



KOMBINATSIYALASHGAN BIOENERGETIK QURILMADAN MUQOBIL ENERGIYA OLISH SAMARADORLIGINI TADQIQOT QILISH

Hatamov Inomjon Amrulloevich¹-katta o'qituvchi,

<https://orcid.org/0000-0003-2761-4777> e-mail: hotamjon.88@mail.ru

Elmurodov Nuriddin Sayitmurodovich²-t.f.f.d., PhD

<https://orcid.org/0000-0002-2992-3533> e-mail: elmurodov_nuriddin@mail.ru

¹Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

²Qarshi davlat universiteti, Qarshi, O'zbekiston

Annotatsiya. Kirish. Bugungi kunda dunyo miqyosida an'anaviy yoqilg'i-energiya resurslaridan samarali va tejankor foydalanish, ekologik muvozanatni saqlash hamda atrof-muhitga chiqarilayotgan zararli chiqindilar hajmini kamaytirish muhim vazifalardan biri bo'lib qolmoqda.

Materiallar va usullar. Kombinatsiyalashgan bioenergetik qurilmada namligi 90-92% bo'lgan biomassa resurslaridan kompleks foydalanish orqali biogaz olish jarayoni amalga oshiriladi. 0,5 m³ hajmli bioreaktorga chorva va parranda chiqindilari yuklanib, quyosh kollektori yordamida termofil harorat rejimi ta'minlanadi.

Natijalar. Bioreaktorda olibborilgan tadqiqot ishlarida, termofil harorat rejimida biogaz hosil bo'lish samaradorligi 10-15% ga ortishi kuzatildi. Hajmi 0,5 m³ bo'lgan piroliz reaktorida 100 kg yog'och qirindisini termik qayta ishlash natijasida o'rtacha 25-30 kg qattiq bioko'mir, 45 kg suyuq bioyoqilg'i va 30 kg pirogaz hosil bo'lishi aniqlandi. Piroliz jarayonini amalga oshirish uchun bioreaktorda hosil bo'lgan biogazning 5–6 m³ qismi sarflanishi yetarli ekanligi hisob-kitoblar orqali asoslab berildi.

Xulosa. Kombinatsiyalashgan piroliz–biogaz qurilmasida energiya oqimlaridan kompleks foydalanish hisobiga piroliz jarayonida hosil bo'lgan issiqlikni bioreaktorni isitishda qayta ishlatish mumkin.

Kalit so'zlar: Bioreaktor, piroliz reaktori, chorva chiqindisi, parranda chiqindisi, pirogaz, substrat, yog'och qirindisi, bijg'ish, fermentatsiya.

Дата поступления: 10.03.2026. После обработки: 12.03.2026 Принято печать: 24.03.2026

For citation: Hatamov I.A., Elmurodov N.S. Investigation of the Efficiency of Alternative Energy Generation from a Combined Bioenergy System. *Alternative Energy*. 2026. 1(22). pp. 112-118. (In Uzb.)

УДК 628.477

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ИЗ КОМБИНИРОВАННОЙ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Хатамов Иномжон Амруллоевич¹ -старший преподаватель,

<https://orcid.org/0000-0003-2761-4777> e-mail: hotamjon.88@mail.ru

Эльмуродов Нуриддин Саитмуродович² – PhD

<https://orcid.org/0000-0002-2992-3533> e-mail: elmurodov_nuriddin@mail.ru

¹Каршинский государственный технический университет, Карши, Узбекистан

²Каршинский государственный университет, Карши, Узбекистан





Аннотация. Введение. В настоящее время в мировом масштабе одним из важнейших направлений является эффективное и экономное использование традиционных топливно-энергетических ресурсов, сохранение экологического баланса, а также сокращение объёмов вредных выбросов в окружающую среду.

Материалы и методы. Комбинированная биоэнергетическая установка обеспечивает получение биогаза за счёт комплексного использования биомассы с влажностью 90–92 %. В биореактор объёмом 0,5 м³ загружаются отходы животноводства и птицеводства, при этом с помощью солнечного коллектора обеспечивается термофильный температурный режим.

Результаты: В ходе проведённых исследований в биореакторе было установлено, что при термофильном температурном режиме эффективность образования биогаза увеличивается на 10–15%. В результате термической переработки 100 кг древесных опилок в пиролизном реакторе объёмом 0,5 м³ было определено, что в среднем образуется 25–30 кг твёрдого биоугля, 45 кг жидкого биотоплива и 30 кг пирогаза. Расчёты показали, что для осуществления процесса пиролиза достаточно расходовать 5–6 м³ биогаза, образующегося в биореакторе.

Закключение: Комбинированная установка пиролиза–биогаза позволяет комплексно использовать энергетические потоки, благодаря чему тепло, образующееся в процессе пиролиза, может быть повторно использовано для нагрева биореактора.

Ключевые слова: Биореактор, пиролизный реактор, отходы животноводства, отходы птицеводства, пиролизный газ, субстрат, древесная стружка, брожение, ферментация.

UDC 628.477

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF ALTERNATIVE ENERGY GENERATION FROM A COMBINED BIOENERGY SYSTEM

Hatamov Inomjon Amrulloevich¹-Senior Lecturer,

<https://orcid.org/0000-0003-2761-4777> e-mail: hotamjon.88@mail.ru

Elmurodov Nuriddin Sayitmurodovich²- PhD

<https://orcid.org/0000-0002-2992-3533> e-mail: elmurodov_nuriddin@mail.ru

¹Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

²Karshi State University, Karshi, Uzbekistan

Abstract. Introduction. Today, one of the most important global challenges is the efficient and economical use of traditional fuel and energy resources, the preservation of ecological balance, and the reduction of harmful emissions released into the environment.

Materials and methods. The biogas production process in a combined bioenergy system is carried out through the integrated utilization of biomass resources with a moisture content of 90–92%. Livestock and poultry wastes are loaded into a 0.5 m³ bioreactor, where a thermophilic temperature regime is maintained using a solar collector.

Results. During the research conducted in the bioreactor, it was observed that under thermophilic temperature conditions, the efficiency of biogas production increased by 10–15%. As a result of the thermal processing of 100 kg of wood chips in a 0.5 m³ pyrolysis reactor, it was determined that on average 25–30 kg of solid biochar, 45 kg of liquid biofuel, and 30 kg of pyrolysis gas are produced. Calculations also showed that 5–6 m³ of biogas generated in the bioreactor is sufficient to carry out the pyrolysis process.

Conclusion. In a combined pyrolysis–biogas system, it is possible to reuse the heat generated during the pyrolysis process for heating the bioreactor through the integrated utilization of energy flows.



Keywords: Bioreactor, pyrolysis reactor, livestock waste, poultry waste, pyrolysis gas, substrate, wood chips, anaerobic digestion, fermentation.

Kirish.

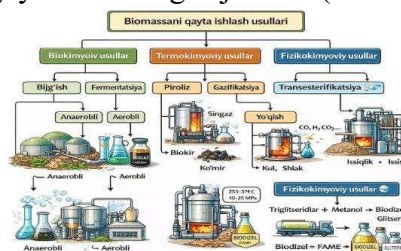
Mazkur tadqiqotda energiya samarador quyosh energetik qurilmalaridan foydalanish orqali chiqindilarni qayta ishlash jarayonini takomillashtirish hamda “yashil”, ekologik xavfsiz va chiqindilarni qayta ishlash texnologiyalarni joriy etish masalalari ko‘rib chiqilgan.

Maqolada mualliflar tomonidan biomassani termik usulda qayta ishlab muqobil yoqilg‘i olishga mo‘ljallangan quyosh suv qizdirish kollektori va termik piroliz reaktori asosidagi kombinatsiyalashgan piroliz-biogaz qurilmasi ishlab chiqilgan [1-5]. Ishlab chiqilgan qurilmaning biogaz reaktori, termik piroliz reaktorining kondensator sovutgichi va aktiv quyosh isitish tizimi bilan takomillashtirilgan.

Tadqiqot ishining maqsadi: biomassadan energiya olishning zamonaviy texnologiyalarini tadqiqot o‘rganish asosida kombinatsiyalashgan piroliz-biogaz qurilmasining energetik ko‘rsatkichlarini tahlil qilishdan iborat.

Biomassa energiyasi – bu organik moddalar, masalan, o‘simlik qoldiqlari, yog‘och, qishloq xo‘jaligi chiqindilari va ayrim qishloq xo‘jaligi mahsulotlaridan olinadigan energiya manbai. Bugungi kunda dunyo bo‘yicha energiya iste‘molining taxminan 10%–14% biomassa manbalaridan olinadi [6].

Zamonaviy ilmiy tadqiqotlarda biomassani qayta ishlash jarayonlari asosan biokimyoviy, termokimyoviy va fizik-kimyoviy yo‘nalishlarga ajratiladi(1-rasm).



1-rasm. Biomassani qayta ishlash usullari texnologiyalari

So‘nggi yillarda piroliz jarayonini o‘rganish bo‘yicha xorijiy hamda respublikamiz olimlari tomonidan ko‘plab ilmiy tadqiqotlar olib borilmoqda. Biomassa resurslarini tijorat jihatdan samarali foydalanishga moslashtirish, ular asosida sanoat uchun bioyoqilg‘i hamda yuqori qiymatga ega kimyoviy xomashyo mahsulotlarini ishlab chiqarish imkoniyatlari mavjud. Piroliz jarayoni boshqa yuqori haroratli texnologik jarayonlardan ayrim jihatlari bilan farqlanadi. Ushbu jarayon odatda 500–800 °C harorat oralig‘ida amalga oshiriladi va aynan shu harorat sharoitida o‘simlik biomateriallarini tashkil etuvchi asosiy komponentlar parchalanish bosqichiga o‘tadi [7-13]. Jarayonning dastlabki bosqichida qizdirish natijasida yuqori molekulyar tuzilishga ega birikmalar ajralib chiqadi hamda o‘simlik massasining asosiy qismi gazsimon mahsulotlarga aylanish jarayoni boshlanadi. 2-rasmida sodda ko‘rinishdagi piroliz jarayoni keltirilgan.



2-rasm. Sodda ko‘rinishdagi piroliz jarayoni.

Material va usullar.

Biomassa asosidagi energiya texnologiyalari, ayniqsa biogaz ishlab chiqarish (anaerob biyogaz orqali metan olish) hozirgi kunda dunyoda eng tez rivojlanayotgan qayta tiklanuvchi



energiya yo‘nalishlaridan biridir. Biogaz nafaqat energiya (elektr, issiqlik yoki biometan gaz) ishlab chiqarish uchun, balki yuqori samarali bioo‘g‘it olish uchun ham keng qo‘llaniladi.

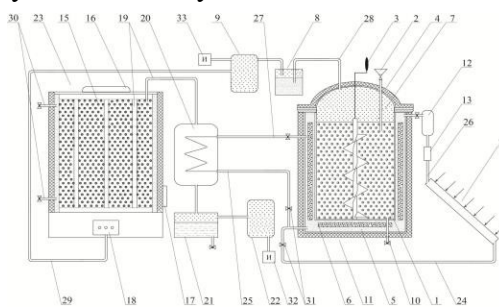
Jahon amaliyotida biomassa resurslaridan muqobil yoqilg‘ilar olishda asosan 2 ta usuldan foydalaniladi. Biokimyoviy ya‘ni anaerob bijg‘ish usulida, turli harorat rejimlarida (psixrofil, mezofil va termofil harorat rejimlari) gazsimon yoqilg‘i biogaz va bioo‘g‘it olinadi. Ikkinchidan, termokimyoviy usulda, ya‘ni, piroliz texnologiyasida qattiq, gazsimon va suyuq yoqilg‘ilar olish imkoniyati mavjud.

Biogaz qurilmalarida olib borilgan ko‘plab ilmiy tajribalar va soha mutaxassislarining tadqiqotlari shuni ko‘rsatadiki, anaerob bijg‘ish (anaerobic digestion) jarayonida hosil bo‘lgan biogazning muayyan qismi qurilmaning o‘z texnologik ehtiyojlarini ta‘minlash uchun sarflanadi [14-15]. Xususan, bijg‘ish jarayonining barqarorligini saqlash uchun reaktor ichidagi haroratni me‘yoriy darajada ushlab turish, biomassa aralashmasini doimiy ravishda aralashtirib turish, nasoslar, kompressorlar hamda gazni tozalash tizimlarini ishlatish zarur bo‘ladi. Shu sababli ishlab chiqarilgan biogazning sezilarli qismi bevosita qurilmaning ichki energiya talabi uchun ishlatiladi. Tadqiqotlarda qayd etilishicha, ayrim biogaz qurilmalarida umumiy ishlab chiqarilgan biogazning 30–60 % gacha qismi aynan reaktorni isitish, aralashtirish va yordamchi texnologik uskunalarni ishlatish uchun sarflanishi mumkin [14].

Bio reaktorni optimal haroratda (mezofil rejimda 35–38 °C yoki termofil rejimda 50–55 °C) ushlab turish uchun doimiy issiqlik energiyasi talab etiladi. Hisob-kitoblarga ko‘ra, substratni kerakli haroratgacha isitish va issiqlik yo‘qotishlarini qoplash uchun umumiy issiqlik sarfiga qo‘shimcha ravishda taxminan 30 % gacha energiya talab qilinadi. Bundan tashqari, bioreaktorda biomassa aralashmasini aralashtirish jarayonining o‘zi ham sezilarli energiya talab qiladi va ayrim tadqiqotlarda bu jarayon umumiy energiya sarfining 17–37 % gacha qismini tashkil etishi mumkinligi qayd etilgan [15].

Biogaz qurilmasining energiya samaradorligini oshirish va atrof-muhitga yo‘qotiladigan ikkilamchi energiya resurslarini utilizatsiya qilish maqsadida piroliz va biogaz texnologiyalarini birlashtirgan kombinatsiyalashgan bioenergetik qurilma ishlab chiqildi hamda dastlabki sinovdan o‘tkazildi. Ushbu qurilmada piroliz jarayonida kondensatorda hosil bo‘ladigan issiq suv energiyasi biogaz reaktorida qayta foydalaniladi.

Mazkur tajriba qurilmasi Qarshi davlat texnika universiteti Energetika muhandisligi kafedrasida olimlari tomonidan Muqobil energiya manbalari o‘quv-ilmiy poligonida yaratilgan hamda mahalliy biomassani termik qayta ishlash bo‘yicha sinovlar o‘tkazildi.



3-rasm. Kombinatsiyalashgan bioenergetik qurilma.

1-biomassa (chorva ekskrementi); 2-yuklash quvuri; 3-aralashtirgich; 4-qopqog‘; 5-bioreaktor suvli quvuri; 6- issiqlik akkumulyatorli quvur; 7-biogaz; 8-filtr; 9-gazogolder; 10-bioo‘g‘it chiqarish quvuri; 11-bioreaktor; 12-kengaytiruvchi bak; 13-termostat; 14-quyosh kollektori; 15-biomasa (o‘simlik qoldig‘i); 16-yuklash qopqog‘i; 17-chiqarish qopqog‘i; 18-o‘choq; 19-bug‘-gaz quvuri; 20- kondensator-sovutgich; 21- suyuq yoqilg‘i baki; 22-gazogolder; 23-piroliz reaktori; 24-25-past haroratli suv quvurlari; 26-27-yuqori haroratli suv quvurlari; 28-29-biogaz quvuri; 30- iste‘molchilarni issiq suv bilan ta‘minlash quvuri; 31-ventil; 31-33-istemolchi.

Kombinatsiyalashgan bioenergetik qurilma biomassa resurslaridan kompleks foydalanish asosida ishlaydi. Namligi yuqori 90-92% bo‘lgan chorva mollari va parranda ekskrementlari hajmi 0,5 m³ bo‘lgan bioreaktorga yuklanadi. Reaktordagi substrat quyosh kollektori yordamida



qizdirilgan 50-70 °C haroratdagi suv orqali isitilib, fazali o'tish xususiyatiga ega issiqlik akkumulyatori yordamida issiqlik saqlanadi va termofil harorat rejimi ta'minlanadi. Ushbu sharoitda biomassa tarkibiga 0,5–1,0 % miqdorda oksidlovchi elementlar qo'shiladi hamda substratni bir sutkada 2 marotaba 10–15 daqiqa davomida aralashtirib turish anaerob bijg'ish jarayonining barqaror kechishi ta'minlanadi. Natijada substratning bir xilda taqsimlanishi, mikroorganizmlar faolligining oshishi va biogaz hosil bo'lish jarayonining 10–15 % gacha ortishi kuzatiladi. Hosil bo'lgan biogaz tozalanib gaz saqlash idishida to'planadi.

Tadqiqotlar davomida bioreaktorda turli biomassalardan biogaz ajralishi o'rganildi. Asosan qoramol go'ngi, parranda chiqindisi, oshxona chiqindisi, daraxt barglari chiqindisidan termofil harorat rejimida o'rtacha qancha gaz ajralishi o'rganildi.

Quyida 0,5 m³ hajmli bioreaktorda termofil rejimda turli biomassa turlaridan ajralgan biogaz miqdoridan, qancha miqdorda metan gazi ajralishi va qancha energiya ekvivalenti ajralishi quyidagi hisob formulalari asosida hisoblandi.

Biogaz hosil bo'lishi quyidagi formula orqali aniqlanadi:

$$V_{bg} = m \times Y \quad (1)$$

Bu yerda, V_{bg} -hosil bo'lgan biogaz hajmi, (m³); m -biomassa massasi, (kg); Y -biomassa uchun biogaz chiqish koeffitsiyenti (m³/kg).

Biogaz tarkibidagi metan miqdori quyidagicha aniqlanadi.

$$CH_4 = V_{bg} \times 0,6 \quad (2)$$

Soha adabiyotlarida 1 m³ biogazdan 6 kVt soat ajralishi keltirilgan [20]. Shunga ko'ra hosil bo'lgan biogazning energiya ekvivalenti quyidagicha aniqlanadi.

$$E = V_{bg} \times 6 \quad (3)$$

1-jadvalda tadqiqotlar jarayonida turli biomassalardan ajralgan biogaz, uni tarkibidagi metan gazi va hisoblangan energiya miqdori keltirildi.

1-Jadval

Turli biomassalardan termofil harorat rejimida hosil bo'ladigan biogazva energiya miqdori

№	Biomassa turi	Biogas chiqishi (m ³ /kg)	Hosil bo'lgan biogaz miqdori (m ³)	Metan miqdori (m ³)	Energiya (kVt·soat)
1	Qoramol go'ngi	0,02-0,03	10-15	6-9	60-90
2	Parranda chiqindisi	0,05-0,07	25-35	15-21	150-210
3	Oshxona chiqindisi	0,06-0,08	30-40	18-24	180-240
4	Daraxt barglari	0,015-0,025	8-12	5-7	48-72

Quruq biomassa, jumladan o'simlik qoldiqlari va yog'och sanoati chiqindilari esa alohida hajmi 0,5 m³ bo'lgan piroliz reaktorida termik qayta ishlanadi. Piroliz jarayonini ta'minlash uchun gaz saqlash idishida to'plangan biogazning bir qismi yoqilg'i sifatida ishlatiladi va reaktorda yuqori harorat hosil qilinadi. Natijada biomassa piroliz jarayoniga uchrab, bug'-gaz aralashmasi hosil qiladi. Ushbu aralashma kondensator orqali sovutilib, undan suyuq yoqilg'i va pirogaz olinadi, shuningdek qo'shimcha mahsulot sifatida yog'och ko'miri hosil bo'ladi.

Piroliz reaktorida biomassa 450-550 °C haroratgacha qizdirilishi kerak. Piroliz reaktoriga yog'och qirindisi yuklandi. Biomassa zichligi yog'och qirindisi uchun o'rtacha 200 kg/m³. Shunda 0,5 m³ reaktordagi biomassa massasi:

$$m = 0,5 \times 200 = 100 \text{ kg}$$

Demak 0,5 m³ piroliz reaktoriga taxminan 100 kg quruq biomassa yuklanadi.

1 kg quruq biomassa uchun issiqlik sarfi o'rtacha 1,2-1,5 MJ/kg.

100 kg biomassa uchun:

$$Q = 100 \times 1,3 \approx 130 \text{ MJ}$$





Biogaz uchun past issiqlik qiymati o'rtacha 20-22 MJ/m³.

Bundan piroliz jarayoni uchun kerakli biogaz miqdorini aniqlaymiz:

$$V = \frac{130}{21} \approx 6,2 \text{ m}^3$$

Bundan kelib chiqib 0,5 m³ piroliz reaktorining bir sikli uchun taxminan 5–6 m³ biogaz talab etiladi.

Tadqiqotlar davomida bioreaktorda hosil bo'lgan gazning 5-6 m³ qismi piroliz reaktori o'chog'ida piroliz jarayonini amalga oshirish uchun sarf bo'ladi. Qolgan qismi esa iste'malchiga uzatiladi. Piroliz reaktorida 100 kg yog'och qirindisini termik qayta ishlash asosida 25 kg qattiq bioko'mir, 45 kg suyuq bioyoqilg'i va 30 kg pirogaz ajralishi tadqiqotlar davomida aniqlandi.

Jarayon davomida piroliz qurilmasida hosil bo'ladigan issiq suv issiqligidan bioreaktorda zarur bo'lgan termofil harorat rejimini barqaror ushlab turish uchun foydalanildi. Bundan tashqari, piroliz reaktordan olinadigan issiq suv iste'molchilarni issiq suv bilan ta'minlash imkonini beradi. Shu tariqa qurilmada energiya oqimlaridan kompleks foydalanish hisobiga energiya samaradorligi oshadi va atrof-muhitga yo'qotiladigan ikkilamchi issiqlik resurslari qayta utilizatsiya qilinadi.

Xulosa.

Olib borilgan tadqiqotlar natijasida biomassa resurslaridan energiya olishning samarali usullaridan biri sifatida biogaz va piroliz texnologiyalarini birlashtirgan kombinatsiyalashgan bioenergetik qurilmaning ishlash prinsipi hamda energetik ko'rsatkichlari o'rganildi.

Tadqiqot natijalari shuni ko'rsatdiki, 0,5 m³ hajmli bioreaktorda termofil harorat rejimida turli biomassa turlaridan biogaz olish mumkin bo'lib, bunda qoramol go'ngidan 10–15 m³, parranda chiqindisidan 25–35 m³, oshxona chiqindisidan 30–40 m³ hamda daraxt barglaridan 8–12 m³ biogaz ajralishi aniqlandi. Hosil bo'lgan biogaz tarkibidagi metan miqdori va energiya ekvivalenti hisob-kitoblari tahlil qilindi.

Shuningdek, hajmi 0,5 m³ bo'lgan piroliz reaktoriga yuklangan taxminan 100 kg yog'och qirindisini termik qayta ishlash natijasida o'rtacha 25-30 kg qattiq bioko'mir, 45 kg suyuq bioyoqilg'i hamda 30 kg pirogaz hosil bo'lishi aniqlandi. Piroliz jarayonini amalga oshirish uchun bioreaktorda hosil bo'lgan biogazning 5–6 m³ qismi sarflanishi yetarli ekanligi hisob-kitoblari orqali asoslab berildi.

Natijada kombinatsiyalashgan piroliz-biogaz qurilmasida energiya oqimlaridan kompleks foydalanish, piroliz jarayonida hosil bo'ladigan issiqlik energiyasini bioreaktorni isitishda qayta ishlatish orqali qurilmaning umumiy energiya samaradorligini oshirish hamda ikkilamchi issiqlik yo'qotishlarini kamaytirish imkoniyati mavjudligi aniqlandi. Ushbu texnologiya biomassa chiqindilarini samarali qayta ishlash, muqobil yoqilg'i olish va ekologik xavfsiz energiya ishlab chiqarishni ta'minlashda ustuvor hisoblanadi.

Foydalanilgan adabiyotlar

- [1]. Davlonov X. et al. Study on heat and material balance of heliopyrolysis device //AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing LLC, 2022. – T. 2686. – №. 1. – C. 020023.
- [2]. Elmurodov N. S. et al. Investigating the effect of different salts on the thermal efficiency of a solar pond device //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 392. – C. 02038.
- [3]. Хатамов И., Ибрагимов У. Пиролиз қурилмаларининг замонавий ҳолати таҳлили //Innovatsion texnologiyalar. – 2022. – T. 47. – C. 112-117.
- [4]. Toshmamatov B. M. et al. Calculation of the heat balance of the solar installation for the thermal processing of municipal solid waste //International Journal of Applied Engineering Research and Development (IJAERD) ISSN (P). – 2020. – C. 2250-1584.
- [5]. Cann I. et al. Thermophilic degradation of hemicellulose, a critical feedstock in the production of bioenergy and other value-added products //Applied and Environmental Microbiology. – 2020. – T. 86. – №. 7. – C. e02296-19.



- [6]. Arena, U. Process and Technological Aspects of Municipal Solid Waste Gasification. A Review. Waste Manag. 2012, 32, 625–639. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- [7]. Uzakov G. N. et al. Studying the temperature regime of the heliopyrolysis device reactor //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – T. 411. – C. 01040.
- [8]. Yang Q. et al. Greenhouse gas emissions of a biomass-based pyrolysis plant in China //Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – T. 53. – C. 1580-1590.
- [9]. Britz W., Delzeit R. The impact of German biogas production on European and global agricultural markets, land use and the environment //Energy Policy. – 2013. – T. 62. – C. 1268-1275.
- [10]. Korberg A. D., Skov I. R., Mathiesen B. V. The role of biogas and biogas-derived fuels in a 100% renewable energy system in Denmark //Energy. – 2020. – T. 199. – C. 117426.
- [11]. Uzakov G.N. et al. Experimental solar installation for the processing of municipal solid waste. // EPRA International Journal of Research and Development. – 2020. – Volume 5. – Issue 3. – pp. 299-303.
- [12]. Sarker S. et al. A review of the role of critical parameters in the design and operation of biogas production plants //Applied Sciences. – 2019. – T. 9. – №. 9. – C. 1915.
- [13]. Toshmamatov B. M., Uzboev M. D., Mamatova M. S. Analysis Of Thermal And Technical Parameters Of Alternative Fuels Obtained From Biomass Pyrolysis //Stanford Database Library of American Journal of Applied Science and Technology. – 2025. – T. 5. – №. 12. – C. 161-166.
- [14]. Elmurodov N. S. et al. Mathematical modeling of unsteady temperature regime of solar pond device //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2024. – T. 524. – C. 02016.
- [15]. Давлонов Х. А. и др. Пиролиз иситиш курилмали куёш иссиқхоналарида иссиқлик энергияси утилизатори–сувли аккумуляторнинг оптимал ўлчамларини ҳисоблаш //Инновацион технологиялар. – 2021. – №. 1 (41). – С. 23-26.

