ICHKI YONUV DVIGATELLARI SIKLLARINING KO‘RSATKICHLARI: NAZARIYA VA AMALIY AHAMIYATI

Nurullayev Usmon Allaqulovich
Jizzax politexnika instituti, dotsent.
E-mail: usmon.nurullaev.1983@mail.ru
Tel: (90) 539-11-003

Annotatsiya: Mazkur maqolada ichki yonuv dvigatellari (IYoD) ish sikllari va ularning asosiy ko‘rsatkichlari tahlil qilinadi. Ish sikllarining turlari, termodinamik va texnik samaradorlik ko‘rsatkichlari, shuningdek, ularni aniqlash metodlari bayon etiladi. Shuningdek, zamonaviy IYoD samaradorligini oshirishga doir ilmiy-texnik yechimlar ham muhokama qilinadi.

Kalit so‘zlar: Ichki yonuv dvigateli (IYoD),ish sikli, otto sikli, diesel sikli,miller sikli, atkinson sikli, termodinamik ko‘rsatkichlar, texnik ko‘rsatkichlar,iqtisodiy ko‘rsatkichlar, foydali ish koeffitsienti (FIK), siqilish darajasi, indicator, diagrammasi, P–V diagramma (bosim-hajm), T–s diagramma (harorat-entropiya)

Annotation: this article analyzes the work cycles of internal combustion engines (IYoD) and their main indicators. Types of work cycles, indicators of thermodynamic and technical efficiency, as well as methods for their identification are described. Scientific and technical solutions to improve the efficiency of modern iodine are also discussed.

Keywords: internal combustion engine (IYoD), work cycle, otto cycle, diesel cycle, miller cycle, atkinson cycle, thermodynamic indicators, technical indicators, economic indicators, useful work factor (FIK), compression rate, indicator, diagram, P-V diagram(pressure-volume), T-s diagram (temperature-entropy)

Аннотация: В данной статье анализируются рабочие циклы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и их основные показатели. Описаны виды рабочих циклов, термодинамические и технические показатели эффективности, а также методы их определения. Также обсуждаются научно-технические решения по повышению эффективности современных иод.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания (IoD), рабочий цикл, цикл Отто, цикл дизеля, цикл Миллера,цикл Аткинсона, термодинамические характеристики, Технические характеристики, экономические показатели, коэффициент полезного действия (FIC), степень сжатия, индикатор, диаграмма, P–v диаграмма (давление-объем), t–диаграмма s (температура-энтропия)

Kirish

Bugungi kunda ichki yonuv dvigatellari (IYoD) zamonaviy transport vositalarining yurak urishiday xizmat qilmoqda. Ular faqat avtomobillar emas, balki yuk tashish, qishloq xo‘jaligi, qurilish, harbiy va dengiz texnikalarining asosiy harakatlantiruvchi kuchi hisoblanadi. Energiya manbasi sifatida benzin, dizel yoki gazli yonilg‘ilardan foydalanadigan ichki yonuv dvigatellarining ishlashi jarayonida

ISSN 3030-3907

yonilg‘i kimyoviy energiyasi mexanik ishga aylantiriladi. Bu jarayon ma’lum bir davriy ketma-ketlik — ish sikli orqali amalga oshadi.

Ichki yonuv dvigatelining samarali ishlashi, avvalo, uning termodinamik va texnik sikli ko‘rsatkichlariga bog‘liq. Bu ko‘rsatkichlar orqali dvigatelning issiqlik samaradorligi, mexanik isroflari, quvvati, yonilg‘i sarfi kabi muhim parametrlari aniqlanadi. Dvigatel ish siklini chuqur o‘rganish orqali uning ishlash sharoitlarini baholash, texnologik jihatdan takomillashtirish va ekologik me’yorlarga moslashtirish mumkin bo‘ladi.

Shuningdek, zamonaviy talablar dvigatellardan nafaqat yuqori quvvat va iqtisodiylikni, balki ekologik tozalik, ishonchlilik va chidamlilikni ham talab qilmoqda. Bu esa, o‘z navbatida, dvigatel ish sikli parametrlarini chuqur tahlil qilish, ularning hisob-kitob metodikalarini mukammallashtirish va yangi konstruktiv echimlarni joriy qilishni taqozo etadi.

Ushbu maqolada ichki yonuv dvigatellari ish siklining nazariy asoslari, ularning muhim termodinamik va texnik ko‘rsatkichlari, hisoblash usullari hamda ularni oshirishga qaratilgan texnologik yondashuvlar tahlil qilinadi. Mavzuning dolzarbligi, ayniqsa, energiya resurslarini tejash va ekologik barqarorlikni ta’minlash sharoitida yanada ortib bormoqda.

1. Ish sikllarining umumiy tavsifi

Ichki yonuv dvigatellari ish jarayoni maxsus davriy fizik-kimyoviy o‘zgarishlar ketma-ketligiga asoslangan bo‘lib, bu jarayon **ish sikli** deb nomlanadi. Ish sikli — bu pistonli dvigatellarda silindr ichida sodir bo‘ladigan gazlar holatining o‘zgarishlari majmuasidir. Ushbu sikl davomida yonilg‘i-havo aralashmasi siqiladi, yonadi, kengayadi va yonish mahsulotlari chiqarib yuboriladi. Barcha bosqichlar dvigatelning aylanishiga mos ravishda ma’lum ketma-ketlikda takrorlanadi.

Ish sikli asosan quyidagi **to‘rt asosiy bosqich**dan iborat:

So‘rish (admissiya)

Bu bosqichda piston pastga harakatlanadi va so‘rish klapanlari ochiladi. Natijada silindrga tashqi muhitdan havo (dizel dvigatellarida) yoki havo-yonilg‘i aralashmasi (benzinli dvigatellarda) kiradi. So‘rish jarayoni atmosferadagi bosim ta’sirida amalga oshadi va havo to‘liq silindrga to‘ldirilishi dvigatel samaradorligiga bevosita ta’sir qiladi.

Siqilish (kompressiya)

So‘rish bosqichidan so‘ng, piston yuqoriga harakatlanib aralashmani siqadi. Siqish jarayonida bosim va harorat keskin ortadi, bu esa yonish samaradorligini oshiradi. Dizel dvigatellarida aynan yuqori haroratda yonilg‘i purkaladi va o‘z-o‘zidan yonadi, benzinli dvigatellarda esa sham cho‘g‘i yordamida yonish boshlanadi.

ISSN 3030-3907

Yonish va kengayish (ekspansiya)

Siqilish oxirida aralashma yonadi va gazlarning harorati keskin ortib, bosim paydo bo‘ladi. Yuqori bosimli gazlar pistonni pastga itaradi — bu dvigatelning **foydali ish** bosqichi hisoblanadi. Kengayish davrida gazlar tomonidan bajarilgan ish orqali krank mili aylantiriladi.

Chiqarish (egzoz)

Piston yuqoriga qayta harakatlanar ekan, chiqarish klapanlari ochiladi va yonish mahsulotlari (egzoz gazlari) silindrdan chiqariladi. Bu bosqich dvigatel ichida ortiqcha gazlarni tozalashga xizmat qiladi.

Sikl turlari bo‘yicha farqlanish

Ichki yonuv dvigatellari ish sikllari quyidagi mezonlarga ko‘ra farqlanadi:

Yurishlar soniga ko‘ra:

To‘rt yurishli dvigatel — to‘liq ish sikli krank milining ikki aylanishi davomida amalga oshadi.

Ikki yurishli dvigatel — ish sikli faqat bir aylanishda sodir bo‘ladi, yuqori aylanish tezligi va soddaligi bilan ajralib turadi.

Yonish jarayonining xarakteriga ko‘ra:

Doimiy hajmda yonish (Otto sikli)

Doimiy bosimda yonish (Diesel sikli)

Aralash sikl (Sabate yoki trank sikli) – ikkala uslub uyg‘unlashgan.

Ishlab chiqarish konstruksiyasiga ko‘ra:

Porshenli dvigatellar

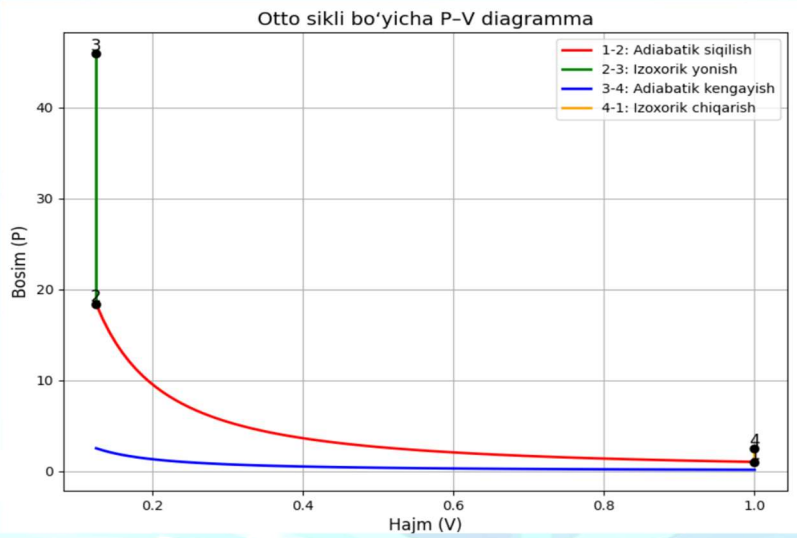
Rota-siklli (Vankel) dvigatellar

Gaz turbinali dvigatellar – doimiy aylanuvchi siklga ega.

Diagramma orqali tasvirlash

Ish siklining fizik mohiyatini **indikator diagrammasi** orqali ifodalash mumkin. Bu diagramma **bosim (P) – hajm (V)** koordinatalarida quriladi va dvigatel ichidagi gazlar harakati dinamikasini aks ettiradi. Unda siqilish, yonish, kengayish va chiqarish bosqichlarining barchasi alohida ko‘rinishda bo‘ladi.

ISSN 3030-3907



1-rasm.

Yuqoridagi grafikda **ichki yonuv dvigatelining Otto sikli** bo‘yicha **P–V (bosim–hajm)** diagrammasi tasvirlangan. Bu diagramma quyidagi bosqichlarni ko‘rsatadi:

1. 1–2 (Siqilish) — gaz siqiladi, bosim ortadi (izentropik jarayon).
2. 2–3 (Yonish) — hajm o‘zgarmaydi, bosim keskin oshadi (izoxor jarayon).
3. 3–4 (Kengayish) — gaz kengayadi, bosim pasayadi (izentropik jarayon).
4. 4–1 (Chiqarish) — hajm o‘zgarmaydi, bosim tushadi (izoxor jarayon).

2. Termodinamik ko‘rsatkichlar

Ichki yonuv dvigatellarning ishlash jarayoni termodinamik qonunlar asosida yuz beradi. Ish siklining har bir bosqichida muayyan issiqlik, bosim, hajm va harorat o‘zgarishlari sodir bo‘ladi. Shu o‘zgarishlar orqali quyidagi asosiy **termodinamik ko‘rsatkichlar** aniqlanadi:

Termik (issiqlik) samaradorlik — η_t

Bu ko‘rsatkich dvigatelga kiritilgan issiqlik energiyasining qanchalik qismi foydali ishga aylanishini ko‘rsatadi. Umumiy formula:

$$\eta_t = \frac{A_{foydali}}{Q_{kiruvchi}} = 1 - \frac{Q_{chiq}}{Q_{kiruvchi}}$$

Otto sikli uchun termik samaradorlik:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\xi^{k-1}}$$

Bu yerda:

ξ-siqish darajasi,

$k = \frac{c_p}{c_v} \approx 1.4$- politropik ko‘rsatkich (havo uchun).

Izoh: Siqilish darajasi oshgani sari termik samaradorlik ortadi.

Ish hajmi — V_i

ISSN 3030-3907

Bu ko‘rsatkich piston yuqoridan pastga harakatlanganda silindrda yuzaga keladigan hajm o‘zgarishini bildiradi:

$$Vi=V_{max}-V_{min}V$$

V_{max}- pastki chetki nuqta (PChN) bo‘lganidagi hajm,

V_{min}- yuqori chetki nuqta (YuChN) bo‘lganidagi hajm.

O‘rtacha samarali bosim — p_e

Dvigatelning ish sikli davomida bajaradigan foydali ishini silindr hajmiga nisbatan ifodalaydi. Formulasi:

$$P_e = \frac{A_i}{V_i}$$

Bu ko‘rsatkich orqali dvigatelning real yuklama ostidagi ishlash qobiliyati aniqlanadi.

Maksimal bosim — p_{max}

Yonish jarayonida silindr ichida yuzaga keladigan eng yuqori bosim. Bu ko‘rsatkich dvigatelning mexanik qismlariga tushadigan yuklamani baholashda muhim.

Maksimal harorat — T_{max}

Yonilg‘i yonishidan so‘ng paydo bo‘ladigan eng yuqori harorat. Bu harorat materiallarga termik yuklama beradi va dvigatel sovitish tizimini loyihalashda muhim o‘rin tutadi.

Ish koeffitsienti — η_i (indicated efficiency)

Bu dvigatel silindridagi gazlar tomonidan bajarilgan ishning issiqlik energiyasiga nisbati:

$$\eta_i = \frac{A_{indikator}}{Q_{yonilg'i}}$$

Mexanik samaradorlik — η_m

Foydali (faktik) quvvatning indikatsiyalangan quvvatga nisbati. Bu ko‘rsatkich mexanik yo‘qotishlarni hisobga oladi:

$$\eta_m = \frac{N_{faktik}}{N_{indikator}}$$

Umumiy samaradorlik — η_{umumiy}

Dvigatelning barcha yo‘qotishlarini hisobga olgan holda issiqlik energiyasining foydali quvvatga aylanishi:

$$\eta_{umumiy} = \eta_t * \eta_m$$

3. Texnik va iqtisodiy ko‘rsatkichlar

Ichki yonuv dvigatellari (IYoD) murakkab mexanik va termodinamik tizim bo‘lib, ular harakatlantiruvchi kuch manbai sifatida transport vositalari va sanoat

ISSN 3030-3907

qurilmalarida keng qo‘llaniladi. Dvigatelning ishlash samaradorligini baholash uchun uni **texnik** va **iqtisodiy** ko‘rsatkichlar asosida tahlil qilish talab etiladi.

Texnik ko‘rsatkichlar

Texnik ko‘rsatkichlar dvigatelning konstruktiv xususiyatlari, ishlash sharoitlari va mexanik imkoniyatlarini ifodalaydi:

Quvvat (N)

Indikator quvvat – silindr ichida gazlar tomonidan bajarilgan ish asosida aniqlanadi.

Foydali (faktik) quvvat – krank milidan olinadigan real quvvat.

$$N = \frac{p_e * v_i * n - z}{2 * 60}$$

Bu yerda:

p_e-o‘rtacha samarali bosim,

V_i- bir silindr ish hajmi,

n-aylanishlar soni,

Z-silindrlar soni.

Aylanishlar soni (n)

Krank milining bir daqiqadagi aylanishlar soni. Yuqori aylanish tezligi dvigatelning quvvatini oshiradi, ammo termik va mexanik yuklamalarni ham kuchaytiradi.

Siqilish darajasi (r)

Pistonning harakat oralig‘ida gaz siqilish darajasi. Siqilish darajasi yuqori bo‘lsa, dvigatelning issiqlik samaradorligi ortadi.

$$r = \frac{v_{max}}{v_{min}}$$

O‘rtacha samarali bosim (p_e)

Foydali ishni ifodalaydi, quvvatni baholashda qo‘llaniladi.

Yonilg‘i sarfi (g)

Soatlik yonilg‘i sarfi – dvigatel bir soatda sarflaydigan yonilg‘i miqdori (kg/soat).

Birlik quvvatga nisbatan sarf – yonilg‘i tejamkorligini ko‘rsatadi (g/kWh).

Samaradorliklar (termodinamik, mexanik, umumiy)

Dvigatelning issiqlik energiyasini mexanik ishga aylantirishdagi yo‘qotishlarini baholaydi.

Iqtisodiy ko‘rsatkichlar

Iqtisodiy ko‘rsatkichlar dvigatelning ishlash xarajatlari, ekspluatatsiya foydaliligi va texnik xizmat ko‘rsatish bilan bog‘liq xarajatlarni ifodalaydi.

Yonilg‘i tejamkorligi

100 km masofaga yoki 1 kWh quvvat ishlab chiqarish uchun sarflanadigan yonilg‘i miqdori.

ISSN 3030-3907

$$g_{sp} = \frac{G}{N * t}$$

Bu yerda: G -yonilg‘i massasi, N - foydali quvvat, t - vaqt.

Texnik xizmat ko‘rsatish xarajatlari

Dvigatelning ishlashi davomida sarflanadigan texnik xizmat va ta'mirlash xarajatlari. Bu ko‘rsatkich dvigatelning ishonchliligi va xizmat muddati bilan chambarchas bog‘liq.

Yoqilg‘i narxi va ekspluatatsiya xarajatlari

Yoqilg‘i turlarining narxlari (AI-92, dizel, gaz, gibrid) hisobga olinadi.

Ekspluatatsiya muddatidagi jami xarajatlar aniqlanadi.

Umumiy iqtisodiy samaradorlik

Dvigatelning iqtisodiy jihatdan foydaliligini ko‘rsatadi: qancha sarfga qancha foyda yoki energiya hosil bo‘lmoqda.

4. Ish siklining optimallashtirilishi

Ichki yonuv dvigateli ish siklining optimallashtirilishi — dvigatelning termodinamik, texnik va ekologik samaradorligini oshirishga qaratilgan murakkab ilmiy-texnik jarayondir. Optimallashtirish natijasida yonilg‘i samaradorligi oshadi, chiqindi gazlar miqdori kamayadi, dvigatelning quvvati va xizmat muddati yaxshilanadi.

Ish siklining optimallashtirilishi maqsadlari:

Termik samaradorlikni oshirish

Yonilg‘i sarfini kamaytirish

Ishonchlilikni va xizmat muddatini uzaytirish

Ekologik talablarni bajarish

Energiya yo‘qotishlarini kamaytirish

Optimallashtirishning asosiy yo‘nalishlari

Siqilish darajasini oshirish (ξ)

Ta’siri: Termik samaradorlik yuqorilaydi ($\eta_t \uparrow$), biroq detonatsiya xavfi ham ortadi.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\xi^{k-1}}$$

Chora: Yuqori oktanli benzin, sovitish tizimini kuchaytirish, aralashmalarni sozlash.

Yonish jarayonining takomillashtirilishi

Yonish tezligini oshirish

Aralashma sifati (havo-yonilg‘i nisbati)ni optimallashtirish

Ko‘p nuqtali yoki bevosita yonilg‘i purkash (GDI) tizimlaridan foydalanish

Natija: Tez va to‘liq yonish → quvvat ko‘payadi, chiqindi gaz kamayadi.

ISSN 3030-3907

Gaz taqsimlashni boshqarish (fazani o‘zgartirish)
VVT (Variable Valve Timing) tizimi orqali
Taqsimlash mexanizmidagi vaqt parametrlari bilan ishlash
Natija: Dvigatel har xil yuklama va aylanish tezligida optimal ishlaydi.
Sovitish va moylash tizimlarini optimallashtirish
Ish haroratining barqarorligi yonilg‘i tejamkorligini oshiradi
Ishqalanish yo‘qotishlarini kamaytiradi
Termodinamik sikl turini o‘zgartirish
Otto → Miller yoki Atkinson sikliga o‘tish

Diesel siklini kuchaytirish uchun turli darajadagi siqilish va yonish bosqichlarini sozlash

Masalan:
Atkinson sikli — samaradorlik yuqori, ammo quvvat nisbatan past
Miller sikli — sovuq yonish orqali samaradorlikni oshirish
Turbokompressorlash (forced induction)

Dvigatelga ko‘proq havo yuborish → aralashma zichligi oshadi → quvvat ko‘payadi
Past aylanishlarda ham yuqori moment hosil bo‘ladi
Elektron boshqaruv tizimlari (ECU) orqali sozlash
Real vaqtda optimal yonilg‘i purkash va igna vaqtini sozlash
Sensorlar yordamida samarali boshqaruv
Optimallashtirish samaradorligini baholash
Quyidagi ko‘rsatkichlar asosida baholanadi:

Ko‘rsatkich	**Avvalgi holat**	**Optimallashtirilgan holat**
Termik samaradorlik (η_t)	30–35%	40–45%
Yonilg‘i sarfi (g/kWh)	270–300	200–230
NOx chiqindilari (g/kWh)	Yuqori	Pasaytirilgan
Max. quvvat (kW)	100	120–130

Xulosa. Ichki yonuv dvigatellari ish sikllari — dvigatelning samarali ishlashini ta'minlovchi asosiy termodinamik jarayonlar yig‘indisidir. Ushbu sikllar (Otto, Diesel, Miller, Atkinson va boshqalar) turli harakteristikalarga ega bo‘lib, ularning ko‘rsatkichlari orqali dvigatelning ishlash sifatini tahlil qilish mumkin. Asosiy ko‘rsatkichlar — termik samaradorlik, siqilish darajasi, foydali ish koeffitsienti (FIK), maksimal bosim va harorat, yonilg‘i sarfi, aylanish momenti va chiqindi gazlar tarkibidir.

Tadqiqotlar shuni ko‘rsatadiki, dvigatelning ishlash ko‘rsatkichlari sikl tuzilmasiga bevosita bog‘liq. Masalan, Otto sikli yuqori aylanish tezligi va quvvatga yo‘naltirilgan bo‘lsa, Diesel sikli yoqilg‘i tejamkorligi bilan ajralib turadi. Miller va Atkinson sikllari esa ekosamaradorlikni oshirishga xizmat qiladi.

ISSN 3030-3907

Siklning termodinamik ko‘rsatkichlarini tahlil qilish dvigatel konstruksiyasini optimallashtirish, elektron boshqaruv tizimlarini moslashtirish va ekologik me’yorlarga javob beradigan motorlar yaratishda muhim ahamiyatga ega. Ayniqsa, indikator diagrammalari va entalpiya-entalpiya (h–s) diagrammalari asosida olib borilgan analiz dvigatel samaradorligini aniq baholashga imkon beradi.

Shu asosda aytish mumkinki, ichki yonuv dvigatellari sikllarining ko‘rsatkichlarini chuqur o‘rganish nafaqat nazariy, balki amaliy jihatdan ham muhim bo‘lib, u texnik xizmat ko‘rsatish, dizayn, diagnostika va ekspluatatsiyada eng maqbul yechimlarni tanlashga asos bo‘lib xizmat qiladi. Kelgusida ushbu sikllarni optimallashtirish orqali energiya tejamkor, kam chiqindili va yuqori samarali dvigatellar yaratish imkoniyati kengayadi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. G‘ulomov A.M., Sharipov Sh.T. *Ichki yonuv dvigatellari.* – Toshkent: Fan va texnologiya, 2017. – 320 b. Ish sikllari bosqichlari, termodinamik jarayonlar va texnik ko‘rsatkichlar keng yoritilgan.

2. Heywood J.B. *Internal Combustion Engine Fundamentals.* – McGraw-Hill, 1988. – 930 p. Dvigatel sikllarining barcha turi (Otto, Diesel, Atkinson, Miller) va ularning indikator diagrammalari, bosim, temperatura, samaradorlik va energiya balanslari chuqur tahlil qilingan.

3. Ostrovsky I.G. *Teoriya, raschet i konstruktsiya poroshnevykh dvigateley vnutrennego sgoraniya.* – Moskva: Mashinostroenie, 2006. – 512 s. Grafik va matematik modellar asosida sikl tahlili va ko‘rsatkichlar bo‘yicha mustahkam nazariy baza.

4. Pulkrabek W.W. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine.* – Pearson Education, 2013. – 468 p. Tezlik, bosim, termodinamik samaradorlik va yonilg‘i sarfi ko‘rsatkichlari muhokama qilingan.

5. Kolesnikov I.V., Zhdanov V.V. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya: teoriya i praktika.* – Sankt-Peterburg, 2015. – 420 s. IYoD sikllari va texnik-iqtisodiy ko‘rsatkichlar tahliliga bag‘ishlangan.

6. SAE International Technical Papers (https://www.sae.org/) Har yili dvigatel ishlash ko‘rsatkichlari bo‘yicha yuzlab yangi maqolalar, jumladan, yonilg‘i samaradorligi, chiqindi gazlar, indikator tahlillari va boshqalar.

7. Xo‘jayev H., G‘ulomov A. *Avtomobil dvigatellari.* – Toshkent: O‘zbekiston Respublikasi Oliy ta’lim, 2018. – 280 b. Mahalliy avtomobillar dvigatellari misolida sikl ko‘rsatkichlarining hisoblash usullari.

8. Soyhan H. *Thermodynamic modeling and performance analysis of internal combustion engines.* – Elsevier, Energy Reports, 2021. Zamonaviy dvigatel sikllarining model va eksperimental tahlili.

ISSN 3030-3907

9. Vavilov N.M. *Termodinamika i teplovoy raschet dvigateley.* – Moskva: Mashinostroenie, 2003. Issiqlik sikllari va termodinamik ko‘rsatkichlar chuqur nazariy yondashuv bilan.
10. “Ichki yonuv dvigatellari nazariyasi” fanidan laboratoriya ishlari bo‘yicha metodik qo‘llanma. – Toshkent: TATU, 2021. Real dvigatel sikllarining laboratoriya tajribalari asosida o‘lchov va baholash metodikasi.

ISSN 3030-3907