

**BIOMASSA PIROLIZI TAJRIBALARINING MAHSULOT BALANSI TAHLILI****Uzakov G.N.¹, Davlonov X.A.¹, Rustamov S.Sh.²**¹Qarshi muhandislik-iqtisodiyot instituti, Qarshi, O'zbekiston²Buxoro muhandislik-texnologiya institute, Buxoro, O'zbekiston

Annotatsiya: Ushbu maqolada biomassa chiqindilarini piroliz qurilmasida termik qayta ishlash va muqobil yoqilg'ilar olish jarayoni tajriba va tahlillar asosida keltirilgan. Olingan energetik yoqilg'ilarni maishiy, sanoat hamda energetika tizimida samarali qo'llash mumkin. Muqobil energetik yoqilg'ilar ekologik jihatdan toza hisoblanib, atrof-muhit ifloslanishi, CO₂ emissiyasi, yoqilg'i va tabiiy resurslariga qaramlik muammolarini hal etishga yordamlashadi. Tadqiqotda, turli xil biomassa chiqindilarini 400 °C gacha haroratda qizdirib pirolizlash natijalari keltirilgan. Biomassadan ajralib chiqqan biogaz, suyuq, va bioko'mir yoqilg'ilarning miqdori, xususiyatlari va ularga tasir etuvchi omillar, ilmiy-nazariy tahlillar asosida amalga oshirilgan.

Kalit so'zlar: Biomassa, energetika, yoqilg'i, piroliz, reaktor, bioyoqilg'i, biogaz, elektr energiya, gaz quvuri.

АНАЛИЗ МАТЕРИАЛЬНОГО БАЛАНСА ПО ПИРОЛИЗУ БИОМАССЫ**Узаков Г.Н.¹, Давлонов Х.А.¹, Рустамов С.Ш.²**¹Каршинский инженерно-экономический институт, Карши, Узбекистан²Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан

Аннотация: В данной статье на основе опыта и анализа представлены термическая переработка отходов биомассы в пиролизном устройстве и процесс получения альтернативных видов топлива. Полученные энергетические топлива могут быть эффективно использованы в бытовых, промышленных и энергетических системах. Альтернативное энергетическое топливо считается экологически чистым и помогает решить проблемы загрязнения окружающей среды, выбросов CO₂, зависимости от топлива и природных ресурсов. В работе представлены результаты пиролиза различных отходов биомассы при температуре до 400 °C. Количество, характеристики и коэффициенты биогазового, жидкого и биоугольного топлива, выделенного из биомассы, были проведены на основе научных и теоретических анализов.

Ключевые слова: Биомасса, энергия, топливо, пиролиз, реактор, биотопливо, биогаз, электричество, газопровод.

ANALYSIS OF THE PRODUCTION BALANCE OF BIOMASS PYROLYSIS EXPERIMENTS**Uzakov G.N.¹, Davlonov X.A.¹, S.Sh. Rustamov²**¹Karshi Engineering Economics Institute, Karshi, Uzbekistan²Bukhara Engineering Technology Institute, Bukhara, Uzbekistan

Abstract: This article presents the thermal processing of biomass waste in a pyrolysis device and the process of obtaining alternative fuels based on experience and analysis. The obtained energy fuels can be effectively used in household, industrial and energy systems. Alternative energy fuels are considered ecologically clean and help to solve the problems of environmental pollution, CO₂ emissions, dependence on fuel and natural resources. In the study, the results of pyrolysis of various biomass wastes at temperatures up to 400 °C are presented. The quantity, characteristics





and factors of biogas, liquid, and biochar fuels separated from biomass were carried out based on scientific and theoretical analyses.

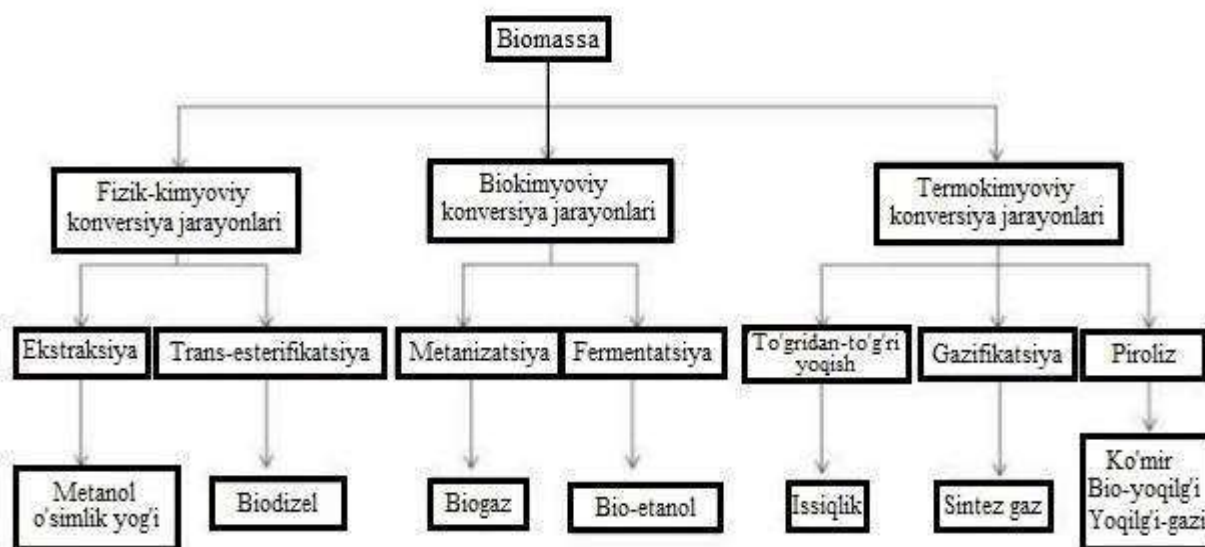
Keywords: Biomass, energy, fuel, pyrolysis, reactor, biofuel, biogas, electricity, gas pipeline.

Rivojlanayotgan taraqqiyot davrida tabiiy resurslarning kamayib borishi va ularni qazib olish, tashish, istemolchilarga etkazib berish ishlari dunyo miqyosida global muammolardan biri hisoblanadi. Mamlakatimizda ishlab chiqarilayotgan elektr energiyaning asosiy qismi tabiiy resurslarni yoqish orqali amalga oshiriladi. Ushbu yoqilg'ilarni tejash, kelajak avlodga etkazish masalalari ko'plab olimlar o'rtasida bahs munozaraga sabab bo'lmoqda. Energetika sanoatida energetik yoqilg'ilarni arzon va xavfsiz ishlab chiqarish utuvor yo'nalishlardan biri hisoblanadi. Shu sababli energetik yoqilg'ilarni, qishloq xo'jaligi va sanoat chiqindilaridan ishlab chiqarish hozirgi zamon talabiga mos bo'ladi. Biomassa chiqindilari esa turi va miqdori jihatdan yildan yilga oshib bormoqda. Hozirgi vaqtda biomassa energiyaning dunyodagi ulushi umumiy energiya iste'molining 14% ni tashkil etib yildan yilga ortib borishda davom etmoqda. 2040-yilga kelib biomassa hissasining 23,8% gacha o'sishini ko'rsatadigan prognozlar ham mavjud [1].

Jahonda boshqa energiya manbalari bilan bir qatorda shamol, quyosh, gidroenergetika va biomassa energiyaning katta e'tibor qaratilmoqda. Ko'p va ishonchli manba sifatida tanilgan, biomassa hozirgi kunda qayta tiklanadigan energiya sohasida muhim rol o'ynaydi.

Biomassaning xususiyatlari hamda konvertatsiya jarayonlari uchun turli xil texnologiya, energiya va materiallar, shu jumladan biokimyoviy, termokimyoviy va fizik-kimyoviy konvertatsiya turlari mavjud [2].

Quyidagi (1-rasm) sxemada biomassaning konvertatsiya qilish usullari va yakuniy mahsulotlarining soddalashtirilgan sxemasi keltirilgan.



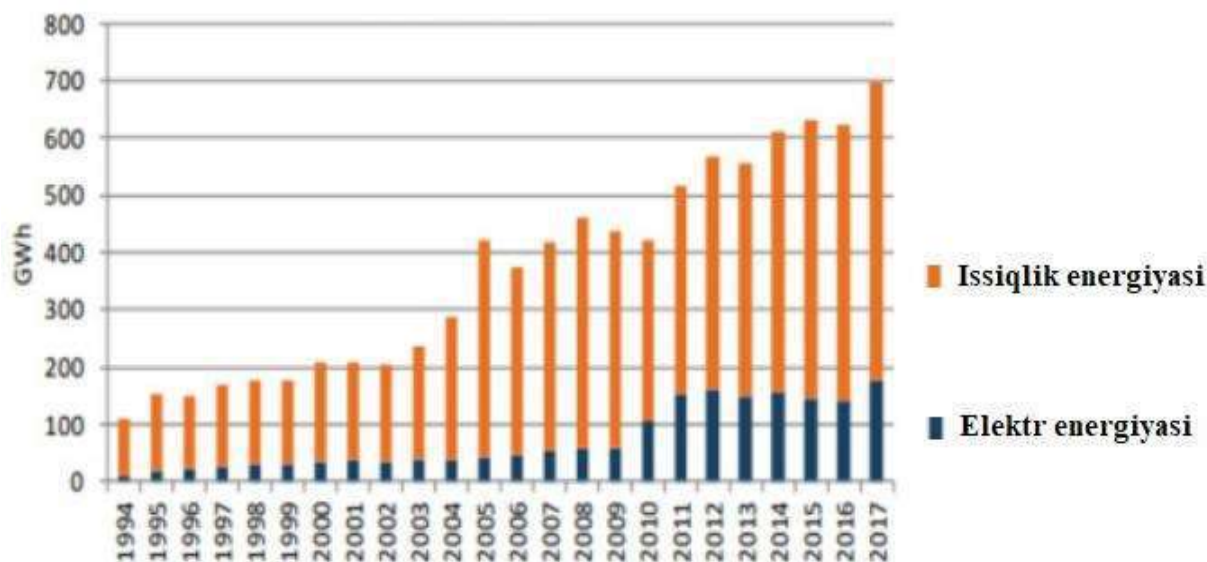
1-rasm. Biomassaning konvertatsiya qilish usullari va yakuniy mahsulotlarining soddalashtirilgan sxemasi.

Tabiiy qattiq biomassani to'g'ridan-to'g'ri yoqish va yoqilg'i sifatida qo'llashning bir qator muammolari mavjud. Asosiy muammolardan biri bu biomassaning yoqilg'i xom ashyosi sifatida energetik samarasining pastligi hamda uning to'g'ridan-to'g'ri yoqilishi natijasida vujudga keladigan ekologik zarar hisoblanadi. Jahonda olib borilayotgan tadqiqotlardan ma'lumki, biomassani termik qayta ishlash orqali suyuq va gazsimon yoqilg'ilar olish samarali usullardan biri hisoblanadi. Biomassadan olinadigan suyuq va gazsimon yoqilg'ilar, foydalanish jihatdan eng maqbul hisoblanib, energetik samarasi yuqori ekanligi aniqlangan [3]. Yaqin yillar davomida piroliz qurilmasidan foydalanish va bu qurilma yordamida muqobil yoqilg'ilar ishlab chiqarish uchun innovatsion texnologiyalar paydo bo'ldi. Keyinchalik biomassadan olingan yoqilg'ilar dvigatelda,

elektr generatorida yoqib elektr energiyasi hamda issiqlik energiyasi ishlab chiqarish uchun foydalanildi [4].

Biomassani qayta ishlash orqali nafaqat yoqilg'i va issiqlik energiyasi ishlab chiqarish balki elektr energiyasi ishlab chiqarish va ushbu texnologik jarayon orqali, energiya ta'minoti etib bormagan, markaziy ta'minotdan uzoqda joylashgan iste'molchilarni uzluksiz va ishonli energiya bilan ta'minlash samarador usul hisoblanadi. Mutaxassislarining ta'kidlashicha biomassadan olingan biogazning kaloriya (yonish issiqligi) qiymati tarkibidagi metanga qarab 20-25 MJ/m³ ni tashkil etadi, bu esa 0,6-0,8 l benzini yonishiga tengdir. Shuningdek, 1,3-1,7 kg o'tindan 5-7 kVt/soat elektr energiyasi olish mumkinligi aniqlangan [5].

Biomassa chiqindilaridan energiya olish bo'yicha bugungi kunda jahonning ko'pgina mamlakatlari shug'ullanib kelmoqda va bu borada bir qancha ishlar olib borilmoqda. Masalan, Finlyandiya davlatida 2016-yildan boshlab biologik chiqindilarni to'g'ridan to'g'ri utilizatsiya qilish taqiqlandi, buning natijasida chiqindilarni qayta ishlash va energetik maqsadlarda foydalanishga keng imkoniyatlar yaratilib chiqindilarni qayta ishlash ko'lamini oshirildi. 2017-yilda chiqindilar gazidan 520,2 GVt/soat issiqlik energiyasi va 178,4 GVt/soat elektr energiyasi ishlab chiqarildi. Shu yilning o'zida avtomobil yoqilg'isi sifatida 30,2 ± 0,8 GVt / soat biogaz ishlatilgan. Bu oldingi yilga nisbatan 41 % ga oshirilgan [6]. Finlandiya davlatida chiqindilar gazidan ishlab chiqarilgan umumiy energiya balansi 2-rasmda keltirilgan



2-rasm. Finlandiya davlatida chiqindilar gazidan ishlab chiqarilgan energiya (1994-2017).

Biomassa chiqindilaridan energik yoqilg'ilar olish va ularni samarali qo'llash bo'yicha jahon miqyosida ko'plab olimlar tadqiqot olib borgan hamda ularning xizmati beqiyosdir. Rossiyalik tadqiqotchi Lavrenov V.A. o'z tadqiqotlarida yog'ochli biomassani ikki bosqichli termal konversiyalash jarayonida, harorat rejimi bo'yicha sintez gazidagi qatronlar va namlikning o'ziga xos tarkiblarini tadqiqot qilgan. Yog'ochli biomassani konvertatsiya qilish natijasida olingan dizel yoqilg'isi va sintez gazini birgalikda yoqish uchun, konvertatsiya qilish blokini gaz-porshenli elektr stantsiyasi va suyuq yoqilg'ida issiq suv qozoni bilan birgalikda ishlatishni eksperimental ravishda amalga oshirgan [7].

Serdyukova Y.Y olib borgan tadqiqotlarida biomassadan maksimal miqdorda suyuq bioyoqilg'i ishlab chiqarish uchun optimal xomashyo va texnologik parametrlarini aniqlangan. Shuningdek u o'simlik xom ashyosini qayta ishlash jarayonida sekin pirolizlash natijasida o'lchami 1,0-2,5 sm gacha bo'lgan, massa zichligi 440,0 kg/m³ va namlik miqdori 5% bo'lgan ignabargli daraxt opilkasi pirolizida suyuq mahsulotning 73,0% maksimal samaradorligiga erishgan [8].

Qarshi muhandislik-iqtisodiyot institutida olib borilgan tadqiqotlarda issiqxonalarining tejamkor isitish usullari hamda energiya yetib bormagan hududlarda muqobil energiya olish usullari

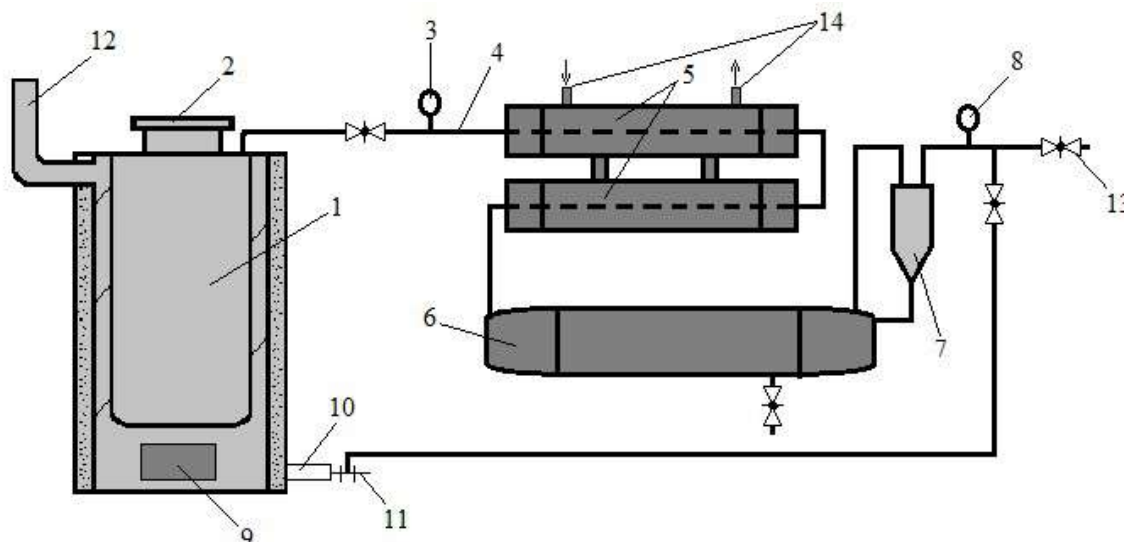


keng miqyosda o'rganilgan. Piroliz qurilmasida issiqxonalarining isitish tizimi uchun biomassa va turli mahalliy organik chiqindilardan muqobil yoqilg'i olish jarayonlari tadqiqot qilingan.

Tadqiqotchilar tomonidan yaratilgan "piroliz reaktori-issiqlik generatori" qurilmasida esa sutkasiga 600 kg gacha biomassa (mol go'ngi, o'simlik chiqindilari, va h.k.) ni qayta ishlash orqali, 100-120 m³ biogaz yoqilg'isini olish imkonini bergan [9].

Olib borilgan tahlil va tadqiqotlardan so'ng istemolchilarni uzluksiz muqobil energiya bilan ta'minlash hamda an'anaviy yoqilg'i resurslarini tejash maqsadida qishloq xo'jaligi mahalliy chiqindilari (o'simlik chiqindilari, somon, g'ozapoya, yog'och chiqindilari, parranda, ot, shoxli mol ekskrementi va h.k) biomasasini termik usulda qayta ishlash hamda gazsimon, suyuq va qattiq muqobil yoqilg'ilar olishga mo'ljallangan tajriba piroliz qurilmasining prinsipial sxemasi ishlab chiqildi 4-rasm. Piroliz qurilmasining asosiy jihozlari reaktor, kondensator, gazgolder hamda qo'shimcha yordamchi jihozlardan tashkil topgan.

Piroliz qurilmasining asosiy jihozi hisoblanmish bioreaktorning konstruksiyasi slindr shaklida tayyorlandi.



4-rasm. Biomassadan piroliz usulida muqobil yoqilg'i olish qurilmasining sxemasi.

1-Piroliz reaktori, 2- xomashyo yuklash qopqog'i, 3- manometr, 4- bug'-gaz quvuri, 5- kondensator-sovutgich, 6-7- separator, 8- gaz sarfini hisoblagich, 9- o'choq, 10-11- gaz gorelkasi, 12- tutun quvuri, 13- zadvijka, 14- suv aylanish quvuri.

Biomassani termik qayta ishlash hamda muqobil yoqilg'i ishlab chiqarish uchun mo'ljallangan piroliz qurilmasi quvur ichida quvur tipida yasalgan bo'lib bir vaqtning o'zida issiqlik energiyasi ham olishga mo'ljallangan. Tajriba qurilmasining fizik modeli 5- rasmda keltirilgan.



5-rasm. Tajriba qurilmasining fizik modeli.



Qishloq xo'jalik va mahalliy biochiqindilar biomassasini termik qayta ishlab issiqxonaning issiqlik ta'minoti ta'minlash hamda energetik yoqilg'ilar olishga mo'ljallangan energiya samarador piroliz qurilmasining asosiy parametrlari quyidagi 1-jadvalda keltirilgan.

1-jadval.

PQ-35 piroliz qurilmasining asosiy parametrlari.

T/r	Parametrlar	Belgilanishi	O'lchov birligi	Miqdori
1.	Bioreaktor hajmi	V	m^3	0,035
2.	Reaktordagi ishchi bosim	P	MPa	0,1
3.	Qurilmaning umumiy balandligi	h	m	1,2
4.	Qurilma egallaydigan maydon	F	m^2	3
5.	Bir marta yuklanadigan xom ashyo massasi	m_{yuk}	kg	7
6.	Bir sutkada ishlov beriladigan xom ashyo miqdori	m_{sutka}	kg	42
7.	Texnologik jarayon davomiyligi (sikl)	τ	soat	4
8.	Sutkada sikllar soni	n	sikl	6

Tajribaviy piroliz qurilmasida dastlabki tajriba sinov tadqiqotlari pomidor poyasi chiqindilari biomassasi ustida olib borildi va tadqiqot natijalari 2-jadvalga kiritildi.

2-jadval.

Biomassa pirolizining tajriba tadqiqot natijalari.

T/r	Parametr	Belgilanishi	O'lchov birligi	Miqdori
1.	Yuklangan xom ashyo massasi	m_{yuk}	kg	7
2.	Xom ashyo o'lchami	d	mm	5-15 mm
3.	Harorat rejimi	t	$^{\circ}C$	150-400
4.	Ishchi bosim	P	KPa	100
5.	Piroliz davomiyligi	τ	soat	3
6.	Piroliz mahsulotlari:			
	- Biogaz		%	35
	- suyuq yoqilg'i		%	20
	- ko'mir		%	45
7.	Biogazning yonish issiqligi		MJ/m^3	18-20

Biomassani piroliz usulda qayta ishlash uchun sarflanadigan issiqlik energiyasining miqdori quyidagi formula asosida aniqlanadi:

$$Q_T = C_b \cdot m_b(t_2 - t_1), \text{ kJ} \quad (1)$$

Bu erda C_b – reaktorga yuklanadigan biomassaning solishtirma issiqlik sig'imi, $\text{kJ/kg}\cdot\text{k}$; m_b – biomassaning massasi, kg ; t_1 – biomassaning boshlang'ich harorati, $^{\circ}C$; t_2 – biomassaning piroliz jarayoni oxiridagi harorati, $^{\circ}C$.

Qarag'ay (archa) igna barglari namunalarini ham biomassa sifatida olinib ushbu biomassa ustida tadqiqotlar olib borildi. Qurilmada sarflanadigan energiyani hisoblash uchun quyidagi ma'lumotlar qabul qilindi:

$$C_p = 1,5 \text{ kJ/kg}\cdot\text{k}; m_b = 7 \text{ kg}; t_1 = 25 \text{ }^{\circ}C; t_2 = 425 \text{ }^{\circ}C.$$

$Q_T = 1,5 \cdot 7 (425 - 25) = 4200 \text{ kJ}$, ya'ni 4,2 MJ ga teng issiqlik energiyasi piroliz reaktorida jarayonning kerakli harorat rejimini yaratishda sarf bo'ladi.

Piroliz qurilmasi reaktorining issiqlik balansini tuzamiz:

$$Q = Q_{qay.ishl} + Q_{isrof} - Q_r \quad (2)$$





Q – Qurilma reaktorida sarflanadigan umumiy issiqlik miqdori, kJ; $Q_{qay.ishl}$ – biomassaning qayta ishlashda sarf bo‘ladigan issiqlik miqdori, kJ; Q_{isrof} – biomassani qayta ishlash vaqtida reaktorda sodir bo‘ladigan isroflar, kJ; Q_r – quyosh radiatsiyasi, kJ.

Piroliz qurilmasining material balansi:

$$G_b = G_{BK} + G_{BG} + G_{BN} \quad (3)$$

Bunda, G_b – reaktorga yuklanadigan biomassa miqdori, kg; G_{BK} – piroliz jarayonida hosil bo‘ladigan bioko‘mir massasi, kg; G_{BG} – piroliz jarayonida hosil bo‘ladigan biogaz, kg; G_{BN} – piroliz jarayonida hosil bo‘ladigan bioneft massasi, kg.

Ishlab chiqilgan bioreaktorning shakli slindr ko‘rinishida bo‘lib, u quvur ichida quvur tipida yasalgan, reaktorning o‘lchamlari: $d = 0,3$ m va $h = 0,49$ m.

Piroliz reaktorining hajmini topamiz:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h = \frac{3,14 \cdot 0,3^2}{4} \cdot 0,49 = 0,03 \text{ m}^3 \quad (4)$$

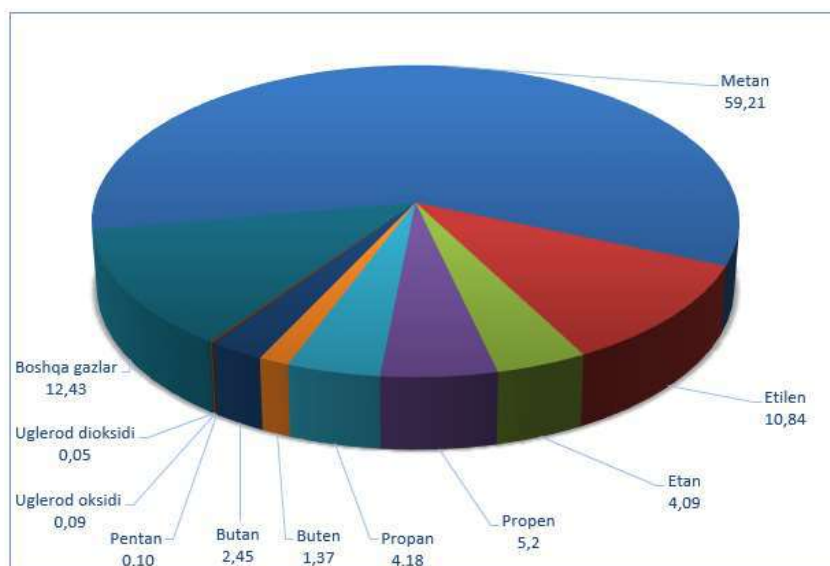
Piroliz reaktoriga yuklangan biomassa (qarag‘ay) ning zichligi $\rho = 200 \frac{kg}{m^3}$, o‘rtacha namligi 25-30%, hamda yuklangan massasi 7 kg ni tashkil etdi. Biomassadan olinadigan yoqilg‘ilar miqdori albatta biomassaning turi va tarkibiga bog‘liqdir. Yoqilg‘i olish jarayoni oxirida olingan yoqilg‘ilar tahlil qilinganda biomassaning umumiy miqdori bo‘yicha 46% qattiq yoqilg‘i,

30 % piroliz gazi hamda 25 % suyuq muqobil yoqilg‘ilar hosil bo‘ldi. Ajralib chiqqan yoqilg‘ilarning bir qismi reaktordagi jarayon haroratini yaratish uchun o‘z ehtiyojiga sarflandi. Piroliz jarayonidan olinadigan yoqilg‘i turlari balansi tuzilda va tahlil qilindi (6-rasm).



6-rasm. Biomassa pirolizi jarayonining mahsulot balansi.

Biomassadan faqatgina issiqlik energiyasi emas balki elektr energiyasi ham olish imkoni mavjud. Bunda albatta kogeneratsion qurilmalardan foydalanish istiqbolli yechim hisoblanadi. Bunga sabab elektr energiyasi sanoatida piroliz gazini dvigatelda yoqish biogazga nisbatan samaraliroq hisoblanadi. Dunyo olimlarining manbalariga ko‘ra 1 kVt elektr energiyasi ishlab chiqarish uchun 0,29-0,31 m³ piroliz gazi yoki 0,36-0,38 m³ biogaz sarflanishi aniqlangan [10]. Piroliz gazining tarkibini tahlil qilganimizda asosiy gazning katta qismini metan tashkil etganligini ko‘rishimiz mumkin. Quyidagi diagrammada piroliz gazining tarkibi (7-rasm) va olingan muqobil yoqilg‘ilarning rasmi (8-rasm) keltirilgan.



7-rasm. Piroliz gazining tarkibi.



8-rasm. Muqobil yoqilg'ilar.

Tajriba piroliz qilmasida mahsulot balansi bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki pomidor poyasi pirolizi natijasida yuklangan xom ashyoga nisbatan 35 % biogaz, 20 % suyuq va 45 % qattiq muqobil yoqilg'ilar olish mumkin. Mahaliy qarag'ay daraxti chiqindilarining pirolizi natijasida esa 30 % biogaz, 25 % suyuq hamda 46 % qattiq muqobil yoqilg'ilar olindi. Biomassa chiqindilaridan piroliz usulida yoqilg'i olish bo'yicha olib borilgan tadqiqotlar shuni ko'rsatdiki piroliz jarayonida olinadigan yoqilg'ilar reaktor harorati, biomassaning turi, o'lchami va namligiga bog'liq ekanligi aniqlandi. Shuningdek biomassadan qayta tiklanadigan qimmatli energiya manbai sifatida foydalanish mumkin. Chunki biomassadan piroliz usulida 3 turdagi gaz, suyuq yoqilg'i va bioko'mir yoqilg'ilari olish va ularni turli xil energetik maqsadlarda qo'llash mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI

1. European Environment Agency Bio-waste in Europe-turning challenges into opportunities, 2020.
2. A Review of Renewable Energy Supply and Energy Efficiency Technologies April 2014. Shahrouz Abolhosseini, Almas Heshmati, Jörn Altmann.



3. Uzakov G.N., Davlonov Kh.A., Holikov K.N. Study of the Influence of the Source Biomass Moisture Content on Pyrolysis Parameters// Applied Solar Energy, 2018, Vol. 54, No. 6, pp, 481-484. (05.00.00; №4. Scopus CiteScore 2018, IF:0.9)
5. Uzoqova Yu.G‘., Davlonov X.A. O‘zbekistonda biomassa energiyasidan foydalanish istiqbollari/ “XXI Asr – intellektual avlod asri” mavzusidagi Respublika ilmiy-amaliy anjuman materiallari to‘plami. Qarshi. 20–21 iyun 2016 yil
6. А.В Сударев., Когенерационная энергетическая установка на основе водяного котла, сжигающего биотопливо. Доклад на первом всемирном конгрессе Альтернативная энергетика и экология, Волга 2006.
7. Finland National Biogas Statistics 2017. https://www.stat.fi/static/media/uploads/tup/khkinv/fi_eu_nir_2017.
8. Лавренов Владимир Александрович, Экспериментальное исследование процесса двухстадийной термической конверсии древесной биомассы в синтез-газ. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва – 2016.
9. Сердюкова Екатерина Юрьевна, Разработка способа переработки растительного сырья и применения получаемых биопродуктов как высокоэнергетических веществ. На соискание ученой степени кандидата технических наук, Москва – 2021.
10. G.N.Uzoqov, X.A.Davlonov. Quyosh issiqxonalarini tejamkor isitish tizimlari. Monografiya. Toshkent 2019; 30-35.
11. Ильин Е.А., Болдин С.В., Пузиков Н.Т. Энергосберегающие когенерационные установки на биогазе // Международный студенческий научный вестник. – 2015