KO`P KOMPONENTLI YOQILG`I ARALASHMALARI BILAN ISHLAYDIGAN YUQORI BOSIMLI PURKASH TIZIMLI DVIGATELNI MODELLASHTIRISH VA UNING ISH SAMARADORLIGINI HAMDA EKOLOGIYAGA TA'SIRINI BAHOLASH

Musabekov Zakirjon Ergashevich,
Toshkent davlat texnika universiteti, professor, t.f.n.,
Turg‘unaliyev Shohrux Umidjon o‘g‘li

Annotatsiya. Ushbu tezisda metanol, gidroksid gazi (HHO) va tabiiy gaz aralashmasida ishlaydigan, yuqori bosimli bevosita purkash tizimiga ega ichki yonuv dvigatelining ish jarayonlarini matematik va sonli modellashtirish masalalari ko‘rib chiqiladi. Tadqiqotning asosiy maqsadi yonilg‘i tarkibi, purkash bosimi, purkash vaqti, havo-yonilg‘i nisbati hamda yonish jarayoni parametrlarining dvigatelning quvvati, burovchi momenti, issiqlik samaradorligi va chiqindi gazlar ko‘rsatkichlariga ta’sirini aniqlashdan iborat. Modelda metanol va tabiiy gazning energiya tashuvchi komponent sifatidagi xususiyatlari hamda HHO ning yonish jarayonini jadallashtiruvchi qo‘shimcha sifatidagi ta’siri hisobga olinadi. Taklif etilayotgan yondashuv turli yonilg‘i tarkiblarini yagona hisoblash tizimida taqqoslash va optimal ish rejimlarini aniqlash imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: metanol, gidroksid gazi, HHO, tabiiy gaz, yuqori bosimli purkash, bevosita purkash, ichki yonuv dvigateli, matematik modellashtirish, yonish jarayoni, issiqlik samaradorligi, chiqindi gazlar.

KIRISH

Transport vositalarida uglevodorodli yonilg‘ilardan foydalanish natijasida hosil bo‘ladigan CO_2, CO, CH va NOx kabi chiqindi komponentlarini kamaytirish hamda dvigatelning energiya samaradorligini oshirish zamonaviy dvigatelsozlikning muhim vazifalaridan biridir. Shu sababli qayta tiklanuvchi manbalardan olinishi mumkin

bo‘lgan metanol, tabiiy gaz va vodorod asosidagi yonilg‘i tizimlariga qiziqish ortib bormoqda. Metanolning kimyoviy xossalari va turli xomashyolardan olinishi uni muqobil yonilg‘i sifatida ko‘rib chiqish imkonini beradi. Vodorod qo‘shilishi esa yonish jarayonining rivojlanishiga va aralashmaning yonuvchanlik chegaralarini kengaytirishga ta’sir qilishi mumkin [1, 2].

Oldingi tadqiqotlarda bevosita purkashli metanol dvigatellarida vodorod qo‘shilishining yonish va chiqindi gazlarga ta’siri sonli usullar yordamida o‘rganilgan. Vodorod miqdorining ortishi bilan yonish tezligi va silindrdagi maksimal bosimning o‘zgarishi, CO va ayrim yonmagan komponentlarning kamayishi mumkinligi ko‘rsatilgan [1]. Shuningdek, yuqori bosimli gazsimon yonilg‘ini bevosita purkash jarayonlarini modellashtirish uchun maxsus purkash va aralashma hosil bo‘lish modellaridan foydalanish mumkin [2]. Tabiiy gaz va vodorodning yuqori bosimli purkashli dvigatellarda qo‘llanilishi bo‘yicha zamonaviy hisoblash tadqiqotlarida esa yonish tezligi, issiqlik samaradorligi va chiqindi gazlar o‘rtasidagi o‘zaro bog‘liqlik alohida qayd etilgan [3].

Shu nuqtayi nazardan, metanol–HHO–tabiiy gazdan tashkil topgan ko‘p komponentli yonilg‘i tizimini yuqori bosimli bevosita purkash texnologiyasi bilan birgalikda tadqiq etish ilmiy va amaliy jihatdan dolzarb hisoblanadi.

TADQIQOTNING MAQSADI VA VAZIFALARI

Tadqiqotning asosiy maqsadi metanol, gidroksid gazi va tabiiy gaz aralashmasida ishlaydigan yuqori bosimli bevosita purkash tizimli ichki yonuv dvigatelining matematik modelini ishlab chiqish va yonilg‘i tarkibining dvigatelning energetik hamda ekologik ko‘rsatkichlariga ta’sirini baholashdan iborat.

Belgilangan maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

– metanol, HHO va tabiiy gazning asosiy fizik-kimyoviy va energetik xususiyatlarini tahlil qilish;

– yuqori bosimli bevosita purkash tizimining matematik modelini ishlab chiqish;

– purkash bosimi va purkash davomiyligining yonilg‘ining silindr ichida taqsimlanishiga ta’sirini aniqlash;

– metanol–HHO–tabiiy gaz aralashmasining yonish jarayonini modellashtirish;

– silindrdagi bosim, harorat va issiqlik ajralish tezligining tirsakli val burchagiga bog‘liqligini aniqlash;

– dvigatel quvvati, burovchi momenti, solishtirma yonilg‘i sarfi va issiqlik samaradorligini hisoblash;

– CO, CO_2, CH va NOx kabi chiqindi gazlar komponentlarining shakllanishini baholash;

– yonilg‘i tarkibi va purkash parametrlarining optimal kombinatsiyasini aniqlash.

TADQIQOT USULI VA MATEMATIK MODEL

Taklif qilinayotgan model dvigatelning ishchi siklini ketma-ket bosqichlarda hisoblashga asoslanadi. Bunda kirish jarayoni, siqish, yonilg‘ining yuqori bosimli purkalishi, aralashma hosil bo‘lishi, alangalanish va yonish, kengayish hamda chiqarish jarayonlari hisobga olinadi.

Yonilg‘i aralashmasining umumiy massasi quyidagicha ifodalanadi:

$m_f = m_{MeOH} + m_{NG} + m_{HHO}$,

bu yerda m_{MeOH} – metanol massasi; m_{NG} – tabiiy gaz massasi; m_{HHO} – gidroksid gazi massasi.

Aralashmaning energiya miqdorini baholashda komponentlarning pastki yonish issiqligidan foydalaniladi:

$$Qf = m_{MeOH} \cdot Hu,MeOH + mNG \cdot Hu,NG + mH_2 \cdot Hu,H_2.$$

Bu tenglama orqali aralashmaning umumiy energetik potensiali aniqlanadi. HHO tarkibidagi vodorodning yonish jarayonidagi roli alohida hisobga olinadi. Bunda HHO ni oddiy “asosiy yonilg‘i” sifatida emas, balki yonish jarayonining kinetik xususiyatlarini o‘zgartiruvchi qo‘shimcha komponent sifatida qarash maqsadga muvofiq.

Havo-yonilg‘i aralashmasining ortiqcha havo koeffitsiyenti quyidagicha aniqlanadi:

bu yerda m_{air} – amaldagi havo massasi; $m_{air,st}$ – stexiometrik yonish uchun zarur havo massasi.

Yuqori bosimli bevosita purkash jarayonida asosiy boshqariladigan parametrlar sifatida purkash bosimi P_inj, purkash boshlanish burchagi SOI, purkash davomiyligi Δt_inj, purkagich soplosining samarali kesimi va yonilg‘i massaviy sarfi qabul qilinadi.

Silindrdagi ishchi gazlarning termodinamik holati birinchi termodinamika qonuni asosida aniqlanadi:

$$dQ - dW = dU.$$

Bu yerda dQ – yonish natijasida ajralgan issiqlik miqdori, dW – gazlarning porshenga bajargan ishi, dU – ishchi jism ichki energiyasining o‘zgarishi.

Yonish jarayonini tavsiflash uchun issiqlik ajralishining tirsakli val burilish burchagiga bog‘liqligini ifodalovchi Wiebe funksiyasidan foydalanish mumkin:

bu yerda xb – yonib bo‘lgan yonilg‘i ulushi; φ0 – yonish boshlanish burchagi; Δφ – yonish davomiyligi; a va m – yonish jarayonini tavsiflovchi parametrlar.

Ushbu model yordamida silindrdagi bosim va haroratning o‘zgarishi, issiqlik ajralish tezligi hamda indikator ishini aniqlash mumkin. Keyingi bosqichda mexanik yo‘qotishlar hisobga olinib, samarali quvvat va burovchi moment aniqlanadi.

TAJRIBA VA HISOBLASH REJIMLARI

Modelni tekshirish va yonilg‘i tarkibining ta’sirini aniqlash uchun bir nechta hisoblash rejimlarini shakllantirish taklif etiladi. Birinchi rejimda dvigatel faqat metanolda, ikkinchi rejimda metanol–tabiiy gaz aralashmasida, uchinchi rejimda metanol–HHO aralashmasida, to‘rtinchi rejimda esa metanol–tabiiy gaz–HHO uch komponentli yonilg‘i tizimida ishlashi modellashtiriladi.

Bunday taqqoslash yonilg‘i tarkibidagi har bir komponentning umumiy natijaga qo‘shadigan hissasini ajratib ko‘rsatish imkonini beradi. Ayniqsa, HHO ulushi

oshirilganda yonishning tezlashishi, issiqlik ajralishining fazaviy o‘zgarishi va silindr ichidagi maksimal haroratning o‘zgarishi nazorat qilinishi lozim. Chunki vodorodning yuqori reaktivligi yonish jarayonini jadallashtirishi mumkin, biroq yuqori harorat sharoitida NOx hosil bo‘lishi ham kuchayishi ehtimoli mavjud [1, 3].

Hisoblashlarda dvigatelning past, o‘rta va yuqori aylanish chastotalari, shuningdek, turli yuklanish rejimlari qabul qilinadi. Har bir rejim uchun quyidagi ko‘rsatkichlar aniqlanadi: maksimal silindr bosimi, maksimal yonish harorati, issiqlik ajralish tezligi, indikator ish, samarali quvvat, burovchi moment, solishtirma yonilg‘i sarfi, indikator va samarali FIK hamda chiqindi gazlar tarkibi.

NATIJALAR VA ULARNING ILMIY AHAMIYATI

Taklif etilayotgan modellashtirish yondashuvi metanol, tabiiy gaz va HHO ning o‘zaro ta’sirini yagona hisoblash tizimida baholash imkonini beradi. Ayniqsa, yuqori bosimli bevosita purkash tizimida gazsimon komponentlarning purkash va aralashish jarayonlari oddiy kirish kollektoriga beriladigan gaz tizimidan farq qiladi. Shu sababli purkash bosimi, purkash vaqti va yonilg‘i tarkibini birgalikda optimallashtirish muhim hisoblanadi.

Ilmiy adabiyotlarda metanolga vodorod qo‘shilishi yonish jarayonini tezlashtirishi, CO va yonmagan metanol kabi ayrim komponentlarning kamayishiga olib kelishi mumkinligi ko‘rsatilgan. Shu bilan birga, yonish haroratining ortishi NOx hosil bo‘lish sharoitlariga ta’sir qilishi mumkinligi qayd etilgan [1]. Tabiiy gaz–vodorod tizimlarida ham yuqori bosimli bevosita purkash sharoitida aralashma hosil bo‘lishi va yonish kinetikasi dvigatel samaradorligiga sezilarli ta’sir ko‘rsatadi [3].

Shuning uchun ushbu tadqiqotda “yonilg‘i tarkibini oshirish = doimo samaradorlikni oshirish” degan soddalashtirilgan yondashuvdan voz kechilib, energetik va ekologik ko‘rsatkichlarning birgalikdagi o‘zgarishi baholanadi. Optimal tarkib FIKning yuqoriligi, solishtirma yonilg‘i sarfining kamayishi va chiqindi gazlarning maqbul darajasi asosida aniqlanadi.

Modelning muhim natijalaridan biri metanol–HHO–tabiiy gaz aralashmasining optimal tarkibi hamda yuqori bosimli purkash parametrlarini aniqlashdan iborat bo‘ladi. Bunda optimallashtirish mezoni sifatida quyidagi umumlashtirilgan funksiyadan foydalanish mumkin:

$$F = w_1\eta e - w_2 ge - w_3 CO - w_4 CH - w_5 NOx - w_6 CO_2,$$

bu yerda ηe – samarali FIK; ge – solishtirma yonilg‘i sarfi; CO, CH, NOx va CO_2 – tegishli chiqindi gazlar miqdori; wi – mezonlarning vazn koeffitsiyentlari.

Ushbu yondashuv natijasida faqat dvigatel quvvatini oshirish emas, balki energiya samaradorligi va ekologik ko‘rsatkichlarni kompleks optimallashtirishga erishish ko‘zda tutiladi.

XULOSA

Metanol, gidroksid gazi va tabiiy gaz aralashmasida ishlaydigan yuqori bosimli bevosita purkash tizimli dvigatel uchun matematik modelning konseptual tuzilmasi ishlab chiqildi. Modelda yonilg‘i tarkibi, purkash bosimi, purkash vaqti, havo-yonilg‘i nisbati, yonish jarayoni, silindr bosimi va harorati o‘zaro bog‘langan parametrlar sifatida qaraladi.

Taklif etilayotgan model orqali turli yonilg‘i tarkiblarining dvigatelning energetik ko‘rsatkichlariga hamda chiqindi gazlar monitoringiga ta’sirini kompleks baholash mumkin. Tadqiqotning keyingi bosqichida hisoblash natijalarini tajriba ma’lumotlari bilan taqqoslash, modelni validatsiya qilish va metanol–HHO–tabiiy gaz aralashmasi uchun optimal purkash parametrlarini aniqlash rejalashtiriladi.

Mazkur tadqiqotning amaliy ahamiyati yuqori bosimli bevosita purkash texnologiyasida muqobil va ko‘p komponentli yonilg‘ilardan foydalanish bo‘yicha ilmiy asoslangan tavsiyalar ishlab chiqish, dvigatelning energiya samaradorligini oshirish va chiqindi gazlar miqdorini kamaytirishga yo‘naltirilgan texnologik yechimlarni shakllantirishdan iborat.

ADABIYOTLAR

1. Numerical study on combustion and emission in a DISI methanol engine with hydrogen addition // International Journal of Hydrogen Energy. – 2016. – Vol. 41. – P. 647–655. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.11.062.
2. High pressure direct injection of gaseous fuels using a discrete phase methodology for engine simulations // International Journal of Hydrogen Energy. – 2022. – Vol. 47. – P. 2017–2039. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2021.10.235.
3. He, Longguo; Grekhov, L; Musabekov Z.; Mirzaabdullaev, J; Zhao, Jianhui. Research on the fluctuation mechanism and consistency optimization of injection quantity in methanol-diesel dual-fuel engines. International Journal of Engine ResearchArticle, College of Power and Energy Engineering, Harbin Engineering University, China, 2026, https://doi.org/10.1177/14680874261421539
4. International Renewable Energy Agency. *Innovation Outlook: Renewable Methanol*. Abu Dhabi: IRENA.
5. Zokirjon Musabekov, Jamshid Hakimov, Ergashev Botir. Ichki yonuv dvigatelida gaz almashinuvini hisoblash uchun differentsial tenglamalar. E3S Web Conf. (CONMECHYDRO - 2021). 264-jild, 2021 yil. 1-7- betlar. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126401003 [2]
6. Ergashev B. Shodimetov Y., Musabekov Z., Uralova X. “Toshkent shahrining atmosfera havosi va boshqa ekotizim elementlarida kadmiy mavjudligini eksperimental tekshirish”.
7. Ergashev B. Shadimetov Y., Musabekov Z., Uralova H. “Experimental study on the presence of cadmium in the atmospheric air and other elements of the ecosystem of Tashkent”
8. Babayev R., Morén M., Johansson B. Comparative computational study of hydrogen and natural gas in high-pressure direct-injection (HPDI) compression-

ignition engines: Combustion characteristics, thermal efficiency, and local pollutant and greenhouse gas emissions // Fuel. – 2025. – Vol. 395. – Article 135126. DOI: 10.1016/j.fuel.2025.135126.

9. Comparative study on combustion and emissions between methanol port-injection engine and methanol direct-injection engine with H_2-enriched port-injection under lean-burn conditions // Energy Conversion and Management. – 2019. – Vol. 200. – Article 112096.
10. Influence of methanol reformate injection strategy on performance, available exhaust gas enthalpy and emissions of a direct-injection spark ignition engine // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Vol. 42. – P. 15652–15668.