical technologies with anaerobic digestion systems // *Renewable Energy*. – 2021. – Vol. 172. – P. 523–535.
- 4.Zhang C., Li Y. High-efficiency anaerobic bioreactors for food waste treatment and methane recovery // *Renewable Energy*. – 2022. – Vol. 181. – P. 633–645.
- 5.Karimov O.M. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarining iqtisodiy samaradorligi // *Energetika va innovatsion texnologiyalar jurnali*. – Toshkent, 2021. – №3. – B. 45–52.
- 6.Axmedov B.I. Ekologik monitoring tizimlarida raqamli texnologiyalarning ahamiyati // *Ekologiya va atrof-muhit muhofazasi*. – Toshkent, 2022. – №2. – B. 28–34.
- 7.Raximov Sh.T Organik chiqindilarni qayta ishlashning innovatsion texnologiyalari // *Kimyo va kimyoviy texnologiyalar*. – Navoiy, 2021. – №4. – B. 60–68.
- 8.Ismoilov A.A., Yuldashev Q.X., Tursunov N.B. O'zbekiston qishloq xo'jaligida biogaz ishlab chiqarish istiqbollari // *Qishloq xo'jaligi ilm-fani axborotnomasi*. – Samarqand, 2022. – №1. – B. 71–77.

- 9.Khan M., Gupta R. Smart monitoring systems for anaerobic biogas reactors using IoT technologies // Sustainable Energy Technologies and Assessments. – 2024. – Vol. 61. – P. 103512.
- 10.Piercy E., Brown T., Mitchell R. Temporal dynamics of microbial communities in anaerobic digestion systems // Biotechnology Research. – 2025. – Vol. 14(2). – P. 88–101.
- 11.Tursunov N.B. Bioenergetika tizimlarida IoT texnologiyalaridan foydalanish // Axborot texnologiyalari va energetika. – 2024. – №2. – B. 39–46.
- 12.Yuldashev Q.X. Anaerob parchalanish texnologiyalarining ekologik afzalliklari // Ekologik xavfsizlik muammolari. – Toshkent, 2023. – №5. – B. 14–21.
- 13.Islomov F.A. Biogaz qurilmalarida energiya samaradorligini oshirish usullari // Muqobil energetika manbalari. – 2022. – №3. – B. 50–57...