

QATTIQ MAISHIY CHIQUINDILARDAN VODORODGA BOYITILGAN SINTEZ GAZ OLIISH IMKONIYATINI EKSPERIMENTAL TADQIQ QILISH

Abdugʻaniyev Nurislom Nuritdin oʻgʻli

“TIQXMMI” Milliy tadqiqot universiteti katta oʻqituvchisi

E-mail: abduganiyev2020@mail.ru

Annotatsiya: Bugungi kunda jahonda kuzatilayotgan global isish bilan bogʻliq iqlim oʻzgarishi, energiya xavfsizligi va issiqxona gazlari chiqindilarini kamaytirish kabi muammolar qayta tiklanadigan energiya taraqqiyotiga turtki boʻlmoqda. Qattiq maishiy chiqindilarni gazlashtirish natijasida vodorodga boyitilgan yuqori energetik qiymatga ega sintez gaz olish boʻyicha oʻtkazilgan eksperimental tadqiqot natijalariga koʻra, jarayon harorati 950 °C boʻlganda H₂ gazining miqdori maishiy chiqindi va yogʻoch chiqindisida mos ravishda 44,2 % hamda 42,9 % ni tashkil etdi.

Kalit soʻzlar: biomassa, qattiq maishiy chiqindi, issiqxona gazlari, gazifikatsiya, sintez gaz, smola, gazifikator.

Аннотация: В настоящее время наблюдающиеся в мире глобальное потепление, связанное с изменением климата, энергетическая безопасность и необходимость снижения выбросов парниковых газов стимулируют развитие возобновляемых источников энергии. Согласно результатам экспериментальных исследований по получению синтез-газа с высоким энергетическим потенциалом, обогащённого водородом, путём газификации твёрдых бытовых отходов, при температуре процесса 950 °C содержание водорода в газе составило соответственно 44,2 % для бытовых отходов и 42,9 % для древесных отходов.

Ключевые слова: биомасса, твёрдые бытовые отходы, парниковые газы, газификация, синтез-газ, смола, газификатор.

Abstract: Currently, global warming associated with climate change, energy security, and the need to reduce greenhouse gas emissions are driving the development of renewable energy sources. According to the results of experimental studies on the production of high-energy hydrogen-enriched synthesis gas through the gasification of municipal solid waste, at a process temperature of 950 °C, the hydrogen content in the gas reached 44.2 % for municipal waste and 42.9 % for wood waste, respectively.

Keywords: biomass, municipal solid waste, greenhouse gases, gasification, synthesis gas, tar, gasifier.

Kirish

Hozirda qayta tiklanadigan energiya iqlim o'zgarishini yumshatishning muhim elementi sifatida tan olingan [1]. Neft, ko'mir va tabiiy gaz kabi resurslarning kamayishi hamda qazib olinadigan yoqilg'ilar narxining oshishi bilan bog'liq holda qayta tiklanadigan energiya manbalari va bioenergiyadan keng miqyosda foydalanish haqiqatdan ham dunyoning ko'plab mamlakatlari hamda mintaqalarida katta qiziqishni uyg'otmoqda. Dunyoning ma'lum bir mintaqasida yoki mamlakatida alohida qayta tiklanadigan energiya manbalari turining o'sish sur'ati geografik, iqlim hamda iqtisodiy sharoitlariga bog'liq bo'ladi [2]. Dunyo bo'ylab hukumatlar energiyaga bo'lgan global talabni qondirish, qazib olinadigan yoqilg'i iste'molini va CO₂ emissiyasini kamaytirish maqsadida biomassa, shamol, quyosh hamda gidroenergetika kabi qayta tiklanadigan resurslar va energiyadan foydalanishni rag'batlantirmoqda [3,4]. Biomassa qayta tiklanadigan energiyaning eng keng tarqalgan shakli bo'lib, uning global miqyosda tarqalishi tufayli o'sish potentsialiga ega hisoblanadi. Elektr energiyasining nol uglerodli qayta tiklanadigan manbai sifatida tanilgan biomassa jami energiya iste'molining taxminan 14% va rivojlanayotgan mamlakatlarda energiya iste'molining 38% ni tashkil qiladi [5]. Energiya ishlab chiqarish uchun biomassa xom-ashyosidan foydalanish qazilma yoqilg'iga qaramlikni kamaytirgan holda issiqxona gazlari chiqishini qisqartirishga va CO₂ ni kamaytirish bo'yicha maqsadli ko'rsatkichlariga erishishga yordam beradi. Shuningdek, biomassa ekologik nuqtai nazardan qazilma yoqilg'ilar o'rnini bosuvchi hisoblanadi. Biomassadan energiya manbai sifatida foydalanish mamlakatning o'sishiga, sanoat va qishloq xo'jaligi tarmoqlarida iqtisodiy va bandlik imkoniyatlarini yaratishga ham hissa qo'shishi mumkin.

Gazifikatsiya texnologiyasi xom-ashyo tarkibi va reaktor turiga bog'liq holda 800–1200 °C haroratda sodir bo'ladi [6]. Biroq ushbu jarayon natijasida olingan gazlarni (vodorod, sintez gaz, uglerod oksidi, metan) tozalash murakkab jarayon hisoblanib, ularni tashish yuqori sarf-xarajatlarni talab qiladi [7]. Shuningdek, gazifikatordan olingan gazning yuqori issiqlik qiymatiga egaligi uning boshqa biogaz qurilmalaridan olingan gazdan ustunligidir. Bugungi kungacha gaz olish usulini yaxshi tushunish va o'rganish maqsadida ko'pgina amaliy tajribalar, matematik modellashtirishlar hamda izlanishlar o'tkazilgan [8, 9]. Yuqori molekulyar uglevodorodlarning kondensatsiyalashgan aralashmasidan iborat bo'lgan saqich(smola) gazlashtirish jarayonida hosil bo'lib, u gaz reaktorining zararlanishi, korroziyasi va bekilib qolishiga olib kelishi mumkin bo'lgan asosiy muammo hisoblanadi [6]. Ushbu muammoni hal etishda fizik [10], kimyoviy [11, 12] kabi bir qancha usullardan foydalanilmoqda. Shuningdek, saqich

hosil bo‘lishini kamaytirish bilan birga vodorod chiqishini oshirish maqsadida so‘nggi vaqtlarda bug‘li gazlashtirish usuli keng qo‘llanilmoqda [13].

Shunga ko‘ra, mazkur tadqiqot ishi Toshkent viloyati hududidagi qattiq maishiy chiqindilardan gazifikatsiya texnologiyasini qo‘llagan holda vodorodga boyitilgan sintez gaz olishga qaratilgan.

METODOLOGIYA

Toshkent viloyati hududidan yig‘ib olingan qattiq maishiy chiqindilardan tadqiqotda xom-ashyo sifatida foydalanildi. Hududdagi chiqindilar morfologik tarkibi o‘rganilganda ularning asosiy qismini yog‘och chiqindilari tashkil etishi aniqlandi va shundan keyingi amaliy tadqiqotlar umumiy qattiq maishiy chiqindi hamda yog‘och chiqindilarida o‘tkazildi.

Ushbu tadqiqot ishida vodorodga boyitilgan sintez gaz olishning energetik imkoniyatlari eksperimental tadqiq qilishda foydalanilgan gazifikator haqida to‘liq ma‘lumot Porada va boshqalar [14] tadqiqotlarida berilgan va uning umumiy ko‘rinishi 1-rasmda tasvirlangan.



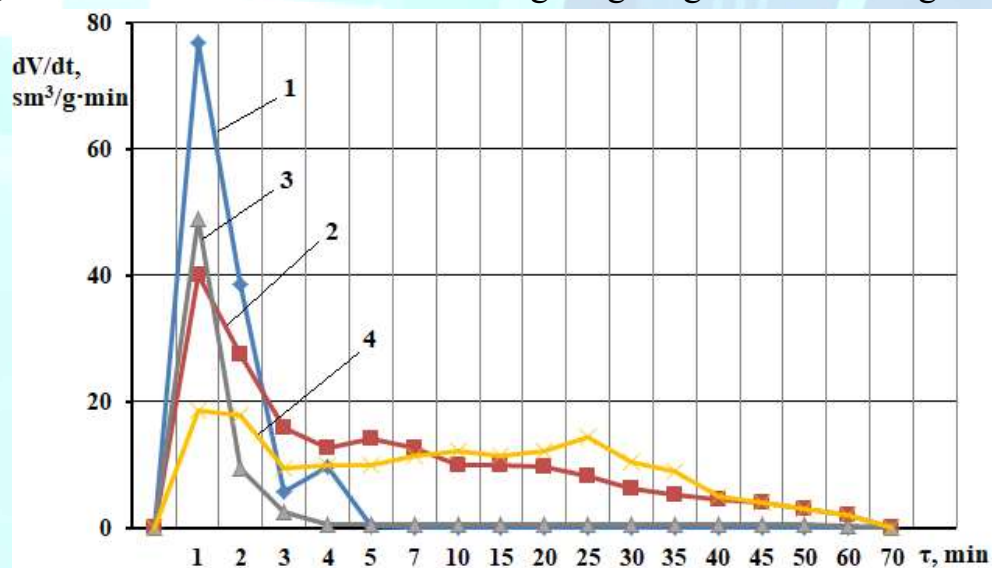
1-rasm. Gaz olish jarayonini o‘rganish uchun laboratoriya qurilmasi[15]

Uskuna uchta asosiy tizimdan, ya‘ni isitish tizimiga ega yuqori bosimli reaktor, gazlashtirish reaktoriga yonilg‘i (bug‘) etkazib berish tizimi va hosil bo‘lgan gazni tahlil qilish hamda yig‘ish tizimidan iborat. Reaktor ichida panjara bilan jihozlangan diametri 20 mm bo‘lgan kvarts retorta mavjud. Harorat 850, 900 va 950 °C; bosim: 10 bar; bug‘ sarfi: 0,3 g/min; argon oqimi: 2 dm³/min kabi izotermik o‘lchov parametrlari barqarorlashtirgandan so‘ng, 1 g yoqilg‘i namunasi panjaraga kirgizildi va hosil bo‘lgan gaz tahlil qilindi. Buning uchun maxsus ishlab chiqilgan porshenli ta‘minlovchi ishlatiladi. Porshen harakati ta‘minlovchi kameraga gaz etkazib berish trubkasidagi kirish klapanining ochilishi natijasida sodir bo‘ladi. Namuna solingan retorta elektr pechi yordamida qizdiriladi. Uchlari qopqoqlar bilan yopilgan va gazlashtiruvchi vositani etkazib berish hamda hosil

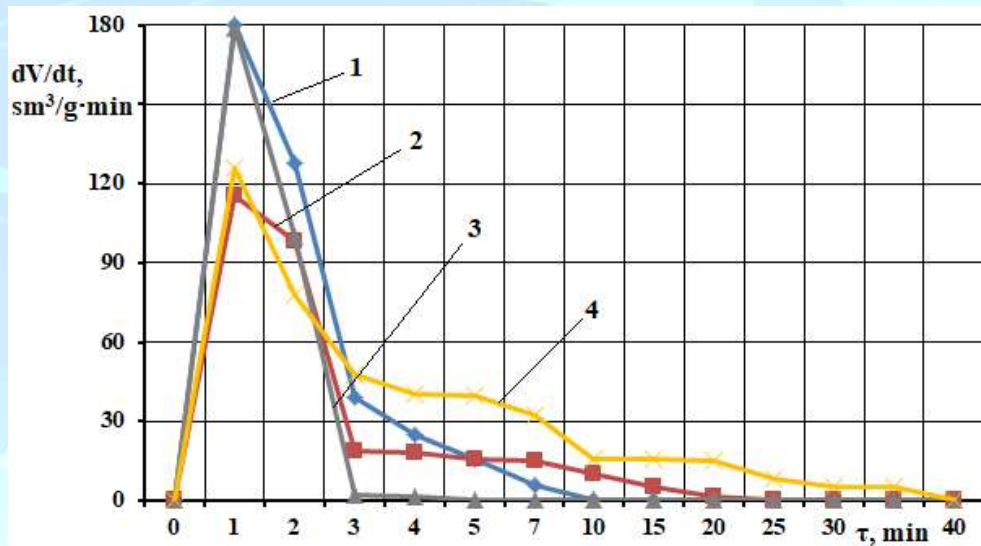
bo‘lgan gazni olib tashlash uchun mo‘ljallangan tarmoq quvurlari bilan jihozlangan kvarts reaktorining bosimli korpusi issiqqa chidamli po‘lat qobiqdan yasalgan. Qobiq ichiga o‘rnatilgan mineral vata (momiq paxta) pechning izolyatsiyasini hosil qiladi. Biomassa namunasining harorati bir vaqtning o‘zida impulslarni kontroller-dasturchiga etkazib berishga xizmat qiladigan va namunaning talab etilgan haroratini saqlaydigan K tipidagi termopara bilan o‘lchanadi. Olingan gaz suv va smola kondensatining ajralishi sodir bo‘ladigan kondensatordan o‘tadi. Shundan so‘ng ular yaxshilab quritiladi va filtrda tozalanadi. Dekompressiyadan so‘ng, infraqizil nurlanish yutilishiga asoslangan analizator yordamida olingan gazda karbonat angidrid, uglerod monoksid va metan miqdori doimiy ravishda aniqlanadi. Bundan tashqari, issiqlik o‘tkazuvchanlik detektori (TCD) bilan jihozlangan gaz xromatografi yordamida gaz tarkibidagi vodorod miqdorini aniqlash uchun gaz namunalari olindi.

NATIJA VA MUHOKAMA

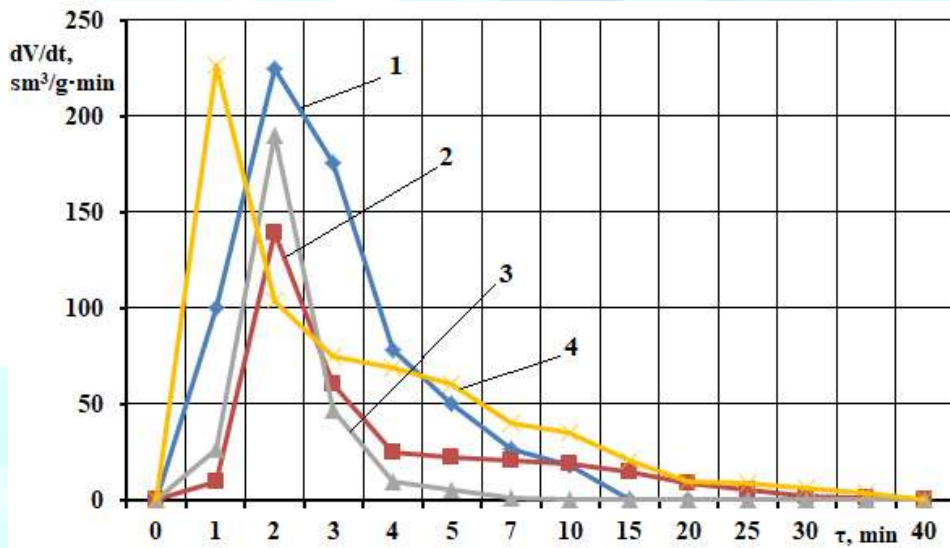
O‘tkazilgan ilmiy-tadqiqot ishi natijasida respublikada birinchi bor biomassadan gazifikatsiya texnologiyasini qo‘llagan holda vodorodga boyitilgan sintez gaz olishga erishildi. Quyidagi 2- va 3-rasmlarda qattiq maishiy chiqindi va yog‘och chiqindilari gazlashtirish jarayonining borishi va 850, 900 va 950 °C da H₂, CO, CO₂ hamda CH₄ hosil bo‘lish tezligining o‘zgarishi ko‘rsatilgan.



a)



b)



c)

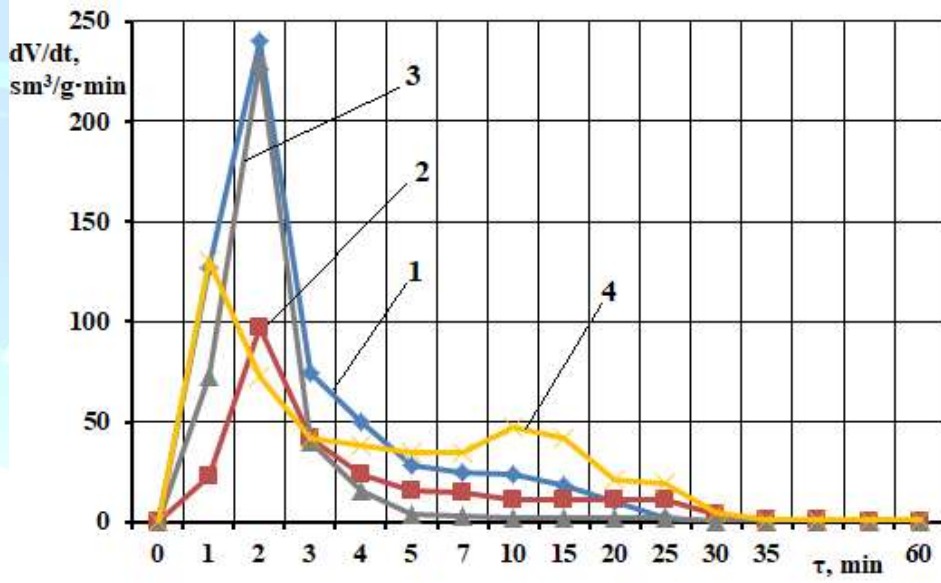
- 1) CO 2) CO₂ 3) CH₄ 4) H₂
 a) 850 °C; b) 900 °C c) 950 °C

2-rasm. Yog‘och chiqindilarini gazlashtirishda gazsimon mahsulotlar hosil bo‘lish tezligining turli haroratlarda o‘zgarishi[15]

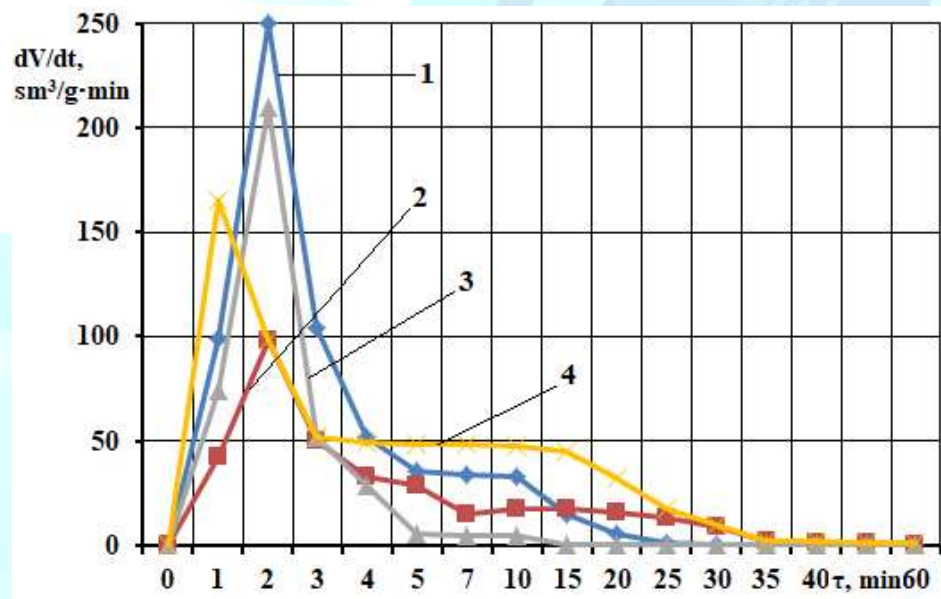
Barcha jarayonlarda ikkita bosqich aniq ajralib turadi: (1) piroliz – jarayonning boshida cho‘qqi sifatida kuzatiladigan uchuvchi moddalarning tez ajralib chiqishi; (2) gazlashtirish – suv bug‘i bilan reaksiya orqali ko‘mir hosil bo‘lishining sekinroq va ancha uzoq bosqichi. Natijada sintez gazi (H₂ + CO) hosil bo‘ldi. Hosil bo‘lgan gaz yuqori harorat zonasida bug‘ gazining siljishi reaksiyasi kabi ikkilamchi reaksiyalar sodir bo‘lishi uchun etarlicha vaqt saqlanib qoldi hamda CO₂ hosil bo‘ldi; CH₄ esa faqat piroliz bosqichida ajralib chiqadi.

Maishiy chiqindi va yog‘och chiqindilari gazlashtirishning har ikki bosqichida ham vodorod eng yuqori hosil bo‘lish ko‘rsatkichiga ega bo‘ldi, undan keyin CO hamda CO₂ (qiyosiy hosil bo‘lish tezligi). Piroliz jarayonida metan

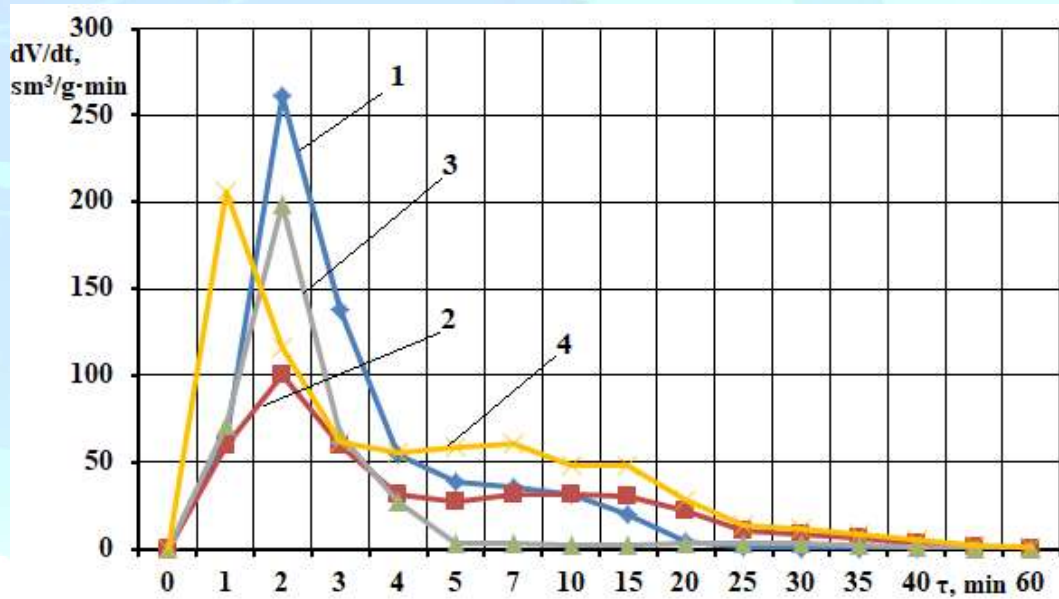
ajralib chiqish tezligining yuqoriligi bilan birga hosil bo'lish vaqtining qisqaligi ajralib chiqqan gazda CH₄ miqdorining sezilarli bo'lmashligiga olib keldi.



a)



b)



c)

 1) CO 2) CO₂ 3) CH₄ 4) H₂

a) 850 °C; b) 900 °C c) 950 °C

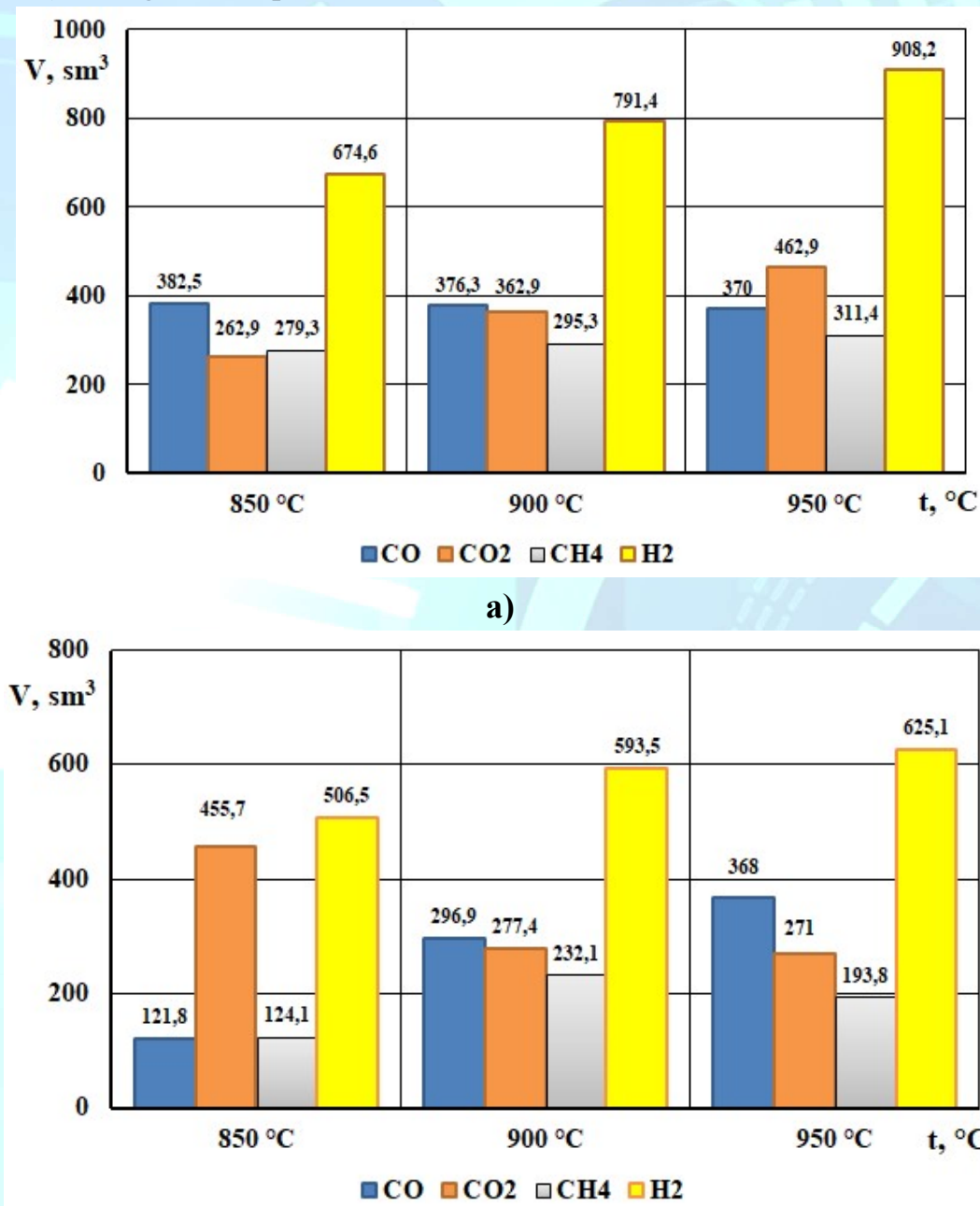
3-rasm. Maishiy chiqindini gazlashtirishda gazsimon mahsulotlar hosil bo'lish tezligining o'zgarishi[15]

Haroratning oshishi jarayon vaqtini qisqartirgan holda asosiy komponent bo'lgan sintez gazi (vodorod) ning hosil bo'lish tezligini oshishiga olib keldi. Biroq o'ziga xos egri chiziqlarning xususiyatlari har bir holatda o'zgarishsiz qoldi, ya'ni ikkita asosiy bosqich sodir bo'ldi (faqat piroliz vaqtida ajralib chiqqan CH₄ dan tashqari).

Gaz olish jarayoniga ikkilamchi gidrokrekingni kuchaytirish imkoniga ega va reaksiyalarni uglevodorodlarning (C_nH_{2n}) konversiyasiga o'tkazish xususiyatiga ega yuqori harorat sabab bo'ladi. Ushbu fakt yuqori haroratda sodir bo'ladigan reforming reaksiyalarining hissasi bilan bog'liq bo'lishi mumkin. Shuning uchun ular 800 °C dan yuqori haroratlarda ustun bo'ladi. Gazning yakuniy tarkibi smolaning sintez gaziga aylanishi bilan bog'liq holda sintez gazi chiqishining oshishi tufayli yuzaga keladigan umumiy reaksiyalarining funksiyasi hisoblanadi.

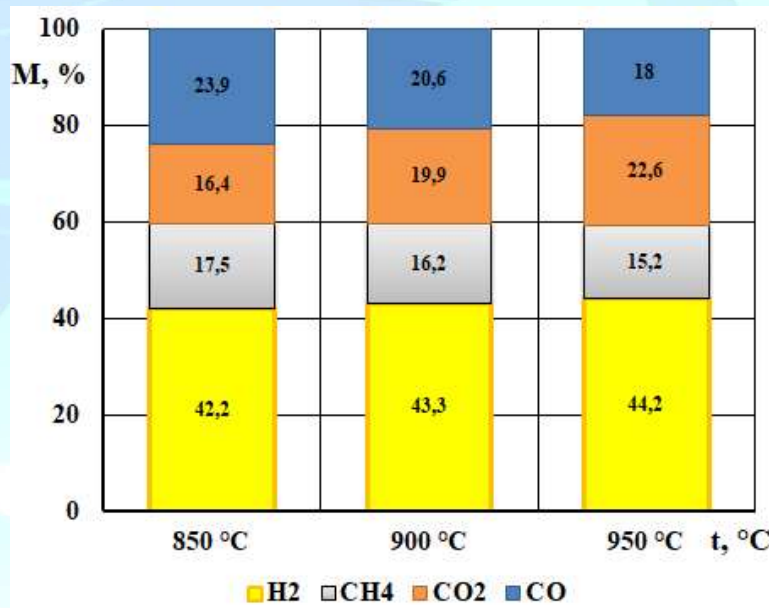
Gazsimon mahsulotlarning chiqish miqdorini hisoblash gazlashtirish o'lchovlari paytida olingan o'rganilayotgan gazlarning hosil bo'lish reaksiyalarining kinetik egri chiziqlari yordamida amalga oshirildi. Quruq va kulsiz holatda 1 g maishiy chiqindi hamda yog'och chiqindilaridan olingan gazsimon mahsulotlarning umumiy qiymatlari va ularning ulushlari mos ravishda 4- hamda 5-rasmlarda ko'rsatilgan. Berilgan ma'lumotlarni tahlil qilish bizga haroratning oshishi bilan ko'p hollarda olinadigan sintez gazi (vodorod va uglerod oksidi) miqdorining oshishi haqida xulosa chiqarishga imkon beradi. Biroq 950 °C da

maishiy chiqindi gazlashtirilganda olingan gaz tarkibida karbonat anhidrid uglerod oksidiga nisbatan bir oz yuqoriligi vodorodga boy sintez gaz (908,2 miq/sm³) sifatiga ta'sir qilmadi.

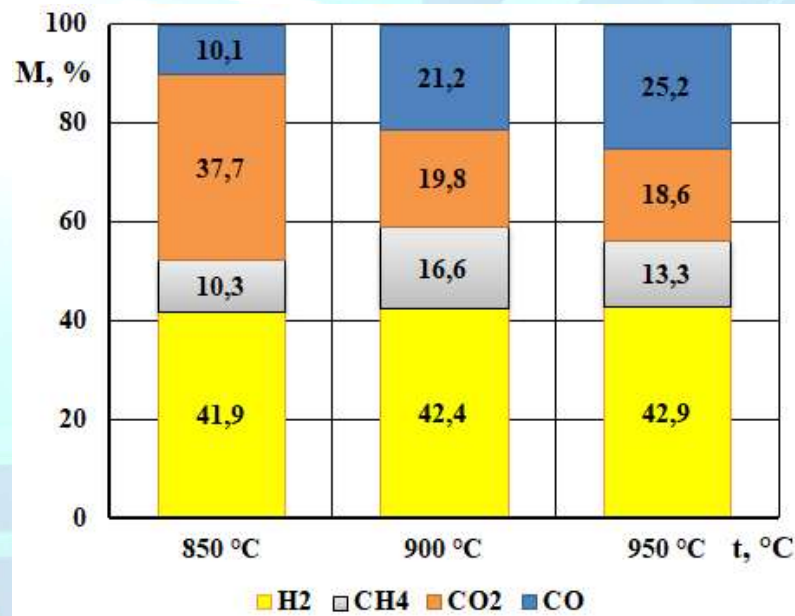


a) maishiy chiqindi; b) yog'och

4-rasm. O'rganilayotgan chiqindilarni 850, 900 va 950 °C da gazlashtirish natijasida H₂, CO, CH₄ va CO₂ larning chiqish miqdorlarini taqqoslash[15]



a)



b)

a) maishiy chiqindi; b) yog'och

5-rasm. O'rganilayotgan chiqindilarni 850, 900 va 950 °C da gazlashtirish natijasida olingan gaz komponentlarining ulushi[15]

Boshqa tadqiqotlar [16, 17] da ham gazlashtirish jarayonida harorat qanchalik yuqori bo'lsa, chiqayotgan gaz tarkibida vodorod miqdori ham shunchalik yuqori bo'lishini ta'kidlaydi. Ya'ni haroratning oshishi endotermik vodorod ishlab chiqarish reaksiyalari uchun etarli energiyani ta'minlaydi va shu sababli chiqayotgan gaz tarkibidagi vodorod miqdori oshadi. Bug' gaz reaksiyasi yuqori haroratlarda Buduar reaksiyasiga qaraganda ko'proq foyda keltiradi. Bug' gaz reaksiyasining yuqori haroratiga qo'shimcha ravishda ishlab chiqarilgan gaz

tarkibidagi vodorod miqdorining oshishiga olib keladi. Shuningdek, yuqori harorat metanning CO va H₂ ga bug‘li konversiyasiga yordam beradi [18].

Gazlashtirish haroratining oshishi bilan gaz hosil bo‘lishining ko‘payishi hisobiga smola va polukoksning chiqish miqdorlari kamayadi. Yuqori haroratlarda gaz miqdorining oshishini degassatsiyaning dastlabki bosqichida gazlarning ko‘p chiqishi, shuningdek, ko‘mir va smolalar uchraydigan ikkilamchi reaksiyalar (ko‘mirni gazlashtirish va smolani kreking/reforminglash) bilan izohlash mumkin [19]. Olinadigan gazning tarkibiga harorat ham ta‘sir qiladi. Shunga ko‘ra, harorat oshishi bilan H₂ konsentratsiyasi ortadi, CO va engil uglevodorodlar konsentratsiyasi esa kamayadi. Shunga qaramay, termodinamik modellar H₂ chiqish miqdorining asta-sekin kamayishi juda yuqori reaksiya haroratida sodir bo‘lishini ko‘rsatdi [20, 21].

XULOSA

Toshkent viloyati hududidan olingan qattiq maishiy chiqindilardan vodorodga boyitilgan sintez gaz olish potensialini aniqlash bo‘yicha 850, 900 va 950 °C haroratlarda o‘tkazilgan tajriba natijalariga ko‘ra, asosiy H₂, CO, CH₄, CO₂ kabi gazlar ajralib chiqdi va bunda eng ko‘p miqdordagi (44,2 % (maishiy chiqindi) va 42,9 % (yog‘och)) H₂ gazi 950 °C da hosil bo‘ldi. Binobarin gazlashtirish haroratini ma‘lum darajada nazorat qilish juda muhimdir. Shunday qilib, umumiy tahlilga muvofiq harorat sintez gaz (H₂ + CO) nisbatining va konsentratsiyasining oshishiga sezilarli ta‘sir ko‘rsatadi degan xulosaga kelish mumkin.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Stancin H., Mikulci H., Wang X., Duic N. A Review on Alternative Fuels in Future Energy System // *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 128 (2020), 109927.
2. Stolarski M.J., Warminski K., Krzyzaniak M., Olba-Ziety E., Akincza M. Bioenergy Technologies and Biomass Potential Vary in Northern European Countries // *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 133 (2020), 110238.
3. Kaloudas D., Pavlova N., Penchovsky R. Lignocellulose, Algal Biomass, Biofuels and Biohydrogen: A Review // *Environ. Chem. Lett.* 19 (2021), pp 2809–2824.
4. Igwebuike C.M., Awad S., Andrès Y. Renewable Energy Potential: Second-Generation Biomass as Feedstock for Bioethanol Production // *Molecules* 29 (2024), 1619.
5. Siwal S.S., Zhang Q., Devi N., Saini A.K., Saini V., Pareek B., Gaidukovs S., Thakur V.K. Recovery Processes of Sustainable Energy Using Different Biomass and Wastes // *TIDEE TERI Inf. Dig. Energy Environ.* 21 (2022), pp 162–163.

6. Matsakas L., Gao Q., Rova U., Jansson S., Christakopoulos P. Green conversion of municipal solid wastes into fuels and chemicals // *Electronic Journal of Biotechnology*, 26 (2017), pp 69-83.
7. Tursunov O., Dobrowolski J., Klima K., Tylko G., Kordon B., Ryczkowski J., Czerski G. The Influence of Laser Biotechnology on Energetic Value and Chemical Parameters of *Rose Multiflora* Biomass and Role of Catalysts for bio-energy production from Biomass: Case Study in Krakow-Poland// *World Journal of Environmental Engineering*, 3 (2015), pp. 58-66.
8. Budhathoki R. Three zone modeling of Downdraft biomass Gasification: Equilibrium and finite Kinetic Approach, Master's Thesis (2013), pp: 1-96.
9. Basu P. Biomass Gasification: Pyrolysis and Torrefaction Practical Design and Theory, 2nd Edition, Elsevier, Chapter 7 (2013), pp. 199-313.
10. Vivanpatarakij S., Assabumrungrat S. Thermodynamic analysis of combined unit of biomass gasifier and tar steam reformer for hydrogen production and tar removal // *Int. J. Hydrogen Energy* 38(2013), pp. 3930–3936.
11. Campoy M., Gomez-Barea A., Ollero P., Nilsson S. Gasification of wastes in a pilot fluidized bed gasifier // *Fuel Process Technol* 121(2014), pp.63–69.
12. Li J., Liao S., Dan W., Jia K., Zhou X. Experimental study on catalytic steam gasification of municipal solid waste for bioenergy production in a combined fixed bed reactor // *Biomass Bioenergy* 46(2012), pp. 174–180.
13. He M., Hu Z., Li J., Xiao B., Guo X., Luo S. et al. Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of municipal solid waste (MSW): Influence of catalyst and temperature on yield and product composition // *Int J Hydrogen Energy* 34(2009), pp. 195–203.
14. Porada S., Czerski G., Dziok T., Grzywacz P. and Makowska D., Thermovolumetric investigations of steam gasification of coals and their chars// *E3S Web of Conferences*, 14 (2017), pp. 1–9.
15. Tursunov O., Śpiewak K., Abduganiev N., Yang Y., Kustov A., Karimov I., Thermogravimetric and thermovolumetric study of municipal solid waste (MSW) and wood biomass for hydrogen-rich gas production: a case study of Tashkent region// *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 1-13.
16. Parthasarathy P., Narayanan K., Hydrogen production from steam gasification of biomass: Influence of process parameters on hydrogen yield – A review, *Renewable Energy* 66 (2014) 570-579.
17. Liu Zh., Jun K., Roh H., Park S., Hydrogen production for fuel cells through methane reforming at low temperatures, *J. Power Sources* 111 (2002) 283-287.

18. LeValley T., Richard A., Fan M., The progress in water gas shift and steam reforming hydrogen production technologies – A review, *Int. J. Hydrogen Energy* 39(30) (2014) 16983-17000.
19. Bates R., Ghoniem A., Jablonski W., Carpenter D., Altantzis Ch., Garg A., Barton J., Chen R., Field R., Steam-air blown bubbling fluidized bed biomass gasification (BFBBG): Multi-scale models and experimental validation, *Particle Technology and Fluidization* 63(5) (2017) 1543-1565.
20. Bach Q., Gye H., Song D., Lee C., High quality product gas from biomass steam gasification combined with torrefaction and carbon dioxide capture processes, *Int. J. Hydrogen Energy* 44 (2019) 14387-14394.
21. Tursunov O., Integrated application of laser biotechnology for extensive production of biomass and application of thermal technologies for production bioenergy, Doktorlik dissertatsiyasi, AGH University of Science and Technology, Krakow, Poland, 2016, pp 228.