QUYOSH-BIOMASSA PIROLIZ TIZIMLARI KONFIGURATSIYASI VA ORIENTATSIYASI TAHLILI

Qodirov Jobir Ro‘zimamatovich
Buxoro davlat texnika universiteti Geliofizika, qayta tiklanuvchi energiya manbalari va elektronika kafedrasi dotsenti
E-mail: qodirov.jobir@mail.ru
Yangiboyev Fayoz G‘aybulla o‘g‘li
Buxoro davlat texnika universiteti Elektr va energetika muhandisligi kafedrasi doktoranti
E-mail: yangiboyevfayoz@gmail.com

Annotatsiya. Maqolada quyosh-biomassa piroliz tizimlarining tuzilishi, issiqlik-quyosh tizimlari va reaktor orientatsiyasi tahlil qilinadi. Turli konsentratorlar va reaktor joylashuvlari piroliz samaradorligi va mahsulot hosildorligiga ta’siri ko‘rib chiqiladi. Natijalar tizimlarni optimallashtirish va energiya samaradorligini oshirish imkoniyatlarini ko‘rsatadi.

Kalit so‘zlari. Biomassa pirolizi, quyosh-biomassa piroliz tizimlari, issiqlik-quyosh tizimlari, reaktor orientatsiyasi, reaktor konfiguratsiyasi, konsentratsiyalangan quyosh nuri, parabolik konsentratorlar, fikslangan qatlamli piroliz (fixed-bed pyrolysis).

Аннотация. В статье анализируются структура солнечно-биомассовых пиролизных систем, солнечно-тепловые системы и ориентация реакторов. Рассматривается влияние различных концентраторов и конфигураций размещения реакторов на эффективность пиролиза и выход продуктов. Полученные результаты показывают возможности оптимизации систем и повышения энергетической эффективности.

Ключевые слова: Пиролиз биомассы, солнечно-биомассовые пиролизные системы, солнечно-тепловые системы, ориентация реактора, конфигурация реактора, концентрированное солнечное излучение, параболические концентраторы, пиролиз в неподвижном слое (fixed-bed pyrolysis).

Annotation. The article analyzes the structure of solar–biomass pyrolysis systems, solar thermal systems, and reactor orientation. The effects of different concentrators and reactor configurations on pyrolysis efficiency and product yield are examined. The results demonstrate opportunities for system optimization and improvement of energy efficiency.

Keywords: Biomass pyrolysis, solar–biomass pyrolysis systems, solar thermal systems, reactor orientation, reactor configuration, concentrated solar radiation, parabolic concentrators, fixed-bed pyrolysis.

Kirish.

ISSN 3030-3907

Dunyo aholisi o‘sishda davom etmoqda, bu esa energiya iste'moli ortishini keltirib chiqaradi. Tadqiqotchilarning ta'kidlashicha, 2050-yilga kelib, dunyo aholisi 9,3 milliard kishiga yetadi [1]. Bundan kelib chiqadiki, aholi kundalik energiya talabini qondirish uchun juda ko‘p energiya resurslari talab etiladi. Quyosh va biomassani konvertatsiya qilish orqali quyosh energiyasi va bioyoqilg‘i ishlab chiqarish uchun qayta tiklanadigan energiya manbalaridan foydalanishga katta e'tibor qaratilgan. Bu ikki jarayon barqaror bo‘lib, global energiya ehtiyojlarini qondirishi mumkin. Bu jarayonlar nafaqat bioyoqilg‘i, balki biogaz, biomoy va bioko‘mir kabi boshqa mahsulotlarni ham hosil qiladi. Sharma va boshqalar esa biomassani uglerod, vodorod va kisloroddan tashkil topgan, tarkibida azot va oltingugurt elementlari ham bo‘lgan turli uglevodorod aralashmalari sifatida tavsiflagan[2]. Biomassani qayta ishlashning asosiy usullaridan biri — undagi biopolimerlarning kislorodsiz sharoitda issiqlik ta’sirida parchalanishi bo‘lib, bu jarayon piroliz deb ataladi. Umuman olganda, biomassaning tarkibiy qismlari polimerik materiallar, ekstraktiv moddalar va minerallar hisoblanadi [2],[3].

Piroliz kislorod bo‘lmagan yuqori haroratlarda sodir bo‘ladi. Shu sababli, mos keladigan haroratga erishish uchun issiqlik energiyasi kerak bo‘ladi. Ko‘pincha bu issiqlik energiyasi atrof-muhitga salbiy ta’sir ko‘rsatadigan issiqxona gazlarini hosil qiluvchi qazilma yoqilg‘idan foydalanib ishlab chiqariladi. Nurlanishni turli burchaklarda jamlash, reaktorlarni esa vertikal yoki gorizontal holatga joylashtirish orqali amalga oshirilgan. Ushbu tahlilning maqsadi ushbu termo-quyosh reaktor tizimlari tuzilmalari, joylashuvlarini va olingan natijalarni jamlash va tahlil qilishdir.

2. Quyosh–biomassa pirolizining salohiyati: Quyosh va biomassa tabiatga zarar yetkazmaydigan energiya hosil qiladi. Yuqori quvvatli parabola tipidagi qabul qilgich yoki konsentratorlardan foydalanish chiqindi yoqilg‘i bilan isitishga nisbatan pirolizning dastlabki haroratiga qisqa vaqt ichida (yuqori issiqlik oqimi) erishishga yordam beradi va qizdirish tezligini nazorat qilish imkonini beradi. Bundan tashqari, funksional faol guruhlarning ko‘pligi materialning reaktivligini oshiradi. Natijada smola bug‘lari g‘ovaklarda qisqaroq vaqt ushlanadi va kondensatsiya jarayoni kamayadi. Agar maqsad bioyoqilg‘i ishlab chiqarish bo‘lsa, bu holat kamchilik hisoblanadi, biroq tuproq unumdorligini oshirish uchun bioko‘mir olish ko‘zda tutilgan bo‘lsa, aksincha, bu qulaylikka aylanadi. Bundan tashqari, quyosh nurlanishining doimiy emasligi (bu quyosh tizimining tezkor javob berish qobiliyatiga ta’sir qiladi), issiqlik manbaining energiya zichligining pastligi hamda piroliz jarayonini olib borish uchun konsentratorlar yoki qo‘shimcha issiqlik manbalariga ehtiyoj mavjudligi muhim cheklovlar hisoblanadi.

3. Quyosh-biomassa pirolizida kontseptual qizdirish rejimlari

ISSN 3030-3907

Aksariyat o‘rta darajadagi quyosh konsentratorlar 100 dan 500 °C gacha bo‘lgan haroratni ishlab chiqarishi mumkin, bu esa piroliz jarayonining birlamchi va ikkilamchi reaksiyalari (400–900 °C) uchun yetarli emas, shu sababli biomassa haroratini yanada oshirish uchun qo‘shimcha issiqlik manbalaridan foydalanish zarur. Yana bir omili — quyosh nurlanishining uzluksiz bo‘lmagan tabiati, ya’ni quyosh tizimlari quyoshli va quyoshsiz davrlarning almashinib turishi bilan tavsiflanadi. Biroq quyosh yo‘q bo‘lgan yoki quyosh nurlanishi past bo‘lgan vaqtlarda, ko‘rinadigan spektr to‘lqin uzunligi (400–700 nm) va quyosh nurlanishiga o‘xshash emissiv kuchga ega sun’iy yorug‘lik simulyatorlari (tungsten lampa; ksenon yoy lampalari; karbon yoy lampalari; galogen lampalar; super lazerlar va boshqalar) qo‘llanilgan[4].

4. Quyosh qabul qilgichlari va konsentratorlar

Quyosh nurlanishidan kerakli haroratni hosil qilish uchun quyosh oqimi zichligini oshiruvchi qo‘llab-quvvatlovchi tizim talab qilinadi. Yer yuzasida gorizontal tekislikga tushuvchi o‘rtacha irradiatsiya 170 dan 300 W/m² gacha bo‘lib, bu 50 °C dan past bo‘lgan atrof-muhit haroratini yuzaga keltirishi mumkin. Optik qurilma tanlovi kerakli harorat diapazoniga bog‘liq. Mavjud konsentratsiyalovchi va konsentratsiyalovchi bo‘lmagan optikalar quyidagilardan iborat: tekis plastinali kollektorlar (konsentratsiyalovchi emas, harorat diapazoni 100 °C dan past), parabolik, oynali truba yoki parabola (100–500 °C), chiziqli oynalar (taxminan 9 kVt issiqlik quvvati), chiziqli Fresnel va markaziy parabola qabul qilgichlari (≈1000 °C) [5]. 1-rasmda turli optik konsentratsiya qurilmalari ko‘rsatilgan [6]. Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, odatda 300–900 °C oralig‘ida kerakli haroratga erishish uchun bir jarayonda bir nechta konsentratorlar birlashtirilishi mumkin, buni misol bilan ko‘rsatgan. Shu bilan birga, qaysi turdagi konsentratsiya qurilmasi ishlatilmasin, uni to‘g‘ri o‘rnatish biomassaning samarali issiqlik parchalanishini va suyuqlikning to‘g‘ri yig‘ilishini ta’minlash uchun juda muhimdir.

5. Termal-quyosh tizimlari va reaktorlarning joylashuvi

Quyosh energiyasida ishlovchi biomassa pirolizi jarayonidan yuqori samaradorlikka erishish uchun quyosh-termal tizimlar hamda reaktorning to‘g‘ri yo‘nalishda o‘rnatilishi muhim ahamiyatga ega. Reaktor dizayni/konfiguratsiyasi va uning joylashuvi piroliz jarayonining asosiy qismidir va butun tizimning umumiy sarmoya xarajatlarining taxminan 10–15% ini tashkil etadi. Reaktor konfiguratsiyasi suyuqlikni to‘plash usuliga ta’sir qiladi.

5.1. Tabiiy yorug‘lik manbai bilan vertikal joylashtirilgan uzluksiz qizdiriladigan reaktorlar

Ko‘plab quyosh pirolizi qurilmalarida reaktorning vertikal joylashuvi tanlangan, ehtimol suyuqlikni tortish kuchi yordamida osonroq yig‘ish/yuvib

ISSN 3030-3907

tushirish uchun. [7] Meksikada pomidor chiqindilari va agava barglarining quyosh–biomassa pirolizida vertikal joylashtirilgan sferik shakldagi borosilikat statsionar reaktorni qo‘llagan. Reaktor-termal tizimning joylashuvi 2-rasmda ko‘rsatilgan.

Geliostat qabul qilingan nurlanishni gorizontal joylashtirilgan quyosh konsentrator pechiga (25 kW, 450–1550 °C) yo‘naltiradi; bu pech reaktor tizimidan 3,68 m masofada joylashgan va konsentratsiya maydoni diametri 8 sm. Ushbu o‘rnatish konfiguratsiyasi biomassa ustiga to‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlanishni ta’minladi. Argon gazi reaktor devorlarini tozalash va reaktor ichida inert muhit yaratish uchun ishlatilgan. Dizaynning maqsadi ko‘proq bioko‘mir olish va uni turli qizish tezliklari hamda 1–2 soatlik turib qolish vaqtida fizik-kimyoviy tavsiflashdan iborat bo‘lgan.

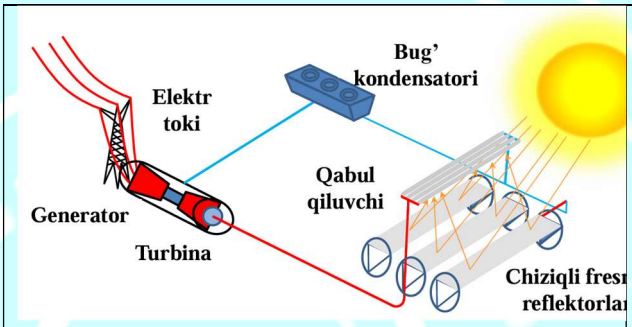
Li va boshqalar o‘rmon mahsulotlarining quyosh–biomassa pirolizi uchun vertikal joylashtirilgan Pyrex ballon reaktori (argon bilan tozalangan va kislorodsiz muhit yaratilgan) vertikal o‘qda ishlovchi quyosh pechining fokusiga o‘rnatilgan konfiguratsiyani ko‘rsatgan[8]. Quyosh nurlari parabolik ko‘zgu (diametri 2 m) va geliostat yordamida kuzatilib, to‘g‘ridan-to‘g‘ri reaktorga yo‘naltirilgan. Biomassa granulasi grafit tigel ichiga joylashtirilgan va harorat gradiyentini kamaytirish uchun grafit ko‘pikli qatlam bilan o‘ralgan. Namuna suv bilan sovutiladigan qisqich yordamida nurlanish fokusida ushlab turilgan. Issiqlik nurlanishi yo‘qotilishi yana bir grafit ko‘pigi qatlami bilan kamaytirilgan.

Joardder va boshqalar esa xurmo biomassasining gibrid quyosh–biomassa pirolizi uchun (3-rasm) vertikal joylashtirilgan po‘lat reaktorli sxemani taqdim etgan, bunda inert muhit sifatida azot gazi ishlatilgan va reaktor qisman biomassa pechi bilan qizdirilgan[9]. Termal tizim ikki baravar parabolik likopchadan iborat bo‘lib, quyosh nurlarini qabul qilib, ularni po‘lat reaktor devorlariga yo‘naltirgan va natijada reaktor harorati taxminan 162 °C ga ko‘tarilgan.

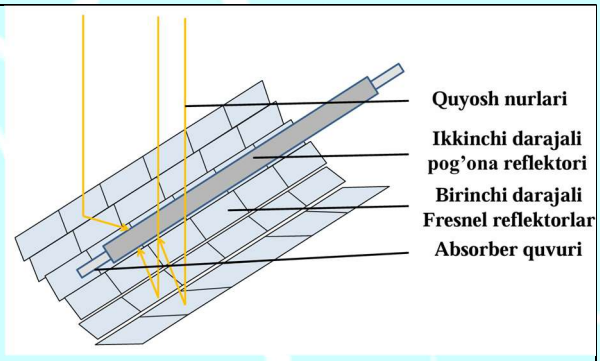
Tajriba natijasi shuni ko‘rsatdiki, 50 wt foiz suyuq moy 500 °C ish haroratida, 6 L/min gaz oqim tezligida va 120 daqiqa turib qolish vaqtida olindi va 32,4 % CO_2 ning muhitga kirib borishi oldi olinishi mumkin.

Adinberg va boshqalar biomassa pirolizining kontseptual tarzdagi bilvosita quyosh yordamida amalga oshirilishini taqdim etdi[10]. Ushbu qurilma quyosh nurlarini kiritish uchun ochilishi bo‘lgan izolyatsiyalangan gumbaz bilan qoplangan edi. Termal-quyosh tizimi minoraning yuqori qismiga o‘rnatilgan bo‘lib, konsentrlangan parabolik truba va nurni fokuslovchi gelostatdan iborat edi. Issiqlik biomassa tarkibiga quyosh konsentratori tomonidan qizdirilgan (1123 K) eritilgan tuzdan issiqlik o‘tkazuvchanligi orqali uzatilgan. (1-rasm)

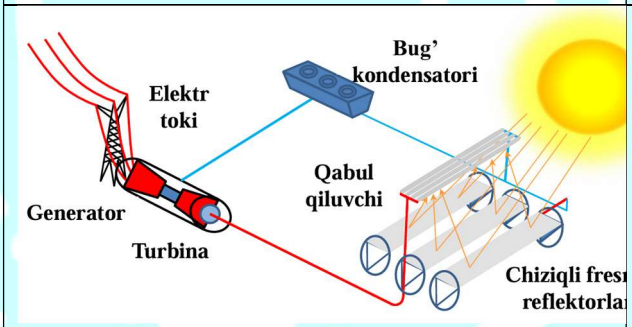
ISSN 3030-3907



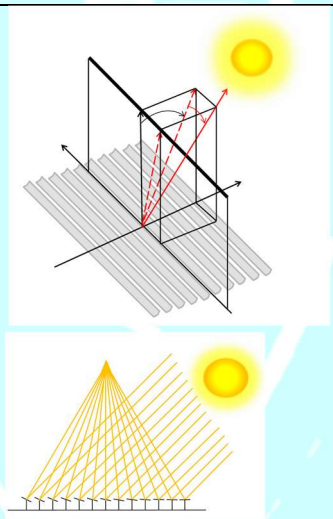
Parabolik konsentrator



Fresnel reflektorlar



Chiziqli fresnel reflektorlar



Chiziqli kampakt Fresnel reflektorlar



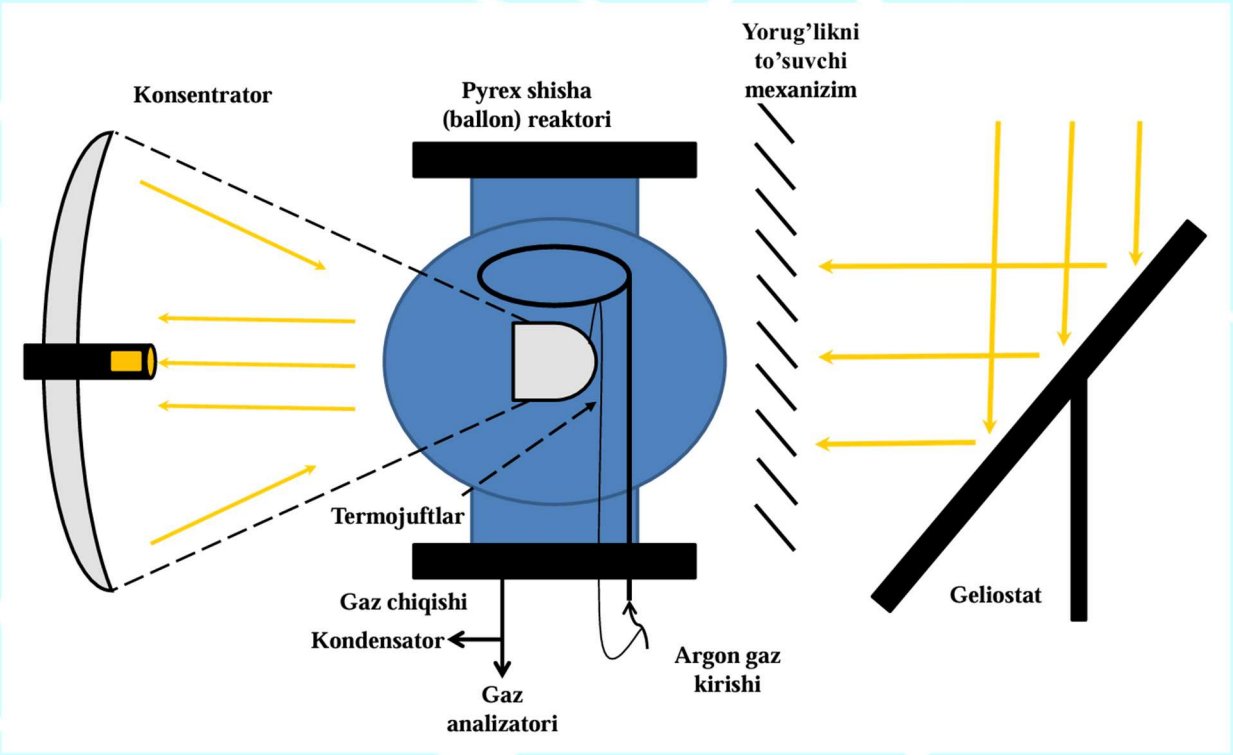
Chiziqli fresnel reflektorlar



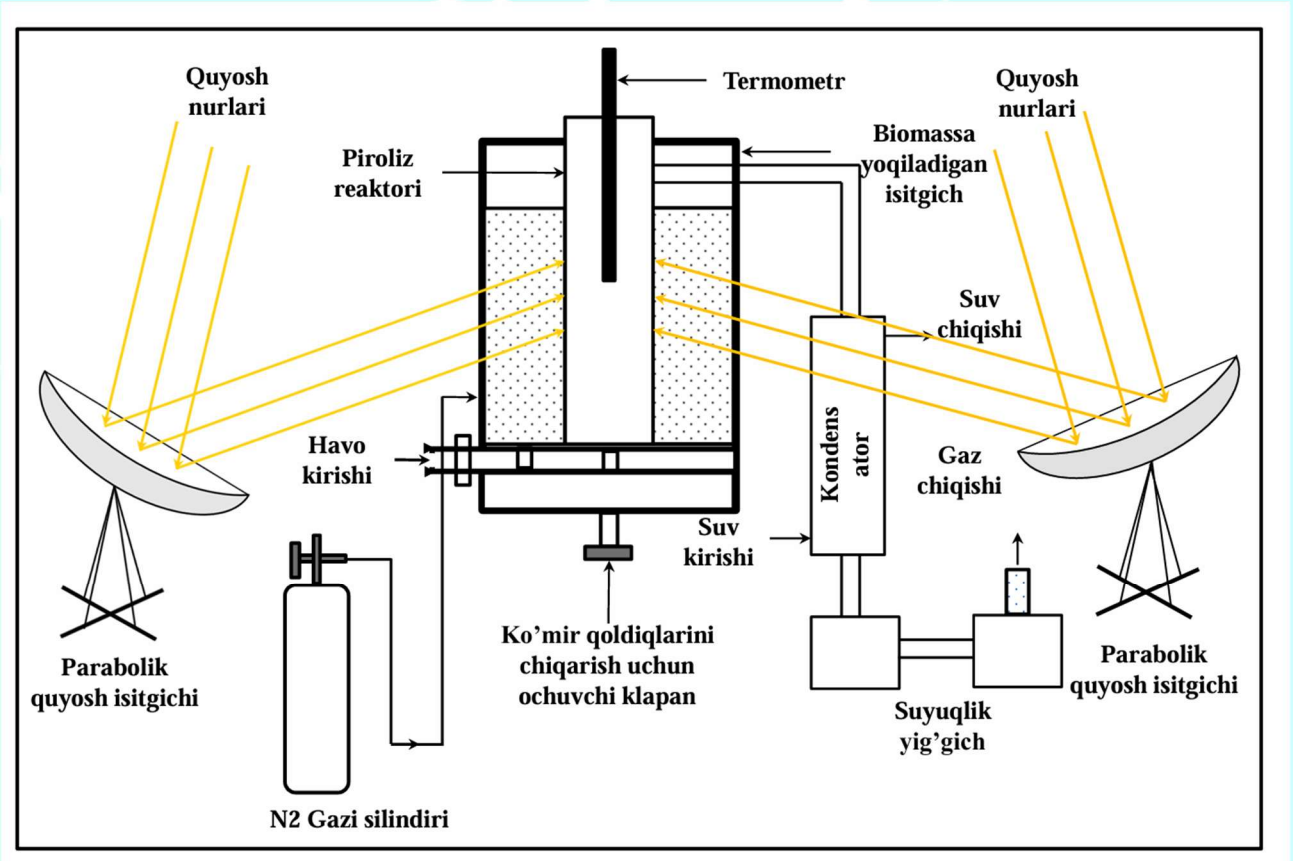
Chiziqli ko'zgu IId

1-rasm. Turli xil optik konsentrator qurilmalari.

ISSN 3030-3907



2-rasm. Quyosh energiyasidagi asosida ishlaydigan biomassa piroliz qurilmasining yo‘nalishi.



3-rasm.Quyosh energiyasidagi asosida ishlaydigan biomassa piroliz qurilmasining yo‘nalishi.

5.2. Vertikal joylashtirilgan uzluksiz qizdiriladigan reaktorlar (yorug‘lik simulyatorlari bilan)

ISSN 3030-3907

Quyosh-biomassa pirolizi turli reaktorlar va quyosh simulyatori yo‘nalishlaridan foydalanilgan holda quyosh nurlanishi simulyatorlari bilan amalga oshirilgan. Dastlabki tadqiqotchilar tabiiy quyosh nurining uzluksiz bo‘lmagan tabiatiga ko‘ra quyoshga o‘xshash sun’iy yorug‘likdan foydalanib, karbonli materiallarning quyosh yordamida parchalanishini qo‘llay boshlagan va bu usul hali ham e’tibor qozonmoqda.

Sobek va boshqalar tomonidan quyosh-biomassa pirolizi uchun vertikal joylashtirilgan qatlamli reaktor chop etilgan bo‘lib, quyosh nurlanishi ksenon yoy chirog‘i (issiqlik oqimi zichligi 2.2 MW/m²) va elliptik reflektor yordamida simulyatsiya qilingan[20]. Issiqlik o‘tkazuvchanligi yuqori bo‘lgani uchun reaktor sifatida izolyatsiyalangan mis reaktor qabul qilingan. Reaktor devorlariga yutiluvchi qoplamadan yasalgan qora jism qo‘llangan. Nurlar reaktor devorlariga to‘g‘ridan-to‘g‘ri yo‘naltirilgan va issiqlik biomassa tarkibiga issiqlik o‘tkazuvchanligi (bilvosita qizdirish) orqali uzatilgan. Ushbu qurilma chiroqning fokus masofasini va qizdirish haroratini boshqarish uchun suriluvchi tayanch bilan loyihalashtirilgan. Qurilma geometriyasi reaktordagi granulalar soni harorat gradiyenti va reaktor yuzasidagi nurlangan maydon masofasiga bog‘liq bo‘lishi tarzida ishlab chiqilgan.

Xuddi shu ksenon yoy chirog‘i chuqur idish shaklidagi parabolik konsentrator bilan birlashtirilgan holda, Rony va boshqalar tomonidan qarag‘ay qipig‘i biomassa pirolizini simulyatsiya qilish uchun modifikatsiya qilingan kino proektori (850–1050 nm to‘lqin uzunliklari) yordamida quyosh simulyatori sifatida ishlatilgan[11]. Reaktor — ikki devorli (diametri 29 mm va 58 mm) qatlamli reaktor bo‘lib (reaktor suyuqlantirilgan qatlam rejimida ham ishlashi mumkin), vertikal joylashtirilgan kvarts reaktor hisoblanadi. Silindrsimon reaktorning ichki devori quyosh simulyatori fokusida biomassani ushlab turish uchun fritsni mahkamlashga mos ravishda torayadi. Ichkarida inert atmosfera yaratish va gazni supurib chiqarish uchun azot gazi ishlatilgan. Devorga yaqin bo‘shliq issiqlik yo‘qolishlarini qoplagan. Simulyator fokus nuqtasining joylashuvini o‘zgartiruvchi moslashuvchan vint mexanizmlaridan foydalanadi. Bu masofa bilan quyosh oqimini (haroratni tartibga solish uchun kiritilayotgan quvvatni) o‘zgartiradi. Quyosh-termal tizimning bunday yo‘nalishi biomassaga to‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlanishni ta’minlagan.

Boutin va boshqalar ham xuddi shu simulyatorni biomassaning quyoshda chaqnash pirolizida optik xossalarini to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘lchash uchun qo‘llagan[12]. Ya’ni, ksenon chirog‘idan kelgan parallel nurlar yig‘uvchi linza orqali konsentratsiyalanib, pelletlar joylashgan integrallashgan sfera ichiga yo‘naltirilgan.

ISSN 3030-3907

Sobek va boshqalar esa chiqindi biomassaning simulyatsiyalangan quyosh yordamidagi pirolizini vertikal joylashtirilgan xira mis truba va ksenon yoy chirog‘i (1.6 kW, 2.2 MW/m² issiqlik oqimi zichligi) bilan elliptik reflektor birikmasi orqali namoyish etgan[20]. Mis materialning xira bo‘lishidan maqsad — biomassani bilvosita issiqlik o‘tkazuvchanligi orqali qizdirish imkonini berishidir.

Grønli va boshqalar ham qayin, qarag‘ay va archa biomassalarining simulyatsiyalangan quyosh-biomassa pirolizini ksenon chirog‘i yordamida amalga oshirgan[13]. Piroliz qo‘ng‘iroq shaklidagi Pyrex reaktorida o‘tgan bo‘lib, uning bir tomoni nurlanishni maksimal o‘tkazuvchi eritilgan silika oynadan yasalgan. Ksenon chirog‘i biomassaga shu oyna orqali to‘g‘ridan-to‘g‘ri 5–10 daqiqa davomida yo‘naltirilgan. Oynaga yaqin joyda uchta azot gazi purkash porti mavjud bo‘lib, u tutun to‘planmasligi uchun xizmat qilgan. Gaz yuqori qismdagi chiqish portidan sovuq tuzoqqa yo‘naltirilgan. Chiroqdan hosil bo‘lgan issiqlik oqimi 80–130 kW/m² oralig‘ida bo‘lgan. Ikki xil oqim zichligida bio-ko‘mir, smola va gaz hosildorligi mos ravishda 26.2–28.7 %, 27.9–38 % va 35.9–45.2 wt% ni tashkil etgan.

Beagle ksenon lampasi (5 kW) va konsentrator bilan jihozlangan simulyatsiyalangan quyosh pirolizini yog‘och biomassasiga qo‘llagan[14]. Reaktor — vertikal joylashtirilgan, azot gazi bilan oldindan qizdirilgan kvarts trubasi. Mahsulotlarning ajralishi 4 bosqichda, mos ravishda 120, 70, 22 va 0 °C haroratdagi etilen glikol, issiq suv, xona haroratidagi suv va suv/muz vannalari yordamida amalga oshiriladi.

5.3. Gorizontal joylashtirilgan uzluksiz qizdiriladigan reaktorlar.

Adabiyotlarda gorizontal reaktor yo‘nalishini qo‘llagan tadqiqotlar juda kam uchraydi. [3] apelsin po‘sti uchun gorizontal qatlamli reaktor yo‘nalishi bilan quyosh-piroliz tizimini taqdim etgan (4-rasm). Tizim borosilikat shisha truba reaktor, markaziy hub, parabolik konsentrator (1.3 m kenglik) va bir nechta kondensatsiya trubkalaridan iborat. Markaziy tayanch uzel struktura sifatida xizmat qilgan va butun tizimni fokuslash uchun yagona o‘q bo‘ylab aylanadi. Inert muhitni ta’minlash uchun geliy gazi ishlatilgan. Tizim biomassaga to‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlanishni ta’minlash uchun loyihalashtirilgan, shu bilan oziqlanish materiali tizimning eng issiq qismiga aylangan. Yorug‘lik reaktor ostidan kiradi, gazsimon suyuqlik esa yonidagi kondensatsiya trubkasi orqali to‘planadi. Hosil bo‘lgan gaz 200 °C lik suyuq azotga botirilgan sovutish trubkasida to‘plangan. Olingan maksimal konsentratsiyalangan quyosh darajasi 27,088 W/m² bo‘lgan, o‘rtacha oqim 12,553 W/m² ni tashkil qilgan. Apelsin po‘stidan olinadigan hosildorlik gaz, ko‘mir va moy uchun mos ravishda 1.4, 21 va 77.6 (wt. %) ni tashkil qilgan.

ISSN 3030-3907

Bashir, M va boshqa mualliflar tomonidan gorizontal qatlamli tushirilgan suyuqlantirilgan reaktor kontseptual variantini taklif qilgan. Biomassa bir uchi orqali oldindan qizdirilgan azot bilan boshqa uchi tomon harakatlantirilgan va shu bilan biomassani suyuqlantirgan. Piroliz reaktsiyasi reaktor devoriga to‘g‘ridan-to‘g‘ri fokuslangan parabolik konsentrator yordamida amalga oshirilgan. Gaz va qattiq faza konus shaklidagi oqim deflektori orqali ajratilgan, bu gazsiz qattiq moddaning joylashgan trubadan o‘tishiga imkon beradi. Ushbu ajratish texnikasi gazning turish vaqtini yaxshiroq nazorat qilish va ko‘mir va gaz hosil bo‘lgandan keyin sarf qilinadigan vaqtni cheklash imkonini beradi. Bu bio-moy hosildorligini oshirish uchun gazning termal va katalitik sinishini cheklashga xizmat qiladi.

Gorizontal holatda joylashtirilgan qatlamli reaktor (silika shisha trubasi) tomonidan tovuq chiqindilari biomassasining quyosh–biomassa pirolizi jarayonida qo‘llanilgan. Xuddi shu reaktor (5-rasm) [4] tomonidan guruch po‘stining quyosh pirolizida ishlatilgan. Biomassa truba markaziga kvarts jun yordamida joylashtirilgan. Qatlamli reaktorning bir uchi inert muhitni ta’minlash uchun azot tashuvchi gazga ulangan, boshqa uchi esa yon mahsulotlarni kuzatish uchun muz xonasiga ulangan. Quyosh nurlanishi parabolik kosa konsentratori (diametri 1.8 m) yordamida ta’minlangan bo‘lib, sirt 88% aks ettiruvchi alyuminiy polietilen tereftalat bilan qoplangan.

Grassmann sekin aylanadigan motor bilan quvvatlangan gorizontal aylanuvchi zanglamaydigan po‘lat reaktor (silindrsimon retort-kiln)ni taqdim etgan[5].

1-jadval

№	Biomassa	Reaktor/ Reaktor konfiguratsiyasi	Konsentrator	Quvvat/ Maksimal oqim zichligi	Natijalar	Manba
1	Kashtan	Shaffof pirez shisha ballon/ Vertikal pech	Pastga qaratilgan parabolic ko‘zgu	1.5kW/15,000kW/ m2	Gaz hosildorligi 62% bo‘lib, uning pastki issiqlik qiymati 10 376 ± 218 kJ/kg yog‘ochni tashkil etdi. Bu natija 1200 °C harorat, 50 °C/s qizish tezligi, 0.85 bar bosim va argon oqimi 12 NL/min sharoitlarida olingan. Biomassa energiyasini oshirish samaradorligi	[15], [17]

ISSN 3030-3907

					38–53% oralig‘ida bo‘lgan.	
2	Bug‘doy somoni	Aylanma zanglamas po‘latdan yasalgan silindrsimon pech/ Gorizontal retorta	chiziqli ko‘zgular	-/-	Quyosh yordamida olingan ko‘mirning energiya zichligi **16.9 MJ/kg** ni tashkil qiladi.	[5]
3	Pomidor chiqindisi va agave barglar	Shar shaklidagi borosilikat/ Vertikal	parabolik	25 kVt , harorat oralig‘i **450–1550 °C/-**	Kam haroratda (**900 °C dan past**) ishlab chiqarilgan biochar katta yuzaga va sig‘imga ega, yuqori haroratdagiga nisbatan.	[7]
4	Apelsin po‘sti	Borosilikat shisha truba/ Gorizontal	Kumush oynali qoplama bilan qoplangan parabolik kanal, quyosh nuri burchagiga muvofiq 5joylashtirilgan	–/27 088 W/m².	Gaz, ko‘mir va yog‘ uchun hosil bo‘lish nisbatlari mos ravishda 1.4 %, 21 % va 77.6 % (og‘irlik bo‘yicha).	[3]
5	O‘rik urug‘i, uzum po‘stlog‘i va uzum marcini kukuni	shaffof Pyrex ballon/ Vertikal	pastga qaratilgan parabola oynasi	**1.5 kVt /15 000 kVt/m²**	Eng yuqori gaz hosildorligi (**63.5 %**) eman talaşi (pinesawdust) dan olingan, yakuniy harorat **2000 °C** da.	[8]
6	**Xurmo daraxti**	**Po‘lat reaktor (qisman**	**ikki parabolli idish**	-/-	**50 Vt** quvvatda, **500 °C** ish haroratida, **6 L/min** gaz oqimida va **120**	[9]

ISSN 3030-3907

		qizdirish)/ Vertikal			**daqiqa** turish vaqtida suyuq yog‘ uchun olingan foiz. Shuningdek, **32.4 % CO_2** kamayishi (yoki chiqishi kamaytirildi).	
7	-	Zanglamas po‘latdan tayyorlangan tarelka (idish)/ **Yassi**	**parabolik kanal oynasi**	-/-	-	[18]
8	**Quruq biomassa**	Shar yoki silindrsimon rezervuar, ichida eritilgan tuz, atrofida 22 ta silindrsimon trubalar bilan o‘ralgan/ Vertikal	**murakkab parabolik konsentrator**	3000kW /-	-	[10]
9	Guruch somoni	**Silindrsimon silika shisha truba/** Gorizontal	**parabolik tarelka konsentratori**	-/-	-	[4]

2-jadval

№	**Biomassa**	**Reaktor/ Reaktor konfiguratsiyasi**	**Konsentrator**	**Quvvat va maksimal oqim zichligi/ Yorug‘lik manbai**	**Natijalar**	**Manba**
1	**Kraft qog‘oz.**	**Pastki qismi toraytirilgan**	**Parabolik oynalar va 24 ta yassi**	150W, 200W/cm2/**5**	**Sirop hosildorligi 63 %.**	[19]

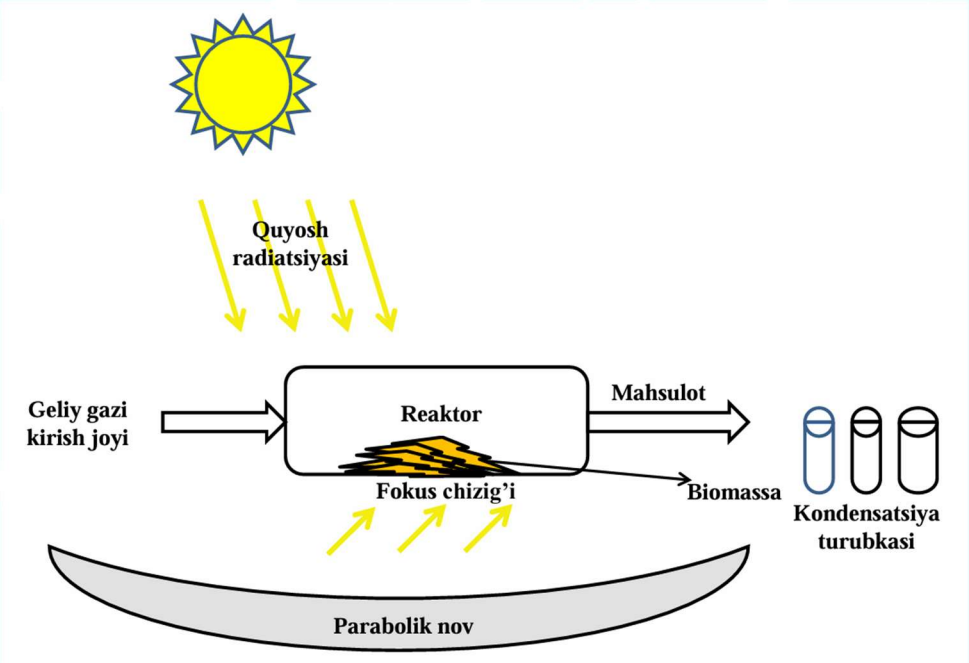
ISSN 3030-3907

		silindrsimon Amersil kvarts trubasi/ Vertikal	**shisha oynalar**	**kVt liq xenon ark lampalari**		
2	**Yog‘ochga o‘xshash aralash biomassa komponentlari**	**birlashtirilgan shar/** Vertikal	Yig‘uvchi linzalar	**-/ Xenon lampasi.**	**Granulalarning 44–86 % qismi aks ettirgani kuzatildi.**	[12]
3	**Norvegiya qayin, eman va qarag‘ay**	**Bir tomoni eritilgan silika oynadan yasalgan qo‘ng‘ir shaklidagi Pyrex./ Gorizontal**	**Shisha truba orqali to‘g‘ridan-to‘g‘ri konsentratsiya**	80-130kW/ m2/ Xenon ark lampasi	Biochar va gaz hosildorligi ikki oqim zichligi uchun mos ravishda **26.2–28.7 %, 27.9–38 % va 35.9–45.2 % (og‘irlik bo‘yicha)** ni tashkil etdi.	[13]
4	**Yog‘och**	**Kvarts trubasi/ Vertikal**	To‘g‘ridan-to‘g‘ri konsentratsiya	-/5 kVt liq xenon ark lampasi	**Og‘ir qatran va yengil bio-yog‘.**	[14]
5	Chiqindi biomassa	Mis, bilvosita (o‘tkazuvchanlik orqali)/ **Vertikal**	ellips shaklidagi reflektor	2.2 MW/m^{-2}/1.6 kW ksenon yoy lampasi	-	[20]
6	Tovuq axlati,	mis, bilvosita (o‘tkazuvcha	ellips shaklidagi reflektor	2.2 MW/m^{-2}/0.6 kW	Maksimal CO va H_2 chiqishi mos ravishda 63 wt% va 15 wt%	[20]

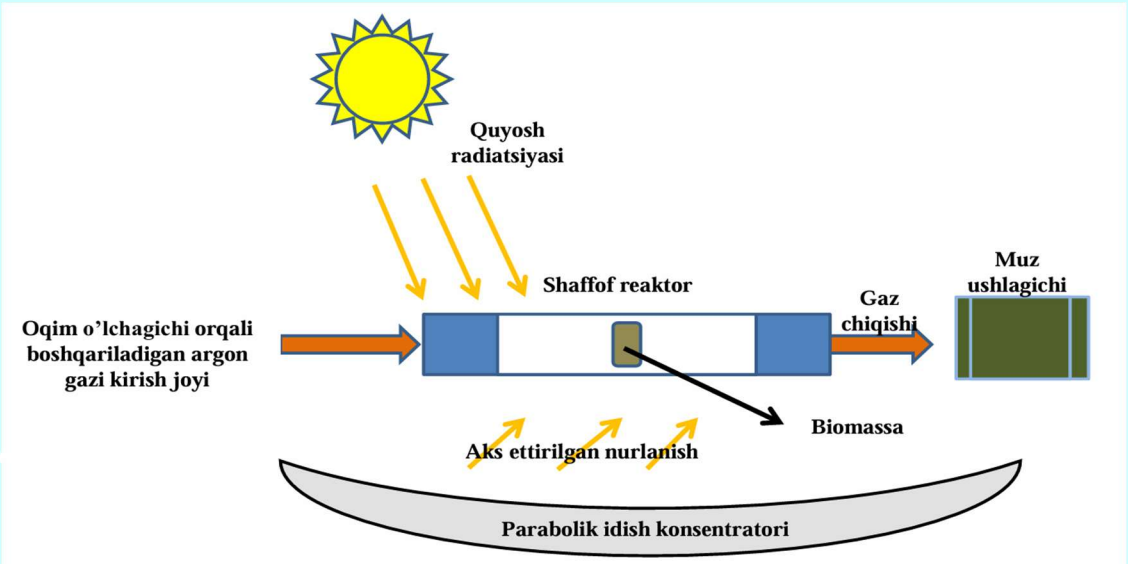
ISSN 3030-3907

		nlik orqali)/ **Vertikal**		ksenon yoy lampasi.	bo‘lib, 800 °C da 50% CaO joyida yuklamada olingan.	
7	Qayin arralangan qipiqlari	silindrsimon kvarts reaktori/ **Vertikal**	chuqur parabola konsentratori	-/– 5 kW ksenon yoy lampalari	-	[11]

1 va 2-jadval mos ravishda quyosh yordamidagi va simulyatsiyalangan quyosh pirolizi bo‘yicha umumiy ma’lumotlarni taqdim etadi.



4-rasm. Gorizontal yo‘nalishda joylashtirilgan qatlamli (fiks-bedd) quyosh-biokmassa piroliz reaktori



5-rasm. Gorizontal yo‘nalishda joylashgan qatlamli (fiks-bedd) quyosh-biomassa piroliz reaktori.

ISSN 3030-3907

Konsentrator — ikki qatorga joylashtirilgan to‘rtta chiziqli oynalardan iborat bo‘lib, taxminan 2° burchak bilan quyoshni kuzatadi. Konsentratsiyalangan quyosh nurlari oynalarning fokus o‘qi bo‘ylab joylashtirilgan deflektor yordamida reaktorga yo‘naltiriladi. Ushbu qurilmadan ishlab chiqarilgan quyosh karbonining energiya zichligi 16.9 MJ/kg ni tashkil qilgan.

6. Quyosh-biomassa pirolizida ishlatiladigan model tenglamalar

Model tenglamalari piroliz reaktorini tushunish va optimallashtirish uchun talab qilinadi. Reaktorga issiqlik uzatilishi va biomassaning turli tarkibiy qismlari tomonidan turli harorat va isitish tezligida keltiriladigan kinetik reaktsiyalarning murakkabligi sababli, reaktorning isitilishi va reaktsiya kinetikasini tushunish uchun ichki jarayonlarni soddalashtirish qo‘llanilgan.

Issiqlik yo‘qotilishi atrof-muhitga yo‘qotilgan issiqlik, reaktor aks ettirgan issiqlik, konsentrator tomonidan so‘rilgan issiqlik va konsentratorning fokuslashdagi samaradorliksizligini o‘z ichiga oladi [21]. Macquarrie va boshqalar tomonidan taqdim etilgan to‘g‘ridan-to‘g‘ri nurlantiriladigan tizim va boshqa shunga o‘xshash tizimlarni hisobga olgan holda, quyosh-biomassa tizimi uchun issiqlik balansini quyidagicha ifodalash mumkin[21]:

$$dQ_{absorbed}^{solar} = dqo(a_{reaktor} + \tau_{biomass} a_{reaktor}) \qquad (1)$$

Reaktor yuzasiga tushadigan nurlanish (dq_o) quyidagicha ifodalanadi.

$$dq_0 = \varphi \eta_{optic} \eta_{fokus} \mathrm{dAdt} \qquad (2)$$

Aylana bo‘ylab nurlanishning taqsimlanishi tajriba yo‘li bilan aniqlangan quyosh nuri intensivligiga bog‘liq bo‘lib, u (3)-tenglamada quyidagicha berilgan.

$$\varphi = I(2\ x\ 10^7 c^4 + 2\ x\ 10^{-3} c^3 - 44828c^2 - 3\ x\ 10^{-13} c + 33) \qquad (3)$$

Muhitga yo‘qotiladigan issiqlik quyidagicha ifodalanadi.

$$dQ_{environment}^{loss} = h\mathrm{dAdt} \qquad (4)$$

(2000) quyosh energiyasida ishlaydigan biomassa pirolizi tizimini modellashtirish jarayonida quritish va piroliz jarayonlarining o‘zaro bog‘liqligiga urg‘u bergan. U barcha fazalar bir xil haroratda bo‘ladi va bosim esa bug‘ning qisman bosimiga teng deb hisoblagan. Ular energiya saqlanishi, gaz aralashmasining tarkibi va gaz aralashmasining o‘ziga xos issiqlik sig‘imi o‘rtasidagi bog‘liqlikni ifodalovchi uchta muhim (5)–(7)-tenglamalarni quyidagicha ishlab chiqqan.

$$\left((\rho_s)C_{p,s} + \epsilon_g (\rho_g)^g C_{p,s}\right)\frac{\partial(T)}{\partial t} + \left((\rho_g)^g (v_g) C_{p,g}\right)\frac{\partial(T)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k_{eff}\frac{\partial(T)}{\partial x}\right) - \\ - \sum_i (w_i)\Delta h_i \qquad (5)$$

$$(\rho_g)^g = \sum_i (\rho_i)^g, (P_i)^g = \frac{(\rho_g)^g R_0 T}{M_g}, M_g = \left(\sum_i \frac{(\rho_i)^g}{(\rho_g)^g M}\right)^{-1} \qquad (6)$$

$$C_{p,g} = \sum_i C_{p,i}\frac{(\rho_i)^g}{(\rho_g)^g}, C_{p,s} = \eta C_{p,SD}\ ^{(1-\eta)C_{p,c}} \qquad (7)$$

ISSN 3030-3907

Biomassa pirolizida termogravimetrik tahlil o‘tkaziladi va jarayonning xatti-harakati turli haroratlar va qizdirish tezliklarida baholanadi. Hozirgi tadqiqotlarda harorat oshishi bilan massa o‘zgarishiga qarab (konversiya modeli) aniqlanadigan issiqlik parchalanish jarayoniga e’tibor qaratilgan. Kinetik tamoyil asosan konversiya tezligini aniqlash uchun qo‘llaniladigan kondensatsiyalangan faza yoki qattiq fazaga asoslanadi. Kinetik modeldagi eng muhim narsa — jarayonning fizik xususiyatlarini saqlashdir. Qattiq fazada xomashyo harorat vaqt o‘tishi bilan oshib borar ekan, doimiy qizdiriladi. Konversiya tezligi Arrhenius tenglamasi orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\frac{d\alpha}{dT} = \beta^{-1} A exp\left(\frac{-E}{RT}\right) f,(\alpha) \qquad (8)$$

$$\alpha = \frac{m_0 - m_t}{m_0 - m_f} \qquad (9)$$

Biomassa piroliz jarayonida termogravimetrik tahlil amalga oshiriladi va jarayonning xatti-harakati turli haroratlar hamda qizdirish tezliklarida baholanadi. Qattiq fazada xomashyo vaqt o‘tishi bilan harorat ortib borishi natijasida uzluksiz qizdiriladi. Konversiya tezligi Arrhenius tenglamasi orqali quyidagicha ifodalanadi.

$$\ln\left(\beta_i \left(\frac{d\alpha}{dT}\right)_\alpha\right) = \ln\left(A_\alpha f,(\alpha)\right) \frac{-E_\alpha}{RT_{d,i}} \qquad (10)$$

$$\frac{d(\alpha)}{dT} = \frac{A}{\beta} \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) f,(\alpha) \qquad (11)$$

Reaksiyalar bosqichidan foydalanadigan modelga asoslangan kinetika taqdim etilgan bo‘lib, unda massa yo‘qotilishi quyida ifodalangan konversiya tezligining integrallashgan qismi yig‘indisi sifatida baholanadi.

$$\left(\frac{d(\alpha)}{dt}\right)_j = \left(\left(\frac{(a_j \to b_j}{dt}\right)\right)_j = A_j \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) f_j,(\alpha_j b_j) \qquad (12)$$

Kinetik modellarda esa eng yaxshi modelni tanlash masalasi hanuzgacha munozarali hisoblanadi.

7. Xulosa

Quyosh energiyasida ishlaydigan biomassa piroliz jarayonidan samarali foydalanish uchun xomashyo turi, konsentratsiya qiluvchi optikalarning tanlovi, jarayon termodinamikasi va mahsulot chiqimlaridan tashqari, quyosh-termik tizimlar va reaktorlarning to‘g‘ri o‘rnatilish yo‘nalishi ham to‘g‘ri loyihalanishi lozim.

Piroliz tizimlari uchun reaktor dizaynida ko‘plab innovatsiyalar mavjud bo‘lsa-da, quyosh biomassa pirolizida asosan vertikal joylashtirilgan qatlamli (fixed-bed) reaktorlar ustunlik qiladi va aksariyat tadqiqotlar laboratoriya miqyosida amalga oshirilgan.

Ko‘rib chiqilgan ilmiy adabiyotlar shuni ko‘rsatdiki, hozirgi reaktor dizaynlari quyosh pirolizini tijorat bosqichiga olib chiqish uchun yetarli emas.

ISSN 3030-3907

Ushbu jarayonda qayta ishlanishi lozim bo‘lgan biomassa miqdorini oshira oladigan takomillashtirilgan dizayn zarur. Reaktor va konsentrator konstruksiyasiga nanomasshtabdagi zarrachalarni integratsiya qilish esa quyosh termal tizimlar samaradorligini oshirishda istiqbolli yo‘nalish bo‘lishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Crossette, B., 2011. Estado de la Población Mundial 2011. Fondo de Poblaciónde las Naciones Unidas, New York, p. 2011.
2. Sharma, A., Pareek, V., Zhang., 2015. Biomass pyrolysis—a review of modeling, process parameters and catalytic studies. Renew. Sustain. Energy Rev. 50, 1081– 1096.
3. Morales, S., Miranda, R., Bustos, D., Cazares, T., Tran, H., 2014. Solar biomass pyrolysis for the production of biofuels and chemical commodities. J. Anal. Appl. Pyrol. 109, 65–78.
4. Weldekidan, Haftom, Strezov, Vladimir, Town, Graham, Kan, Tao, 2018. Production and analysis of fuels and chemicals obtained from rice husk pyrolysis with concentrated solar radiation. Fuel 233, 396–403. https://doi.org/10.1016/ j.fuel.2018.06.061.
6. Grassmann, H., Boaro, M., Citossi, M., Cobal, M., Ersettis, E., Kapllaj, E., Pizzariello, A., 2015. Solar biomass pyrolysis with the linear mirror II. Smart Grid Renew. Energy 6, 179–186.
7. Citossi, M., Cobal, M., 2018. A Preliminary Study to Produce Solar Carbon. Universita Degli Studi. Di Udin. Crossette, B., 2011. Estado de la Población Mundial 2011.
8. Ayala-Cortés A., Arancibia-Bulnes C.A., Villafán-Vidales H.I., Lobato-Peralta D.R., Martinez-Casillas D., Cuentas-Gallegos A.K., 2018. Solar pyrolysis of agave and tomato pruning wastes: insights of the effect of pyrolysis operation parameters on the physicochemical properties of biochar. In: A Paper Presented at the SolarPACES Conference in Morocco, 2018.
9. Li, R., Zeng, K., Soria, J.E., Mazza, G.A., Gauthier, D., Rodriguez, R., Flamant, G., 2016. Product distribution from solar pyrolysis of agricultural and forestry biomass residues. Renew. Energy 89, 27–35.
10. Joardder, M.U.H., Halder, P.K., Rahim, A., Paul, N., 2014. Solar assisted fast pyrolysis: a novel approach of renewable energy production. J. Eng. https://doi.org/ 10.1155/2014/252848.
11. Adinberg, R., Epstein, M., Karni, J., 2004. Solar gasification of biomass: a molten salt pyrolysis study. J. Solar Energy Eng. 126, 850–857.
12. Rony, A.H., Daniel, M., Zhao, S., Dengfeng, Q., Yuan, Z., John, H.B., Maohong, F., 2018. A novel solar powered biomass pyrolysis reactor for producing fuels and chemicals. J. Anal. Appl. Pyrol.

ISSN 3030-3907

13. Boutin, O., Lede, J., Olalde, G., Ferriere, A., 1999. Solar flash pyrolysis of biomass direct measurement of the optical properties of biomass components. J: Phys. IV France 9.
14. Grønli, M.G., 2000. Mathematical model for wood pyrolysis comparison of experimental measurements with model predictions. Energy Fuels 14, 791–800.
15. Beagle, E., 2012. Fast Pyrolysis of Biomass using Concentrated Solar Radiation. In: A Presentation to School of Energy Resources, University of Wyoming.
16. Zeng, K., Daniel Gauthier, A., Rui., L, Flamant, G., 2015a. Solar pyrolysis of beech wood: effects of pyrolysis parameters on the product distribution and gas product composition. Energy 93 (2015a), 1648–1657. Zeng, K., Gauthier, D., Flamant, G., 2014.
17. Zeng, K., Pham, D., Minh, B., Daniel Gauthier, A., Weiss-Hortal, E., Nzihou, N., Flamant, G., 2015b.. The effect of temperature and heating rate on char properties obtained from solar pyrolysis of beech wood. Bioresour. Technol. 182, 114–119.
18. Zeng, K., Gauthier, D., Flamant, G., 2014. High-temperature flash pyrolysis of wood in a lab-scale solar reactor. In: Proceedings of ASME 2014 8th International Conference on Energy Sustainability, Boston, USA, 2014.
19. Beattie, Willard H., Berjoan, René, Coutures, Jean-Pierre, 1983. High-temperature solar pyrolysis of coal. Solar Energy 31 (2), 137–143. https://doi.org/10.1016/ 0038-092X (83)90074-9.
20. Hopkins, M.W., Dejenga, C., Antal, M.J., 1984. The flash pyrolysis of cellulosic materials using concentrated visible light. Solar Energy 32, 547–551.
21. Sobek, S., Werle, S., 2019. Solar pyrolysis of waste biomass: Part 1 reactor design. Renew. Energy 143, 1939–1948.
22. Macquarrie, D.J., Clark, J.H., Fitzpatrick, E., 2012. The microwave pyrolysis of biomass. Biofuels Bioprod. Biorefining 6, 549–560

ISSN 3030-3907