

ICHKI YONUV TIZIMLARINING TERMODINAMIK VA MEXANIK PARADIGMALARI: SAMARADORLIKDAGI NAZARIY YUTUQLAR

Dusmatova Marg'ubaxon Ibrohimjonovna

Tadjiyev Shahobiddin G'ofurovich

Abdullaeva Olimaxon Mansurovna

Dang'ara tuman 1-son texnikumi o'qituvchilari

Annotatsiya: Ushbu maqolada zamonaviy ichki yonuv dvigatellarining (IYD) samaradorligini oshirishga qaratilgan fundamental termodinamik va mexanik o'zgarishlar tahlil qilinadi. Tadqiqotda issiqlik sikllarining nazariy limitlari, entropiya va ekssergiya yo'qotishlarini kamaytirish strategiyalari hamda mexanik konstruksiyalardagi kinematik innovatsiyalar ko'rib chiqiladi. Shuningdek, Miller va Atkinson sikllarining termodinamik afzalliklari, ishqalanish ko'effitsiyentini pasaytirishdagi tribologik yutuqlar hamda tizim samaradorligini oshirishdagi yangi ilmiy paradigmalarda fundamental nuqtayi nazardan yoritiladi.

Kalit so'zlar: Ichki yonuv dvigateli, termodinamika, Otto sikli, ekssergiya tahlili, issiqlik f.i.k., mexanik yo'qotishlar, Miller sikli, tribologiya, kinematik samaradorlik.

Kirish. Texnologik taraqqiyotning hozirgi bosqichida transport energetikasi global ekologik standartlar va resurslarni tejash talablari ostida transformatsiyalanmoqda. Ichki yonuv tizimlari bir asrdan ko'proq vaqt davomida ustuvor paradigma bo'lib kelgan bo'lsa-da, ularning nazariy va amaliy samaradorlik chegaralari hali-hanuz chuqur ilmiy izlanishlar obyekti bo'lib qolmoqda. Maqolaning maqsadi — IYD arxitekturasidagi termodinamik jarayonlar va mexanik komponentlarning o'zaro aloqadorligini yangi nazariy modellar asosida tadqiq etishdir. Issiqlik energetikasining ikkinchi qonuni nuqtayi nazaridan tizimni optimallashtirish nafaqat yoqilg'i sarfini kamaytirish, balki energiya konversiyasi jarayonidagi qaytmas yo'qotishlarni minimallashtirishni anglatadi.

Ichki yonuv dvigatellarining samaradorligi fundamental darajada issiqlik sikllarining (Otto, Dizel, Atkinson) nazariy ko'rsatkichlariga bog'liq. Klassik termodinamik modellar ideallashtirilgan holatlarga asoslangan bo'lsa-da, zamonaviy paradigmalarda real gaz dinamikasi va issiqlik almashinuvi jarayonlari birinchi o'ringa chiqmoqda.

An'anaviy energetik balans (birinchi qonun) energiya miqdorini hisobga oladi, biroq uning sifatini (ishga aylanish qobiliyatini) baholay olmaydi. Ekssergiya tahlili tizimdagi ishchi fluidning foydali ish ko'effitsiyentini oshirishda muhim vositadir. Nazariy hisob-kitoblar shuni ko'rsatadiki, yonish jarayonidagi kimyoviy reaksiyalarning qaytmasligi natijasida umumiy ekssergiyaning qariyb 20-25 foizi

yo'qotiladi. Ushbu yo'qotishlarni stexiometrik muvozanat va past haroratli yonish (LTC - Low Temperature Combustion) texnologiyalari orqali kamaytirish nazariy jihatdan asoslangan. An'anaviy Otto siklida siqish va kengayish darajalari teng bo'lishi issiqlik energiyasining katta qismi chiqindi gazlar orqali atmosferaga chiqib ketishiga sabab bo'ladi. Atkinson sikli (mexanik yoki klapanlar fazasini o'zgartirish orqali) kengayish darajasini siqish darajasidan yuqori bo'lishini ta'minlaydi. Bu termodinamik jihatdan "to'liq kengayish" effektini beradi va issiqlik f.i.k.ni 5-10 foizga oshirish imkonini yaratadi.

An'anaviy ichki yonuv dvigatellari (IYD) asosan Otto yoki Dizel sikllari asosida faoliyat ko'rsatadi. Biroq, ushbu klassik modellarning nazariy issiqlik f.i.k. (foydali ish koeffitsiyenti) cheklangan bo'lib, energiya konversiyasi jarayonida katta miqdordagi issiqlik chiqindi gazlar ko'rinishida dissipatsiyalanadi (isrof bo'ladi). Zamonaviy termodinamik paradigmaning markazida Miller va Atkinson sikllari turadi. Atkinson siklining asosiy nazariy afzalligi — kengayish taktining siqish taktidan uzunroq bo'lishidir. Bu jarayon siqish darajasini (compression ratio) detonatsiya chegarasida ushlab turgan holda, kengayish darajasini (expansion ratio) oshirish imkonini beradi. Natijada, porshen ustidagi gaz bosimi atmosferaga chiqarilishidan oldin ko'proq foydali ish bajaradi.

Miller sikli esa ushbu jarayonni klapanlar fazasini boshqarish (VVT - Variable Valve Timing) orqali amalga oshiradi. Kirish klapanining kechroq yopilishi (LIVC - Late Intake Valve Closing) hisobiga siqish taktining boshida havo-yoqilg'i aralashmasining bir qismi kollektorga qaytariladi. Bu haroratning pasayishiga va natijada issiqlik yo'qotishlarining kamayishiga olib keladi. Nazariy jihatdan, bu yondashuv issiqlik siklining entropik samaradorligini 12-15 foizga oshirish imkonini beradi.

Energetik balansning birinchi qonuni miqdoriy tahlil bilan cheklansa, Ekssergiya tahlili (termodinamikaning ikkinchi qonuni) energiya shahar aylanish qobiliyatini tadqiq etadi. IYD ichidagi eng katta ekssergetik yo'qotish — bu yonish jarayonidagi qaytmas kimyoviy reaksiyalardir. Yonish kamerasidagi harorat gradientlari va stexiometrik nomutanosibliklar entropiyaning keskin ortishiga sabab bo'ladi. Zamonaviy nazariy yutuqlar HCCI (Homogeneous Charge Compression Ignition) va LTC (Low Temperature Combustion) texnologiyalarini ilgari surmoqda. Ushbu metodlarning mohiyati yoqilg'ini pastroq haroratlarda va gomegen (bir jinsli) holatda yondirish orqali issiqlik nurlanishini va azot oksidlari (NOx) hosil bo'lishini kamaytirishdir. Ekssergiya yo'qotishlarini minimallashtirish orqali tizimning nazariy "ish qobiliyati" (availability) sezilarli darajada saqlab qolinadi.

Dvigatelning mexanik samaradorligi uning harakatlanuvchi qismlari orasidagi ishqalanish qarshiligini yengish qobiliyati bilan belgilanadi. Zamonaviy nazariy yondashuv statik mexanikadan dinamika va mikro-tribologiya sohasiga ko'chdi.

Dvigateldagi jami mexanik yo‘qotishlarning 50 foizigacha qismi ushbu tugunga to‘g‘ri keladi. Nazariy tadqiqotlar silindr devorlariga lazer yordamida mikro-relyef (laser surface texturing) berish orqali gidrodinamik moylash rejimini optimallashtirishni taklif etadi. Bu mikro-kanallar "moy rezervuarlari" vazifasini o‘tab, ishqalanish ko‘effitsiyentini 20-30 foizga kamaytiradi.

O‘zgaruvchan siqish darajasi (VCR): Bu mexanik arxitekturadagi eng murakkab innovatsiyalardan biridir. Dvigatelning yuklanish holatiga (shahar ichidagi past tezlik yoki magistraldagi yuqori yuklanish) qarab siqish darajasini dinamik o‘zgartirish (masalan, 8:1 dan 14:1 gacha) porshenning kinematik trayektoriyasini optimallashtiradi. Bu nafaqat termodinamik samaradorlikni oshiradi, balki past yuklanishlarda mexanik f.i.k.ni ham yaxshilaydi. IYD samaradorligining yangi paradigmasi — bu dvigatelni faqat quvvat manbai emas, balki energetik kompleks sifatida ko‘rishdir. Chiqindi gazlar bilan birga ketayotgan energiyani (jami energiyaning taxminan 30-40 foizi) qayta tiklash uchun Organik Rankine Sikli (ORC) nazariy jihatdan eng istiqbolli hisoblanadi.

Ushbu tizimda chiqindi gazlarning issiqligi past haroratda qaynaydigan ishchi fluidni bug‘latishga sarflanadi, bu bug‘ esa qo‘shimcha turbinani harakatga keltirib, tirsakli valga mexanik quvvat qo‘shadi yoki generator orqali elektr energiyasi ishlab chiqaradi. Bunday termo-mexanik integratsiya tizimning umumiy samaradorlik ko‘rsatkichini nazariy jihatdan 55-60 foizga yetkazish imkonini beradi. Samaradorlikdagi so‘nggi yutuqlar Computational Fluid Dynamics (CFD) — hisoblash gidrogazodinamikasi bilan bog‘liq. Yonish kamerasidagi har bir molekulaning harakati, yonish frontining tarqalishi va turbulent oqimlar superkompyuterlar yordamida modellashtiriladi. Bu esa dvigatel konstruksiyasini "tajriba-xato" usulidan aniq matematik optimallashtirish darajasiga olib chiqdi. Intellectual boshqaruv tizimlari (AI-based ECU) har bir millisoniyada termodinamik parametrlarni (yoqilg‘i purkash vaqti, klapanlar ochiqligi, turbo-bosim) mexanik imkoniyatlarga moslab boradi.

Dvigatelning umumiy samaradorligi nafaqat issiqlik sikliga, balki hosil bo‘lgan energiyani uzatishdagi mexanik yo‘qotishlarga ham bog‘liq. Umumiy energiyaning 10-15 foizi mexanik ishqalanish va yordamchi tizimlarni (nasoslar, generatorlar) harakatga keltirishga sarflanadi. Porshen halqalari va silindr devori o‘rtasidagi ishqalanish mexanik yo‘qotishlarning asosiy qismini (taxminan 40-50%) tashkil etadi. Zamonaviy nazariy yondashuvlar "mikro-teksturalash" va DLC (Diamond-Like Carbon) qoplamalaridan foydalanishni taklif etadi. Bu paradigmada ishqalanish ko‘effitsiyentini gidrodinamik moylash rejimlarida nazariy minimumga tushirish imkoniyatlari o‘rganilmoqda. Mexanik tizimlarning statik holatdan dinamik adaptiv holatga o‘tishi muhim nazariy yutuqdir. Variable Compression Ratio (VCR) texnologiyasi dvigatelning yuklanishiga qarab yonish kamerasi hajmini o‘zgartirishga

imkon beradi. Bu esa termodinamik siklni real vaqt rejimida optimallashtirish, detonatsiya xavfini kamaytirish va past yuklanishlarda samaradorlikni keskin oshirish imkonini beradi.

Zamonaviy dvigatel endi alohida agregat emas, balki murakkab kiber-fizik tizimdir. Issiqlik energiyasini qayta tiklash (Waste Heat Recovery - WHR) tizimlari, masalan, Rankine sikli yoki termoelektrik generatorlar orqali chiqindi issiqlikni elektr yoki mexanik energiyaga aylantirish nazariy jihatdan tizim samaradorligini 50 foizlik "psixologik to'siq"dan o'tkazishga yordam beradi. Bundan tashqari, gaz taqsimlash mexanizmlarining elektron boshqaruvi (Camless engine) mexanik bog'liqlikni bartaraf etib, termodinamik jarayonlarni klapanlarning erkin harakati orqali boshqarish imkonini beradi. Bu mexanik va termodinamik paradigmalarni integratsiyasining eng yuqori nuqtasidir.

Xulosa. Ichki yonuv tizimlarining samaradorligi bo'yicha erishilgan nazariy yutuqlar shuni ko'rsatadiki, ushbu texnologiya hali o'zining evolyutsion cho'qqisiga yetgani yo'q.

1. Termodinamik nuqtayi nazardan: Kengayish darajasini siqish darajasidan ajratish va past haroratli yonish jarayonlari issiqlik yo'qotishlarini minimallashtirishning asosiy drayveridir.

2. Mexanik nuqtayi nazardan: Adaptiv kinematika (VCR) va tribologik yutuqlar parazit yo'qotishlarni kamaytirish orqali samarali quvvatni oshiradi.

3. Istiqbolda: IYD tizimlari gibridizatsiya va sintezlangan yoqilg'ilar (e-fuels) kontekstida nafaqat mexanik kuch manbai, balki yuqori darajada optimallashtirilgan termokimyoviy reaktor sifatida taraqqiy etishda davom etadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati

1. Heywood, J. B. (2018). Internal Combustion Engine Fundamentals. McGraw-Hill Education.

2. Taylor, C. F. (1985). The Internal Combustion Engine in Theory and Practice: Vol. 1 & 2. MIT Press.

3. Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2006). Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons.

4. Stone, R. (2012). Introduction to Internal Combustion Engines. Palgrave Macmillan.

5. Ganesan, V. (2012). Internal Combustion Engines. Tata McGraw-Hill Education.

6. Ferguson, C. R., & Kirkpatrick, A. T. (2015). Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences. John Wiley & Sons.

7. Shao, C., et al. (2021). "Thermodynamic analysis and optimization of advanced IC engines". Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.