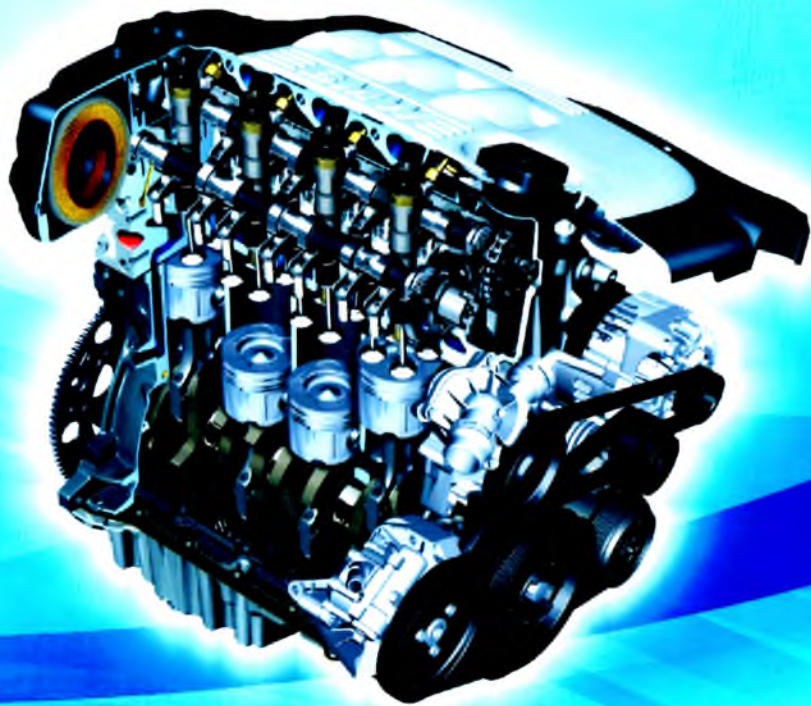


DAMINOV OYBEK OLIMOVICH

ICHKI YONUV DVIGATELLARI NAZARIYASI



O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

DAMINOV OYBEK OLIMOVICH

ICHKI YONUV DVIGATELLARI
NAZARIYASI

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi
tomonidan o'quv qo'llanma sifatida tavsiya etgan*

“Adabiyot uchquni”
Toshkent 2018

Daminov O.O. Ichki yonuv dvigatellari nazariyasi. – T.: “Adabiyot uchquni”, 2018, 175 bet.

UDK 811.512 (0,76)

O'quv qo'llanmada zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarining issiqlik, kinematik va dinamik hisoblarini (kurs ishini) bajarish uchun zarur ma'lumotlar va hisoblashning tizimli metodikasi keltirilgan. Nadduvsiz va turbonadduvsiz dizel, karbyuratorli va yonilg'i taqsimlanib purkaladigan benzinli dvigatellarning issiqlik hisobi, ichki yonuv dvigateli (IYoD)ning issiqlik balansi, krivoship-shatunli mexanizmning kinematik va dinamik hisoblari tematikasi, hajmi, strukturasi va ketma-ketligi ko'rib chiqilgan. Bunda kiritish, siqish, yonish, kengayish va chiqarish jarayonlari hisobi hamda dvigatelning indikator va effektiv ko'rsatkichlari hisobi bo'yicha batafsil ma'lumotlar, har bir turdagi dvigatel issiqlik hisoblari va dizel issiqlik balansi bo'yicha misollar keltirilgan. Krivoship-shatunli mexanizm (KShM)ning kinematik va dinamik hisobida porshen yo'li, tezligi, tezlanishi hamda KShM elementlariga ta'sir qiluvchi kuchlar hisoblari misollar orqali yoritib berilgan. O'quv qo'llanmada nazariy materiallar amaliy misollar bilan uzviy ravishda uyg'unlashtirilgan.

Oliy texnikaviy o'quv yurtlarining 5312500 – “Energiya mashinasozligi (ichki yonuv dvigatellari)”, 5310500 – “Avtomobilsozlik va traktorsozlik”, 5310600 – “Yerusti transport tizimlari va ularning ekspluatatsiyasi”, 5111000 – “Kasb ta'limi (5310600 – Yerusti transport tizimlari va ularning ekspluatatsiyasi)” ta'lim yo'nalishlari talabalari uchun **kurs ishini bajarishga mo'ljallangan** Magistratura talabalari, ilmiy tadqiqotchi-izlanuvchilar, dvigatelsozlik zavodlari va konstruktorlik byuroolari xodimlari, IYoDni hisoblash va loyihalash bilan shug'ullanuvchilar uchun ham foydali bo'lishi mumkin.

Taqrizchilar:

t.f.d. prof. Bazarov B.I. (TAYLQEI),

t.f.n., prof. To'layev B.R. (ToshDTU)

ISBN 978-9943-992-03-0

© Daminov Oybek - 2018

© “Adabiyot uchquni” - 2018

ANNOTATSIYA

O'quv qo'llanmada zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarining issiqlik, kinematik va dinamik hisoblarini bajarish uchun zarur ma'lumotlar va hisoblashning tizimli metodikasi keltirilgan. Nadduvsiz va turbonadduvli dizel, karbyuratorli va yonilg'i taqsimlanib purkaladigan benzinli dvigatellarning issiqlik, kinematik va dinamik hisoblari orasidagi bog'liqlik misollar orqali yoritib berilgan.

АННОТАЦИЯ

Учебное пособие содержит необходимые сведения и систематизированную методику теплового, кинематического и динамического расчетов современных автомобильных и тракторных двигателей. Взаимосвязь теплового, кинематического и динамического расчетов показаны на примерах комплексных расчетов безнаддувного дизеля, дизеля с наддувом, карбюраторного двигателя и бензинового двигателя с перераспределенным распыливанием топлива.

ANNOTATION

The manual contains necessary data and the systematized technique of thermal, kinematic and dynamic calculations of modern automobile and tractor engines. Interrelation of thermal, kinematic and dynamic calculations are shown on examples of complex calculations of the naturally aspirated diesel, diesel with pressurization, the engine with carburetor and the gasoline engine with the redistributed fuel spraying.

KIRISH

Ushbu o'quv qo'llanma zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarini hisoblashning tizimiylashtirilgan metodini o'z ichiga qamragan. Ichki yonuv dvigatellari ishchi jarayonlari issiqlik hisobining termodinamika va termokimyoning umumiy holatlariga asoslangan metodi dvigatel silindrida sodir bo'layotgan voqealarning fizik mohiyatini mantiqiy ketma-ketlikda yetarli darajada to'liq qamragan va IYoD ishchi jarayonlari haqida bir butun tasavvur beradi.

Metod hisobiy siklni ko'rib chiqishga asoslanadi, chunki ishlayotgan dvigatel silindrlarida amalga oshadigan haqiqiy sikl hisoblash metodlarining yetarli darajada takomillashmaganligi va u yerda kechadigan jarayonlar murakkabligi tufayli, yetarli darajada nazariy aniq bayon qilinmagan.

Hisobiy sikl nazariy sikldan quyidagilar bilan farqlanadi:

- real yonish jarayoni izoxora yoki izoxora va izobara bo'yicha issiqlik kiritilishi bilan almashtiriladi;
- siqish va kengayish jarayonlari ko'rsatkichi o'zgarmas bo'lgan politropa bo'yicha boradi deb qabul qilinadi;
- gaz almashish jarayonlarining ishi nolga teng deb qabul qilinadi.

Siqish darajasi, havo ortiqqligi ko'effitsiyenti, ishchi jism issiqlik sig'imining haroratga bog'liqligi va boshqalar real siklga mos bo'ladi. Hisobiy siklda haqiqiy jarayonlar soddalashtirilishiga qaramasdan, bu metod amaliyot uchun hisoblar aniqligini yetarli darajada ta'minlaydi. Bunga dvigatelda kechadigan real sharoitlarni hisobga oluvchi qator tajribaviy ko'effitsiyentlarni kiritish bilan erishiladi.

O'quv qo'llanmada uchqun bilan o't oldiriladigan karbyuratorli va benzin elektronli purkaladigan – injektorli dvigatellar hamda nadduvsiz va nadduvli dizellarning issiqlik hisobi dinamik hisob bilan uzviy birlikda keltirilgan.

Bugungi zamonaviy vazifalarni sifatli bajarish avtomobil va traktor dvigatellarini ishlab chiqarish va ekspluatatsiya qilish bilan bog'liq bo'lgan mutaxassislardan ichki yonuv dvigatellari nazariyasi bo'yicha chuqur bilim va amaliy ko'nikmalarga ega bo'lishlarini talab qiladi.

Kurs ishi variantlari va topshiriqlari o'quv yilining boshida kafedra majlisida muhokama qilinadi va tasdiqlanadi.

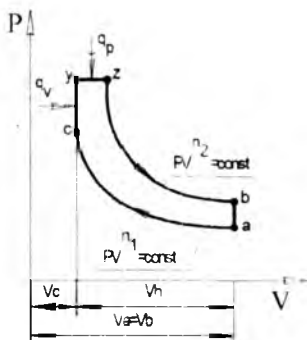
1-BOB. ICHKI YONUV DVIGATELINING ISSIQLIK HISOBI

1.1. Umumiy holatlar

Termodinamika va termokimyoning umumma'lum holatlariga asoslangan ichki yonuv dvigatellari ishchi jarayonlarining issiqlik hisobi metodi dvigatel silindrida sodir bo'ladigan voqealiklarning fizik mohiyatini mantiqiy ketma-ketlikda yetarli darajada qamraydi va IYoD ishchi jarayoni haqida yaxlit tasavvur beradi. Metod "*hisobiy sikl*" deb nomlanuvchi siklni ko'rishga tayanadi, chunki ishlayotgan dvigatelda amalga oshadigan haqiqiy sikl, silindrda kechayotgan jarayonlarning hisobi yetarli darajada takomillashmaganligi tufayli, hozircha uni aniq bayon qilinishining imkoniyati yo'q.

Hisobiy sikl haqiqiy sikldan bir qator soddalashtirilgan xususiyatlari bilan ajraladi, ulardan asosiylari:

1. *Yonishning real jarayoni izoxora cy va izobara yz bo'yicha issiqlik fiktiv kiritilishi bilan almashtirilgan (1.1-rasmda issiqlik aralash kiritiladigan hisobiy siklning indikator diagrammasi keltirilgan)*
2. *Siqish ac va kengayish zb jarayonlari o'zgarmas ko'rsatkichli politropa bo'yicha kechadi.*
3. *Gaz almashish jarayonlarining ishi nolga teng. Sikl berik bo'lishi izoxora bo'yicha kengayish oxirida ba nuqtalar orasida sodir bo'ladi.*



1.1-rasm. Issiqlik aralash kiritiladigan dizel hisobiy siklning sxemasi

Qolganlari bo'yicha sikl parametrlari: siqish darajasi, havo ortiqqligi ko'effitsiyenti, ishchi jism issiqlik sig'iminining haroratga bog'liqligi va boshqalar real siklga mos keladi. 1.1-rasmda dizel hisobiy siklining sxemasi keltirilgan.

Hisobiy siklda haqiqiy jarayonlar soddalashtirilganiga qaramasdan, professor V.I. Grinivetskiy metodi hisoblarning amaliyot uchun qoniqarli darajada aniqligini ta'mmilydi. Dvigatelda jarayonlar borishining real sharoitlarini hisobga oluvchi bir qator tajribaviy ko'effitsiyentlarning kiritilishi bilan bunga erishiladi.

Bu metod quyidagi asosiy masalalarni yechish imkonini beradi:

- 1. Hisobiy siklning xarakterli nuqtalarida ishchi jism holati parametrlarining qiymatlarini aniqlash va siklning, haqiqiyga yaqinlashgan, indikator diagrammasini qurish dvigatelni dinamik hisobi uchun asos vazifasini o'taydi.*
- 2. Alohida jarayonlar kechishining sifatini baholovchi qator parametrlar qiymatlarini aniqlash va ularga real faktorlarning ta'sirini ko'rsatish.*
- 3. Dvigatelning indikator va effektiv ko'rsatkichlarini aniqlash, ular mos ravishda gazlarning ishiga aylangan yonilg'i issiqligining ulushi bo'yicha dvigatel takomillashganligi darajasini va dvigatelning butunicha effektivligini baholash.*
- 4. Dvigatelning asosiy o'lchamlari – silindr diametri va porshen yo'lini aniqlash, bu loyihalanayotgan dvigatelning berilgan qator parametrlarini hisobga olgan holda talab qilingan nominal (to'liq) quvvat va aylanishlar sonining olinishini ta'minlaydi.*
- 5. Nadduvli dizellar uchun turbina va kompressordagi ishchi jism parametrlarini hamda gaz dinamik hisobini bajarish uchun zarur bo'lgan ko'rsatkichlarni aniqlash, nadduv agregatlari asosiy oqar qismlarini profilash uchun zarur bo'lgan ko'rsatkichlarni aniqlash.*
- 6. Issiqlik hisobi natijalari tashqi issiqlik balansi bandlarini hisobiy aniqlashning asosida yotadi, ular suv va moy nasoslari va sovuikichlarini, issiqlik yo'qotilishlarini utilizatsiya qilish uchun qurilmalarni va boshqalarni loyihalash uchun zarur.*

Issqlik hisobi, odatda, ishchi jarayoni eng qulay sharoitlarda kechayotgan dvigatelning faqat nominal ish rejimi uchun o'tkaziladi. Shu bois, alohida ta'kidlash bo'lmaganda, ishchi jarayonning hamma miqdoriy qiymatlari dvigatelning nominal ish rejimiga taalluqli bo'ladi.

IYoDning hisobiy sikli ketma-ket kechadigan beshta: kiritish, siqish, yonish, kengayish va chiqarish jarayonlaridan tarkib topadi. Issqlik hisobining asosiy qismi ham mos ravishda shu tartibda bajariladi. Lekin, hisobda qiymatlari tajribaviy ma'lumotlardan tanlab olinadigan qator parametrlardan foydalanilganligi sababli, hisoblashni boshlashdan oldin ushbu parametrlarni asoslash va tanlab olish kerak. Ushbu masalani muvaffaqiyatli bajarish IYoD ishchi jarayoni nazariyasi bo'yicha chuqur bilimlarga ega bo'lishni talab qiladi. bu parametrlar orasidagi o'zaro bog'lanishlarni va o'zaro ta'sirlarni tushunishni, konstruktiv, rejim, ekspluatatsion va boshqa omillarni hisobga olishni va natijada tajribaviy boshlang'ich ma'lumotlar to'g'ri tanlanishini ta'minlaydi. Faqat shu holdagina issqlik hisobi muvaffaqiyatli bajarilishi mumkin.

1.2. Boshlang'ich ma'lumotlarni tanlash va asoslash

Tajribaviy parametrlarni tanlash issqlik hisobining muhim bo'lagi hisoblanadi, chunki ushbu masalani savodli yechish loyihalanayotgan dvigatel hisobiy va real parametrlarining bir-biriga yaxshi mos kelishini ta'minlaydi. Bu yerda talaba nazariy tayyorgarligining darajasi, uning dvigateldagi ishchi jarayonlarning fizik mohiyatini, parametrlar o'zaro bog'lanishlari va o'zaro ta'sirining ko'p faktorligi va qarama-qarshiligini tushunishi darajasi yorqin namoyon bo'ladi.

Tajribaviy parametrlarning qiymatlarini tanlashda, odatda, o'xshash dvigatellardagi ularning qiymatlariga qarab orientir olishadi, bunday ma'lumotlar bo'lmagan holda, adabiyotlardan olingan ma'lumotlarga loyihalanayotgan dvigatelning xususiyatlarini hisobga oluvchi mos tuzatishlar kiritib, bu parametrlar qiymatlarini tanlashadi.

Dvigatellarning bir-biriga o'xshashligi asosan ularning quyidagi parametrlarining yaqinligi bilan baholanadi:

- dvigatel vazifasi va turi:

- dvigatelning bosh parametrlari (silindr diametri D va porshen yo'li S);
- aylanishlar chastotasi;
- o'rtacha effektiv bosim p_e ;
- aralashma hosil qilish turi.

Dvigatel quvvati va tirsakli val aylanishlar chastotasi.

Dvigatel loyihalamayotganda, odatda, uning nominal quvvatining qiymati qabul qilinadi yoki u tortuv-hisob yordamida aniqlanadi. *Nominal quvvat* (N_n) deb, zavod-ishlab chiqaruvchi ishning ma'lum sharoitlari uchun kafolatlaydigan effektiv quvvatga aytiladi. Avtomobil va traktor dvigatellarida nominal quvvat tirsakli valning nominal aylanishlar chastotasidagi maksimal quvvatga teng. Nominal quvvat berilishi yoki uni tanlash birinchi navbatda dvigatel vazifasi (yengil yoki yuk avtomobili uchun, traktor uchun); uning turi (benzinli yoki gazli dvigatel, dizel); ekspluatatsiya sharoitlari va h.k.lar bilan aniqlanadi. Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarining quvvati keng oraliqda (15...500 kVt) joylashgan.

Dvigatelning keyingi muhim ko'rsatkichi – *tirsakli valning aylanishlar chastotasidir*, u dvigatel turini va uning dinamik sifatlarini tavsillaydi. Ko'p yillar davomida tirsakli val aylanishlar chastotasini oshirish tendentsiyasi mavjud edi. Buning natijasida dvigatelning asosiy o'lchamlari, uning massasi va gabaritlari kichiklashdi. Lekin aylanishlar chastotasi oshishi bilan inersiya kuchlari ortadi, silindrlarning yangi zaryad bilan to'lishi yomonlashadi, yonish mahsulotlarining zaharliligi ortadi, dvigatel detallari va uzellarining yeyilishi tezlashadi, uning xizmat muddati qisqaradi. Shu sababli 60...80 yillardan boshlab dvigatel tirsakli valining aylanishlar chastotasi amalda stabillashdi. Lekin yonilg'i kiritish tizimiga yoki bevosita silindrga purkaladigan benzinli dvigatellarni qo'llash, ishlangan gazlar zaharliligini kamaytirgani holda tirsakli val aylanishlar chastotasini sezilarli darajada oshirish imkonini berdi.

Hozirgi paytda yengil avtomobillar dvigatellari tirsakli vallarining aylanishlar chastotasi 4000...7000 ayl/min oralig'ida, faqat ba'zi seriyali modellarda 7000 ayl/mindan katta. Yuk avtomobillari va traktorlar dvigatellari, inersiya yuklarini kamaytirish va motoresursni oshirish maqsadida, tirsakli valning aylanishlar

chastotasi bo'yicha deforsirovka qilinishmoqda. Shunga qaramasdan yuk avtomobillarining ba'zi modellarida tirsakli valning aylanishlar chastotasi dizellarda 2000...4000 ayl/min va benzinli dvigatellarda 4000...6000 ayl/min. Zamonaviy traktor dizellarining tirsakli vallari aylanishlar chastotasi 1800...2400 ayl/minoralig'ida.

Silindrlar soni va joylashishi. Silindrlar soni va ularning joylashishi quvvatga, dinamik va konstruktiv omillarga bog'liq. Yevropada to'rt va olti silindrli, Amerikada esa sakkiz silindrli avtomobil dvigatellari eng keng tarqalgan. Traktor dvigatellari odatda 4 silindrli, kam hollarda 6 silindrli va alohida hollarda 12 silindrli bo'ladi. Silindrlar soni ortishi bilan dvigatellarni aylanishlar chastotasi bo'yicha forsirovka qilish imkoniyati ortadi, o't oldirish sifati yaxshilanadi va muvozanatlash masalalari osonroq yechiladi. Lekin silindrlar soni ortishi bilan mexanik yo'qotishlar ko'payadi va iqtisodiy ko'rsatkichlar yomonlashadi.

Silindrlar sonini tanlash ko'p jihatdan dvigatel litrajiga bog'liq. Masalan, to'rt silindrli benzinli dvigatelning litraji V_1 odatda, 0,7...2,2 l oralig'ida va faqat alohida modellarda $V_1 > 2,2$ l bo'ladi. To'rt silindrli dizellarning litraji ancha katta – 4...8 l oralig'ida bo'ladi. Olti silindrli benzinli dvigatellarning litraji $V_1 \approx 2,0...5,6$ l, dizellarniki esa $V_1 \approx 20$ l gacha bo'ladi.

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari silindrlarining joylashishi qatorli, *V-simon* va kam hollarda *W-simon* bo'ladi. To'rt silindrli qatorli dvigatellar ekspluatatsiyada eng sodda va ishlab chiqarishda eng arzon bo'lganligi tufayli, ular eng keng tarqalgan. Oxirgi yillarda avtomobil va traktorsozlikda silindrlari *V-simon* joylashgan dvigatellarni qo'llash tendentsiyasi vujudga keldi. Qatorli dvigatellarga nisbatan ularning mexanik f.i.k. yuqoriroq, gabaritlari ixchamroq va solishtirma massa ko'rsatkichlari yaxshiroq.

V-simon dvigatellar bikrligining yuqoriligi tirsakli val aylanishlar chastotasini oshirish imkonini beradi.

Silindrlar o'lchami va porshen tezligi. Silindr o'lchamlari – silindr diametri va porshen yo'li – dvigatelning asosiy konstruktiv parametrlaridir. Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari silindrlarining diametri D (mm) 60...150 mm oralig'ida joylashgan va ularning qiymati asosan dvigatel turi va vazifasiga bog'liq

- yengil avtomobillarning benzinli dvigatellarida 60...100

- yuk avtomobillarining benzinli dvigatellarida..... 70...110
- avtomobil dizellarida..... 80...130
- traktor dizellarida 70...160

Porshen yo'li porshen tezligi bilan bog'liq bo'lgan solishtirma qiymat SD bilan tavsiflanadi. SD qiymati bo'yicha qisqa yo'lli ($SD < 1,0$) va uzun yo'lli ($SD > 1,0$) dvigatellarni farqlashadi. Qisqa yo'lli dvigatelga o'tilganida dvigatelning balandligi va massasi kamayadi, indikator f.i.k. va silindr to'lishi koeffitsiyenti ortadi, porshen tezligi sekinlashadi va dvigatel detallari yeyilishi kamayadi. Shu bilan birga SD kamayishi gazlar bosimining ortishiga, aralashma hosil bo'lishi sharoitlarining yomonlashishiga va dvigatel gabarit uzunligining kattalashishiga olib keladi.

Zamonaviy benzinli avtomobil dvigatellari katta bo'lmagan SD nisbatida loyihalangani. Odatda $SD = 0,8 \dots 1,1$ oralig'ida bo'ladi. Avtomobil dizellarida porshen yo'lining silindr diametriga nisbati $SD = 0,9 \dots 1,2$ oralig'ida qabul qilinadi. Traktor dizellarida esa $SD = 1,1 \dots 1,3$.

Porshen tezligi $v_{p.or}$ dvigatel tezyurarligning mezonini hisoblanadi. Dvigatellarni $v_{p.or}$ qiymatiga qarab sekin yurar ($v_{p.or} < 6,5$ m/s) va tezyurar ($v_{p.or} > 6,5$ m/s)larga ajratishadi. Hamma avtomobil dvigatellari va traktor dvigatellarining ko'pi tezyurar hisoblanadi, chunki ularda $v_{p.or} > 6,5$ m/s.

Porshen tezligi ortishi bilan dvigateldagi mexanik yo'qotishlar ko'payadi, detallarning issiqlikdan kuchlanganligi ortadi, dvigatelning xizmat muddati qisqaradi. Demak, porshen o'rtacha tezligining ortishi dvigatel xizmat muddatini oshirish zarurati, dvigatelsozlikda takomillashganroq materiallarni va texnologiyalarni qo'llash va ishlatilayotgan moy sifatini yaxshilash bilan uzviy bog'langan.

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarida porshenning $v_{p.or}$ (m/s) tezligi odatda quyidagi oraliqlarda bo'ladi:

- yengil avtomobillarning benzinli dvigatellarida..... 12...20
- yuk avtomobillarining benzinli dvigatellarida..... 9...16
- avtomobillarning gazli dvigatellarida 7...14
- avtomobil dizellarida 7...13
- traktor dizellarida 6...11

O'rtacha effektiv bosim. O'rtacha effektiv bosim p_e eng muhim ahamiyatga ega, chunki u issiqlik hisobi uchun deyarli hamma tajribaviy parametrlarni tanlashga ta'sir qiladi. Shuning uchun loyihalanayotgan dvigatel uchun dastlab p_e ni aniqlash zarur. Amalda bu parametr kurs loyihasi topshirig'ida belgilangan bo'ladi, chunki unda loyihalanayotgan dvigatelning quvvati, aylanishlar soni va prototipi, ya'ni litraji ham beriladi.

Shu sababli quvvat formulasini p_e ga nisbatan yechib, quyidagini topamiz

$$p_e = \frac{30\tau \cdot N_e}{i \cdot V_h \cdot n}, \quad (1.1)$$

bu yerda τ – taktlilik koeffitsiyenti (4 taktli IYoDlar uchun $\tau=4$,
2 taktlilar uchun $\tau=2$);

N_e – berilgan effektiv quvvat, kVt ;

n – berilgan nominal aylanishlar soni, *ayl min*;

i – prototip dvigateli silindrlari soni;

V_h – prototip dvigateli silindrlarining ishchi hajmi, dm^3 (litr)

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S, \quad dm^3; \quad (1.2)$$

bu yerda D va S – prototip dvigateli silindri diametri va porshen yo'li, dm .

Keyin p_e qiymati va boshqa faktorlarni hisobga olgan holda tajribaviy parametrlarni tanlaymiz.

Ishchi jarayon nazariyasida "o'rtacha bosim" tushunchasining muhimligini va ushbu tushunchani talabalar o'zlashtirishi qiyinligini hisobga olib, o'rtacha bosimning fizik mohiyatini va ishchi jarayon xarakteristikasida va umuman dvigatelda uning rolini hisobga olib, uni ko'rib chiqamiz.

Hisoblarni olib borish qulayligi va siklda bajarilgan ish qiymati va uning mexanik yo'qotishlarni yengish uchun sarflari bo'yicha turli dvigatellarni solishtirish uchun ishchi jarayonlar nazariyasida o'rtacha indikator bosim p_i , mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi p_m , va o'rtacha effektiv bosim p_e nomli shartli (fiktiv, amalda mavjud bo'lmagan) parametrlardan foydalanishadi

Ushbu parametrlarning fizik mohiyati bitta – ular siklning solishtirma ishi, ya'ni silindr ishchi hajmi birligida olingan yoki sarflangan ishdur.

Demak

$$p_i = \frac{L_i}{V_h}, p_m = \frac{L_m}{V_h}, p_e = \frac{L_e}{V_h},$$

bu yerda L_i – siklda silindrdagi gazlar kengayishining indikator (ichki) to'liq ishi;

L_m – siklda dvigatelda mexanik qarshiliklarni yengishga (ishqalanish, yordamchi mexanizmlarni yuritish, gaz almashish jarayonini amalga oshirish) sarflanadigan ish;

L_e – siklda iste'molchiga krivoship-shatunli mexanizm orqali uzatiladigan effektiv (haqiqiy) ish. U sikl indikator ishinin bir qismi bo'ladi.

U holda

$$L_i = L_e + L_m \text{ va } p_i = p_e + p_m. \quad (1.3)$$

Siklning solishtirma ishi, ya'ni p_i , p_m va p_e bosim birligida o'lchanadi, bu -- o'lchamlarni formal o'zgartirish natijasidir.

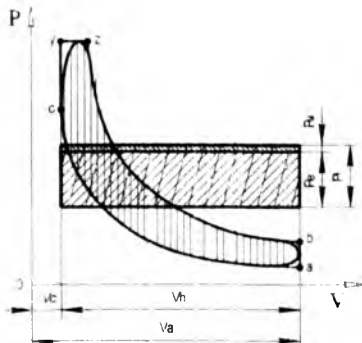
Misol uchun, p_i o'lcham birligi

$$p_i = \frac{L_i}{V_h}; p_i = \left[\frac{MJ}{m^3} \right] = \left[\frac{MN \cdot m}{m^3} \right] = \left[\frac{MN}{m^2} \right] = [MPa].$$

Bulardan p_i , p_m va p_e larning formal ta'rifi kelib chiqadi.

O'rtacha indikator bosim (yoki mos ravishda mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi, o'rtacha effektiv bosim) deb shunday shartli (fiktiv, amalda mavjud bo'lmagan), qiymati o'zgarmas bo'lgan silindrdagi ortiqcha bosimga aytiladiki, u porshenga ta'sir qilib, uning YuChHdan QChHga siljishida siklning (silindrning hajmi 1 litr deb olinganda) indikator ishiga (yoki mos ravishda mexanik qarshiliklarni yengishga sarflanadigan ishga va sikldagi effektiv ishga) teng ish bajaradi.

1.2-rasmda siklning o'rtacha bosimi tushunchasiga oid grafik illyustratsiya berilgan.



1 2-rasm. "O'rtacha bosim" tushunchasini aniqlashga oid:

p_i – o'rtacha indikator bosim, p_m – mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi,
 p_e – o'rtacha efektiv bosim

O'rtacha bosim qiymatining mohiyati nimada?

p_i va p_e qiymatlari ish miqdori bo'yicha siklning unumdorligini yoki, boshqacha aytganda, ishni olish uchun silindr ishchi hajmidan foydalanish sifatini baholaydi. Ushbu ko'rsatkichlarni yaxshilashning eng samarali usuli – nadduvni qo'llashdir, u p_i va p_e larni oshirishga, demak, silindr o'lchamlarini kattalashtirmasdan dvigatel quvvatini oshirishga olib keladi.

p_i va p_e qiymatlari bo'yicha dvigatelda nadduv borligi yoki yo'qligi haqida, uning issiqlik va mexanik kuchlanganligi haqida mulohaza yuritish, turli dvigatellarni ushbu va boshqa belgilari bo'yicha solishtirish mumkin.

p_m qiymati bo'yicha dvigatellardagi mexanik yo'qotishlarni baholashadi, ularni bir-biri bilan konstruktiv va takomillashganligi darajasi bo'yicha qiyoslashadi. O'rtacha bosim orqali dvigateldagi mexanik yo'qotishlar, dvigatelning mexanik f.i.k. orqali, ko'rgazmaliroq shaklda baholanishi mumkin.

Dvigatelning mexanik f.i.k.

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i} = \frac{p_i - p_m}{p_i} = 1 - \frac{p_m}{p_i} \quad (1.4)$$

Dvigatellarning o'rtacha bosimlari va mexanik f.i.k. qiymatlari 1.1-jadvalda keltirilgan.

Dvigatellar	p_i MPa	p_e MPa	p_m MPa	η_m
To'rt taktili benzinli dvigatellar	0,7...1,4	0,6...1,1		0,75...0,92
To'rt taktili forsirovka qilingan benzinli dvigatellar	1,6 gacha	1,3 gacha		0,3...0,94
Dizellar				
nadduvsiz	0,7...1,1	0,65...0,85	0,2...0,25	0,7...0,82
nadduvli	2,2 gacha	2,0 gacha	0,18...0,2	0,8...0,9

Endi tajribaviy boshlang'ich ma'lumotlarni tanlash masalasiga o'tamiz.

Nadduv bosimi p_k . Dvigatellarning va nadduv tizimlarining har xil turlari uchun nadduv bosimi p_k qiymatini aniq aniqlash ancha murakkab, chunki p_k ishchi jarayonning ko'p parametrlari bilan murakkab o'zaro bog'lanishlarga ega. p_k ni tanlashda, odatda, prototip dvigatelidagi uning qiymatiga qarab aroyish olishadi, prototip va loyihalananayotgan dvigateldagi o'rtacha effektiv bosimlar nisbatiga qarab, uning qiymatini kattalashtirishadi yoki kamaytirishadi.

Havo sovutkichda nadduv havosi haroratining pasayishi ΔT_h va havo sovutkich qarshiligi Δr_h . Nadduvli dizellarda nadduv havosining harorati markazdan qochma kompressorda siqilganidan keyin $T_k' = 90...200$ °S ga yetadi. Nadduvning samaradorligini oshirish uchun nadduv havosini sovutish qo'llaniladi. Shu tufayli qo'shimcha ravishda dvigatel quvvati ortadi va detallarning issiqdan kuchlanganligi kamayadi.

Nadduv havosining zichligi ortganligi tufayli quvvat ortadi: havo zichligi katta bo'lganda, kiritishda silindrga kirgan havo zaryadining massasi ko'payadi, bu esa ko'proq yonilg'ini yoqish va dvigatel quvvatini qo'shimcha oshirish imkonini beradi.

Nadduv havosi sovutilganda havo zaryadi harorati pasayishi tufayli dvigatelning issiqlikdan kuchlanganligi kamayadi. Buning oqibatida butun sikl davomida silindrdagi ishchi jism haroratlarining darajasi, natijada silindr-porshen guruhi detallarining haroratlari ham pasayadi. Odatda, nadduv havosining harorati $t_k = 55...60$ °S dan yuqori bo'lganda, havo sovutkichi o'rnatiladi.

Nadduv tizimi samarali ishlashini ta'minlash uchun sovutkich nadduv resiveridagi havo haroratini $t_k=60...40$ °S gacha pasaytirishi kerak

Sovutkichda havo haroratining pasayishi ΔT_h bitta sektsiyada 20 dan 60 °S gacha bo'ladi. Havo sovutkichlarining qarshiligi odatda $\Delta p_h=0,002...0,006$ MPa oralig'ida bo'ladi.

Demak, nadduv resiveridagi havo parametrlari

$$T_k = T'_k - \Delta T_h; \quad p_k = p'_k - \Delta p_h, \quad (1.5)$$

bu yerda T'_k – nadduv havosining kompressordan chiqqan ondagi harorati, K;

p'_k – nadduv havosining kompressordan chiqqan ondagi bosimi, MPa.

Nadduvsiz dvigatellarda kiritish resiveridagi (kiritish klapani oldidagi) havo atrof-muhit parametrlariga, ya'ni p_0 va T_0 ga ega. Mos ravishda hisoblarda p_k va T_k o'rniga p_0 va T_0 qiymatlaridan foydalanish kerak.

Silindrda havoning qizishi ΔT_a . Kiritish jarayonida silindrga kirgan havo, kiritish jarayoni oxirida (indikator diagrammada α nuqta) yonish kamerasi devoriga tegib, ulardan ΔT_a haroratga qiziydi va harorati $T_k+\Delta T_a$ bo'ladi, bu yerda T_k – kiritish klapani oldida havo harorati (nadduvsiz dvigatellarda T_0).

Havoning silindrdagi harorati T , bo'lgan qoldiq gazlar bilan aralashib ketishi natijasida, u yerda harorati T_a bo'lgan aralashma hosil bo'ladi.

Tajribaviy ma'lumotlarga ko'ra havoning yonish kamerasi devorlaridan qizishi to'rt taktli dvigatellarda $\Delta T_a = 5 ... 20$ gradusni tashkil qiladi.

Nadduv va aylanishlar soni ΔT_a ga eng sezilarli ta'sir qiladi. Nadduvni qo'llash va dvigatel aylanishlar sonining ortishi ΔT_a ni kamaytiradi, chunki birinchi holda havo va devorlar orasidagi haroratlar farqi kamayadi, ikkinchi holda esa – havoning yonish kamerasi devorlari bilan kontaktda bo'lish vaqti qisqaradi.

p_k/p_r nisbati. Nadduv bosimi p_k ning (nadduv resiveridagi yoki, o'shaning o'zi, kiritish klapani oldidagi bosim) p_r bosimga nisbati (chiqarish resiveridagi yoki, o'shaning o'zi, turbina oldidagi bosim) ikkala klapan ochiq bo'lgan devorda yonish kamerasini havo bilan tozalash intensivligini tavsiflaydi. Havo bilan tozalash amalga oshishi

uchun $p_k/p_r > 1$ bo'lishini ta'minlash kerak. Ushbu nisbat nadduv tizimining darajasiga bog'liq.

Tajribaviy ma'lumotlarga ko'ra to'rt taktli dvigatellar uchun $p_k/p_r = 1,15 \dots 1,30$. Katta qiymatlar nadduvning samaraliroq tizimlariga taalluqli.

Qoldiq gazlar koeffitsiyenti γ_r . CHiqarish jarayonida silindr ishlangan gazlardan to'liq tozalanmaydi. Qoldiq gazlar yonish kamerasida qoladi, porshen gazlarni u yerdan siqib chiqara olmaydi.

Qoldiq gazlar deb chiqarish taktidan so'ng silindrda (yonish kamerasi hajmi V_s da) qolgan ishlangan gazlarga aytiladi. Ularning holati indikator diagrammaning r nuqtasidagi harorat T_r va bosim p_r bilan tavsiflanadi.

Silindrning ishlab bo'lgan gazlardan tozalanishi sifati qoldiq gazlar koeffitsiyenti γ_r bilan baholanadi. Bu koeffitsiyent silindrning havoning yangi zaryadi bilan to'lishi jarayonining sifatini bilvosita tavsiflaydi.

Qoldiq gazlar miqdori G_r ning silindrga yangi kirgan havo miqdori L ga nisbati qoldiq gazlar koeffitsiyenti deb ataladi

$$\gamma_r = \frac{G_r}{L}. \quad (1.6)$$

γ_r koeffitsiyenti:

- nadduv borligi va uning darajasiga;
- aylanishlar chastotasiga;
- siqish darajasi ε ga;
- qoldiq gazlar bosimi p_r va harorati T_r ga;
- kiritish p_k va chiqarish p_r resiverlari orasidagi bosimlar orasidagi farqga;
- silindr o'lchamlariga;
- gaz almashtirish tizimi va chiqarish traktining konstruktiv xususiyatlariga bog'liq.

Nadduv qo'llanilishi va uning darajasining oshirilishi yonish kamerasini havo bilan tozalash – ijobiy ta'sirining ortib borishi hisobiga γ_r kamayishiga olib keladi. Siqish darajasi ε ortishi bilan (chunki V_s hajm kamayadi), qoldiq gazlar harorati T_r yuqori bo'lishi bilan (chunki ularning zichligi kamayadi), nadduv bosimining qoldiq gazlar bosimiga nisbati p_k/p_r ko'payishi bilan γ_r koeffitsiyentining qiymati kichiklashib boradi. Aksincha, qoldiq gazlar bosimi p_r

kattalashganda (chunki ularning zichligi ortadi) γ_r qiymati ortadi. Qoldiq gazlar bosimi p_r ning ortishi aylanishlar chastotasining kattaligida yoki kiritish tizimida uning qarshiligini orttiruvchiqandaydir qurilmalar (tovush so'ndirgich, utilizatsion bug' generatori va b.) bo'lganida sodir bo'ladi.

Qayd etilgan omillar va γ_r orasida miqdoriy bog'lanish hozircha o'rnatilmagan.

Quyidagi formuladan foydalanib γ_r qiymatini taxminan aniqlash/baholash mumkin

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T_a}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon p_a - p_r}, \quad (1.7)$$

bu yerda T_k – kiritish (nadduv) resiverida havo harorati (nadduvsiz dvigatellarda $T_k = T_0$); K ;

ΔT_a – yonish kamerasi devorlaridan yangi zaryad qizishi; K ;

T_r va p_r – silindrdagi qoldiq gazlarning (indikator diagrammada r

nuqtasi) harorati va bosimi, K va MPa ;

ε – siqish darajasi;

p_a – kiritish oxirida (indikator diagrammada a nuqta) silindrda gazlar

bosimi, MPa .

Qayd etilgan parametrlar quyida ko'rib chiqiladi.

Qoldiq gazlar harorati T_r . Tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha qoldiq gazlar harorati T_r , K :

Benzinli dvigatellarda	900...1100
Gazli dvigatellarda	750...1000
Nadduvsiz dizellarda	600...800
Nadduvli dizellarda	700...1000

Qoldiq gazlar harorati T_r asosan:

- havo ortiqqligi koeffitsiyenti α ;
- nadduv va uning darajasi;
- tezyurarligi (aylanishlar chastotasi)ga bog'liq.

Nadduv qo'llanilishi va uning darajasi ortishi; aylanishlar chastotasi kattalashishi, α kamayishi bilan harorat T_r ortadi. Qoldiq gazlar harorati T_r qiymatini noto'g'ri tanlash sezilarli xatoliklarga olib keladi. Bu ayniqsa qoldiq gazlar koeffitsiyenti γ_r ning qiymati katta

bo'lganda sezilarli bo'ladi. Shu sababli issiqlik hisobida kengayish oxirida ishchi sikl parametrlari T_b va p_b aniqlangandan keyin quyidagi taqribiy formula bo'yicha T_r qiymatini tekshirish maqsadga muvofiq bo'ladi

$$T_r \approx \frac{T_b}{\sqrt[3]{\frac{p_b}{p_r}}}. \quad (1.8)$$

Agar qabul qilingan T_r qiymati bilan formula bo'yicha topilgan qiymat orasidagi farq 5% dan katta bo'lsa, sikl hisobini qaytadan bajarish kerak.

Siqish darajasi ε Siqish darajasi siqish jarayonini tavsiflaydi, siqish natijasida silindrdagi gazlar harorati ko'tariladi, siklning f.i.k. ortadi.

Nominal (geometrik) ε va haqiqiy ε_d siqish darajalarini farqlashadi. Nominal siqish darajasi – bu (porshen QChHda bo'lganida) silindr to'liq hajmi V_a ning yonish kamerasi hajmi V_c ga nisbatidir.

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = \frac{V_h}{V_c} + 1, \quad (1.9)$$

bu yerdan yonish kamerasining hajmi

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}. \quad (1.10)$$

Silindrning ishchi hajmi esa $V_h = V_c(\varepsilon - 1)$.

To'rt taktli dvigatellarning ishchi jarayonlarini hisoblashda geometrik siqish darajasidan foydalanishadi, chunki kiritish klapanlari kech kiritish davrida silindrdagi gazlar bosimi sezilarli darajada o'zgarmaydi.

Siqish darajasining qiymati – dvigatelning muhim xarakteristikalaridan biridir. Uni tanlash birinchi navbatda aralashma hosil qilish usuli va yonilg'ini turiga bog'liq. Bundan tashqari, siqish darajasini nadduv borligi yoki yo'qligi, dvigatel tez yurarligi, sovutish tizimi va boshqa amallarni hisobga olib tanlashadi.

Benzinli dvigatellarda siqish darajasini aniqlash birinchi navbatda qo'llaniladigan yonilg'ining detonatsion chidamliligi bo'yicha amalga oshiriladi.

Yonilg'ining ma'lum sortida:

- yonish kamerasining ratsional shaklini tanlash va svechalarni ratsional joylashtirish (svechalar uchini yonish kamerasi

devorlaridan deyarli teng masofada joylashtirish ε ni oshirish imkonini beradi);

- silindr o'lchamlari (silindr diametrini kichiklashtirish alanga tarqalishi yo'li qisqarishi hamda sovitish nisbiy yuzasining kattalashishi hisobiga ε ni orttirish imkonini beradi);
- yuqori chastotali aylanish soni (p ortishi asosan yonish tezligi ortishi hisobiga ε ni orttirish imkonini beradi);
- porshen va silindr kallagi materialini tanlash (cho'yanga nisbatan alyumin qotishmasidan tayyorlangan porshen ε ni qo'shimcha yana 0,4...0,7 ga, silindrlar kallagi esa ε ni qo'shimcha yana 0,5...0,6 ga ko'tarish imkonini beradi);
- sovitish tizimini tanlash (suyuqlik bilan sovitish tizimi havo bilan sovitish tizimiga nisbatan ε ning yuqoriroq qiymatiga imkon beradi).

Zamonaviy benzinli dvigatellarda $\varepsilon=6...12$. Yuk avtomobillarining dvigatellarida ε quyi chegaraga yaqinroq, yengil avtomobillarning dvigatellarida esa odatda $\varepsilon>7$ va faqat havo bilan sovitilganda ε ba'zan 7 dan kichikroq bo'ladi. Benzinli dvigatellarda siqish darajasining 12 dan katta bo'lishi, ham yonuvchi aralashmaning o'z-o'zidan alangalanish ehtimoli va ham yonishda detonatsiyaning vujudga kelishi bilan cheklanadi. Bundan tashqari, $\varepsilon>12$ bo'lganda indikator f.i.k.ning nisbiy va absolyut ortishi deyarli sezilmaydi. Oxirgi yillarda elektron boshqariladigan va yengil yonilg'i kiritish tizimiga purkaladigan dvigatellarda siqish darajasini $\varepsilon=12...13$ gacha oshirish kuzatilmoqda.

Dizellarda siqishning minimal darajasi siqish jarayonining oxirida purkalgan yonilg'i o'z-o'zidan alangalanishi uchun zarur bo'lgan minimal harorat bo'lishini ta'minlashi kerak. Yonilg'i purkalishi siqish jarayoni to'liq tugallanmasidan oldin amalga oshirilishini hamda siqish harorati ortishi bilan o'z-o'zidan alangalanish davri qisqarishini hisobga olib, quyidagi xulosaga kelingan:

- nadduvsiz dizellarda siqish darajasining eng kichik qiymati – 14;
- nadduvli dizellarda – 11 dan kichik.

Siqishdan alangalanadigan zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarida $\varepsilon=14...22$. Siqish darajasini 22 dan oshirish maqsadga

muvofoiq emas, chunki bu yonishning yuqori bosimlariga, mexanik f.i.k. kamayishiga va dvigatel konstruksiyasining og'irlashishiga olib keladi.

Dizellar uchun siqish darajasini tanlash birinchi navbatda yonish kamerasining shakli, aralashma hosil qilish usuli va nadduv borligi bilan aniqlanadi. Ushbu parametrlarga bog'liq holda dizellarning siqish darajasi quyidagi oraliqlarda bo'ladi:

- ajralmagan yonish kamerali va hajmiy aralashmali dizellar uchun 14... 17
- uyurma kamerali dizellar uchun 16... 21
- old kamerali dizellar uchun 17... 22
- turbonadduvli dizellar uchun 20... 25

Havo ortiqqligi ko'effitsiyenti. Dvigatelning ishlash sharoiti, quvvatni rostdash usuli, aralashma hosil qilish turi va yonilg'i yonishi sharoitlariga qarab, yonilg'ining har bir massaviy yoki hajmiy birligiga havoning qanchadir miqdori to'g'ri keladi, u yonilg'i to'liq yonishi uchun nazariy zarur bo'lgan miqdordan ko'p, unga teng va undan kam bo'lishi ham mumkin.

1 kg yonilg'i yonishida ishtirok etayotgan havo haqiqiy miqdorining 1 (yoki L_1) nazariy zarur bo'lgan havo miqdoriga L_0 (yoki L_0) nisbati havo ortiqqligi ko'effitsiyenti deyiladi.

Issiqlik hisobida yonish jarayoni 1 kg yonilg'ini yonishidan kelib chiqib hisoblanadi. Bunda, havo va hosil bo'layotgan gazsimon yonish mahsulotlarini hisoblash qulayligi uchun, ularni kilomollarda o'lchashadi.

Kilomol – modda miqdorining birligi bo'lib, u xalqaro birliklar tizimi (SI)da asosiy birlikdir. Istalgan gazning kilomoli – bu gazning shuncha miqdoriki, uning kilogrammdagi massasi ushbu gazning molekulyar massasiga teng bo'ladi.

Havo ortiqqligi ko'effitsiyenti ta'rifiga muvofiq

$$\alpha = \frac{L}{L_0}. \quad (1.11)$$

Turli dvigatellar uchun ularning nominal quvvatida α ning quyidagi qiymatlari qabul qilinadi:

- benzinli dvigatellarda..... 0,80... 0,96
- forkamerali-fakelli o't oldiriladigan dvigatellarda 0,85... 0,98

- uchqun bilan o't oldiriladigan va yonilg'i purkaladigan dvigatellarda 0,85...1,30
- ajralmagan kamerali va aralashma hajmiy hosil bo'ladigan dizellarda 1,50...1,70
- ajralmagan kamerali va aralashma plyonkali hosil bo'ladigan dizellarda 1,50...1,60
- uyurma kamerali dizellarda 1,30...1,45
- old kamerali dizellarda 1,40...1,50
- nadduvli dizellarda 1,30...2,20

Nadduvli dvigatelda kiritish jarayonida silindrga kirgan havoning hammasi ham silindrda qolavermaydi. Kiritish va chiqarish klapanlari barobariga ochiq bo'lgan paytda yonish kamerasining produvksi sodir bo'ladi, yangi havoning bir qismi ishlangan gazlar bilan birga chiqarish tizimiga o'tib ketadi. Shu sababdan bir siklda silindrdan yonishda ishtirok etadigan havoga nisbatan ko'proq havo o'tadi.

Siklda silindrga kirgan havo miqdori G_{ks} ning siqish boshlanishi onida (kiritish klapanlari berkilgan onda) silindrda qolgan havo miqdori G_{1s} ga nisbati produvka ko'effitsiyenti deyiladi

$$\varphi_a = \frac{G_{ks}}{G_{1s}} \quad (1.12)$$

Nadduvli dvigatellarda, silindr havo bilan produvka qilinganda, havo ortiqligining yig'indi ko'effitsiyenti α_Σ dan foydalanishadi

$$\alpha_\Sigma = \varphi_a \cdot \alpha, \quad (1.13)$$

bu yerda $\varphi_a=1,05...1,25$ – to'rt taktli dvigatelning produvka ko'effitsiyenti.

Eksperiment yo'li bilan α_Σ qiymatini aniqlash murakkab emas. Dvigatelning tadqiqot qilinayotgan ish rejimida yonilg'ining va havoning bir soatdagi sarfi G_{yo} (kg soat) va G_{havo} (kg/soat) o'lchanadi va yuqoridagi ta'rifga muvofiq quyidagi formula bo'yicha uning qiymati hisoblanadi

$$\alpha_\Sigma = \frac{G_{havo}}{G_{yo} \cdot l_0}, \quad (1.14)$$

bu yerda l_0 – 1 kg yonilg'i to'liq yonishi uchun massa birligida ifodalangan, nazariy zarur havo miqdori, $\left[\frac{kg \text{ havo}}{kg \text{ yonilg'i}} \right]$.

$G_{yo} \cdot l_0$ ko'paytmasi yonilg'i to'liq yonishi uchun dvigatel bir soatda sarflaydigan nazariy zarur havo miqdori.

Ikki taktli dvigatellarda α va α_{Σ} qiymatlari bir-biridan keskin farqlanadi.

Dvigatel ishchi jarayonini forsirovka qilishning samarali yo'llaridan biri – α ni kamaytirishdir. Dvigatelning berilgan quvvati uchun havo ortiqqligi koeffitsiyentini (ma'lum chegaragacha) kamaytirish dvigatel o'lchamlarining ixchamlashishiga olib keladi. Lekin α qiymati kichiklashishi bilan yonilg'i to'liq yonmasligi vujudga keladi, dvigatel tejankorligi va chiqishda gazlarning ekologikligi yomonlashadi, dvigatelning termik kuchlanganligi ortadi. Amalda dvigatelda yonilg'ining to'liq yonishi faqat $\alpha > 1,0$ bo'lganda sodir bo'lishi mumkin, chunki yonish kamerasining butun hajmi bo'ylab bir xil tarkibli – gomogen yonilg'i havo aralashmasini hosil qilishning iloji yo'q.

Issiqlik hisobida α qiymatini variatsiyalash – kurs loyihasi topshirig'ida berilgan o'rtacha effektiv bosim p_e ning zarur bo'lgan qiymatiga erishishning yo'llaridan biridir.

Bosim ortishi darajasi λ_p va yonishning maksimal bosimi p_z .
Yonishda bosimning ortish darajasi λ_p deganda yonish maksimal bosimi p_z ning siqish oxiridagi bosim p_s ga nisbati tushuniladi

$$\lambda_p = \frac{p_z}{p_s} \quad (1.15)$$

Ishchi jarayonni hisoblashda maksimal bosim p_z qiymati odatda loyihalanayotgan dvigatel prototiplari bo'yicha tajribaviy ma'lumotlar asosida qabul qilinadi yoki bosim ortishi darajasi λ_p dastlabki tanlangandan so'ng $p_z = \lambda_p p_s$ ifodadan hisoblanadi. Bosim ortishi darajasi λ_p qiymatiga asosan silindrga berilayotgan yonilg'i miqdori, yonish kamerasining shakli va aralashma hosil qilish usuli, nadduv mavjudligi ta'sir qiladi. Bundan tashqari λ_p qiymatiga yonilg'i alangasining tutilib turish davri ham ta'sir qiladi, u uzaygani sari bosimning ortish darajasi ortib boradi.

Dizellar uchun:

- ajralmagan yonish kamerali va hajmiy aralashmali dizellar uchun $\lambda_p = 1,6 \dots 2,5$;
- uyurma kamerali va old kamerali dizellar hamda ajralmagan yonish kamerali va plyonkali aralashmali dizellar uchun $\lambda_p = 1,2 \dots 1,8$;

- nadduvli dizellar uchun λ_p qiymati ko'rilayotgan yonish jarayoni oxiridagi harorat va bosimning ruxsat etilgan qiymatlari bilan belgilanadi.

p_z va λ_p ning katta qiymatlari dvigatel ishonchligi va motoresursiga salbiy ta'sir qiladi. Shu sababli ularning tejankorligini sezilarli darajada pasaytirmasdan p_z va λ_p qiymatlarini kichiklashtirish dolzarb masala hisoblanadi. Bunga erishishning asosiy yo'llaridan biri – aralashma hosil qilish va yonish jarayonlarini, jumladan yonish kamerasining yangi konstruksiyalarini ishlab chiqishni (o'zgaruvchi siqish darajasini qo'llash, yonish kamerasi elementlarini keramik qoplash va b.), takomillashtirishdir.

Yonish oxiridagi bosim p_z qiymati sikl amalga oshirilishining xarakteriga bog'liq.

$V = const$ da issiqlik kiritiladigan dvigatel uchun maksimal bosim

$$p_z = p_c \frac{\mu \cdot T_z}{T_c} \quad (1.16)$$

bosimning ortishi darajasi esa

$$\lambda_p = \frac{p_z}{p_c} \quad (1.17)$$

Benzinli dvigatellar uchun $\lambda_p = 3, 2 \dots 4, 2$, gazli dvigatellar uchun esa $\lambda_p = 3 \dots 5$ oralig'ida bo'ladi.

Issiqlik aralash dastlab $V = const$, so'ngra $p = const$ da kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dvigatellar – dizellar uchun

$$p_z = \lambda_p p_c, \quad (1.18)$$

dastlabki kengayish darajasi esa

$$\rho = \frac{\mu}{(p_z/p_c)} \cdot \frac{T_z}{T_c} = \frac{\mu}{\lambda_p} \cdot \frac{T_z}{T_c} \quad (1.19)$$

Dizellar uchun $\rho = 1, 2 \dots 1, 7$ oralig'ida bo'ladi.

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ξ_z . Bugungi kunda IYoDda yonilg'i yonish jarayonini bevosita hisoblashning ishonchli fizikaviy-kimyoviy metodlari ishlab chiqilmagan. Shu sababli yonish jarayoni issiqlik hisobining Grinivetskiy-Mazing metodi yonishdagi murakkab fizikaviy-kimyoviy voqeliklarni ko'rib chiqmaydi. Bu metod yonish jarayonini termodinamik bayon qilishga asoslangan, unda yonish paytida hajmga qarab dvigatel silindridagi bosimning o'zgarishining xakteri benzinli dvigatellarda izoxora cy bo'yicha, dizellarda dastlab izoxora cy, so'ngra izobara pz bo'yicha shartli

ravishda sodir bo'ladi, ular bo'yicha, yonishning real jarayoni o'rniga, issiqlikning fiktiv kiritilishi sodir bo'ladi.

Hisobiy siklning indikator diagrammasidagi shartli yonish uchastkasi c_z yoki c_{yz} ko'rinadigan yonish davri deyiladi. c va z nuqtalar shartli yonishning boshlanishi va oxiri hisoblanadi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq, yonishda ajralib chiqadigan issiqlikdan ishchi jism ichki energiyasini oshirish uchun va undan tashqi mexanik ishni bajarish uchun foydalaniladi.

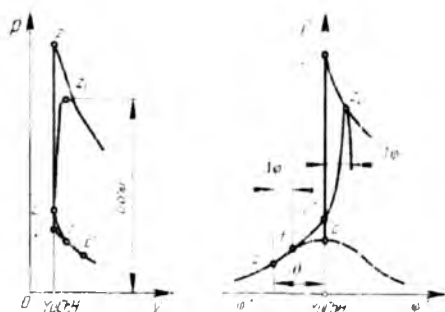
Lekin yonishning real sharoitida yonilg'i to'liq yonmasligi, yonish mahsulotlari dissotsiatsiyasi hamda yonish kamerasi devorlariga issiqlik uzatilishi hisobiga issiqlikning bir qismi yo'qotiladi.

Noto'liq yonish sabablari:

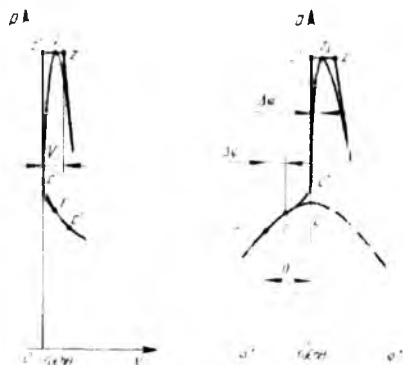
- *birinchidan*, yonilg'ining bir qismi c_z yoki c_{yz} uchastkasida yonib ulgurmaydi;
- *ikkinchidan*, shartli yonish tugashi z nuqtasidagi ongacha gazlar tarkibida qisman chala yonish mahsulotlari bo'ladi, ya'ni issiqlikning bir qismi hali ajralib chiqmagan bo'ladi. Bu komponentlarning to'liq yonib bo'lishi ko'rinadigan yonish davridan keyin sodir bo'ladi.

Yonish mahsulotlarining dissotsiatsiyasi, ya'ni ba'zi birikmalar molekulalarining parchalanishi, issiqlik yutilishi va natijada harorat pasayishiga sabab bo'ladi. Dissotsiatsiya harorat 2000 K dan yuqori bo'lganda sodir bo'ladi. Dissotsiatsiyaga sarflanadigan issiqlik to'lig'icha yo'qotilmaydi, chunki keyingi kengayish jarayonida teskari jarayon – ajralgan molekulalar assotsiatsiyasi (qayta tiklanishi) sodir bo'lishi, bunda issiqlik ajralib chiqishi mumkin. Lekin kengayish jarayonining oxirida ajralib chiqqan issiqlikdan foydalanish samarasi kam bo'ladi.

Yonish jarayoni – dvigatel ishchi siklining asosiy jarayoni bo'lib, uning davomida yonish tufayli ajralib chiqqan issiqlik, ishchi jismning ichki energiyasini orttiradi va kengayish jarayonida mexanik ishni bajarishga sarflanadi



1.3-rasm. Uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda yonish jarayonida bosimning o'zgarishi



1.4-rasm. Dizellarda yonish jarayonida bosimning o'zgarishi

Yonilg'i yonishi jarayonida bosimning o'zgarishi uchqundan o't oldiriladigan dvigatellar uchun 1.3-rasmda, dizellar uchun esa – 1.4-rasmda keltirilgan. Yonish jarayonida bosimning haqiqiy o'zgarishini $c'fc''z_h$ egri chiziqlari sxematik ifodalaydi. Real dvigatellarda yonish jarayoni, aniqrog'i yonilg'ining yonib tugashi, z_h nuqtadan keyin kengayish jarayonida ham davom etadi.

Yonish jarayoni borishi xarakteriga ko'p omillar: kiritish va siqish jarayonlarining parametrlari, purkalayotgan yonilg'i sifati, dvigatel tirsakli vali aylanishlar chastotasi va h.k.lar ta'sir qiladi. Yonish jarayoni parametrlarining ko'p omillarga bog'liqligi hamda motor yonilg'ilari yonish jarayonining fizikaviy-kimyoviy mohiyati, yuqorida qayd etilgandek, hali yetarli darajada to'liq o'rganilmagan.

Avtomobil va traktor dvigatellarining termodinamik hisobini soddalashtirish maqsadida uchqundan o't oladigan dvigatellarda yonish jarayoni $V=const$ da, ya'ni izoxora bo'yicha (1.3-rasm, $cc''z$ to'g'ri chizig'i bo'ylab), dizellarda esa dastlab $V=const$ da, so'ngra $p=const$ da, ya'ni issiqlik aralash kiritiladigan sikl (1.4-rasm, $cc''z'$ va $z'z$ to'g'ri chiziqlari) bo'yicha boradi.

Ishchi siklni hisoblashda *yonilg'i yonishining* quyi issiqligi H_u ni qabul qilishadi, u yuqori (fizik) yonish issiqligidan issiqlik uzatilishi oqibatida issiqlik yo'qotilishi, kengayish chizig'ida yonib tugash va dissotsiatsiyada issiqlik yutilishi miqdoricha kichik bo'ladi.

Avtomobil va traktor dvigatellariga qo'llaganda:

$\alpha \geq 1$ bo'lganda

$$H_u - Q_{yo'qotish} = (U_z - U_c) + L_{cz}, \quad (1.20)$$

$\alpha < 1$ bo'lganda

$$(H_u - \Delta H_u) - Q_{yo'qotish} = (U_z - U_c) + L_{cz}, \quad (1.21)$$

bu yerda $Q_{yo'qotish}$ – issiqlik uzatilishi, kengayish chizig'ida yonib bo'lish va

dissotsiatsiya tufayli issiqlik yo'qotilishi, kJ;

U_z – ko'rinadigan yonish oxirida gazlarning ichki energiyasi, kJ;

U_s – siqish oxirida ishchi aralashmaning ichki energiyasi, kJ;

L_{cz} – c nuqtadan z nuqtagacha gazlarni kengaytirish ishiga sarflanadigan issiqlik (uchqundan o't oladigan dvigatellar uchun $L_{cz}=0$), kJ.

cz uchastkasida issiqlik balansini qisqaroq shaklda yozish mumkin:

$$\xi_z \cdot H_u = (U_z - U_c) + L_{cz}, \quad (1.22)$$

$$\xi_z (H_u - \Delta H_u) = (U_z - U_c) + L_{cz}, \quad (1.23)$$

bu yerda $\xi_z = [(H_u - \Delta H_u) - Q_{yo'qotish}] / (H_u - \Delta H_u)$ – yonishning ko'rinadigan uchastkasi cz da issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti.

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining qiymati dvigatel konstruksiyasi, uning ish rejimi, sovitish tizimi, yonish kamerasining shakli, aralashma hosil qilish usuli, havo ortiqqligi koeffitsiyenti va tirsakli val aylanishlar chastotasiga qarab, eksperimental ma'lumotlar asosida qabul qilinadi.

Eksperimental ma'lumotlarga ko'ra, dvigatel to'liq yuk rejimida ishlaganda, ξ_z qiymati quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

- yonilg'i elektron purkaladigan dvigatellar uchun 0,90...0,96
- benzinli (karbyuratorli) dvigatellar uchun 0,80...0,95
- yonish kamerasi ajratilmagan tez yurar
dizellar uchun 0,70...0,88
- yonish kamerasi ajratilgan dizellar uchun 0,65...0,80
- gazli dvigatellar uchun 0,80...0,85

Koeffitsiyent ξ_z qiymatini tanlashda quyidagilarni hisobga olish kerak: yonish effektivligini yomonlashtiruvchi va yonish kamerasi devorlariga issiqlik uzatilishi/yo'qotilishini ko'paytiruvchi loyihalananayotgan dvigatelning hamma xususiyatlari ξ_z qiymati kamayishiga xizmat qiladi.

Quyidagilar ushbu xususiyatga kiradi:

- aylanishlar yuqori chastotasi,
- nadduv mavjudligi va uning yuqori darajasi,
- silindrning kichik o'lchamlari;
- aralashma hosil qilish turi.

Aylanishlarning yuqori chastotasi, nadduvni qo'llash, ko'rinadigan yonishdan keyin yonib tugash davrining cho'zilishi ξ_z koeffitsiyenti qiymatining kichiklashishiga sabab bo'ladi. Kichik o'lchamli dvigatellar uchun yonish kamerasi devorlari orqali sovitish tizimiga issiqlik yo'qolishining ortishi xarakterli bo'ladi. Dizellarda qo'llaniladigan hajmiy aralashma rostlashlarga va yonilg'i apparaturasining ishlash sifatiga juda ta'sirchan bo'ladi. Ularning biroz buzilishi yonishning sezilarli yomonlashishiga sabab bo'ladi.

Ajratilgan yonish kameralari issiqlik ajralib chiqishi koeffitsiyentining yuqori qiymati bilan tavsiflanadi, lekin yonish kamerasi devorlari sirti katta bo'lganligi sababli, devorlar orqali sovitish tizimiga issiqlik yo'qotilishi ko'payadi, natijada ξ_z koeffitsiyenti kichiklashadi.

Indikator diagramma to'liqligi koeffitsiyenti ϕ_i . Issiqlik hisobi natijalari bo'yicha qurilgan hisobiy siklning indikator diagrammasi haqiqiy siklning indikator diagrammasidan farq qiladi. Uni haqiqiy diagrammaga yaqinlashtirish maqsadida qurilgan diagrammani ko'rinadigan yonish jarayoni c_{yz} uchastkasida va kengayish oxirida (b nuqta) korreksiyalaydilar (1 2-rasm).

Real yonish jarayoni cheklangan tezlikda borishi tufayli c_{yz} uchastkasining boshlang'ich uchastkasi c_y da bosim izoxora bo'ylab ortmaydi, balki c nuqtada boshlanadigan og'gan murakkab egri chiziq

bo'ylab ortadi; yz uchastkasida hajm o'zgarishi bilan bu egri chiziq z nuqtaga yaqinlashadi. Yonish jarayoni chizig'i c nuqtasi zonasida siqish politropasi bilan va z nuqtasi zonasida kengayish politropasi bilan mayin tutashadi QChH da ba uchastkasida kengayish va chiqarish politropalarini tutashtiruvchi silliq yoy bilan chiziladi.

Hisobiy diagrammani korrektirovka qilish jarayonini dumaloqlashtirish deyiladi. Haqiqiy (dumaloqlashtirilgan) indikator diagramma yuzasining $f_{haqiqiy}$ hisobiy diagrammaning yuzasi $f_{hisobiy}$ ga nisbati indikator diagramma to'liqligi ko'effitsiyenti deyiladi.

$$\varphi_i = \frac{f_{haqiqiy}}{f_{hisobiy}} \quad (1.24)$$

Diagramma to'liqligi ko'effitsiyenti φ_i qiymati quyidagi oraliqlarda olinadi:

Yonilg'i elektron purkaladigan dvigatellar uchun ...	0,95 ... 0,98
Karbyuratorli dvigatellar uchun	0,94 ... 0,97
Dizellar uchun	0,92 ... 0,95

Issiqlik hisobi uchun standart parametrlar

Atrof-muhit bosimi p_0	0,1
--------------------------------	-----

MPa

Atrof-muhit harorati T_0	288 K
----------------------------------	-------

Benzinning o'rtacha elementar tarkibi

va molekulyar massasi	$C = 0,855$ $N = 0,145$
-----------------------------	----------------------------

$$m_{\lambda_0} = 115 \text{ kg/kmol}$$

Dizel yonilg'isining o'rtacha elementar tarkibi	$C = 0,870$
---	-------------

$$H = 0,126$$

$$O = 0,004$$

Benzinning quyi issiqlik chiqarish qobiliyati ..	$H_u = 43\,930 \text{ kJ/kg}$
--	-------------------------------

Dizel yonilg'isining quyi issiqlik

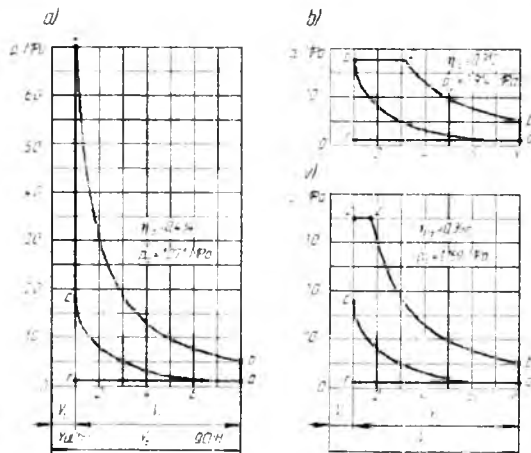
chiqarish qobiliyati	$H_u = 42\,440 \text{ kJ/kg}$
----------------------------	-------------------------------

Boshlang'ich ma'lumotlar tanlangandan keyin issiqlik hisobi ishchi sikl jarayonlarini ketma-ket hisoblashni, dvigatelning indikator va effektiv ko'rsatkichlarini hamda silindrning asosiy o'lchamlarini aniqlashni nazarda tutadi.

1.3. Dvigatel haqiqiy siklining hisobi

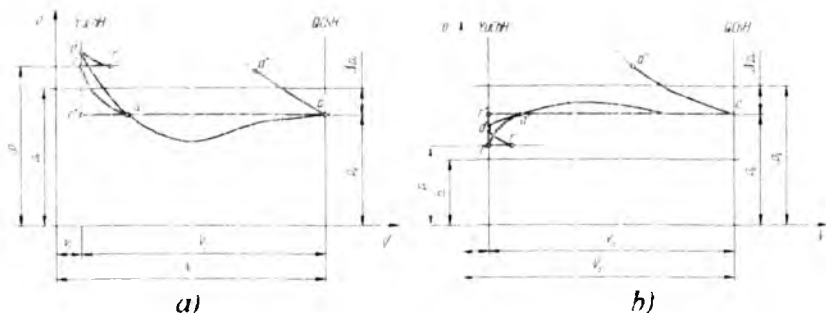
1.3.1. Kiritish va gaz almashinish jarayoni

Nazariy berk bo'lmagan sikllar ko'rilganida kiritish va chiqarish jarayonlari atrof-muhit bosimiga teng bo'lgan o'zgarmas bosimda kechadi deb qaralgan (1.5-rasm, *ra* to'g'ri chizig'i).



1.5-rasm. Berk bo'lmagan nazariy sikllar ($\epsilon=8$; $T_a=350\text{ K}$, $p_a=0,1\text{ MPa}$, $\alpha=1,0$)
a – benzin $V=\text{const}$ da yonadigan; *b* – dizel yonilg'isi $p=\text{const}$ da yonadigan; *v*
 – dizel yonilg'isi $V=\text{const}$, so'ngra $p=\text{const}$ da yonadigan va $\lambda_r=2$

Dvigatelnıng haqiqiy siklida ushbu jarayonlar qaytmas bo'ladi va bosimning sezilarli o'zgarishida kechadi. Kiritish jarayonida bosim o'zgarishining amaldagi xarakteri nadduvsiz dvigatellar uchun 1.6,*a*-rasmida, nadduvli dvigatellar uchun 1.6,*b*-rasmida sxematik tarzda (*r'da'aa''* egri chizig'i) ko'rsatilgan.



1.6-rasm. To'rt taktli dvigatelda chiqarish jarayonida bosimning o'zgarishi
 a – nadduvsiz; b – nadduvli

Kiritish jarayoni kechishining tahlili shuni ko'rsatadiki, bu jarayon – amalda dvigatel silindrini yangi zaryad (yonilg'i-havo aralashmasi yoki havo) bilan to'ldirishning murakkab jarayonidir. Bunda kiritish jarayoni amalda uchta bir-biridan printsipial farqlanadigan davrlardan tarkib topadi (1.6- va 1.7-rasmlar):

- 1) birinchi davr – *dastlabki kiritish davri*, kiritish klapani ochilib ishlagandan boshlab (r' nuqtasi) to chiqarish klapani berkitilgan ongacha (a' nuqtasi): bu davrda bir paytda silindrning yangi zaryad bilan to'lishi, ishlangan gazlarning chiqib ketishi va ularning aralashishi sodir bo'ladi. Bu – bir vaqtda kiritish va chiqarish klapanlarining ochiq bo'lishi davridir. Bu davr "*klapanlar qoplashishi*" davri deyiladi (1.7-rasmda φ_{qop}) va aynan shu davrda *eng intensiv gaz almashinish jarayoni* boradi;
- 2) *asosiy kiritish davri* – porshen quyi chekka holat (QChH)ga siljishida a' nuqtadan a nuqtagacha bo'lgan davr yangi zaryad kirishining asosiy davrini tavsiflaydi, bu paytda yangi zaryad qoldiq gazlar bilan aralashadi, ularning harorati va bosimi tenglashadi;
- 3) uchinchi, *kech kiritish davrida* porshen QChH (a nuqta)dan a'' nuqtagacha siljiganida baravariga silindr to'lish jarayoni tugallanadi (dozaryadka yoki qaytib chiqish) va aralashmaning siqilishi boshlanadi.

Kiritish klapanining oldindan ochila boshlanishi porshen YuChHga yetib kelgunicha, klapan qanchadir ko'tarilib, bir muncha

o'tish kesimi hosil bo'lishini ta'minlaydi, bu dvigatel silindrini yangi zaryad bilan to'lishini yaxshilaydi. Bundan tashqari kiritish klapanining dastlabki ochilishidan nadduvli dvigatellarda silindrlarni produvka qilish uchun foydalaniladi, u yonish kamerasi, silindrning yuqori qismi va porshenning issiqlikdan kuchlanganligini pasaytiradi. Kiritish klapani oldindan ochilishida produvkaning ta'sirini tozalash ko'effitsiyentini hisoblashda hisobga olish mumkin. Tozalash ko'effitsiyenti φ_{toz} ning qiymati asosan nadduv darajasi, dvigatelning tezlik rejimi va ikkala klapan baravar ochiq turishi davomiyligiga bog'liq. Tozalash ko'effitsiyenti, odatda, faqat nadduvli dvigatellarni hisoblashda hisobga olinadi. Produvka bo'lmaganida $\varphi_{toz}=1$, klapanlar ochiq bo'lganda silindrni yonish mahsulotlaridan to'liq tozalanganda $\varphi_{toz}=0$ bo'ladi.

Tirsakli valning yuqori aylanishlar chastotasida kiritish klapanining QChHdan o'tgandan keyin yopilishi – kech kiritish kiritish tizimidagi gaz harakati inersiyasidan foydalanib, dvigatel silindriga yangi zaryadning qo'shimcha massasini kiritish imkonini beradi, bu silindr ishchi hajmidan foydalanish darajasini oshiradi. Porshen QChHdan o'tgandan keyin qo'shimcha gaz kirishi *dozaryadka* deb ataladi. Dozaryadkaning kiritish jarayoni parametrlariga ta'sirini hisoblashda dozaryadka ko'effitsiyenti φ_{doz} bilan hisobga olinadi. Silindr ishchi hajmining yangi zaryad bilan dozaryadkasi asosan tirsakli val aylanishlar chastotasi, gaz taqsimlash fazalarining mos tanlanishi (birinchi navbatda kiritish klapani berkilishi kechikishining burchagi) va kiritish traktining uzunligiga bog'liq. Prof. I.M.Lenin ma'lumotlariga ko'ra yuqorida qayd etilgan parametrlar to'g'ri tanlanganida dvigatelning nominal ish rejimida dozaryadka 12...15%, ya'ni $\varphi_{doz}=1,12...1,15$ ni tashkil qilishi mumkin. Lekin val aylanishlar chastotasi kamayganda dozaryadka kamayadi, qayta chiqish paydo bo'ladi va natijada minimal aylanishlar chastotasida qayta chiqish ko'payib, 5...12% ga yetishi mumkin, bunda $\varphi_{doz}=0,95...0,88$ bo'ladi.

Zamonaviy tezyurar dvigatellarda kiritish klapanining ochilishi porshen QChHga 10...35° yetmasdan oldin, yopilishi esa QChHdan 40...85° o'tgandan keyin sodir bo'ladi. Chiqarish klapani porshen QChHdan 10...30° o'tgandan keyin yopiladi. Lekin bu qayd etilgan

Gaz taqsimlash fazalarining sxemasi 1.7-rasmda tirsakli va aylanishlar burchagi bo'yicha, chiqarish va kiritish jarayonlarining indikator diagrammasiga bog'lab keltirilgan. Shuni alohida qayd etish lozimki, gaz taqsimlash fazalari hamda kiritish va chiqarish traktlarining asosiy geometrik o'lchamlari va printsiipial kompanovka sxemalari tajribaviy ma'lumotlar asosida belgilanadi va dvigatelning yangi modeli eksperimental me'yoriga yetkazilayotganda aniqlashtiriladi. Gaz taqsimlash fazalarini, kiritish traktining asosiy geometrik o'lchamlarini va printsiipial sxemalarni, hamda boshlang'ich sharoitlar – atrof-muhit, ishlangan gazlar va yangi zaryad haroratlari va bosimlarini to'g'ri tanlash – yangi dvigatelni muvaffaqiyatli hisoblash, keyin esa uni yaratish imkonini beradi.

32

o'zgarmas ($r''a$ to'g'ri chizig'i) deb qabul qilinadi. Hisoblab bo'lgandan va r , r'' va a nuqtalarning koordinatalari olingandan keyin ra' egri chizig'i bo'ylab yoy ko'rinishida chiziladi.

Atrof-muhit bosimi va harorati. Dvigatel nadduvsiz ishlaganida silindrga atmosferadan havo kiradi. Bu holda dvigatel ishchi siklini hisoblashda atrof-muhit bosimi $p_0=0,1$ MPa va harorati $T_0=293$ K deb qabul qilinadi.

Nadduvli avtomobil va traktor dvigatellari ishlanganida silindrga havo kompressor (haydagich)dan kiradi, u yerda havo siqiladi. Shu bois nadduvli dvigatel ishchi sikli hisoblanganda atrof-muhitning bosimi va harorati kompressordan chiqayotgan havoning bosimi p_k va harorati T_k ga teng deb qabul qilinadi. Oraliq muzlatgichi bo'lganda havo haydagichdan unga kiradi, so'ngra undan dvigatel silindriga o'tadi. Bu holda sovutkichdan chiqqan havoning bosimi va harorati atrof-muhit bosimi p_k va harorati T_k sifatida qabul qilinadi.

Nadduv darajasiga qarab nadduv havosi bosimi p_k ning quyidagi qiymatlari qabul qilinadi:

Past bosimli nadduvda	$1,5 p_0$
O'rta bosimli nadduvda	$(1,5 \dots 2,2) p_0$
Yuqori bosimli nadduvda	$(2,2 \dots 2,5) p_0$
Kompressordan chiqqan havo harorati	

$$T_k = T_0 \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{n_k-1}{n_k}}, \quad (1.25)$$

bu yerda n_k – kompressor (haydagich)dagi havo siqish politropasining ko'rsatkichi.

Bu ifodadan shu xulosaga kelinadiki, nadduv havosining harorati haydagichda bosim ortishi darajasiga va siqish politropasining ko'rsatkichiga bog'liq.

Nadduv agregatining turi va sovitish darajasiga bog'liq holda tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha n_k ning quyidagi qiymatlarini qabul qilishadi:

Porshenli dvigatellar uchun	$1,4 \dots 1,6$
Hajmiy haydagichlar uchun	$1,55 \dots 1,75$
O'qli va markazdan qochma haydagichlar uchun	$1,4 \dots 2,0$
T_k haroratni quyidagi ifoda yordamida topish mumkin	

$$T_k = T_0 \left[1 + \frac{\left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_{ad,k}} \right], \quad (1.26)$$

bu yerda $\eta_{ad,k} = 0,66 \dots 0,80$ – kompressorning adiabatik f.i.k.

Qoldiq gazlar bosimi. Dvigatel silindrida, kiritish jarayoni boshlanishidan oldin, doim qoldiq gazlarning qanchadir miqdori bo‘ladi. ular chiqarish jarayonidan keyin yonish kamerasi hajmi V_c da qoladi (1.6-rasm). Qoldiq gazlar bosimi klapanlar soni va joylashishiga, kiritish va chiqarish traktlarining qarshiliklariga, gaz taqsimlash fazalariga, nadduv xarakteriga, dvigatel aylanishlar soni va yukiga, sovitish tizimi va boshqa omillarga bog‘liq

Nadduvli va nadduvsiz avtomobil va traktor dvigatellari uchun qoldiq gazlar bosimi (MPa)

$$p_r = (1,05 \dots 1,25) \cdot p_0.$$

Tirsakli val aylanishlar chastotasi katta bo‘lgan dvigatellar uchun p_r ning katta qiymatlari olinadi. Yonilg‘i bevosita purkaladigan va ta‘minlash tizimi elektron boshqariladigan dvigatellar uchun p_r ning kichik qiymatlari xarakterli bo‘ladi.

Nadduvli dvigatellar va chiqarish traktida gaz turbinasi bo‘lgan dvigatellar uchun

$$p_r = (0,75 \dots 0,98) p_k. \quad (1.27)$$

Tirsakli val aylanishlar chastotasi kamayishi bilan qoldiq gazlar bosimi sezilarli darajada pasayadi. Dvigatel nominal ish rejimida p_r qiymati tanlab olinib, dvigatelning har xil ish rejimlarida p_r qiymatini aniqlash zarurati tug‘ilganda quyidagi taqribiy formuladan foydalanish mumkin

$$p_r = r_0 \cdot (1,035 + A_p \cdot 10^{-8} n^2), \quad (1.28)$$

bu yerda $A_p = (p_{rN} - 1,035 \cdot r_0) \cdot 10^8 / (r_0 n_N^2)$;

p_{rN} – nominal rejimda qoldiq gazlar bosimi, MPa;

n_N – nominal rejimda tirsakli val aylanishlar chastotasi, ayl/min.

Qoldiq gazlar harorati. Dvigatel turi, siqish darajasi, aylanishlar chastotasi va havo ortiqqligi koeffitsiyentiga bog‘liq holda qoldiq gazlar harorati T_r ning qiymati quyidagi oraliqlarda bo‘ladi

Uchqundan alanganadigan dvigatellar uchun ...	900 1100 K
Dizellar uchun	600 900 K

Gazli dvigatellar uchun 750...1000 K

T_c qiymatini qabul qilishda quyidagilarni inobatga olish lozim: siqish darajasi kattalashganda va ishchi aralashma boyiganda qoldiq gazlar harorati pasayadi, aylanishlar chastotasi ortganda esa kattalashadi.

Yangi zaryad qizishi harorati. Silindr to'lishi jarayonida yangi zaryad harorati yonish kamerasining qizigan detallaridan isishi tufayli biroz ko'tariladi. Isish harorati qiymati ΔT kiritish truboprovodining joylashishi va konstruksiyasiga, sovitish tizimiga, isitish uchun maxsus qurilma mavjudligiga, aylanishlar chastotasi va nadduvga bog'liq. Haroratning ko'tarilishi yonilg'ining bug'lanish jarayonini yaxshilaydi, lekin zaryad zichligini kamaytiradi va natijada silindr to'lishiga salbiy ta'sir qiladi. Isish harorati ko'tarilishida vujudga keladigan bu ikkita omil ΔT qiymatini tanlashda hisobga olinishi zarur.

Dvigatel turiga qarab ΔT qiymatini quyidagi oraliklarda olishadi:

Uchqundan alangalanadigan dvigatellar uchun 0...20°

Nadduvsiz dizellar uchun 10...40°

Nadduvli dvigatellar uchun (-5)...(+10)°

Nadduvli dvigatellarda dvigatel detallari va nadduv havosi harorati orasidagi haroratlar farqi kam bo'lganligi sababli yangi zaryad isishining miqdori pasayadi. Purkalayotgan havoning harorati yuqori bo'lganda ΔT qiymati manfiy ham bo'lishi mumkin.

Dvigatelning tezlik rejimiga qarab ΔT qiymatining o'zgarishini dastlabki hisoblashda quyidagi nisbatdan aniqlash mumkin.

$$\Delta T = A_T (110 - 0.0125 n_N), \quad (1.29)$$

bu yerda

$$A_T = \frac{\Delta T}{(110 - 0.0125 n_N)}; \quad (1.30)$$

ΔT va n_N – dvigatelning nominal ish rejimida mos ravishda isish harorati va tirsakli val aylanishlar chastotasi

Kiritish oxirida bosim. Kiritish oxiridagi bosim (MPa) – dvigatel silindriga kirgan ishchi jism miqdorini aniqlovchi asosiy omildir:

$$p_a = r_k - \Delta p_a \quad \text{yoki} \quad p_a = r_0 - \Delta p_a. \quad (1.31)$$

Kiritish tizimi qarshiligi va silindrda zaryad harakati tezligining so'nishi hisobiga bosim pasayishini Δp_a birinchi yaqinlashuvda

Bernulli tenglamasidan aniqlash mumkin

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{kir})(\omega_{kir}^2/2) \cdot \rho_k \cdot 10^{-6}, \quad (1.32)$$

bu yerda β – silindrning koʻrilayotgan kesimida zaryad tezligi soʻnishi koʻeffitsiyenti;

ξ_{kir} – kiritish tizimining eng tor kesimidagi qarshilik koʻeffitsiyenti;

ω_{kir} – kiritish tizimining eng tor joyida (odatda, klapan va uning oʻrindigʻi orasidagi oʻtish kesimida) zaryad harakatining oʻrtacha tezligi;

ρ_k va ρ_0 – kiritishda (mos ravishda nadduvli va nadduvsiz dvigatellarda) zaryad zichligi ($\rho_k = \rho_0$ boʻlganda $\rho_k = \rho_0$).

Tajribaviy maʼlumotlarga koʻra zamonaviy avtomobil dvigatellarida nominal ish rejimida $(\beta^2 + \xi_{kir}) = 2,5 \dots 4,0$ va $\omega_{kir} = 50 \dots 130$ m/s. Elektron purkaladigan dvigatellar uchun, karbyurator boʻlmaganligi sababli, $(\beta^2 + \xi_{kir})$ qiymatlari kichikroq olinadi.

Oʻtish kesimlari kattalashtirilganda, klapanlar shakli silliq qilinganda, kiritish tizimining ichki yuzalariga ishlov berilganida, gaz taqsimlash fazalari toʻgʻri tanlanganda kiritish tizimidagi gidravlik yoʻqotishlar kamayadi.

Kiritishda zaryad zichligi (kg/m^3)

$$\rho_k = \rho_k \cdot 10^6 / (R_h T_k) \quad \text{yoki} \quad \rho_0 = \rho_0 \cdot 10^6 / (R_h T_0), \quad (1.33)$$

bu yerda R_h – havoning solishtirma gaz doimiysi:

$$R_h = R/\mu_h = 8315/28,96 = 287 \text{ J/(kg} \cdot \text{grad)},$$

bu yerda $R = 8315 \text{ J/(kmol} \cdot \text{grad)}$ – universal gaz doimiysi

Kiritish tizimining eng kichik kesimida zaryad harakatining oʻrtacha tezligi

$$\omega_{kir} = v_{n \max} \cdot \frac{F_p}{f_{kir}} = \frac{\pi \cdot R}{30} \cdot n \sqrt{1 + \lambda^2} \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot f_{kir}} = n \frac{R \cdot \pi^2 \cdot D^2}{120 \cdot f_{kir}} \sqrt{1 + \lambda^2} = A_n \cdot n, \quad (1.34)$$

bu yerda F_p – porshen yuzasi, m^2 ;

f_{kir} – kiritish tizimi eng kichik kesimining yuzasi, m^2 ;

R va D – mos ravishda krivoship radiusi va porshen diametri, m;

$\lambda = \frac{R}{r_{sh}}$ – krivoship radiusining shatun uzunligiga nisbati;

N – tirsakli val aylanishlar chastotasi, min^{-1} ;

$$A_n = (R\pi^2 D^2 \sqrt{1 + \lambda^2}) / (120 \cdot f_{kir})$$

(1.34) ni (1.32) formulaga qo'yib, quyidagini olamiz

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{kir})(A_n^2 \cdot n^2 / 2) \cdot \rho_k \cdot 10^{-6} \quad (1.35)$$

Nadduvsiz to'rt taktli dvigatellarda Δp_a qiymati quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

Uchqundan alangalanadigan dvigatellar uchun
 $\dots (0,05 \dots 0,20) \cdot p_0$

Nadduvsiz dizellar uchun
 $\dots (0,03 \dots 0,18) \cdot p_0$

Bir xil aylanishlar chastotasida dizellar benzinli dvigatellarga nisbatan Δp_a ning pastroq qiymatiga ega bo'ladilar, chunki ularda karbyurator yo'q va shuning uchun ularning kiritish tizimi ancha sodda bo'ladi.

Dvigatel nadduv bilan ishlaganda (1.6, b-rasm) p_a ning qiymati p_k ga yaqinlashadi, lekin kiritish organlari qarshiliklarining absolyut qiymati ortadi. Nadduvli to'rt taktli dvigatellar uchun $\Delta p_a = (0,03 \dots 0,10) \cdot p_k$ MPa.

Qoldiq gazlar koefitsiyenti. Qoldiq gazlar koefitsiyenti γ_r silindrning yonish mahsulotlaridan tozalanganligi sifatini tavsiflaydi. γ_r qiymati ortishi bilan kiritish jarayonida dvigatel silindriga kirayotgan yangi zaryad miqdori kamayadi.

To'rt taktli dvigatellar uchun produvkani va silindr dozaryadkasini hisobga olganda qoldiq gazlar koefitsiyenti

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \frac{\varphi_{toz} \cdot p_r}{\varepsilon \cdot \varphi_{toz} \cdot p_a - \varphi_{toz} \cdot p_r}, \quad (1.36)$$

produvka va dozaryadka hisobga olinmaganda ($\varphi_{toz} = \varphi_{doz} =$

1)

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r}, \quad (1.37)$$

bu yerda ε – siqish darajasi.

To'rt taktli dvigatellarda γ_r qiymati siqish darajasiga, kiritish oxiridagi ishchi jism parametrlariga, aylanishlar chastotasi va boshqa omillarga bog'liq. Siqish darajasi ε va qoldiq gazlar harorati T_r kattalashishi bilan γ_r qiymati kamayadi, qoldiq gazlar bosimi p_r va aylanishlar chastotasi n ortishi bilan – ortadi.

γ_r qiymati quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

Nadduvsiz benzinli va gazli dvigatellar uchun0,04...0,10
 Nadduvsiz dizellar uchun0,02...0,05
 Nadduv bo'lganda qoldiq gazlar ko'effitsiyentining qiymati pasayadi.

Kiritish oxirida gazlar harorati. Bu harorat (T_a K da) kiritish chizig'i bo'ylab r nuqtadan a nuqttagacha (1.6-rasm) tuzilgan issiqlik balansi tenglamasi bo'yicha yetarli darajadagi aniqlikda aniqlanadi:

$$M_1(mc_p)_{t_0}^{t_k}(T_k + \Delta T) + M_r(mc''_p)_{t_0}^{t_r}T_r = (M_1 + M_r)(mc'_p)_{t_0}^{t_a}T_a. \quad (1.38)$$

bu yerda $M_1(mc_p)_{t_0}^{t_k}(T_k + \Delta T)$ – devordan isishini hisobga olgan holda

yangi zaryad olib kelgan issiqlik miqdori;

$M_r(mc''_p)_{t_0}^{t_r}T_r$ – qoldiq gazlar tarkibidagi issiqlik miqdori;

$(M_1 + M_r)(mc'_p)_{t_0}^{t_a}T_a$ – ishchi aralashma tarkibidagi issiqlik miqdori.

(1.38) tenglamada $(mc_p)_{t_0}^{t_k} = (mc''_p)_{t_0}^{t_r} = (mc'_p)_{t_0}^{t_a}$ deb qabul qilib, quyidagini hosil qilamiz

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 - \gamma_r). \quad (1.39)$$

T_a qiymati asosan ishchi jism haroratiga, qoldiq gazlar ko'effitsiyentiga, zaryadning isishi darajasiga va kam darajada qoldiq gazlar haroratiga bog'liq.

Zamonaviy to'rt taktli dvigatellarda kiritish oxiridagi harorat T_a quyidagi chegaralarda o'zgaradi:

Benzinli dvigatellar uchun320...370 K

Dizellar uchun310...350 K

Nadduvli to'rt taktli dvigatellar uchun320...400 K

To'lish ko'effitsiyenti. To'lish ko'effitsiyenti kiritish jarayonini tavsiflovchi eng muhim kattalik deb hisoblanadi. U silindrga kirgan yangi zaryad haqiqiy miqdorining, silindrdagi harorat va bosim atrof-muhit harorati va bosimiga teng bo'lganda, ishchi hajmda joylashishi mumkin bo'lgan zaryad miqdoriga bo'lgan nisbatiga teng:

$$\eta_v = \frac{G_h}{G_e} = \frac{V_h}{V_o} = \frac{M_h}{M_o}. \quad (1.40)$$

bu yerda G_h, V_h, M_h – kiritish jarayonida dvigatel silindriga kirgan yangi zaryadning haqiqiy miqdori, mos ravishda kg, m^3, mol

da;

$G_0, V_0, M_0 - p_0$ va T_0 (yoki p_k va T_k) bo'lganda silindrning ishchi

hajmiga joylashishi mumkin bo'lgan zaryad miqdori, mos ravishda kg, m^3, mol da.

Issiqlik balansi tenglamasidan (1.38) kiritish chizig'i bo'ylab to'lish ko'effitsiyentining kiritish jarayoni borishini tavsiflovchi boshqa parametrlar bilan bog'lanishi o'rnatiladi.

To'rt taktli dvigatellar uchun, silindr produvkasi va dozaryadkasini hisobga olgan holda

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} \cdot (\varphi_{toz} \cdot \varepsilon \cdot p_a - \varphi_{toz} \cdot p_r). \quad (1.41)$$

To'rt taktli dvigatellar uchun, silindr produvkasi va dozaryadkasini hisobga olmaganda ($\varphi_{toz} = \varphi_{doz} = 1$)

$$\eta_v = \frac{T_k}{T_k - \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_k} \cdot (\varepsilon \cdot p_a - p_r). \quad (1.42)$$

To'lish ko'effitsiyenti kattaligi asosan dvigatel taktiga, uning tezyurarliliga va gaz taqsimlash tizimining takomillashganlik darajasiga bog'liq.

(1.41) va (1.42) ifodalardan shu narsa ko'rinadiki, to'lish ko'effitsiyenti kiritish oxiridagi bosim kattalashishi bilan ortadi va chiqarish bosimi va ishchi aralashma isishining harorati ortishi bilan pasayadi.

Avtomobil va traktor dvigatellarining har xil turlari uchun, ular to'liq yuk ostida ishlaganida, to'lish ko'effitsiyentining qiymati quyidagi chegaralarda o'zgaradi:

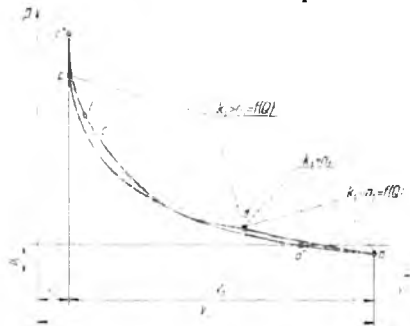
Elektron purkaladigan dvigatellar uchun	0,80...0,96
Karbyuratorli dvigatellar uchun	0,70...0,90
Nadduvsiz dizellar uchun	0,80...0,94
Nadduvli dizellar uchun	0,80...0,97

1.3.2. Siqish jarayoni

Siqish jarayoni davrida dvigatel silindridagi ishchi jismning harorati va bosimi ko'tariladi, bu yonilg'ining ishonchli alanganlanishini va effektiv yonishini ta'minlaydi.

Siqish jarayonida bosimning o'zgarishi 1.8-rasmda ko'rsatilgan. Real sharoitlarda siqish murakkab qonun bo'yicha sodir bo'ladi, u amalda termodinamik nisbatlarga bo'ysunmaydi, chunki bu jarayonda harorat va bosimning o'zgarishiga haroratga qarab ishchi jismning issiqlik sig'imi o'zgarishidan tashqari: porshen halqalaridagi

nozichliklar orqali gazning oqib o'tib ketishi, kiritish klapanlari yopilgan ongacha silindr dozaryadkasi (yoki orqaga qaytib chiqishi), ishchi jism va yonish kamerasi devorlari orasida issiqlik almashinuvi yo'nalishi va intensivligining o'zgarishi, yomlg'i bug'lanishi (faqat uchqun bilan o't oldiriladigan dvigatellarda), siqish jarayonining oxirida yonishning boshlanishi ham ta'sir qiladi.



1.8-rasm. Siqish jarayonida bosimning o'zgarishi

Haqiqiy siklda siqish jarayoni politropasi ko'rsatkichi n_1 o'zgaruvchi bo'lgan politropa bo'ylab kechadi deb shartli ravishda qabul qilingan (1.8-rasm, *adc* egri chizig'i), u siqishning boshlang'ich davrida (*ad* uchastkasi) adiabat ko'rsatkichi k_1 dan katta bo'ladi (yonish kamerasining qizigan detallaridan ishchi jismga issiqlik o'tadi), qaysidir onda *d* nuqta k_1 qiymatiga teng qiymatni qabul qiladi (yonish kamerasi devorlari harorati va ishchi jism harorati tenglashadi), keyin esa (*dc* uchastkasi) k_1 ga nisbatan kichik qiymatga ega bo'ladi (ishchi jismdan yonish kamerasi devorlariga issiqlik uzatiladi/yo'qotiladi).

O'zgaruvchi n_1 qiymatni aniqlash qiyinligi hamda hisoblar murakkablashib ketishi tufayli odatda "siqish jarayoni ko'rsatkichi n_1 o'zgarmas bo'lgan politropa bo'yicha sodir bo'ladi" (*ao''c'e* egri chizig'i) deb qabul qilinadi, uning qiymati o'zgaruvchi ko'rsatkich n_1 da qanday ish olinsa, xuddi shunday ish olinishini ta'minlaydi.

Siqish jarayonining hisobi siqish politropasining o'rtacha ko'rsatkichi n_1 ni, siqish oxiridagi parametrlarni (p_c va T_c) va siqish oxirida ishchi jism issiqlik sig'imini $(mc'_v)_{t_a}^{t_c}$ (t_c – aralashmaning siqish oxiridagi harorati, °S) aniqlashga keltiriladi.

n_l qiymati dvigatel tirsakli vali aylanishlar chastotasi siqish darajasi, silindr o'lchamlari, porshen va silindr materiali, issiqlik almashinuvi va boshqa omillarga bog'liq holda tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha belgilanadi.

Siqish jarayoni yetarli darajada tez (nominal rejimda 0,015...0,005 s) kechishi, siqish jarayonida ishchi jism va yonish kamerasi devorlari orasidagi yig'indi issiqlik almashinuvi juda oz bo'lishini hisobga olib, n_l qiymatini adiabataning o'rtacha ko'rsatkichi k_l bo'yicha baholash mumkin. 1.9-rasmda tasvirlangan nomogramma bo'yicha ε va T_a larning mos qiymatlari uchun k_l qiymati aniqlanadi. Nomogramma k_l ni T_a , T_c , ε va havoning issiqlik sig'imi $(mc'_V)_{t_a}^{t_c}$ lar bilan bog'lovchi tenglamalarni birgalikda yechish natijasida olingan:

$$k_1 = 1 + (\lg T_c - \lg T_a) / \lg \varepsilon, \quad (1.43)$$

$$k_1 = 1 + 8,315 / (mc'_V)_{t_a}^{t_c}, \quad (1.44)$$

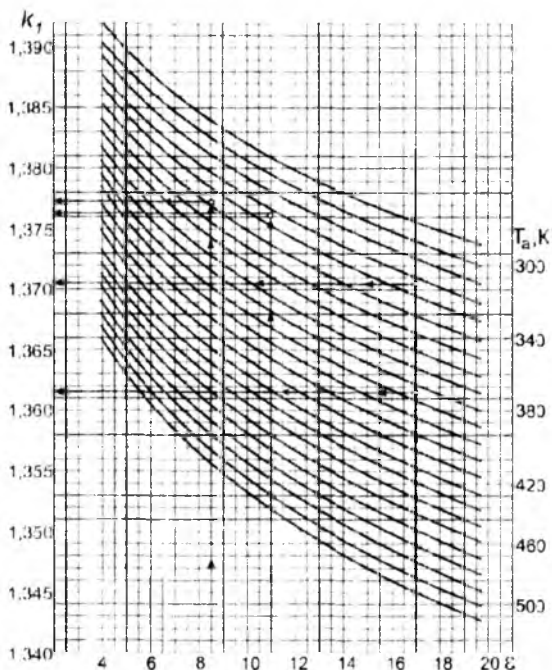
$$(mc'_V)_{t_a}^{t_c} = [(mc'_V)_{t_a}^{t_c} \cdot t_c - (mc'_V)_{t_0}^{t_a} \cdot t_a] / (t_c - t_a). \quad (1.45)$$

Agar (1.44) formulada havoning issiqlik sig'imi $(mc'_V)_{t_c}^{t_a}$ ishchi aralashmaning issiqlik sig'imi $(mc'_V)_{t_a}^{t_c}$ bilan almashtirilsa nomogrammani yanada aniqroq qurish mumkin.

Siqish politropasi ko'rsatkichi n_l qiymati k_l ning qiymatiga bog'langan holda quyidagi oraliqlarda qabul qilinadi:

Benzinli dvigatellar uchun $(k_l - 0,00) \dots (k_l - 0,04)$

Dizellar uchun $(k_l + 0,02) \dots (k_l - 0,02)$



1.9-rasm Siqish adiabatasi ko'rsatkichi k_1 ni aniqlash uchun nomogramma

T_a va ε qiymatlari bir xil bo'lganda n_1 qiymati dizellarga nisbatan benzinli dvigatellarda odatda kichikroq bo'ladi, chunki benzinli dvigatellarda yonilg'i-havo aralashmasi siqilganda yonilg'i bug'lanadi, bunda u issiqlikni yutadi. Bundan tashqari, yonilg'i bug'larining mavjudligi aralashmaning issiqlik sig'imini oshiradi. Bu ikkala omil n_1 qiymatini kichiklashtiradi.

Adiabataning mos ko'rsatkichi bo'yicha n_1 qiymatini aniqlashda dvigatel tirsakli vali aylanishlar chastotasi ortishi hamda sovitish yuzasining silindr hajmiga nisbati kamayishi bilan n_1 qiymati ortishini hisobga olish zarur. Siqish jarayoni o'rtacha haroratining ko'tarilishi va dvigatel sovitilishining intensivligi ortishi n_1 qiymatini kichiklashtiradi. Qolgan hamma sharoitlar bir xil bo'lganda havo bilan sovitiladigan dvigatellarda n_1 qiymati suyuqlik bilan sovitiladigan dvigatellarnikiga nisbatan yuqori bo'ladi.

Siqish jarayonining oxirida gazlarning bosimi (MPa) va harorati (K) ko'rsatkichi n_1 o'zgarmas bo'lgan politropa tenglamalaridan aniqlanadi:

$$p_c = p_a \cdot \epsilon^{n_1}, \quad (1.46)$$

$$T_c = T_a \cdot \epsilon^{n_1-1}. \quad (1.47)$$

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarida siqish oxiridagi bosim va harorat quyidagi oraliqlarda o'zgaradi

Elektron purkaladigan dvigatellar uchun..... $p_c = 1,0 \dots 2,5$ MPa

Karbyuratorli dvigatellar uchun..... $p_c = 0,9 \dots 2,0$ MPa

$T_c = 600 \dots 800$ K

Nadduvsiz tezyurar dizellar uchun..... $p_c = 3,5 \dots 5,5$ MPa

$T_c = 700 \dots 900$ K

Nadduvli dizellar uchun p_c va T_c qiymatlari nadduv darajasiga qarab kattalashadi.

Yangi aralashmaning o'rtacha mol issiqlik sig'imi siqish oxirida havoning issiqlik sig'imiga teng qilib olinadi va 1.2-jadvaldan yoki 1.3-jadvaldagi formula bo'yicha $0 \dots 1500$ °S haroratlar intervalida aniqlanadi. Qoldiq gazlarning siqish oxiridagi o'rtacha mol issiqlik sig'imi $(mc''_v)_{t_0}^{t_c}$ [kJ (kmol grad)] benzin uchun bevosita 1.4-jadvaldan yoki dizel yonilg'isi uchun 1.5-jadvaldan aniqlanishi mumkin.

Harorat , °S	Hajm o'zgarmas bo'lganda alohida gazlarning o'rtacha molli issiqlik sig'imi, kJ/(kmol·grad)						
	Havo	O ₂	N ₂	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
0	20,759	20,960	20,705	20,303	20,809	27,546	25,185
100	20,839	21,224	20,734	20,621	20,864	29,799	25,428
200	20,985	21,617	20,801	20,759	20,989	31,746	25,804
300	21,207	22,086	20,973	20,809	21,203	33,442	26,261
400	21,475	22,564	21,186	20,872	21,475	34,936	26,776
500	21,781	23,020	21,450	20,935	21,785	36,259	27,316
600	22,091	23,447	21,731	21,002	22,112	37,440	27,881
700	22,409	23,837	22,028	21,094	22,438	38,499	28,476
800	22,714	24,188	22,321	21,203	22,756	39,450	29,079
900	23,008	24,511	22,610	21,333	23,062	40,304	29,694
1000	23,284	24,804	22,882	21,475	23,351	41,079	30,306
1100	23,548	25,072	23,142	21,630	23,623	41,786	30,913
1200	23,795	25,319	23,393	21,793	23,878	42,427	31,511
1300	24,029	25,549	23,627	21,973	24,113	43,009	32,093
1400	24,251	25,763	23,849	22,153	24,339	43,545	32,663
1500	24,460	25,968	24,059	22,333	24,544	44,035	33,211
1600	24,653	26,160	24,251	22,518	24,737	44,487	33,743
1700	24,837	26,345	24,435	22,698	24,917	44,906	34,262
1800	25,005	26,520	24,603	22,878	25,089	45,291	34,756
1900	25,168	26,692	24,766	23,058	25,248	45,647	35,225
2000	25,327	26,855	24,917	23,234	25,394	45,977	35,682
2100	25,474	27,015	25,063	23,410	25,537	46,283	36,121
2200	25,612	27,169	25,202	23,577	25,666	46,568	36,540
2300	25,746	27,320	25,327	23,744	25,492	46,832	36,942
2400	26,871	27,471	25,449	23,908	25,909	47,079	37,331
2500	25,993	27,613	25,262	24,071	26,022	47,305	37,704
2600*	26,120	27,753	25,627	24,234	26,120	47,515	38,060
2700*	26,250	27,890	25,780	24,395	26,212	47,710	38,935
2800*	26,370	28,020	25,885	24,550	26,300	47,890	38,705

Agar ushbu jadvallardan $(mc''_v)_{t_0}^t$ qiymatini aniqlashning imkoni bo'lmasa (yonilg'i elementar tarkibining mos kelmasligi), u holda qoldiq gazlarning o'rtacha mol issiqlik sig'imi quyidagi formuladan aniqlanadi

$$(mc_V'')_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc_{VCO_2}'')_{t_0}^{t_c} + M_{CO} (mc_{VCO}'')_{t_0}^{t_c} + M_{H_2O} (mc_{VH_2O}'')_{t_0}^{t_c} + M_{H_2} (mc_{VH_2}'')_{t_0}^{t_c} + M_{N_2} (mc_{VN_2}'')_{t_0}^{t_c} + M_{O_2} (mc_{VO_2}'')_{t_0}^{t_c} \right], \quad (1.48)$$

Bu yerda yonish mahsulotlari alohida komponentlarining o'rtacha mol issiqlik sig'imi 1.2-jadvaldan bevosita yoki 1.3-jadvaldagi formulalar bo'yicha haroratlarning 0-1500 °S intervalida aniqlanadi.

1.3-jadval

Gaz nomi	Hajm o'zgarmas bo'lganda alohida gazlarning o'rtacha molli issiqlik sig'imlarini aniqlash uchun formulalar, kJ/(kmol·grad), quyidagi haroratlar uchun, °S	
	0 dan 1500 gacha	1501 dan 2800 gacha
Havo	$mc_V = 20,600 + 0,002638t$	$mc_V = 22,387 + 0,001449t$
Kislorod O ₂	$mc_{VO_2} = 20,930 + 0,004641t - 0,00000084t^2$	$mc_{VO_2} = 23,723 + 0,001550t$
Azot N ₂	$mc_{VN_2} = 20,398 + 0,0025t$	$mc_{VN_2} = 21,951 + 0,001457t$
Vodorod N ₂	$mc_{VH_2} = 20,684 + 0,00206t + 0,000000588t^2$	$mc_{VH_2} = 19,678 + 0,001758t$
Uglerod oksidi CO	$mc_{VCO} = 20,597 + 0,002670t$	$mc_{VCO} = 22,490 + 0,001430t$
Is gazi (Karbonat angidrid) CO ₂	$mc_{VCO_2} = 27,941 + 0,019t - 0,000005487t^2$	$mc_{VCO_2} = 39,213 + 0,003349t$
Suv bug'i H ₂ O	$mc_{VH_2O} = 24,953 + 0,05359t$	$mc_{VH_2O} = 26,670 + 0,004438t$

Ishchi aralashmaning (yangi aralashma + qoldiq gazlar) o'rtacha mol issiqlik sig'imi quyidagi tenglamadan aniqlanadi

$$(mc_V')_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1+\gamma_r} [(mc_V)_{t_0}^{t_c} + (mc_V'')_{t_0}^{t_c}]. \quad (1.49)$$

s nuqtaning parametrlari aniqlangandan so'ng yonish boshlanishini hisobga olish maqsadida siqish chizig'ini to'g'rilash amalga oshiriladi (1.8-rasmga qarang) c nuqtaning holati o't oldirish (purchash) ilgari burchagining qiymati bilan aniqlanadi. Zamonaviy tezyurar dvigatellar uchun o't oldirish ilgari burchagi nominal ish rejimida 30...40° oralig'ida, purchash ilgari burchagi esa – 15...25° oralig'ida bo'ladi. f nuqtaning holati (yonish chizig'ining siqish

chizig'idan ajralishi) ishchi aralashma alanganishining tutilib turish (yoki alanga frontining shakllanishi) davri bilan aniqlanadi. Siqish oxirida bosim taxminan $p_c''=(1,15...1,25) \cdot p_c$ gacha taxminan ko'tariladi (c'' nuqtasi).

1.4-jadval

Harorat , °S	Berilgan a uchun benzin yonish mahsulotlarining o'rtacha molli issiqlik sig'imi, kJ/(kmol·grad)											
	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
0	21.683	21.785	21.880	21.966	22.046	22.119	22.187	22.253	22.318	22.381	22.442	22.501
100	21.902	22.031	22.149	22.257	22.356	22.448	22.533	22.617	22.698	22.777	22.854	22.929
200	22.140	22.292	22.431	22.559	22.676	22.784	22.885	22.979	23.072	23.163	23.251	23.337
300	22.445	22.618	22.776	22.921	23.055	23.173	23.293	23.400	23.511	23.616	23.714	23.809
400	22.777	22.968	23.143	23.303	23.450	23.586	23.712	23.833	23.951	24.067	24.180	24.289
500	23.138	23.345	23.534	23.707	23.867	24.014	24.150	24.285	24.418	24.548	24.675	24.799
600	23.507	23.727	23.929	24.113	24.284	24.440	24.586	24.725	24.861	24.994	25.124	25.251
700	23.882	24.115	24.328	24.523	24.702	24.868	25.021	25.170	25.316	25.459	25.600	25.737
800	24.249	24.493	24.715	24.919	25.107	25.280	25.441	25.599	25.754	25.906	26.056	26.203
900	24.608	24.861	25.092	25.304	25.500	25.680	25.847	26.012	26.174	26.333	26.490	26.644
1000	24.949	25.211	25.449	25.668	25.870	26.056	26.229	26.398	26.564	26.727	26.887	27.044
1100	25.276	25.545	25.791	26.016	26.224	26.415	26.593	26.757	26.918	27.076	27.231	27.384
1200	25.590	25.866	26.118	26.349	26.562	26.768	26.940	27.100	27.257	27.411	27.563	27.712
1300	25.887	26.168	26.426	26.662	26.879	27.080	27.265	27.436	27.603	27.767	27.928	28.086
1400	26.099	26.456	26.719	26.959	27.130	27.385	27.574	27.726	27.891	28.051	28.208	28.362
1500	26.436	26.728	26.995	27.240	27.465	27.673	27.866	28.044	28.217	28.386	28.551	28.713
1600	26.685	26.982	27.253	27.501	27.729	27.941	28.136	28.316	28.491	28.662	28.830	28.995
1700	26.924	27.225	27.499	27.751	27.983	28.197	28.395	28.578	28.757	28.932	29.104	29.273
1800	27.147	27.451	27.728	27.983	28.218	28.434	28.634	28.819	28.999	29.175	29.348	29.518
1900	27.359	27.667	27.948	28.205	28.442	28.661	28.863	29.058	29.248	29.433	29.614	29.791
2000	27.559	27.870	28.153	28.413	28.652	28.873	29.078	29.268	29.453	29.634	29.811	29.985
2100	27.752	28.065	28.351	28.613	28.854	29.077	29.283	29.474	29.660	29.842	30.020	30.195
2200	27.935	28.251	28.539	28.803	29.046	29.278	29.478	29.665	29.848	30.027	30.203	30.376
2300	28.104	28.422	28.712	28.987	29.223	29.449	29.658	29.844	30.027	30.207	30.384	30.558
2400	28.268	28.588	28.879	29.147	29.394	29.621	29.832	30.035	30.229	30.414	30.590	30.766
2500	28.422	28.744	29.037	29.305	29.553	29.782	29.993	30.185	30.368	30.543	30.719	30.895
2600	28.570	28.892	29.187	29.458	29.706	29.936	30.149	30.344	30.530	30.707	30.884	31.061
2700	28.711	29.036	29.332	29.604	29.854	30.085	30.298	30.494	30.681	30.860	31.039	31.217
2800	28.847	29.173	29.470	29.743	29.994	30.226	30.440	30.637	30.827	31.010	31.187	31.364

Harorat, t, °S	Berilgan α uchun dizel yonilg'isi yonish mahsulotlarining o'rtacha molli issiqlik sig'imi, kJ/(kmol·grad)											
	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
0	22,184	22,061	21,958	21,870	21,794	21,728	21,670	21,572	21,493	21,428	21,374	21,328
100	22,545	22,398	22,275	22,169	22,078	21,999	21,929	21,812	21,717	21,640	21,574	21,519
200	22,908	22,742	22,602	22,482	22,379	22,289	22,210	22,077	21,970	21,882	21,808	21,745
300	23,324	23,142	22,989	22,858	22,745	22,647	22,560	22,415	22,300	22,212	22,121	22,052
400	23,750	23,554	23,390	23,249	23,128	23,022	22,930	22,774	22,648	22,544	22,457	22,384
500	24,192	23,985	23,811	23,662	23,533	23,421	23,322	23,157	23,032	22,914	22,822	22,743
600	24,631	24,413	24,229	24,073	23,937	23,819	23,716	23,541	23,401	23,285	23,188	23,106
700	25,069	24,840	24,648	24,484	24,342	24,218	24,109	23,927	23,780	23,659	23,557	23,471
800	25,490	25,251	25,050	24,879	24,731	24,602	24,488	24,298	24,144	24,018	23,912	23,822
900	25,896	25,648	25,439	25,261	25,107	24,973	24,855	24,657	24,487	24,366	24,256	24,162
1000	26,278	26,021	25,804	25,620	25,460	25,321	25,199	24,993	24,828	24,692	24,578	24,481
1100	26,641	26,375	26,151	25,960	25,795	25,652	25,525	25,313	25,142	25,001	24,883	24,783
1200	26,987	26,713	26,482	26,286	26,116	25,967	25,837	25,618	25,442	25,296	25,175	25,071
1300	27,311	27,024	26,792	26,589	26,415	26,262	26,128	25,903	25,722	25,572	25,447	25,341
1400	27,618	27,328	27,085	26,877	26,698	26,541	26,404	26,173	25,986	25,833	25,705	25,596
1500	27,907	27,610	27,361	27,148	26,965	26,805	26,664	26,427	26,237	26,080	25,948	25,836
1600	28,175	27,873	27,618	27,400	27,212	27,049	26,905	26,663	26,468	26,308	26,173	26,059
1700	28,432	28,123	27,863	27,641	27,449	27,282	27,135	26,888	26,690	26,526	26,389	26,272
1800	28,669	28,354	28,089	27,863	27,668	27,497	27,348	27,096	26,894	26,727	26,587	26,469
1900	28,895	28,575	28,305	28,076	27,877	27,704	27,552	27,296	27,090	26,921	26,781	26,658
2000	29,107	28,782	28,508	28,275	28,073	27,898	27,743	27,483	27,274	27,102	26,958	26,835
2100	29,310	28,980	28,703	28,466	28,262	28,083	27,926	27,663	27,451	27,276	27,130	27,005
2200	29,503	29,169	28,888	28,648	28,441	28,260	28,101	27,834	27,619	27,442	27,294	27,168
2300	29,680	29,342	29,057	28,815	28,605	28,422	28,261	27,991	27,774	27,595	27,444	27,317
2400	29,851	29,510	29,222	28,976	28,764	28,580	28,411	28,144	27,924	27,743	27,591	27,462
2500	30,011	29,666	29,375	29,127	28,913	28,726	28,562	28,286	28,064	27,881	27,728	27,598
2600	30,164	29,816	29,523	29,272	29,056	28,868	28,702	28,424	28,199	28,015	27,860	27,729
2700	30,311	29,960	29,664	29,412	29,194	29,004	28,837	28,557	28,331	28,144	27,988	27,856
2800	30,451	30,097	29,799	29,546	29,326	29,135	28,966	28,684	28,456	28,269	28,111	27,978

1.3.3. Yonish jarayoni

Yonish jarayoni – *dvigatel ishchi siklining asosiy jarayoni bo'lib, uning davomida yonilg'i yonishi natijasida ajralib chiqadigan issiqlik ishchi jism ichki energiyasining ortishiga va mexanik ishni bajarishga sarflanadi.*

Uchqundan alanganadigan dvigatellarda yonilg'i yonishi jarayonida bosimning o'zgarishi 1.10,*a*-rasmda, dizellardagi esa 1.10,*b*-rasmda ko'rsatilgan. Egri $c'fc''_{zh}$ chiziqlari yonish jarayonida dvigatel silindrlarida bosimning haqiqiy o'zgarishini sxematik tasvirlaydi. Real dvigatellarda yonish jarayoni, aniqrog'i – yonilg'ining yonib bo'lishi, z_h nuqtadan keyin ham kengayish chizig'ida davom etadi.

Yonish jarayoni borishi xarakteriga ko'p sonli turli omillar: kiritish va siqish jarayonlarining parametrlari, yonilg'i purkalishining sifati, dvigatel tirsakli valining aylanishlar chastotasi va b.lar ta'sir qiladi. Yonish jarayoni parametrlarining bir qator omillarga bog'liqligi hamda motor yonilg'ilari yonish jarayonining fizikaviy-kimyoviy mohiyati hozircha yetarli darajada o'rganilmagan.

Avtomobil va traktor dvigatellarining termodinamik hisobini soddalashtirish maqsadida quyidagilar qabul qilingan: uchqundan alangalanadigan dvigatellarda yonish jarayoni $V=const$, ya'ni izoxora bo'ylab (1.3-rasm, $cc''z$ to'g'ri chizig'i), siqishdan alangalanadigan dvigatellarda esa – dastlab $V=const$, so'ngra $r=const$ da, ya'ni issiqlik aralash kiritiladigan sikl bo'yicha (1.4-rasm, $cc''z'$ va $z'z$ to'g'ri chiziqlari) sodir bo'ladi.

Yonish jarayonini hisoblashdan maqsad – ko'rinadigan yonish oxirida silindrdagi gazlar harorati va hosimini (z va z_h nuqtalar), dizellarda esa -- V_z hajmini ham aniqlashdir.

Ko'rinadigan yonish oxiridagi gazning harorati T_z termodinamikaning birinchi qonuni asosida aniqlanadi, unga muvofiq $dQ = DU + dL$

Bu formulani avtomobil va traktor dvigatellariga qo'llaganda:

$\alpha \geq 1$ da yonishda

$$H_u - Q_{yo'q} = (U_z - U_c) + L_{cz}, \quad (1.50)$$

$\alpha < 1$ da yonishda

$$(H_u - \Delta H_u) - Q_{yo'q} = (U_z - U_c) + L_{cz}, \quad (1.50)$$

bu yerda H_u – yonilg'i yonishining quyi issiqligi, kJ;

$Q_{yo'q}$ – issiqlik uzatilishi, kengayish chizig'i bo'ylab yonilg'i yonib

bo'lishi va dissotsiatsiya tufayli issiqlik yo'qotilishi, kJ;

U_z – ko'rinadigan yonish oxirida gazlarning ichki energiyasi, kJ;

U_c – siqish oxirida ishchi aralashmaning ichki energiyasi, kJ;

L_{cz} – c nuqtadan z nuqttagacha oraliqda gazlarni kengaytirishga

sarflanadigan issiqlik (uchqundan alangalanadigan dvigatellar

uchun $L_{cz} = 0$). kJ.

czuchastkadagi issiqlik balansini qisqa ko'rinishda yozish mumkin

$$\xi_z H_u = (U_z - U_c) + L_{cz}, \quad (1.51)$$

$$\xi_z (H_u - \Delta H_u) = (U_z - U_c) + L_{cz}, \quad (1.52)$$

bu yerda $\xi_z [(H_u - \Delta H_u) - Q_{y o q}] / (H_u - \Delta H_u)$ – ko'rinadigan yonish uchastkasida issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti.

ξ_z koeffitsiyenti yonilg'i yonishi quyi issiqligining gaz ichki energiyasini $(U_z - U_c)$ oshirishga va L_{cz} ishni bajarishga sarflanadigan ulushini ifodalaydi.

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining qiymati dvigatel konstruksiyasi, uning ishlash rejimi, sovitish tizimi, yonish kamerasining shakli, aralashma hosil qilish usuli, havo ortiqqligi koeffitsiyenti va tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog'liq holda eksperimental ma'lumotlar asosida qabul qilinadi.

Tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha ξ_z qiymati dvigatel to'liq yuk ostida ishlaganda quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

Elektron purkagichli dvigatellar uchun.....	0,90...0,96
Karbyuratorli dvigatellar uchun.....	0,80...0,95
Ajralmagan yonish kamerali tezyurar dizellar uchun.....	0,70...0,88
Ajratilgan yonish kamerali dizellar uchun.....	0,65...0,80

Gazli dvigatellar uchun.....0,80...0,85

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining kichik qiymatlari aralashma hosil bo'lishi takomillashmagan dvigatellar uchun xarakterli bo'ladi. Gazlardan devorlarga issiqlik yo'qotilishining kamayishi, yonish kamerasi shaklini ratsional tanlash, kengayishda yonishning kamayishi va ishchi aralashma yonishi tezligining oshirilishini ta'minlovchi havo ortiqqligi koeffitsiyentini tanlash hisobiga ξ_z qiymatini oshirish mumkin. Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ξ_z qiymati dvigatel ishining tezligi va yuk rejimlariga ham bog'liq va odatda, yuk va aylanishlar soni pasayganda uning qiymati kichiklashadi.

Avtomobil va traktor dvigatellari uchun yonishning hisobiy tenglamasi issiqlik balansi tenglamalari (1.51) va (1.52)ni o'zgartirish yo'li bilan olinadi (1.10 va 1.11-rasmlarga qarang, cz uchastkasi).

$V = const$ da issiqlik kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dvigatellar uchun yonish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$\xi_z H_{ish.aral} + (mc'_V)_{t_0}^{t_c} \cdot t_c = \mu (mc''_V)_{t_0}^{t_z} \cdot t_z, \quad (1.53)$$

bu yerda $H_{ish.aral}$ – ishchi aralashmaning yonishi issiqligi, (1.51) yoki (1.52) – tenglamalardan topiladi;

$(mc'_V)_{t_0}^{t_c}$ – yonish jarayonining oxirida ishchi aralashmaning o'rtacha mol issiqlik sig'imi, (1.49) tenglamadan topiladi;

$(mc''_V)_{t_0}^{t_z}$ – yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'imi. uning qiymati quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$(mc''_V)_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_z} \left[M_{CO_2} (mc''_{V_{CO_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{CO} (mc''_{V_{CO}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2O} (mc''_{V_{H_2O}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2} (mc''_{V_{H_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{N_2} (mc''_{V_{N_2}})_{t_0}^{t_z} \right], \quad (1.54)$$

Issiqlik dastlab $V = const$, so'ngra $r = const$ da kiritiladigan aralash sikl bo'yicha ishlaydigan dvigatellar uchun yonish tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega

$$\xi_z H_{ish.aral} + [(mc'_V)_{t_0}^{t_c} + 8,315 \cdot \lambda_p] \cdot t_c + 2270(\lambda_p - \mu) = \mu (mc''_V)_{t_0}^{t_z} \cdot t_z, \quad (1.55)$$

bu yerda $\lambda_p = p_z/p_c$ – bosim ortishi darajasi; $2270 = 8,315 \cdot 273$.

Dizellar uchun bosim ortishi darajasining qiymati silindrga uzatilayotgan yonilg'i miqdori, yonish kamerasining shakli va aralashma hosil qilish usuliga qarab, tajribaviy ma'lumotlardan olinadi. Bundan tashqari bosim ortishi darajasi λ_p qiymatiga yonilg'i alangalanishining tutilib turish davri ta'sir qiladi, u kattalashishi bilan bosimning ortish darajasi ortadi:

– yonish kamerasi ajralmagan va hajmiy aralashma hosil bo'ladigan dizellar uchun $\lambda_p = 1,6 \dots 2,5$,

– uyurma kamerali va old kamerali dizellar uchun hamda yonish kamerasi ajralmagan va plyonkali aralashma hosil bo'ladigan dizellar uchun $\lambda_p = 1,2 \dots 1,8$,

– nadduvli dizellar uchun λ_p qiymati ko'rinadigan yonish jarayoni oxirida harorat va bosimning ruxsat etiladigan qiymatlari bilan belgilanadi.

Yonish tenglamalari (1.53) va (1.55)ga ikki noma'lum qiymatlar: ko'rinadigan yonish oxiridagi gazlar harorati t_z va yonish mahsulotlarining o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi $(mc_v'')_{t_0}^{t_z}$ yoki o'sha t_z haroratdagi o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi $(mc_p'')_{t_0}^{t_z}$ kiradi $(mc_v'')_{t_0}^{t_z}$ va/yoki $(mc_p'')_{t_0}^{t_z}$ qiymatlarini topish uchun jadvaliy qiymatlardan (1.2-jadvalga qarang) foydalaniladi va yonish tenglamasi t_z ga nisbatan ketma-ket yaqinlashuv metodi (t_z qiymatlarini tanlash) bilan yechiladi. $(mc_v'')_{t_0}^{t_z}$ yoki $(mc_p'')_{t_0}^{t_z}$ qiymatlarini aniqlashda taqribiy formulalardan foydalanilganda (1.3-jadvalga qarang) yonish tenglamasi, unga hamma ma'lum parametrlarning qiymatlari qo'yilganidan va o'zgartishlar kiritilganidan keyin, ikkinchi tartibli tenglama ko'rinishiga ega bo'ladi

$$A \cdot t_z^2 + B \cdot t_z - C = 0, \quad (1.56)$$

bu yerda A , V va S – ma'lum kattaliklarning son qiymatlari.

Bu yerdan

$$t_z = (-B + \sqrt{B^2 - 4AC}) / (2A), ^\circ\text{C} \text{ va } T_z = t_z + 273, K.$$

Ko'rinadigan yonish oxiridagi p_z bosimni aniqlash sikl amalga oshirilishining xarakteriga bog'liq.

Issiqlik $I = \text{const}$ da kiritiladigan dvigatellar uchun, bosim (MPa)

$$p_z = p_c \cdot \mu^{\frac{T_z}{T_c}}, \quad (1.57)$$

bosimning ortishi darajasi esa

$$\lambda_p = \frac{p_z}{p_c}. \quad (1.58)$$

Benzinli dvigatellar uchun $\lambda_p \approx 3,2 \dots 4,2$, gazli dvigatellar uchun $\lambda_p = 3 \dots 5$.

Issiqlik dastlab $V = \text{const}$, so'ngra $p = \text{const}$ da aralash kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dvigatellar uchun

$$p_z = \lambda_p \cdot p_c, \quad (1.59)$$

dastlabki kengayish koeffitsiyenti esa

$$\rho = \frac{\mu}{p_z/p_c} \cdot \frac{\mu}{\lambda_p T_c}, \quad (1.60)$$

Dizellar uchun $\rho = 1,2 \dots 1,7$.

Dastlabki kengayish jarayonida bo'shaydigan hajm:

$$V_i - V_c = V_c (\rho - 1). \quad (1.61)$$

Hisob bajarilib z va z' nuqtalarning koordinatalari topilganidan keyin yonishning hisobiy chiziqlari haqiqiyga yaqinlashtiriladi.

Issqlik $V = \text{const}$ da kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dvigatellar uchun (1.10-rasmga qarang) $p_{zh} = 0,85 \cdot p_z$. Alangalanish ushlanib qolishi davrining davomiyligiga bog'liq holda aniqlanadigan f nuqtaning holati $\Delta\varphi_1$ burchagining qiymati bilan aniqlanadi, u tirsakli val burilishi (t.v.b.) bo'yicha $5 \dots 18^\circ$ oraliqda o'zgaradi. z_h nuqtaning gorizontaal bo'yicha holati tirsakli val har gradusga burilganida bosim ortishining ruxsat etilgan tezligi $\Delta p / \Delta\varphi_2$ bilan aniqlanadi, bu yerda $\Delta p = p_{zh} - p_c$, $\Delta\varphi_2$ benzinli dvigatellar uchun t.v.b. bo'yicha $8 \dots 12^\circ$ oraliqda bo'ladi. Zamonaviy benzinli dvigatellar uchun $\Delta p / \Delta\varphi_2 = 0,1 \dots 0,4$ MPa/grad. t.v.b. oraliqda ishlash ruxsat etiladi. $\Delta p / \Delta\varphi_2 < 0,1$ bo'lganda kengayish chizig'i bo'ylab yonish sezilarli darajada ortadi, dvigatel tejamkorligi yomonlashadi, $\Delta p / \Delta\varphi_2 > 0,4$ bo'lganda esa bosim ortishi tezligining tez o'sishi ish bikrligini oshiradi, natijada bu yeyilish kuchayishiga olib keladi.

Issqlik aralash kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dizellar uchun $p_{zh} = p_z$ (1.4-rasmga qarang). Alangalanish tutilib qolish davri davomiyligiga ($0,001 \dots 0,003$ s) bog'liq bo'lgan f nuqtaning holati $\Delta\varphi_1$ burchagining qiymati bilan aniqlanadi, avtomobil va traktor dizellari uchun u $\Delta\varphi_1 = 0,2 \dots 0,5$ MPa/grad t.v.b. Hajmiy aralashma hosil bo'ladigan dizellar uchun bosim ortishining maksimal tezligi YuChHdan keyin $\Delta\varphi_2 = 6 \dots 10^\circ$ t.v.b.da $\Delta p / \Delta\varphi_2 = 1,0 \dots 1,2$ MPa/grad t.v.b.ga yetadi.

To'liq yuk bilan ishlaganda zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari uchun yonish oxiridagi harorat va bosim qiymatlari quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

Benzinli dvigatellar uchun $T_z = 2400 \dots 3100$ K

$$p_z = 3,5 \dots 7,5 \text{ MPa}$$

$$p_{zh} = 3,0 \dots 6,5 \text{ MPa}$$

Dizellar uchun $T_z = 1800 \dots 2300$ K

$$p_z = p_{zh} = 5,0 \dots 12,0 \text{ MPa}$$

Gazli dvigatellar uchun $T_z = 2200 \dots 2500$ K

$$p_z = 3,0 \dots 5,0 \text{ MPa}$$

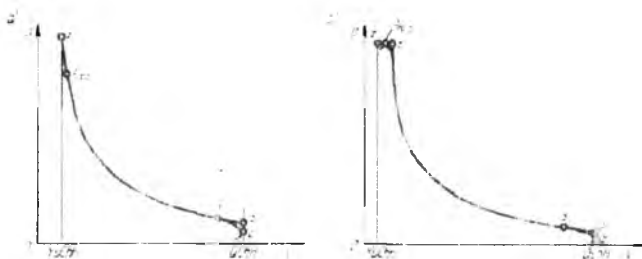
$$p_{zh} = 2,5 \dots 4,5 \text{ MPa}$$

Dizellarda benzinli va gazli dvigatellarga nisbatan yonish oxiri haroratining pastligi – havo ortiqqligi koeffitsiyenti α miqdorining kattaligi, ya'ni havoni qizdirishga issiqlikning ko'proq yo'qotilishida; ko'rinadigan yonish uchastkasida issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ε_z qiymatining kichikligida; yonish va kengayish davomida yonib bo'lish jarayonlari kechishining xarakterida; dastlabki kengayish jarayonida (z/z uchastkasi) ishini bajarish uchun issiqlikdan qisman foydalanishdadir.

1.3.4. Kengayish jarayoni

Kengayish jarayonida yonilg'ining issiqlik energiyasi mexanik ishga aylanadi.

Kengayish jarayonida bosimning o'zgarishi 1.10-rasmda ko'rsatilgan. $z_h b' b''$ egri chizig'i kengayish jarayonida dvigatel silindrlarida bosimning haqiqiy o'zgarishini sxematik tasvirlaydi. Real dvigatellarda kengayish murakkab qonun bo'yicha boradi, u gazlar va ularning atrofidagi devorlar orasida issiqlik almashinuviga, yonilg'i yonib tugashi natijasida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori va dissotsiatsiya mahsulotlarining qayta tiklanishiga, nozichliklar orqali gazning oqib chiqib ketishiga, kengayishda harorat pasayishi tufayli yonish mahsulotlarining issiqlik sig'imi kamayishiga, chiqarish boshlanishi (chiqarish klapanining oldindan ochilishi) bilan gazlar miqdorining kamayishiga bog'liq bo'ladi.



1.10-rasm Kengayish jarayonida bosim o'zgarishi

a – benzinli dvigatelniki; b – dizelniki

Siqish jarayonini ko'rib chiqqanimizdagi kabi, shartli ravishda haqiqiy sikldagi kengayish jarayoni ko'rsatkichi o'zgaruvchan bo'lgan politropa bo'yicha boradi deb qabul qilishadi, bu ko'rsatkich boshlang'ich davrda 0 dan 1 gacha o'zgaradi (yonish ham shu

darajada intensiv davom etadiki. kengayishga qaramasdan gazlar harorati ko'tarilib boradi), keyin bu ko'rsatkich ortishda davom etadi va adiabata ko'rsatkichi qiymatiga yetadi (yonish va dissotsiatsiya mahsulotlarining qayta tiklanishi hisobiga issiqlikning ajralib chiqishi kamayib boradi va issiqlik almashinuvi hamda nozichliklar orqali gazlarning oqib ketishi hisobiga) va, nihoyat, adiabata ko'rsatkichi qiymatidan tobora kattalashib boradi (issiqlik ajralib chiqishi issiqlik yo'qotilishidan kam bo'ladi). Hisoblarni soddalashtirish uchun kengayish jarayonining egri chizig'i ko'rsatkichi n_2 o'zgarmas bo'lgan politropa deb qabul qilinadi (1.10-rasm, $z b' b'$ egri chizig'i).

Kengayish politropasi o'rtacha ko'rsatkichi n_2 qiymati bir qator omillarga bog'liq holda tajribaviy ma'lumotlar asosida qabul qilinadi. Issiqlikdan foydalanish ko'effitsiyenti ortishi, porshen yo'li S ning silindr diametri D ga nisbati kattalashishi, sovitish intensivligi ortishi bilan n_2 qiymati kattalashib boradi. Yuk ortganda va silindrning chiziqli o'lchamlari ($S/D = \text{const}$ bo'lganda) kattalashganda kengayish politropasining o'rtacha ko'rsatkichi n_2 qiymati, odatda, kamayadi, lekin bu hamma turdagi dvigatellar uchun bir xil bo'lmaydi.

Tajribaviy ma'lumotlarga ko'ra kengayish politropasi ko'rsatkichi n_2 ning o'rtacha qiymati adiabata ko'rsatkichi k_2 dan biroz. odatda, kichik tarafga, farq qiladi. Yangi dvigatellarni loyihalashdagi dastlabki hisoblarda n_2 qiymatini ε (yoki δ), α va T_z larning mos qiymatlari uchun k_2 qiymati bo'yicha baholash mumkin.

Bu holda kengayish adiabatasiining ko'rsatkichi quyidagi ikki tenglamani birgalikda yechish natijasida aniqlanadi:

benzinli dvigatellar uchun

$$k_2 = 1 + (\lg T_z - \lg T_b) / \lg \varepsilon \quad (1.62)$$

dizellar uchun

$$k_2 = 1 + (\lg T_z - \lg T_b) / \lg \delta \quad (1.63)$$

va

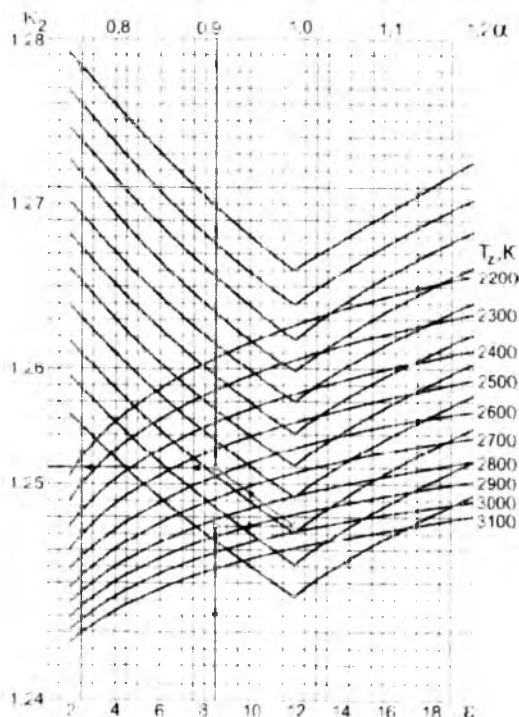
$$k_2 = 1 + 8,315 (mc'_V)_{t_b}^{t_z}, \quad (1.64)$$

bu yerda

$$(mc''_V)_{t_b}^{t_z} = [(mc''_V)_{t_b}^{t_z} - (mc''_V)_{t_b}^{t_b}] / (t_z - t_b). \quad (1.65)$$

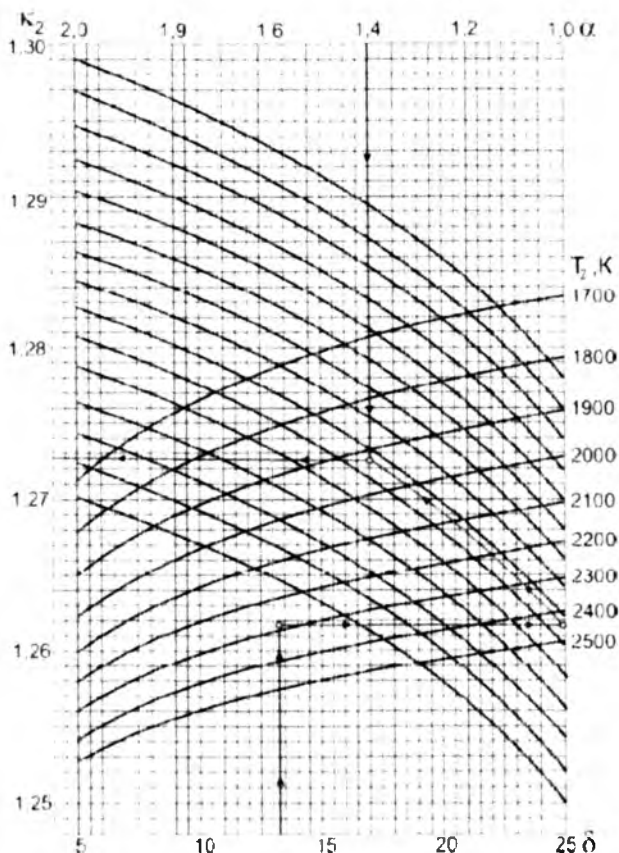
Bu tenglamalar k_2 va T_b qiymatlarini tanlash yo'li bilan juda murakkab va har xil aniqlik darajasida yechiladi (1.62)...(1.65) tenglamalar tizimi asosida k_2 qiymatini aniqlash bo'yicha hisoblarni soddalashtirish maqsadida yonish mahsulotlarining o'rtacha mol

issiqlik sig'imini aniqlash uchun nomogrammalar (1.11 va 1.12-rasmlar) qurilgan.



1.11-rasm. Benzinli dvigatel uchun kengayish adiabatasi ko'rsatkichi k_2 ni aniqlash nomogrammasi

Nomogramma bo'yicha k_2 qiymatini aniqlash quyidagicha amalga oshiriladi: ϵ (yoki dizellar uchun δ) va T_z larning mavjud qiymatlari bo'yicha $\alpha=1$ da k_2 qiymatiga mos bo'lgan nuqta aniqlanadi. Berilgan α da k_2 qiymatini topish uchun olingan nuqtani gorizontaal bo'ylab $\alpha=1$ ga mos vertikalga ko'chiriladi, so'ngra yordamchi egri chiziqlarga parallel holda α ning berilgan qiymatiga mos vertikalgacha ko'chiriladi. 1.11 va 1.12-rasmlarda hisoblanayotgan benzinli dvigatellar va dizellar uchun k_2 ni aniqlash ko'rsatilgan.



1.12-rasm Dizel uchun kengayish adiabatga ko'rsatkichi k_2 ni aniqlash nomogrammasi k_2 qiymati n_k rejim uchun aniqlangan

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari uchun indikator diagrammalar tahlilidan olingan n_2 ning o'rtacha qiymatlari (nominal yuk rejimi uchun) quyidagi chegaralarda o'zgaradi:

Benzinli dvigatellar uchun 1,23 ... 1,30

Dizellar uchun 1,18 ... 1,23

Gazli dvigatellar uchun 1,25 ... 1,35

Kengayish jarayoni oxiridagi bosim (MPa) va harorat (K) qiymatlari politropik jarayon formulalari bo'yicha aniqlanadi:

issiqlik o'zgarmas hajmda kiritiladigan dvigatellar uchun

$$p_o = p_z / \varepsilon^{n_2}, \quad (1.66)$$

$$T_b = T_z / \varepsilon^{\kappa-1}, \quad (1.67)$$

issiqlik aralash kiritiladigan dvigatellar uchun

$$p_b = p_z / \delta^{\kappa}, \quad (1.68)$$

$$T_b = T_z / \delta^{\kappa-1}, \quad (1.69)$$

bu yerda $\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}$ — keyingi kengayish darajasi.

Zamonaviy avtomobil va traktor nadduvsiz dvigatellari uchun bosim p_b va harorat T_b larning nominal ish rejimidagi taqribiy qiymatlari:

Benzinli dvigatellar uchun $p_b = 0,35 \dots 0,60$ MPa

$$T_b = 1200 \dots 1700 \text{ K}$$

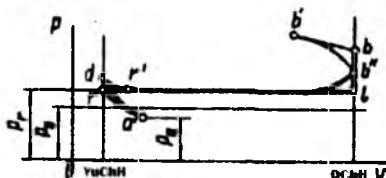
Dizellar uchun $p_b = 0,25 \dots 0,50$ MPa

$$T_b = 1000 \dots 1200 \text{ K}.$$

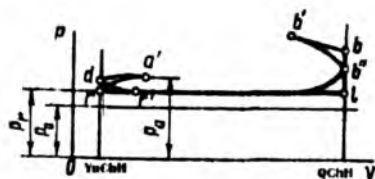
1.3.5. Chiqarish jarayoni va ekspluatatsiyada ishlangan gazlar zaharliligini kamaytiruvchi metodlar

Chiqarish jarayonida dvigatel silindridan ishlangan gazlar tashqariga chiqariladi.

Nadduvsiz to'rt taktli dvigatel silindridagi chiqarish jarayonida bosimning o'zgarishi 1.13-rasmda, nadduvli dvigatelniki esa 1.14-rasmda ko'rsatilgan. $b'b''r'da'$ egri chiziqlari chiqarish jarayonida dvigatel silindrida bosimning haqiqiy o'zgarishi sxematik ko'rsatilgan. Bu egri chiziqlardagi b' va a' nuqtalari mos ravishda chiqarish klapanlarining ochilish va berkilish onlarini tasvirlaydi. bl va lr to'g'ri chiziqlari chiqarish jarayonining hisobiy to'g'ri chiziqlari bo'lib, ular b va r nuqtalarning koordinatalari aniqlangandan keyin taxminiy $b''r'd$ egri chiziqlari bilan almashtiriladi.



1.13-rasm. Nadduvsiz dvigatelda chiqarish jarayonida bosimning o'zgarishi



1.14-rasm. Nadduvli dvigatelda chiqarish jarayonida bosimning o'zgarishi

Porshen QChHga yetib kelgunicha chiqarish klapanining ochilishi kengayishning foydali ishini ($b'b'b'$ yuzasi) kamaytirgani holda, silindrni yonish mahsulotlaridan sifatli tozalashga hamda ishlangan gazlarni silindrdan itarib chiqarishga sarflanadigan ishini kamaytiradi. Zamonaviy dvigatellarda chiqarish klapani porshen QChHga $40...80^\circ$ yetmasdan oldin ochiladi (b' nuqta) va shu ondan boshlab ishlangan gazlar silindrdan $600...700$ m/s kritik tezlikda chiqaboshlaydi. Ushbu davrda ishlangan gazlarning $60...70\%$ silindrdan chiqib ketadi. Porshenning keyingi. QChHdan YuChHga harakatida, gazlar silindrdan $200...250$ m/s tezlikda chiqadi, kech chiqarishda (porshen YuChHdan o'tgandan keyin) chiqadigan gazlarning tezligi $60...100$ m/s dan oshmaydi.

Chiqarish klapani porshen QChHdan $10...50^\circ$ o'tgandan keyin yopiladi, bu silindrni qoldiq gazlardan yaxshi tozalash imkonini beradi.

Kiritish jarayonini hisoblash boshlanishida (1.3.1-paragrafqa qarang) chiqarish jarayonining parametrlari p_r va T_r tanlanadi, qoldiq gazlar bosimi va harakati tanlangan qiymatlarining aniqligi quyidagi formula bo'yicha tekshiriladi.

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{p_b / p_r}}. \quad (1.70)$$

Dvigatelni loyihalashda nasos yo'qotishlari va qoldiq gazlar koeffitsiyenti ortib ketishiga yo'l qo'ymaslik uchun p_r qiymatini kichiklashtirishga intilishadi. Bundan tashqari, p_r qiymatining kattalashishi silindr to'lishi koeffitsiyentini kichiklashtiradi, yonish jarayonini yomonlashtiradi hamda qoldiq gazlar harorati va miqdorini kattalashtiradi. Gazturbinali nadduvli dvigatelda chiqarish oxirida bosimning kattalashuvi, odatda, kiritishda bosimning ortishi bilan kompensatsiyalanadi (1.14-rasm).

Oxirgi yillarda avtomobil va traktor parkining tez o'sishi ularning ekspluatatsiyasida dvigatellar ishlangan gazlarning zaharliligini kamaytirish muammosini o'tkir qo'ydi. Dvigatellarni ekspluatatsiya qilishda atmosferani ifloslantirishning asosiy manbai – yonish mahsulotlaridir, ulardagi zaharli komponentlar: uglerod oksidi (CO), azot oksidi (NO_x) va uglevodorodlar (C_nH_m). Bundan tashqari baklar, yonilg'i nasoslari, karbyuratorlar va karterlardan yonilg'i va moylar bug'lari atmosferaga o'tadi. Ma'lumotlarga ko'ra bir avtomobil dvigateli yil davomida atmosferaga taxminan 600 kg uglerod oksidi va 40 kg azot oksidlarini chiqarar ekan.

Hozirgi paytda zaharlilikni kamaytirish muammosi ham dvigatelni yaratuvchilar tomonidan va ham uni ekspluatatsiya qiluvchilar tomonidan yechilmoqda. Dvigatel konstruksiyasi nuqtai-nazaridan bu muammo uch asosiy yo'nalishda yechilmoqda.

1. Porshenli ichki yonuv dvigatellari mavjud turlarining ishchi jarayonlarini zaharli moddalarning ham yonish mahsulotlari va ham yonilg'i va moy bug'lari bilan atmosferaga chiqishini kamaytirish maqsadida takomillashtirish. Aralashma hosil qilish (masalan, elektron boshqariladigan ta'minlash tizimi) va yonish (masalan, yonish kamerasini takomillashtirish) jarayonlariga ta'sir qiluvchi turli usullarni qo'llash, siqish darajasi va tirsakli val aylanishlar chastotasini kamaytirish hisobiga dvigatellarni deforsirovka qilish; karterni ventilyatsiya qilish; yonish mahsulotlari tarkibida zaharliligi kam bo'lgan yonuvchi aralashmani tanlash va boshqa qator tadbirlar hozirning o'zida avtomobil va traktor dvigatellarini ekspluatatsiya qilish jarayonida atmosferani ifloslantirishni sezilarli darajada kamaytirish imkonini bermoqda.
2. Qo'shimcha qurilmalarni (neytralizatorlar, tutib olgichlar, dojigatel va sh.k.) ishlab chiqish va ularni dvigatelga o'rnatish ma'lum darajada yonish mahsulotlarini zaharli tashkil etuvchilardan tozalash imkonini beradi.
3. Avtomobil va traktorlarni ekspluatatsiya qilish jarayonida atrof-muhitni ifloslamaslik muammosini tubdan yechish imkonini beradigan printsipial yangi (elektr, inertsiya, akkumulyatorli, vodorodda ishlaydigan va b.) dvigatellarni

ishlab chiqish dvigatelsozlikda printsiplial strategik yo‘nalish hisoblanadi.

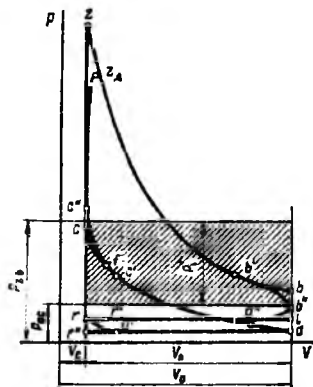
Avtomobil va traktorlarni ekspluatatsiya qilish nuqtai-nazaridan ushbu muammo yonilg‘i uzatuvchi apparaturani rostlash sifatiga qo‘yilgan talablarni oshirish; aralashma hosil qilish va yonish tizimlari va qurilmalarini takomillashtirish; gazsimon yonilg‘ilarni kengroq qo‘llash (ular yonish mahsulotlarining zaharililigi ancha kam) yo‘li bilan yechish mumkin.

1.4. Dvigatelning indikator va effektiv ko‘rsatkichlari

1.4.1. Ishchi siklning indikator parametrlari

Ichki yonuv dvigatelining ishchi sikli o‘rtacha indikator bosimi, indikator quvvati va indikator f.i.k. bilan tavsiflanadi.

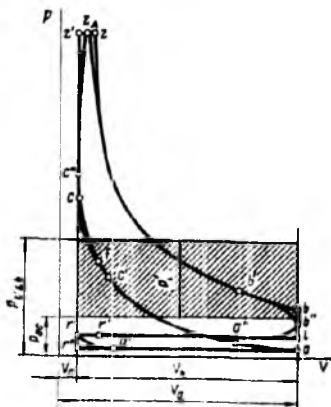
O‘rtacha indikator bosim. Uchqun bilan o‘t oldiriladigan dvigatel va dizelning butun ishchi sikli davomida bosimning o‘zgarishi hisobiy indikator diagrammalarda (1.15 va 1.16-rasmlar) ko‘rsatilgan. dumaloqlashtirilmagan diagrammalarning yuzasi (*aczba*) ma‘lum masshtabda dvigatel bir siklda gazlar bajargan nazariy hisobiy ishni ifodalaydi. Bu ishning porshen yo‘liga nisbati nazariy o‘rtacha indikator bosim p_i' bo‘ladi.



1.15-rasm. Benzinli dvigatelning indikator diagrammasi

Indikator diagramma bo‘yicha (1.15 va 1.16-rasmlar) p_i' ni grafik aniqlashda:

b) z_b egri chizig'i ostidagi (1.15-rasm) yoki $z_{\bar{z}b}$ egri chizig'i
agi (1.16-rasm) yuzani aniqlash, bu yuza kengayish ishini
laydi. Bu yuzani porshen yo'liga bo'lib, kengayish jarayonining
cha indikator bosimi qiymati p_{-b} voki $p_{\bar{z}b}$ ni topish;



1 16-rasm Dizelning indikator diagrammasi

v) benzinli dvigatel uchun $p'_i = p_{zb} - p_{ac}$ yoki dizel uchun $p'_i = p_{z'zb} - p_{ac}$ ni aniqlash;

g) tomonlari p'_i va V_h bo'lgan to'g'ri to'rtburchakning yuzasini va indikator diagramma yuzasi $ac(z'')zba$ ni bir-biri bilan solishtirish. p_{ac} , p_{zb} ($p_{z'h}$) va p'_i qiymatlari to'g'ri topilganda solishtirilayotgan yuzalar bir-biriga teng bo'lishi kerak.

U *const* da issiqlik kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan benzinli dvigatellar uchun (1.15-rasm) nazariy o'rtacha indikator bosim

$$p'_i = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\frac{\lambda_p}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) \right]. \quad (1.71)$$

Issiqlik aralash kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dizel uchun (1.16-rasm) nazariy o'rtacha indikator bosim

$$p'_i = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\frac{\lambda_p \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) + \lambda_p (\rho - 1) \right]. \quad (1.72)$$

Haqiqiy siklning oʻrtacha indikator bosimi p_p' qiymatidan c, z, b nuqtalarida silliqlash hisobiga hisobiy diagramma kamayishiga proporsional qiymatga farq qiladi.

Haqiqiy siklning hisobiy sikldan ogʻishi tufayli nazariy oʻrtacha indikator bosimning kamayishi diagramma toʻliqligi koeffitsiyenti φ_i va nasos yoʻqotishlarining oʻrtacha bosimi Δp_i qiymati bilan baholanadi.

Diagramma toʻliqligi koeffitsiyenti φ_i qiymati quyidagi oraliqlarda olinadi:

Yonilgʻi elektron purkaladigan dvigatellar uchun	0,95...0,98
Karbyuratorli dvigatellar uchun	0,94...0,97
Dizellar uchun	0,92...0,95
Kiritish va chiqarish jarayonlarida nasos yoʻqotishlarining oʻrtacha bosimi	

$$\Delta p_i = p_r - p_c. \quad (1.73)$$

Nadduvsiz toʻrt taktli dvigatellar uchun Δp_i qiymati musbat boʻladi. Yuritmal haydagichli nadduvli dvigatellarda $p_a > p_r$ boʻlganda Δp_i qiymati manfiy boʻladi. Gaz turbinali nadduvda p_a qiymati p_r qiymatidan ham katta va ham kichik boʻlishi mumkin, yaʼni Δp_i qiymati ham manfiy va ham musbat boʻlishi mumkin.

Hisoblarni bajarishda gaz almashtirishga boʻlgan yoʻqotishlar mexanik yoʻqotishlarga sarflanadigan ishda hisobga olinadi, chunki ishqalanish ishini eksperimental aniqlashda odatda dvigatelni prokrutka qilish metodidan foydalaniladi va, tabiiyki, bu metod bilan dvigatelni prokrutka qilishga boʻlgan mexanik yoʻqotishlarda nasos yoʻliga boʻlgan sarflar ham hisobga olinadi. Shunga asosan quyidagilar qabul qilingan: oʻrtacha indikator bosim p_p' dan faqat diagramma toʻliqligi koeffitsiyentiga farqlanadi

$$p_i = \varphi_i p_p'. \quad (1.74)$$

Toʻliq yuk ostida ishlaganda p_i qiymati (MPa)

Toʻrt taktli benzinli dvigatellar uchun	0,6...1,4
Toʻrt taktli forsirovka qilingan benzinli dvigatellar uchun	1,6 gacha
Toʻrt taktli nadduvsiz dizellar uchun	0,7...1,1
Toʻrt taktli nadduvli dizellar uchun	2,2 gacha

Nadduvsiz dizellarda benzinli dvigatellarga nisbatan o'rtacha indikator bosim qiymatining kichikligiga sabab – ular katta havo ortiqligi koeffitsiyenti bilan ishlaydilar. Bu silindr ishchi hajmidan to'liq foydalanmaslikka va ortiqcha havoni qizdirishga qo'shimcha issiqlik yo'qotilishiga sabab bo'ladi.

Indikator quvvat. *Dvigatelning indikator quvvati N_i – bu vaqt birligida silindr ichida gazlar bajaradigan ishdur.*

Ko'p silindrli dvigatel uchun (kVt)

$$N_i = p_i V_h i n / (30\tau), \quad (1.75)$$

bu yerda p_i – o'rtacha indikator bosim, MPa;

V_h – bir silindrning ishchi hajmi, l (dm^3);

i – silindrlar soni;

n – tirsakli valning aylanishlar chastotasi, ayl/min;

τ – dvigatel taktliligi.

To'rt taktli dvigatellar uchun

$$N_i = p_i V_h i n / 120 \quad (1.76)$$

Bir silindrning indikator quvvati

$$N_{i1} = p_i V_h n / (30\tau) \quad (1.77)$$

Indikator f.i.k. va yonilg'ining solishtirma indikator sarfi.

Indikator f.i.k. η_i foydali ishni olish uchun yonilg'i issiqlicidan haqiqiy siklda foydalanganlik darajasini tavsiflaydi va u siklning indikator ishiga ekvivalent bo'lgan issiqlikning yonilg'i bilan silindrga kirgan issiqlikning to'liq miqdoriga nisbatiga teng.

1 kg yonilg'i uchun

$$\eta_i = L_i / H_u, \quad (1.78)$$

bu yerda L_i – indikator ishga ekvivalent bo'lgan issiqlik, MJ/kg;

H_u – yonilg'i yonishining quyi issiqliciga, MJ/kg.

Demak, indikator f.i.k. haqiqiy sikldagi hamma issiqlik yo'qotishlarini hisobga oladi.

Suyuq yonilg'ida ishlaydigan avtomobil va traktor dvigatellari uchun

$$\eta_i = \frac{p_i l_0}{H_u \rho_k \eta_k}, \quad (1.79)$$

bu yerda p_i – MPa da; l_0 – kg/kg yonilg'i da; H_u – MJ/kg yonilg'ida; ρ_k – kg/m³ da ifodalangan.

Gazsimon yonilg'ida ishlaydigan avtomobil va traktor dvigatellari uchun

$$\eta_i = 371,2 \cdot 10^{-6} \frac{M'_i T_k p_i}{H'_u p_i \eta_i}, \quad (1.80)$$

bu yerda M'_i – mol/mol yonilg'i da; T_k – K da; p_i va p_k – MPa da; H'_u – MJ/m³ da ifodalangan.

Nominal rejimda ishlayotgan zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari uchun indikator f.i.k ning qiymatlari:

yonilg'i elektron purkaladigan dvigatellar uchun	0,35...0,45
karbyuratorli dvigatellar uchun	0,30...0,40
dizellar uchun	0,40...0,50
gazli dvigatellar uchun	0,28...0,35
Suyuq yonilg'ining indikator solishtirma sarfi [g/(kVt·soat)]	

$$g_i = 3600 / (\eta_i H'_u) \text{ yoki } g_i = 3600 \rho_k \eta_i / (p_i l \alpha). \quad (1.81)$$

Gazsimon yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun gazsimon yonilg'ining indikator solishtirma sarfi [m³/(kVt·soat)]

$$v_i = 3,6 / (\eta_i H'_u) \text{ yoki } v_i = 9700 \eta_i p_k / (M'_i T_k p_i). \quad (1.82)$$

Quvvat birligini ishlab chiqish uchun yonilg'ining solishtirma sarfi [MJ/(kVt·soat)]

$$q_i = v_i H'_u = 9700 \eta_i \rho_k H'_u / (M'_i T_k p_i) \quad (1.83)$$

(1.81) – (1.83) formulalarda; p_i va p_k – MPa da; ρ_k – kg/m³ da; H'_u – MJ/kg da; H'_u – MJ/m³ da; l_0 – kg/kg yonilg'i da; M'_i – mol/mol yonilg'i da; T_k – K da ifodalangan.

Nominal rejimda yonilg'ining solishtirma sarfi:

Yonilg'i elektron purkaladigan

dvigatellar uchun $g_i = 180 \dots 230$ g/(kVt·s)

Karbyuratorli dvigatellar uchun $g_i = 210 \dots 275$ g/(kVt·s)

Dizellar uchun $g_i = 170 \dots 210$ g/(kVt·s)

Gazli dvigatellar uchun $g_i = 180 \dots 230$ g/(kVt·s)

1.4.2. Ishchi siklining effektiv parametrlari

Dvigatel ishini tavsiflovchi parametrlar indikator ko'rsatkichlardan har xil mexanik qarshiliklarni (krivoship-shatunli mexanizmdagi ishqalanish, yordamchi mexanizmlar va haydagichni harakatga keltirish va b.) yengishga hamda kiritish va chiqarish jarayonlarini amalga oshirishga foydali ishni sarflash zarurati mavjudligi bilan farqlanadi.

Mexanik yo'qotishlar. Dvigatel ichidagihar xil qarshiliklarni yengishga bo'lgan yo'qotishlarni *mexanik yo'qotishlar quvvati* yoki mexanik yo'qotishlar quvvatining silindr bir birlik ishchi hajmiga nisbatiga mos ish bilan baholashadi.

Dvigatellarning dastlabki hisobini bajarishda mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi r_m bilan tavsiflanuvchi mexanik yo'qotishlarni porshen o'rtacha tezligiga qarab chiziqli bog'lanishlar bo'yicha taqriban aniqlash mumkin.

Quyida har xil turdagi dvigatellar uchun p_m (MPa) qiymatini aniqlash uchun empirik formulalar keltirilgan:

silindrlar soni oltitagacha va $S/D \leq 1$ bo'lgan benzinli dvigatellar uchun

$$p_m = 0.049 + 0.0152 \cdot v_{p.o.r.}; \quad (1.84)$$

$S/D > 1$ bo'lgan sakkiz silindrli benzinli dvigatellar uchun

$$p_m = 0.039 + 0.0132 \cdot v_{p.o.r.}; \quad (1.85)$$

silindrlar soni oltitagacha va $S/D \leq 1$ bo'lgan benzinli dvigatellar uchun

$$p_m = 0.034 + 0.0113 \cdot v_{p.o.r.}; \quad (1.86)$$

yonilg'i purkaladigan va elektron boshqariladigan yuqori forsirovka qilingan dvigatellar uchun

$$p_m = 0.024 + 0.0053 \cdot v_{p.o.r.}; \quad (1.87)$$

ajralmagan yonish kamerali to'rt taktli dizellar uchun

$$p_m = 0.089 + 0.0118 \cdot v_{p.o.r.}; \quad (1.88)$$

old kamerali dizellar uchun

$$p_m = 0.103 + 0.0153 \cdot v_{p.o.r.}; \quad (1.89)$$

uyurma kamerali dizellar uchun

$$p_m = 0.089 + 0.0135 \cdot v_{p.o.r.}; \quad (1.90)$$

Mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi p_m (1.84) – (1.90) formulalar bo'yicha qo'llanilayotgan moy sifati, dvigatelning ishchanlik holati, sirt ishqalanish sifati va nadduvni inobatga olmasdan hisoblanadi. Shu bois, yuqorida keltirilgan formulalar bo'yicha olingan p_m qiymatlaridan foydalanishdan oldin, ularni tanqidiy baholash zarur.

Nadduv agregati sifatida yuritmal haydagich (mexanik nadduv) dan foydalanilganda dvigateldagi yo'qotishlar uni yuritishga sarflangan quvvat miqdoricha ortadi.

O'rtacha effektiv bosim. *O'rtacha effektiv bosim – bu dvigatel validagi effektiv ishning silindr ishchi hajmining bir birligiga nisbatidir.*

Dvigatellarni hisoblashda p_e o'rtacha indikator bosim bo'yicha aniqlanadi

$$p_e = p_i - p_m \quad (1.91)$$

Mexanik nadduvli dvigatellar uchun

$$p_e = p_i - p_m - p_n \quad (1.92)$$

bu yerda p_n – haydagichni yuritishga yo'qotiladigan bosim.

Nominal yukda o'rtacha effektiv bosim p_e qiymati (MPa) quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

To'rt taktli karbyuratorli dvigatellar uchun	0,6...1,1
Forsirovka qilingan to'rt taktli karbyuratorli dvigatellar va elektron purkagichli dvigatellar uchun	1,3 gacha
Nadduvsiz to'rt taktli dizellar uchun	0,65...0,85
Nadduvli to'rt taktli dizellar uchun	2,0 gacha
Ikki taktli tez yurar dizellar uchun	0,4...0,75
Gazli dvigatellar uchun	0,5...0,75

O'rtacha effektiv bosim ortishi bilan silindr ishchi hajmidan foydalanish sharoitlari yaxshilanadi, bu esa ancha yengil va ixcham dvigatellarni yaratish imkonini beradi.

Avtomobil va traktor dvigatellarini yaratishda uzoq vaqt davomida p_e qiymatini oshirishga intilish bo'lgan.

Lekin 70..80 yillardagi neft krizisi bu tendentsiyani jiddiy sekinlatdi. Butun dunyoda ularning ekspluatatsiyasida dvigatellar zaharlilikini kamaytirish bo'yicha o'sib borayotgan talablar ham p_e o'sishini tutib turibdi. Bugungi kunda dvigatel ishining ekologik tozaligini oshirishning yangi samarali usullari ishlab chiqilganligi tufayli p_e ning o'sishi yana boshlandi. Bu usullar: karbyuratordan foydalanmasdan yengil yonilg'ini bevosita kiritish truboprovodiga yoki dvigatel silindriga purkash, neytralizatorning har xil turlarini qo'llash, gazsimon yonilg'iga o'tkazish. Yengil avtomobillar uchun birinchi navbatda, avtomobillar uchun umuman, ishchi jarayonni yaxshi tashkil qilish, yuqori navli yonilg'ilarni qo'llash, ta'minlash tizimini takomillashtirish va nadduvdan foydalanish hisobiga ushbu tendentsiya saqlanib qolmmoqda.

Mexanik f.i.k. O'rtacha effektiv bosimning o'rtacha indikator bosimga nisbati dvigatelning mexanik f.i.k. deyiladi.

$$\eta_m = p_e / p_i \quad \text{yoki} \quad \eta_m = 1 - p_u / p_i \quad (1.93)$$

Dvigatel yuki ortishi bilan η_m kamayadi. Karbyuratorli dvigatelda yuk kamayganda gaz almashinuviga bo'lgan yo'qotishlar ko'paygani hisobiga p_m kattalashadi. Dvigatel salt ishi rejimida $p_i = p_m$ va $\eta_m = 0$ bo'ladi.

Ishqalanishga yo'qotishlar va yordamchi mexanizmlarni yuritishga yo'qotishlar kamayishi bilan hamda yuk ma'lum chegaraga ortganda mexanik f.i.k. ortadi.

Tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha nominal ish rejimida ishlayotgan har xil dvigatellarning f.i.k. quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

Benzinli dvigatellar uchun	0,75 ... 0,92
Nadduvsiz to'rt taktli dizellar uchun	0,7 ... 0,82
Nadduvli to'rt taktli dvigatellar uchun (haydagichga yo'qotiladigan quvvatni hisobga olmaganda)	0,8 ... 0,9
Ikki taktli tezyurar dizellar uchun	0,7 ... 0,85
Gazli dvigatellar uchun	0,75 ... 0,85

Effektiv quvvat. Vaqt birligida dvigatel valida olinadigan foydali ish dvigatelning effektiv quvvati N_e deyiladi. N_e qiymatini (kVt) indikator quvvatdan mexanik f.i.k. orqali aniqlash mumkin:

$$N_e = N_i \eta_m = p_e V_h n / (30\tau), \quad (1.94)$$

bu yerda p_e – MPa da; V_h – l da; n – ayl/min da ifodalangan.

Effektiv quvvat va dvigatelning asosiy parametrlari orasidagi bog'lanish quyidagi bog'lanishda ifodalanadi:

$$N_e = \frac{V_h^2 \cdot n}{30\tau} \cdot \frac{H_u}{\alpha \cdot l_0} \cdot \rho_k \cdot \eta_c \cdot \eta_i \cdot \eta_m, \quad (1.95)$$

bu yerda V_h – l da; n – ayl/min da; H_u – MJ/kg da; ρ_k – kg/m³ da ifodalangan.

(1.95) ifodaning tahlili shuni ko'rsatadiki, dvigatelning effektiv quvvatini, umumiy holda, quyidagilar hisobiga oshirish mumkin:

- silindr ishchi hajmini kattalashtirish (silindr diametri va porshen yo'lini kattalashtirish);
- silindrlar sonini ko'paytirish;
- yonilg'i yonishining quyi issiqligini oshirish;

- zaryad zichligini va to'lish koeffitsiyentini oshirish (masalan, nadduv yo'li bilan hamda gaz almashinishini tashkil qilishni yaxshilash, kiritish va chiqarishda qarshilikni kamaytirish, dozaryadkani ko'paytirish maqsadida inertsion nadduvni qo'llash hisobiga va h.k.);
- indikator f.i.k.ni oshirish (yonish jarayonini takomillashtirish va siqish va kengaish jarayonlarida issiqlik yo'qotishini kamaytirish hisobiga);
- dvigatelning mexanik f.i.k. ni oshirish (masalan, yuqori sifatli moylardan foydalanish, nasos yo'qotishlarini qisqartirish hisobiga va h.k.).

Effektiv f.i.k. va yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi.

Effektiv f.i.k. η_e va yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi g_e dvigatel tejamkor ishlashini tavsiflaydilar.

Dvigatel validagi foydali ishga ekvivalent bo'lgan issiqlik miqdorining yonilg'i bilan dvigatelga kiritilgan issiqlikning umumiy miqdoriga nisbati effektiv f.i.k. deyiladi.

$$\eta_e = L_e / H_u \quad (1.96)$$

bu yerda L_e – effektiv ishga ekvivalent issiqlik, MJ/kg yonilg'i;

H_u – yonilg'i yonishining quyi issiqligi, MJ/kg yonilg'i.

Effektiv va mexanik f.i.k.lari orasidagi bog'lanish quyidagi ifodadan aniqlanadi:

$$\eta_e = \eta \cdot \eta_m$$

Suyuq yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun:

$$\eta_e = \frac{p_e}{p_k p_v} \frac{\alpha \cdot L_0}{H_u} \quad (1.97)$$

Gazsimon yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun:

$$\eta_e = 371,2 \cdot 10^{-6} p_e T_e M'_1 (p_k \eta_i H'_u) \quad (1.98)$$

Dvigatelning effektiv f.i.k. hamma yo'qotishlarni (issiqlik va mexanik) hisobga olgan holda yonilg'i issiqligidan foydalanish darajasini tavsiflaydi.

Nominal rejimda ishlayotgan dvigatel effektiv f.i.k.ning qiymatlari:

Benzinli dvigatellar uchun	0,25...0,38
Nadduvsiz dizellar uchun	0,35...0,42
Nadduvli dizellar uchun	0,23...0,30
Gazli dvigatellar uchun	0,38...0,45

Dizellarda effektiv f.i.k. qiymatining benzinli dvigatellarning η_e dan yuqoriligiga asosan ularda havo ortiqligi koeffitsiyenti qiymatining kattaligi, ya'ni ularda yonilg'i to'laroq yonishining natijasi bo'ladi. Yengil yonilg'i purkaladigan dvigatellarda bu kamchilik deyarli bo'lmaydi.

Suyuq yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi $[g/(kVt \cdot soat)]$

$$g_e = 3600 / (H_u \eta_e) \text{ yoki } g_e = 3600 \rho_e \eta_e / (p_e I_e \alpha) \quad (1.99)$$

Gazsimon yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun gazsimon yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi $[m^3/(kVt \cdot soat)]$

$$v_e = 3.6 / (\eta_e H_u') \text{ yoki } v_e = 9700 p_e \eta_e / (p_e M' T_k) \quad (1.100)$$

Effektiv quvvat birligiga yonilg'ining solishtirma sarfi $[MJ/(kVt \cdot soat)]$

$$q_e = v_e H_u' = 9700 \cdot p_e \eta_e / (p_e M' T_k) \quad (1.101)$$

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari uchun nominal yukda yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi quyidagi qiymatlarga ega:

Yonilg'ini elektron purkaydigan

dvigatellar uchun $g_e = 200 \dots 290 \text{ g/(kVt} \cdot \text{s)}$

karbyuratorli dvigatellar uchun $g_e = 230 \dots 310 \text{ g/(kVt} \cdot \text{s)}$

ajratilmagan yonish kamerali

dizellar uchun $g_e = 200 \dots 235 \text{ g/(kVt} \cdot \text{s)}$

Uyurma kamerali va old kamerali

dizellar uchun $g_e = 220 \dots 260 \text{ g/(kVt} \cdot \text{s)}$

Gaz dvigatellari uchun $g_e = 12 \dots 17 \text{ MJ/(kVt} \cdot \text{s)}$

Dvigatel silindrining asosiy o'lchamlari. Agar dvigatelning effektiv quvvati berilgan va S/D qiymati tanlab olingan bo'lsa (S/D qiymatini tanlash 1.2-paragrafda keltirilgan), dvigatelning asosiy konstruktiv parametrlari (silindr diametri va porshen yo'li) quyidagi tarzda aniqlanadi.

Dvigatelning effektiv quvvati, tirsakli va aylanishlar chastotasi va effektiv bosim bo'yicha dvigatel litraji (l) aniqlanadi.

$$V_e = 30 \cdot \tau \cdot N_e / (p_e \eta_e) \quad (1.102)$$

bu yerda N_e – kVt da; p_e – MPa da; p – ayl/min da ifodalangan.

Bir silindrning ishchi hajmi (l)

$$V_{si} = V_e / i \quad (1.103)$$

Silindr diametri (mm)

$$D = 100 \sqrt{\frac{4V_h}{(\pi \cdot S/D)}} \quad (1.104)$$

Porshen yo'li (mm)

$$S = D \cdot (S/D) \quad (1.105)$$

D va S ning olingan qiymatlari butun songacha, nolga yoki 5 ga yiriklashtiriladi. Yakuniy qabul qilingan D va S qiymatlari bo'yicha dvigatelning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari aniqlanadi:

Dvigatel litraji (l)

$$V_h = \pi \cdot D^2 S \cdot i / (4 \cdot 10^6) \quad (1.106)$$

Effektiv quvvat (kVt)

$$N_e = p_e V_{eH} / (30 \tau) \quad (1.107)$$

Effektiv burovchi moment (N·m)

$$M_e = (3 \cdot 10^4 / \pi) (N_e / n) \quad (1.108)$$

Yonilg'ining bir soatdagi sarfi (kg/soat)

$$G_e = N_e g_e \quad (1.109)$$

Porshenning o'rtacha tezligi (m/s)

$$v_{n\text{op}} = S \cdot n / (3 \cdot 10^4) \quad (1.110)$$

Ilgari qabul qilingan $v_{p.o'r}$ va (1.110) formula bo'yicha topilgan $v_{p.o'r}$ qiymatlari orasidagi farq 3...4 % dan katta bo'lsa, dvigatel effektiv parametrlarini qaytadan hisoblash kerak.

1.5. Indikator diagrammasini qurish

Ichki yonuv dvigatellarining indikator diagrammasi ishchi jarayon hisobining ma'lumotlaridan foydalanib quriladi. Diagrammani qurishda uning masshtablarini shunday tanlash tavsiya qilinadiki, uning balandligi asosiga nisbatan 1,2...1,7 marta katta bo'lsin. Diagrammani qurishni boshlashda abstsissa o'qiga silindr ishchi hajmiga mos, qiymati bo'yicha esa M_S masshtabida, AB kesmasi qo'yiladi (1.17- va 1.18-rasmlar). Porshen yo'lining kattaligiga qarab, M_S 1:1, 1,5:1 yoki 2:1 bo'lishi mumkin.

Yonish kamerasing hajmiga mos OA kesmasi (mm)

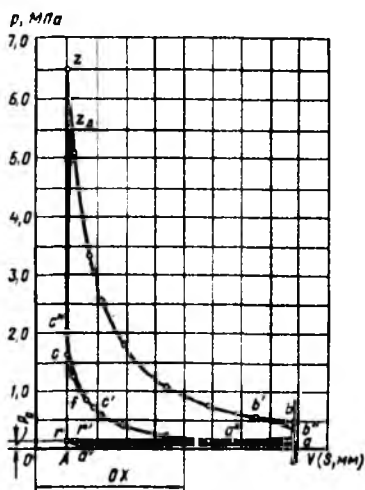
$$OA = AB / (\epsilon - 1) \quad (1.111)$$

Issiqlik aralash kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dizellar uchun $z'z$ kesmasi (1.18-rasm)

$$z'z = OA(\rho - 1) \quad (1.112)$$

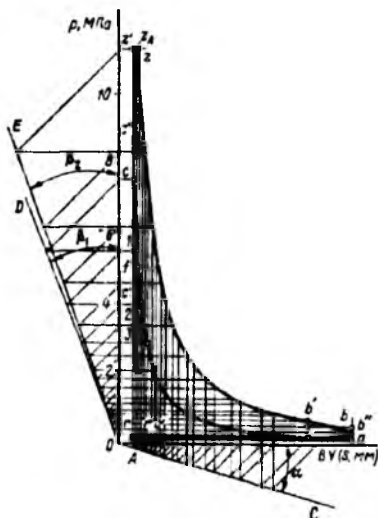
Diagrammani qurishda bosim masshtabini $M_p=0,02; 0,025; 0,04;$

0,05; 0,07...0,10 MPa/mm da olish tavsiya qilinadi.



1.17-rasm. Benzinli dvigatel indikator diagrammasini analitik usulda qurish

So'ngra issiqlik hisobi ma'lumotlari bo'yicha tanlangan masshtabda xarakterli a , c , z' , z , b , r nuqtalarda bosim qiymatlari qo'yiladi.



1 18-rasm. Nadduvli dizel indikator diagrammasini grafik usulda qurish

Siqish va kengayish politropalarini qurishni analitik yoki grafik usullarda amalga oshirish mumkin. Siqish va kengayish politropalarini analitik usulda qurishda (1 17-rasmga qarang) V_c va V_a orasida hamda V_z va V_b orasida joylashgan oralıq hajmlar uchun qator nuqtalar $pV^{n_1} = \text{const}$ politropa tenglamasi bo'yicha hisoblanadi.

$$p_x V_x^{n_1} = p_a V_a^{n_1},$$

bu yerdan

$$p_x = p_a (V_a / V_x)^{n_1} \quad (1.113)$$

bu yerda p_x va V_x – siqish jarayonidagi izlanayotgan nuqtaning bosimi va hajmi.

V_a / V_x nisbati $1-\varepsilon$ oralig'ida o'zgaradi. Shunga o'xshash kengayish politropasi

$$p_x = p_b (V_b / V_x)^{n_2}. \quad (1.114)$$

Benzinli dvigatellar uchun V_a / V_x nisbati $1-\varepsilon$ oralig'ida, dizellar uchun esa $1-\delta$ oralig'ida o'zgaradi.

Diagrammani *analitik usulda* qurishda siqish va kengayish politropasi hisobiy nuqtalarining ordinatalarini aniqlashni jadval shaklida (1.6-1.10 jadvallar) amalga oshirish qulay.

1.6-jadval

Nuqtalar №	OX, mm	OV OX	Siqish politropasi			Kengayish politropasi		
			(ov t /ox)	p_x MPa, mm	p_x , MPa	(OB W /ox)	p_x MPa, mm	p_x , MPa
1	10,4	3,5	19,04	32,4	1,62 (c nuqta)	14,55	129,5	6,47 (z nuqta)
2	11,0	-8	17,52	29,8	1,49	13,48	120,0	6,00
3	12,6	7	14,57	24,8	1,24	11,41	101,5	5,08
4	17,7	5	9,173	15,6	0,78	7,490	66,7	3,34
5	22,1	4	6,747	11,5	0,58	5,666	50,4	2,52
6	29,5	3	4,539	7,7	0,385	3,953	35,2	1,76
7	44,2	2	2,597	4,4	0,22	2,380	21,2	1,06
8	58,9	1,5	1,748	3,0	0,15	1,661	14,8	0,74
9	88,4	1	1	1,7	0,085 (a nuqta)	1	8,9 (b nuqta)	0,445

1.7-jadval

Nuqtalar belgilanishi	Nuqtalar holati	φ°	$(1-\cos\varphi)+\frac{\lambda}{4}\cdot(1-\cos2\varphi)$	Nuqtalarning YuChHdan masofasi (AX), mm
r'	YuChHgacha 18°	18	0,0655	2,6
a'	YuChHdan keyin 25°	25	0,1223	4,8
a''	YuChHdan keyin 60°	120	1,6069	62,5
s'	YuChHgacha 35°	35	0,2313	9,0
f	YuChHgacha 30°	30	0,1697	6,6
b'	YuChHgacha 55°	125	1,6667	65,0

1.8-jadval

Nuqtalar №	OX, sm	OB OX	Sıqish politropasi			Kengavish politropasi		
			$(OB/OX)^{1/\gamma}$	$p_x M_p$, mm	p_x , MPa	$(OB/OX)^{1/\gamma}$	$p_x M_p$, mm	p_x , MPa
1	7.7	11	27,10	47,0	2.35 (c nuqta)	19,94	193,2	9,66 (z nuqta)
2	9.4	9	20,56	35,6	1.78	15,52	150,2	7,51
3	13.0	6,5	13,14	22,8	1.14	10,34	100,1	5,01
4	16.9	5	9,16	15,9	0.795	7,53	72,1	3,61
5	21.2	4	6,74	11,7	0.585	5,64	54,6	2,73
6	28.2	3	4,5	7,85	0.393	3,94	38,1	1,91
7	42.3	2	3,03	4,50	0.225	2,76	23,0	1,15
8	56.5	1.5	1,75	3,03	0.151	1,66	16,1	0,81
9	84.7	1	1	1.73	0.087 (a nuqta)	1	9,7	0,485 (b nuqta)

1.9-jadval

Nuqtalar belgilanishi	Nuqtalar holati	φ°	$(1-\cos\varphi)+\frac{\lambda}{4}\cdot(1-\cos2\varphi)$	Nuqtalarning YuChHdan masofasi (AX), mm
r'	YuChHgacha 25°	25	0,1226	4,7
a'	YuChHdan keyin 20°	30	0,1690	6,5
a''	YuChHdan keyin 70°	110	1,4656	56,4
c'	YuChHgacha 40°	40	0,2918	11,2
f	YuChHgacha 33°	33	0,0584	2,25
b'	YuChHgacha 60°	120	1,6050	61,8

a va c nuqtalarni hisoblangan va diagramma maydonida

belgilangan siqish politropasining nuqtalari orqali o'tuvchi silliq egri chiziq bilan tutashtirib, z va b nuqtalarni esa kengayish politropasi nuqtalari orqali o'tuvchi silliq egri chiziq bilan tutashtirib va c nuqtani z nuqta bilan, b nuqtani esa a nuqta bilan to'g'ri chiziqlar bilan tutashtirib (dizel diagrammasi qurilganda c nuqta z' nuqta bilan, z' nuqta esa z nuqta bilan to'g'ri chiziq orqali tutashtiriladi (1.18-rasm)) hisobiy indikator diagrammani (nasos yo'qotishlarini hisobga olmagan holda) olamiz. Chiqarish va kiritish jarayonlari $p = const$ va $V = const$ sharoitida kechadi (1.15- va 1.16-rasmlarga qarang, bl , lr , rr'' va $r''a$ to'g'ri chiziqlar).

Eng keng tarqalgan Brauer usuli bo'yicha quriladigan *grafik metodda* siqish va kengayish politropalari quyidagi tarzda quriladi (1.18-rasm).

Koordinata boshidan istalgan burchak α ostida OC nuri o'tkaziladi. politropa egri chiziqlarida yetarli miqdordagi nuqtalarni olish uchun bu burchakni abstsissa o'qiga nisbatan 15° olish tavsiya etiladi. So'ngra koordinata boshidan ordinata o'qiga β_1 va β_2 burchaklari ostida OD va OE nurlari o'tkaziladi.

Bu burchaklar quyidagi ifodalardan topiladi

$$\operatorname{tg} \beta_1 = (1 + \operatorname{tg} \alpha)^n - 1; \quad \operatorname{tg} \beta_2 = (1 - \operatorname{tg} \alpha)^n - 1. \quad (1.115)$$

Siqish politropasini OC va OD nurlar yordamida qurishadi. C nuqtadan ordinata o'qi bilan kesishguncha gorizontal chiziq o'tkaziladi; kesishish nuqtasidan esa – vertikalga 45° ostida OD nur bilan kesishguncha to'g'ri chiziq, kesishgan nuqtadan esa abstsissa o'qiga parallel gorizontal chiziq o'tkaziladi. So'ngra c nuqtadan OC nur bilan kesishguncha vertikal chiziq o'tkaziladi; kesishish nuqtasidan – vertikalga 45° ostida abstsissa o'qi bilan kesishguncha to'g'ri chiziq o'tkaziladi, kesishish nuqtasidan esa ordinata o'qiga parallel bo'lgan ikkinchi vertikal chiziq o'tkaziladi toki ikkinchi gorizontal chiziq bilan kesishguncha. Ushbu chiziqlarning kesishish nuqtasi siqish politropasining 1 oraliq nuqtasi bo'ladi. 2 nuqta shunga o'xshash topiladi, bunda 1 nuqta qurishning boshlang'ich nuqtasi sifatida qabul qilinadi.

Kengayish politropasi OC va OE nurlari yordamida quriladi, z nuqta qurishning boshlang'ich nuqtasi bo'ladi, politropa chizig'i siqish politropasi qurilganiga o'xshash quriladi.

Olingan diagrammalar (1.16 va 1.17-rasmlarga qarang) hisobiy

indikator diagrammasi bo'ladi, ulardan p'_i ni aniqlash mumkin

$$p'_i = F'' M_p / AB, \quad (1.116)$$

bu yerda $F'' - ac(z')$ zha diagrammasining yuzasi, mm^2 ;

M_p – bosimlar masshtabi (MPa/mm);

AB – kesma, mm .

(1.116) – formuladan topilgan p'_i qiymati issiqlik hisobi natijasida olingan p'_i qiymatiga teng bo'lishi kerak.

Haqiqiy indikator diagramma $ac'c''z_hb'$ b'' hisobiy diagrammadan farq qiladi, chunki haqiqiy siklda o't oldirish yoki yonilg'i purkash ilgari (c' nuqta) hisobiga ishchi aralashma porshen YuChHga (f nuqta) yetmasdan alangalanadi va siqish jarayonining oxirida (c'' nuqta) bosimni oshiradi. Ko'rinadigan yonish jarayoni o'zgarayotgan hajmda kechadi va benzinli dvigatellar uchun cz to'g'ri chizig'i (1.17-rasm) bo'ylab emas, dizellar uchun cz' va $z'z$ to'g'ri chiziqlari (1.18-rasm) bo'ylab emas, balki $c''z_h$ egri chizig'i bo'ylab kechadi; chiqarish klapanining porshen QChHga (b' nuqta) kelishidan oldin ochilishi kengayish oxirida (b'' nuqta, u odatda b va a nuqtalar orasida joylashadi) bosimni pasaytiradi.

Bu nuqtalarni to'g'ri joylashtirish uchun tirsakli val burilishi burchagi φ va porshen siljishi S_x orasidagi o'zaro bog'lanishni aniqlash zarur. Bu bog'lanish shatun uzunligini L_{sh} va krivoship radiusi R ning shatun uzunligiga nisbati $\lambda = R/L_{sh}$ bilan aniqlanadi. L_{sh} qiymatini tanlash, λ ni aniqlash va φ va S_x orasidagi o'zaro bog'lanishni o'rnatish 2.2.2-paragrafda keltirilgan.

Issiqlik hisobini tekshirish va $ac'c''z_hb'b''a$ diagramma to'g'ri qurilganligini aniqlash uchun p_i aniqlanadi

$$p_i = FM_p / AB, \quad (1.117)$$

bu yerda $F - ac'c''z_hb'b''a$ diagrammaning yuzasi.

1.6. Ichki yonuv dvigatelinining issiqlik balansi

Dvigatel silindrlarida yonilg'i yonganida ajralib chiqadigan issiqlikni to'lig'icha foydali mexanik ishga aylantirishning iloji yo'q. Termodinamik siklda issiqlikning ishga aylanishining effektiv yangi termodinamik foydali ish ko'effitsiyenti η_i bilan baholanadi, issiqlikning bir qismi sovuq manbagacha uzatilishi oqibatida u doim birdan kichik bo'ladi. Real dvigatelda ishqalanish, issiqlik almashinuvi, to'liq yonmaslik va boshqa sabablar tufayli issiqlik

yo'qotilishi yanada ko'payadi. Shu tufayli sıkl effektiv f.i.k. ning qiymati η , qiymatiga nisbatan kichik bo'ladi.

Dvigatelda yonadigan yonilg'i issiqlik energiyasining taqsimlanishi tashqi issiqlik balansining tarkibiy qismlari bilan yaxshi illyustratsiyalanadi, ular dvigatelni sinash jarayonida dvigatelning barqaror issiqlik holatida aniqlanadi. Issiqlik balansini tashkil qiluvchilarining qiymatlarini analitik usulda dvigatel issiqlik hisobining ma'lumotlari bo'yicha topish mumkin.

Issiqlik balansini foydali samarali ishga aylanayotgan issiqlik miqdorini aniqlash imkonini, ya'ni issiqlikdan foydalanishda erishilgan takomillik darajasini o'rnatish va mavjud issiqlik yo'qotishlarini kamaytirish yo'llarini belgilash imkonini beradi. Issiqlik balansining alohida tarkibiy qismlarini bilish dvigatel detallarining issiqlikdan kuchlanganligi haqida mulohaza yuritish, sovitish tizimini hisoblash, ishlangan gazlar issiqligidan foydalanish darajasini aniqlash imkonini beradi.

Dvigatelning tashqi issiqlik balansini umumiy holda quyidagi tarkibiy qismlardan tarkib topadi:

$$Q_0 = Q_e + Q_c + Q_h + Q_{\text{ishlangan gazlar}} + Q_{\text{qol}} = H_u \cdot G_u / 3,6, \quad (1.118)$$

bu yerda Q_0 – yonilg'i bilan dvigatelga kiritilgan issiqlikning umumiy miqdori.

Dvigatelning 1 sekunddagi effektiv ishga ekvivalent issiqlik

$$Q_e = 1000 \cdot N_e. \quad (1.119)$$

Ishlangan gazlar bilan yo'qotilgan issiqlik

$$Q_c = (G_{\text{yo'q}} / 3,6) [M_2 (mc_p)_{t_0}^{t_1} - 8,315] \cdot t_1 - M_1 (mc_p)_{t_1}^{20} + 8,315] \cdot t_0] \quad (1.120)$$

Sovituvchi muhitga uzatilayotgan issiqlik

$$Q_v = c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot n^m (H_u - \Delta H_u) / \alpha \cdot H_u, \quad (1.121)$$

bu yerda $c=0,45 \dots 0,53$ – to'rt taktli dvigatellar uchun proporsionallik koeffitsiyenti;

i – silindrlar soni;

D – silindr diametri, sm;

n – dvigatel tirsakli vali aylanishlar chastotasi, ayl/min;

$m=0,5 \dots 0,7$ – to'rt taktli dvigatellar uchun daraja ko'rsatkichi.

Yonilg'i kimyoviy to'liq yonmaganligi tufayli yo'qotilgan issiqlik

$$Q_{\text{chulayotgan}} = \Delta H_u / 3,6. \quad (1.122)$$

Hisobga olinmagan issiqlik yo'qotishlari:

$$Q_{qol} = Q_0 - (Q_c + Q_{\text{e}} + Q_h + Q_{\text{chilayonish}}). \quad (1.123)$$

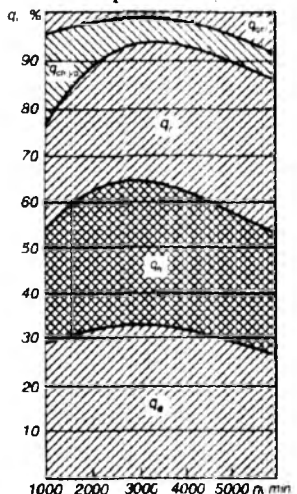
Issiqlik balansini tashkil qiluvchilarning absolyut qiymatlarini bilish dvigatelda issiqlik taqsimlanishini miqdoriy baholash imkonini beradi.

Agar har xil dvigatellarda issiqlik taqsimlanishini taqqoslash yoki muayyan dvigatelda issiqlikdan foydalanish darajasini baholash kerak bo'lsa, u holda issiqlik balansini tashkil qiluvchilarni nisbiy qiymatlarda, masalan, yonilg'i bilan kiritilgan hamma issiqlikka nisbatan foizlarda, taqdim etish qulay:

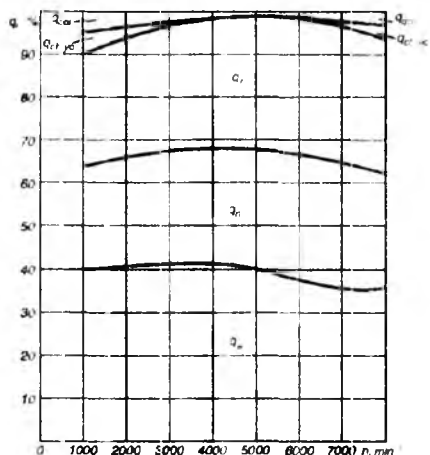
$$q_0 = q_c + q_r + q_n + q_{\text{chilayonish}} + q_{qol} = 100\% \quad (1.124)$$

Dvigatel issiqlik balansini alohida tashkil qiluvchilarning qiymatlari o'zgarib bo'lmaydi, balki dvigatel ishi davomida uning yuki, tezyurligi va boshqa omillarga bog'liq holda o'zgarib turadi.

Yonilg'i bilan silindrga kiritilayotgan issiqlik taqsimlanishining xarakterini, uning foydali effektiv ishga aylanish jarayonida o'zgarishini, issiqlik balansining egri chiziqlari ko'rinishida ko'rgazmali taqdim etish mumkin. Grafik bog'lanish har bir tashkil etuvchini aylanishlar chastotasi, yuk. aralashma sifati va h.k.larga bog'liq holda aniqlash asosida quriladi (1.19 va 1.20-rasmlar).



1.19-rasm. Benzinli (karbyuratorli) dvigatel issiqlik balansini tashkil qiluvchilarning tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog'liqligi



1.20-rasm Yonilg'i purkaladigan dvigatel issiqlik balansi tashkil qiluvchilarining tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog'liqligi

Issiqlik balansining egri chiziqlarini chizish uchun zarur bo'lgan ma'lumotlarni dvigatelni maxsus sinab yoki ilgari o'tkazilgan eksperimentlar natijalaridan foydalanib olishadi. Issiqlik balansining grafiqi dvigatel issiqlik hisobi ma'lumotlaridan foydalanib (1.118...1.124) formulalar yordamida qurilishi mumkin.

1.7. Dizelning issiqlik hisobi

1.7.1. Umumiy holatlar

Boshlang'ich ma'lumotlar:

- dvigatel turi (taktliligi, silindrlar soni va joylashishi);
- turbonadduv mavjudligi va nadduv havosining bosimi p_k , MPa;
- tirsakli val aylanishlar chastotasi p , ayl/min;
- siqish darajasi ϵ ;
- effektiv quvvat (nominal ish rejimi uchun) N_e , kVt;
- havo ortiqchilik koeffitsiyenti α ;
- yonilg'i turi – Dizel yonilg'isi "L", o'rtacha elementar tarkibi:
C=85,7%, H=13,3%, O=1%.

Yonilg'i

Yonilg'i yonishining quyi issiqligi

$$H_u = 33,91C - 125,60H - 10,89(O - S) - 2,51(9H + W), \text{ MJ/kg}$$

Ishchi jism parametrlari

1 kg yonilg'i to'liq yonishi uchun nazariy zaruriy havo miqdori

$$l_0 = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) \cdot \frac{\text{kg havo}}{\text{kg yonilg' i}} \quad \text{yoki} \quad L_0 = \frac{l_0}{\mu_s} \cdot \frac{\text{kmol havo}}{\text{kg yonilg' i}}$$

havo uchun $\mu_s = 28,96$.

Yangi zaryad miqdori

$$M_1 = \alpha \cdot L_0, \quad \text{kmol.}$$

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdorini aniqlaymiz

$$M_2 = \alpha \cdot L_0 \cdot \frac{H}{4} + \frac{O}{32}, \quad \text{kmol.}$$

Atrof muhit parametrlari va qoldiq gazlar

Atmosfera sharoitlarini qabul qilamiz:

$$p_0 = 0,1 \text{ MPa}, \quad T_0 = 293 \text{ K}.$$

Nadduv havosi bosimini p_k topshiriqqa muvofiq qabul qilamiz.
MPa

Kompressordagi siqish politropasining ko'rsatkichini
 $n_k = 1,5 \dots 1,7$ oraliqda qabul qilamiz.

Kompressordan chiqqan havoning harorati

$$T_s = T_0 \left(\frac{p_s}{p_0} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}}, \quad \text{K.}$$

Qoldiq gazlar harorati va bosimini aniqlaymiz

$$p_s = (0,75 \dots 0,95) \cdot p_k, \quad \text{MPa}; \quad \text{yoki} \quad p_s = (1,05 \dots 1,25) \cdot p_0, \quad \text{MPa};$$

$$T_s = 700 \dots 900 \text{ K qabul qilamiz.}$$

Kiritish jarayoni

Yangi zaryad qizishi harorati $M = 0 \dots 40^\circ$ oraliqda qabul qilinadi.

Kirishdagi zaryad zichligi

$$\rho_s = \frac{p_s \cdot 10^6}{R_h T_s}, \quad \text{kg/m}^3$$

bu yerda $R_h = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{grad}$ – havo uchun solishtirma gaz doimiysi.

Dvigatel ishining tezlik rejimi va ichki sirlarga ishlov berilganligi sifatiga muvofiq quyidagilarni qabul qilamiz: koeffitsiyent

$$(\beta^2 + \xi_{\text{mip}}) = 2,5 \dots 4,0, \quad \text{zaryad harakatining tezligi esa } \omega_{kv} = 50 \dots 130 \text{ m/s}$$

Dvigatelga kirishda bosim yo'qotilishi

$$\Delta p_s = \frac{(\beta^2 + \xi_{\text{mip}})(\rho_s^2 \omega_{kv}^2 \cdot p_s \cdot 10^{-6})}{2} \quad \text{MPa}$$

Kiritish oxirida silindrdagi bosim

$$p_a = p_s - \Delta p_s, \quad \text{MPa}$$

Qoldiq gazlar koeffitsiyenti

$$\gamma_r = \frac{T_a + \Delta T}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r}$$

Kiritish oxirida gazlar harorati

$$T_a = \frac{T_r + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}, K$$

Silindrning hajmiy to'lish koeffitsiyenti

$$\eta_v = \frac{T_r(\varepsilon \cdot p_a - p_r)}{(T_a + \Delta T)(\varepsilon - 1)p_r}$$

Siqish jarayoni

Siqish adiabatga ko'rsatkichi k_1 ni ε va T_a funksiyasida nomogramma (1 9-rasm) bo'yicha aniqlaymiz.

Siqish politropasi ko'rsatkichi n_1

$$p_1 = (k_1 + 0,02) \dots (k_1 - 0,02) \text{ oraliqda qabul qilinadi.}$$

Siqish oxiridagi bosim

$$p_r = p_a \varepsilon^{\gamma_r}, MPa.$$

Siqish oxiridagi harorat

$$T_r = T_a \varepsilon^{\gamma_r - 1}, K.$$

Siqish oxirida zaryad (havo)ning o'rtacha molyar issiqlik sig'imini (qoldiq gazlarning ta'sirini hisobga olmasdan) aniqlaymiz

$$(mc_p)_{\text{q}}^r = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} T_r, kJ/(kmol \cdot grad).$$

Qoldiq gazlarning mollar sonini aniqlaymiz

$$M_r = \alpha \gamma_r L_0, kmol.$$

Siqish oxirida (yonish boshlangunicha) gazlar mollari sonini aniqlaymiz

$$M_c = M_1 + M_r, kmol.$$

Yonish jarayoni

O'zgaras bosimda, $\alpha \geq 1$ bo'lganda, dizelda yonish mahsulotlarining o'rtacha molyar issiqlik sig'imini aniqlaymiz

$$(mc_p)_{\text{q}}^r = \left[20,2 + \frac{0,92}{\alpha} \right] + \left[\left(15,5 + \frac{13,8}{\alpha} \right) 10^{-3} \cdot T_r \right] + 8,314, kJ/(kmol \cdot grad)$$

Yonishdan keyin gazlar mollari sonini aniqlaymiz

$$M_z = M_2 + M_r, kmol.$$

Ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\beta = \frac{M_z}{M_c}$$

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentini $\xi = 0,7 \dots 0,9$ oraliqda

qabul qilamiz.

U holda 1 kg yonilg'ı yonishida indikator diagrammaning cz/z uchastkasida gaz uzatayotgan issiqlik miqdorini aniqlaymiz

$$Q = \xi Q_H, \text{ kJ/kg.}$$

bu yerda $Q_H = H_u$.

Bosim ortishi darajasi $\lambda_p = 1,2 \dots 2,5$ oralıqda olinadi. Nadduvli dizellarda yonishning maksimal bosimini cheklash uchun λ_p ning qiymatini nadduvsiz dizellarnikiga nisbatan kichikroq olinadi.

Yonish oxiridagi harorat yonish tenglamasidan aniqlanadi

$$(mc_p)_{\text{e}}^{\text{e}} \cdot T_z = \frac{\xi \cdot H_u}{\alpha \cdot L_u \cdot (1 + \gamma_r)} + T_e \cdot ((mc_v)_{\text{e}}^{\text{e}} + 8,314 \cdot \lambda_i).$$

Kattaliklarning ma'lum bo'lgan qiymatlarini tenglamaga qo'yamiz, hosil bo'lgan kvadrat tenglamani T_z ga nisbatan yechamiz va uning qiymatini k da topamiz.

Yonish jarayoni oxiridagi bosimni aniqlaymiz

$$p_z = \lambda_p \cdot p_e, \text{ MPa.}$$

Dastlabki kengayish darajasini aniqlaymiz

$$\rho = \frac{\beta \cdot T_z}{\lambda_p \cdot T_e}.$$

Kengayish jarayoni

Keyingi kengayish darajasini aniqlaymiz

$$\delta = \frac{v}{\rho}.$$

Dizel uchun kengayish politropasining ko'rsatkichi n_2 ni nomogramma (1.12-rasm) bo'yicha aniqlaymiz, uning qiymati kengayish adiabatasi ko'rsatkichi k_2 dan juda kam farqlanishini inobatga olib, $n_2 \approx k_2$ deb qabul qilamiz.

Kengayish adiabatasi ko'rsatkichini aniqlash quyidagi tarzda amalga oshadi.

T_z va δ ning mavjud qiymatlari bo'yicha kesishish nuqtasini topamiz. Olingan nuqtadan $\alpha = 1,0$ nuqtadan tushirilgan vertikal chiziq bilan kesishgunicha gorizontal chiziq o'tkazamiz. Olingan nuqtadan k_2 egri chizig'i bo'yicha siljiymiz, toki berilgan α qiymatidan tushirilgan vertikal chiziq bilan kesishguncha. Ushbu kesishishdagi nuqtaning ordinatasi k_2 ning izlanayotgan qiymatini beradi.

Kengayish jarayonining bosimini aniqlaymiz

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}}, \text{ MPa.}$$

Kengayish jarayonida gazlarning haroratini aniqlaymiz

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}}, \text{ K.}$$

Qoldiq gazlar haroratining ilgari qabul qilingan qiymati to'g'riligini tekshiramiz (xatolik dvigatelning hamma tezlik rejimlari uchun 5%dan oshmasligi kerak).

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{p_b/p_r}}, \text{ K.}$$

$$\Delta = \frac{T_r - T_r'}{T_r} \cdot 100\%.$$

Dizel ishchi siklining indikator parametrlari

Dumaloqlashtirilmagan (hisobiy) indikator diagramma uchun siklining o'rtacha indikator bosimini aniqlaymiz

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda_p (\rho - 1) + \frac{\lambda_p \cdot \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right], \text{ MPa.}$$

Indikator diagramma to'liqligi koeffitsiyentini $\varphi_i = 0,92 \dots 0,95$ qabul qilamiz.

Dumaloqlashtirilgan (haqiqiy) indikator diagramma uchun siklining o'rtacha indikator bosimini aniqlaymiz

$$p_i = \varphi_i p_i', \text{ MPa.}$$

Siklining indikator f.i.k. ni aniqlaymiz

$$\eta_i = \frac{p_i l_{q\alpha}}{H_{d\rho_i} \eta_i}.$$

Yonilg'ining indikator solishtirma sarfini aniqlaymiz

$$g_i = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_{d\rho_i}}, \text{ g/(kVt \cdot soat).}$$

Dvigatelning effektiv ko'rsatkichlari

Porshenning o'rtacha tezligi v_{por} ni avtomobil dizellari uchun 7,0...13,0 m/s va traktor dizellari uchun 6,0...11,0 m/s oralıqda oldindan qabul qilamiz.

Mexanik yo'qotishlarning o'rtacha bosimini aniqlaymiz

$$p_M = a + b \cdot v_{por}, \text{ MPa}$$

bu yerda $a=0,089$, $b=0,0118$ ajralmagan yonish kamerali dizellar uchun;

$a=0,089$, $b=0,0135$ ajralgan yonish kamerali dizellar uchun.

O'rtacha effektiv bosimni aniqlaymiz

$$p_e = p_i - p_M, \text{ MPa.}$$

Mexanik f.i.k.ni aniqlaymiz

$$\eta_M = \frac{p_e}{p_i}$$

Effektiv f.i.k.ni aniqlaymiz

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M.$$

Yonilg'ining effektiv solishtirma sarfini aniqlaymiz

$$g_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_e \eta_e}, \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)}.$$

Silindrning asosiy o'lchamlari va dvigatelning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari

Dvigatelning effektiv quvvati, tirsakli valning aylanishlar chastotasi, o'rtacha effektiv bosim va silindrlar sonidan kelib chiqib, bir silindrning ishchi hajmini aniqlaymiz

$$V_h = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{p_e \cdot i \cdot n}, \text{ l.}$$

Silindr diametrini aniqlaymiz

$$D = 100 \sqrt{\frac{4W_u}{\pi \cdot S \cdot D}}, \text{ mm.}$$

Olingan qiymatni yiriklashtiramiz (butun songacha).

Porshen yo'lini aniqlaymiz

$$S = D \cdot \left(\frac{S}{D}\right), \text{ mm.}$$

D va S ning olingan qiymatlari butun songa, nulgga yoki beshga yiriklashtiriladi. Qabul qilingan D va S qiymatlari bo'yicha dvigatelning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari aniqlanadi.

Porshen yuzasini aniqlaymiz

$$F_H = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ sm}^2.$$

Silindrning (qabul qilingan yangi o'lchamlar bo'yicha) ishchi hajmini aniqlashtiramiz

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4}, \text{ l.}$$

Porshenning o'rtacha tezligini aniqlaymiz

$$v_{sp} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^3}, \text{ m/s}$$

va bu qiymatni oldingi qiymat bilan solishtiramiz.

Dvigatelning effektiv quvvatini aniqlaymiz

$$N_e = \frac{P_e \cdot i \cdot V_h n}{30 \cdot \tau}, \quad kVt$$

Dvigatelning hisoblangan effektiv quvvatini berilgani bilan solishtiramiz va issiqlik hisobi to'g'ri bajarilganligi haqida xulosa chiqaramiz

$$\Delta = \frac{N_e - N_e'}{N_e} \cdot 100\%$$

farq 5% dan oshmasligi kerak.

Dvigatelning effektiv burovchi momenti

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} \quad N \cdot m$$

1.7.2. Nadduvsiz dizel issiqlik hisobi misoli

Bosilang'ich ma'lumotlar:

- *dvigatel turi* – to'rttaktli, sakkiz silindrli, *V*-simon, nadduvsiz;
- *tisakli valning aylanishlar chastotasi* $n = 2600$ ayl/min;
- *siqish darajasi* $\epsilon = 17$;
- *dvigatelning effektiv quvvati* $N_e = 154$ kVt;
- *havo ortiqligi koeffitsiyenti* $\alpha = 1,40$;
- *yonilg'i turi* – dizel yonilg'isi "L", o'rtacha elementar tarkibi: $C = 85,7\%$, $H = 13,3\%$, $O = 1\%$, setan soni 45 dan kam emas.

Yonilg'i

Yonilg'i yonishining quyi issiqligini aniqlaymiz

$$H_u = 33,91 \cdot C + 125,60 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot 9H + W = 33,91 \cdot 0,857 + \\ + 125,60 \cdot 0,133 - 10,89 \cdot 0,01 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,133 = 42,5 \text{ MJ/kg} = 42500 \text{ kJ/kg}$$

Ishchi jism parametrlari

1 kg yonilg'i yonishi uchun zarur bo'lgan havoning nazariy miqdorini aniqlaymiz

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,857 + 8 \cdot 0,133 - 0,01 \right) = 14,52 \text{ kg.}$$

$$L_0 = \frac{l_0}{m_h} = \frac{14,52}{28,96} = 0,501 \text{ kmol.} \quad m_h = 28,96 - \text{havouchun.}$$

Yangi zaryad miqdorini aniqlaymiz

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 = 1,40 \cdot 0,501 = 0,702 \text{ kmol.}$$

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdorini aniqlaymiz

$$M_2 = \alpha \cdot L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32} = 1,40 \cdot 0,501 + \frac{0,133}{4} + \frac{0,01}{32} = 0,735 \text{ kmol.}$$

Atrof-muhit parametrlari va qoldiq gazlar

Atmosfera sharoitlari

$$p_0 = 0,1 \text{ MPa}, \quad T_0 = 293 \text{ K}.$$

Nadduvsiz dizel uchun atrof muhit bosimi

$$p_k = p_0 = 0,1 \text{ MPa}.$$

Nadduvsiz dizel uchun atrof muhit harorati (kompresor ortidagi harorat)

$$T_k = T_0 = 293 \text{ K}.$$

Qoldiq gazlar harorati va bosimi. Nadduvsiz dizelning yetarli darajadagi siqish darajasi $\varepsilon=17$, qoldiq gazlarning harorati va bosimini pasaytiradi, tirsakli valning yuqori aylanishlar chastotasi esa T_r va p_r qiymatlarini biroz oshiradi.

Shu sababli quyidagi qiymatlarni qabul qilamiz:

$$p_r = (1,05 \dots 1,25) \cdot p_0 = 1,1 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ MPa};$$

$$T_r = 800 \text{ K}.$$

Kiritish jarayoni

Yangi zaryad qizishi haroratini $\Delta t = 30^\circ \text{S}$ deb qabul qilamiz.

Kiritishda zaryad zichligi

$$\rho_z = \frac{p_z \cdot 10^6}{R_h T_z} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{287 \cdot 293} \approx 1,19 \text{ kg/m}^3$$

bu yerda $R_h = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{grad}$ – havo uchun solishtirma gaz doimiysi.

Dvigatel ishining tezlik rejimi va ichki yuzalarga ishlov berilganlik sifatiga mos ravishda koeffitsiyentni $(\beta^2 + \xi_{\text{av}}) = 2,5$, zaryad harakatining tezligini esa $v_{\text{av}} = 80 \text{ m/s}$ qabul qilamiz.

Dvigatelga kirishdagi bosim yo'qotilishi

$$\Delta p_a = \frac{(\beta^2 + \xi_{\text{av}}) v_{\text{av}}^2 \cdot \rho_z \cdot 10^{-6}}{2} = \frac{2,5 \cdot 80^2 \cdot 1,19 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,0095 \text{ MPa}$$

Kiritish oxirida bosim

$$p_a = p_z - \Delta p_a = 0,1 - 0,0095 = 0,0905 \text{ MPa}$$

Qoldiq gazlar koeffitsiyenti

$$\gamma_z = \frac{T_z + \Delta t}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} = \frac{293 + 20}{800} \cdot \frac{0,11}{17 \cdot 0,0905 - 0,11} = 0,0311$$

Kiritish oxirida harorat

$$T_z = \frac{T_r + \Delta t + \gamma_z T_r}{1 + \gamma_z} = \frac{293 + 20 + 0,0311 \cdot 800}{1 + 0,0311} = 337,4 \text{ K}$$

Silindrning to'lish koeffitsiyenti

$$\eta_v = \frac{T_3(\varepsilon \cdot p_a - p_r)}{(T_r + M)(\varepsilon - 1)p_a} = \frac{293(17 \cdot 0,0905 - 0,11)}{(293 + 20)(17 - 1)0,1} = 0,81$$

Siqish jarayoni

Siqish adiabatasi va politropasining o'rtacha ko'rsatkichlari.
Dvigatel nominal rejimda ishlaganda yetarli darajadagi aniqlikda siqish politropasining ko'rsatkichini adiabat ko'rsatkichiga taxminan teng deb qabul qilish mumkin, uning qiymati nomogrammadan topiladi (1.9-rasmga qarang).

Siqish politropasi ko'rsatkichi n_l qiymatini k_l ga bog'liq holda aniqlaymiz, uning qiymati esa $k_l = 1,369$, u holda

$$n_l = (k_l + 0,02) \dots (k_l - 0,02) = 1,368.$$

Siqish oxirida bosim

$$p_r = p_a \varepsilon^{n_l} = 0,0905 \cdot 17^{1,368} = 4,36 \text{ MPa}.$$

Siqish oxirida harorat

$$T_r = T_a \varepsilon^{n_l - 1} = 337,4 \cdot 17^{1,368 - 1} = 957 \text{ K}.$$

Siqish oxirida zaryad (havo)ning o'rtacha molyar issiqlik sig'imini (qoldiq gazlar ta'sirini hisobga olmasdan) aniqlaymiz

$$(mc_v)_{p_r}^{p_a} = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} T_r = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} \cdot 957 = 21,83 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}.$$

Qoldiq gazlar mollari sonini aniqlaymiz

$$M_r = \alpha \gamma_r I_0 = 1,40 \cdot 0,0311 \cdot 0,501 = 0,0218 \text{ kmol}.$$

Siqish oxirida (yonish boshlanishidan oldin) gazlar mollari soni

$$M_c = M_l + M_r = 0,702 + 0,0218 = 0,724 \text{ kmol}$$

Yonish jarayoni

Dizelda bosim o'zgarmas va $\alpha \geq 1,0$ bo'lganda yonish mahsulotlarining o'rtacha molyar issiqlik sig'imini aniqlaymiz.

$$\begin{aligned} (mc_p)_{p_r}^{p_a} &= \left[20,2 + \frac{0,92}{\alpha} \right] + \left[\left(15,5 + \frac{13,8}{\alpha} \right) \cdot 10^{-4} \cdot T_r \right] + 8,314 = \\ &= \left[20,2 + \frac{0,92}{1,40} \right] + \left[\left(15,5 + \frac{13,8}{1,40} \right) \cdot 10^{-4} \cdot T_r \right] + 8,314 = 0,0025 \cdot T_r + 29,17 \end{aligned}$$

Yonishdan keyin gazlar mollari sonini aniqlaymiz

$$M_z = M_r + M_r = 0,735 + 0,0218 = 0,757 \text{ kmol}.$$

Ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyenti

$$\beta = \frac{M_z}{M_c} = \frac{0,757}{0,724} = 1,046.$$

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining qiymatini $\xi = 0,8$ qabul qilamiz.

U holda 1 kg yonilg'i yonganida indikator diagrammaning cz'z

uchastkasida gazdan ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori

$$Q = \xi \cdot Q_H = 0,8 \cdot 42500 = 34000 \text{ kJ/kg}$$

Bosimning ortish darajasini $\lambda_p = 2,2$ deb qabul qilamiz.

Yonish oxiridagi harorat yonish tenglamasidan aniqlanadi

$$\beta \cdot m c_p^* \cdot T_z = \frac{\xi \cdot H_u}{\alpha \cdot L_0 \cdot (1 + \gamma)} + T_c \cdot (m c_p^* + 8,314 \cdot \lambda_p).$$

$$1,046 \cdot (0,0025 \cdot T_z + 29,17) \cdot T_z = \frac{34000}{1,4 \cdot 0,501 \cdot (1 + 0,0311)} + 957 \cdot (21,83 + 8,314 \cdot 2,2).$$

Bu yerdan

$$0,0026 \cdot T_z^2 - 30,51 \cdot T_z - 85408 = 0$$

Ma'lum kattaliklarning qiymatlarini qo'yib, olingan kvadrat tenglamani T_z ga nisbatan yechamiz va uning qiymatini topamiz, $T_z = 2336,7 \text{ K}$.

Yonish jarayoni oxiridagi bosim

$$p_z = \lambda_p \cdot p_c = 4,36 \cdot 2,2 = 9,60 \text{ MPa}.$$

Dastlabki kengayish darajasini aniqlaymiz

$$\rho = \frac{\beta \cdot T_z}{\lambda_p \cdot T_c} = \frac{1,046 \cdot 2336,7}{2,2 \cdot 957} = 1,161.$$

Kengayish jarayoni

Keyingi kengayish darajasini aniqlaymiz

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{17}{1,161} = 14,64$$

Dizel uchun kengayish politropasi ko'rsatkichi n_2 ni nomogrammadan topamiz (1.12-rasm), bunda n_2 qiymati kengayish adiabatasi ko'rsatkichi k_2 dan juda kam farq qilishini hisobga olamiz.

Kengayish politropasi ko'rsatkichining qiymatini topishni quyidagi tarzda amalga oshiramiz.

T_z va δ larning ma'lum qiymatlaridan kesishish nuqtasini aniqlaymiz. Olingan nuqtadan $\alpha = 1,0$ nuqtadan tushirilgan vertikal chiziq bilan kesishgunicha gorizontal chiziq o'tkazamiz va k_2 ning egri chizig'i bo'ylab berilgan α qiymatidan tushirilgan vertikal bilan kesishguncha siljiymiz. Olingan nuqtaning ordinatasi k_2 ning izlanayotgan qiymatini beradi.

Qabul qilamiz: $k_2 = 1,273$; $n_2 = k_2 = 1,273$

Kengayish jarayoni oxirida gazlarning bosimini aniqlaymiz

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{9,60}{14,64^{1,273}} = 0,315 \text{ MPa}.$$

Kengayish oxirida gazlarning harorati

$$T_i = \frac{T_i}{\delta^{n_i-1}} = \frac{2336,7}{14,64^{1,273-1}} = 1123,1 \text{ K}$$

Qoldiq gazlar harorati ilgari qabul qilingan qiymatining to'g'riligini tekshiramiz (nominal ish rejimi uchun 5% dan oshmasligi kerak).

$$T_i = \frac{T_k}{\sqrt[n]{p_b/p_i}} = \frac{1123,1}{\sqrt[3]{0,325/0,11}} = 783 \text{ K}$$

Xatolik

$$\Delta = \frac{T_i - T_i'}{T_i} \cdot 100\% = \frac{800 - 783}{800} \cdot 100\% = 2,1\%$$

Nadduvsiz dizel ishchi siklining indikator parametrlari.

Nazariy o'rtacha indikator bosim

$$p_i' = \frac{p_i}{\varepsilon - 1} \left[\lambda_p (\rho - 1) + \frac{\lambda_p \rho}{n_p - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_p-1}} \right) - \frac{1}{n_i - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_i-1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{4,36}{17-1} \left[2,2 \cdot (1,161-1) + \frac{2,2 \cdot 1,161}{1,273-1} \left(1 - \frac{1}{14,64^{1,273-1}} \right) - \frac{1}{1,368-1} \left(1 - \frac{1}{17^{3,08-1}} \right) \right] = 0,941 \text{ MPa}$$

Indikator diagramma to'liqligi ko'effitsiyentini $\varphi_i = 0,92$ qabul qilamiz.

Dizelning o'rtacha indikator bosimi

$$p_i = \varphi_i p_i' = 0,92 \cdot 0,941 = 0,87 \text{ MPa}$$

Indikator foydali ish ko'effitsiyati

$$\eta_i = \frac{p_i I_{\phi\alpha}}{H_u \rho_u \eta_u} = \frac{0,87 \cdot 1,40 \cdot 14,52}{42,5 \cdot 0,81 \cdot 1,19} = 0,432$$

Yonilg'ining indikator solishtirma sarfini aniqlaymiz

$$g_i = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_i} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{42,5 \cdot 0,432} = 196, \text{ g/kVt} \cdot \text{soat}$$

Dizelning effektiv ko'rsatkichlari

Traktor dizeli uchun birinchi yaqinlashuvda porshen o'rtacha tezligini $v_{p.o.r.} = 10 \text{ m/s}$ qabul qilamiz.

Mexanik yo'qotishlarning o'rtacha bosimini aniqlaymiz

$$p_M = a + b \cdot v_{p.o.r.} = 0,089 + 0,0118 \cdot 10 = 0,207 \text{ MPa}$$

Bu yerda ajralmagan yonish kamerali dizellar uchun $a=0,089$, $b=0,0118$.

O'rtacha effektiv bosim

$$p_e = p_i - p_M = 0,87 - 0,207 = 0,663 \text{ MPa}$$

Dizelning mexanik f.i.k.

$$\eta_M = \frac{p_2}{p_1} = \frac{0,663}{0,870} = 0,762.$$

Dizelning effektiv f.i.k.

$$\eta_e = \eta_v \cdot \eta_M = 0,432 \cdot 0,762 = 0,329.$$

Yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi

$$g_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_e} = \frac{3600}{42,5 \cdot 0,329} = 257,5, \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)}.$$

Silindr va dvigatelning asosiy parametrlari

Silindrning ishchi hajmi

$$V_i = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{p_e \cdot i \cdot n} = \frac{30 \cdot 4 \cdot 154}{0,663 \cdot 8 \cdot 2600} = 1,340 \text{ l}.$$

Odatda dizellarda porshen yo'lining silindr diametriga nisbati $S/D \geq 1,0$. S/D nisbat kamayishi bilan porshen tezligi kamayadi va η_u kattalashadi. Shu sababli bu holda $S/D=1,0$ qabul qilish maqsadga muvofiq bo'ladi.

Silindr diametri

$$D = 100 \sqrt[3]{\frac{4V_i}{\pi \cdot S/D}} = 100 \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,340}{3,14 \cdot 1,0}} = 119,6 \text{ mm}.$$

Silindr diametrini $D=120$ mm qabul qilamiz.

Porshen yo'li

$$S = D \cdot \left(\frac{S}{D}\right) = 120 \text{ mm}.$$

Qabul qilingan D va S qiymatlari bo'yicha dizelning qolgan parametrlari va ko'rsatkichlarini aniqlaymiz.

Porshen tubining yuzasini aniqlaymiz

$$F_n = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 120^2}{4} = 11304 \text{ mm}^2 = 113 \text{ sm}^2.$$

Silindrning ishchi hajmi

$$V_n = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4} = \frac{3,14 \cdot 120^2 \cdot 120}{4} = 1,36 \text{ l}.$$

Porshenning o'rtacha tezligi

$$v_{por} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^3} = \frac{120 \cdot 2600}{3 \cdot 10^3} = 10,4 \text{ m/s}.$$

bu qiymat ilgari qabul qilingan $v_{por} = 10,4 \text{ m/s}$ ga yetarli darajada yaqin (xatolik 4% dan kam).

Dvigatelning effektiv quvvati

$$N_e = \frac{p_e \cdot i \cdot V_n \cdot n}{30 \cdot \tau} = \frac{0,675 \cdot 8 \cdot 1,36 \cdot 2600}{30 \cdot 4} = 189 \text{ kVt}.$$

Burovchi moment

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{V_e}{n} = \frac{3 \cdot 10^4}{3.14} \cdot \frac{159}{2600} = 584,3 \text{ N} \cdot \text{m}.$$

1.7.3. Turbonadduvli dīzel issiqlik hisobi misoli

Boshlang'ich ma'lumotlar:

- dvigatel turi – to'rt taktili, olti silindrli, V-simon, turbonadduvli;
- nadduv havosining bosimi $p_k = 0,17 \text{ MPa}$;
- tirsakli val aylanishlar chastotasi $n = 2100 \text{ ayl/min}$;
- siqish darajasi $\varepsilon = 15$;
- dvigatelning effektiv quvvati $N_e = 128 \text{ kVt}$;
- havo ortiqligi koeffitsiyenti $\alpha = 1,95$;
- yonilg'i turi – dīzel yonilg'isi "L", o'rtacha elementar tarkibi ($C=85,7\%$, $H=13,3\%$, $O=1\%$).

Yonilg'i

Yonilg'i yonishining quyi issiqligini aniqlaymiz

$$H_u = 33,91 \cdot C + 125,60 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot (9H + W) = 33,91 \cdot 0,857 + \\ - 125,60 \cdot 0,133 - 10,89 \cdot 0,01 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,133 = 42,5 \text{ MJ/kg} = 42500 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi jism parametrlari

$$l_c = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,857 + 8 \cdot 0,133 - 0,01 \right) = 14,52 \text{ kg}.$$

$$L_0 = \frac{l_c}{m_h} = \frac{14,52}{28,96} = 0,501 \text{ kmol}; \quad m_h = 28,96 - \text{havouchun}.$$

Yangi zaryad miqdorini aniqlaymiz

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 = 1,95 \cdot 0,501 = 0,977 \text{ kmol}.$$

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdorini aniqlaymiz

$$M_2 = \alpha \cdot L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32} = 1,95 \cdot 0,501 + \frac{0,133}{4} + \frac{0,01}{32} = 0,011 \text{ kmol}.$$

Atrof-muhit parametrlari va qoldiq gazlar

Atmosfera sharoitlari

$$p_0 = 0,1 \text{ MPa}, \quad T_0 = 288 \text{ K}$$

Nadduv havosining bosimini (topshiriqqa muvofiq) $p_k = 0,17 \text{ MPa}$ qabul qilamiz.

Kompressorda siqish politropasi ko'rsatkichini $n_k = 1,65$ qabul qilamiz.

Kompressorda keyingi havo haroratini aniqlaymiz

$$T_k = T_0 \left(\frac{p_k}{p_0} \right)^{\frac{(n_k-1)}{n_k}} = 288 \left(\frac{0,17}{0,1} \right)^{\frac{(1,65-1)}{1,65}} = 355 \text{ K.}$$

Qoldiq gazlar bosimi va harorati

$$p_x = (0,75 \dots 0,95) \cdot p_k = 0,8 \cdot 0,17 = 0,136 \text{ MPa.}$$

$T_r = 790 \text{ K}$ qabul qilamiz.

Kiritish jarayoni

Yangi zaryad qizishi haroratini $M = 40^\circ\text{S}$ deb qabul qilamiz.

Kiritishda zaryad zichligi

$$\rho_z = \frac{p_x \cdot 10^6}{R_h T_x} = \frac{0,17 \cdot 10^6}{287 \cdot 355} = 1,67 \text{ kg/m}^3$$

bu yerda $R_h = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{grad}$ – havo uchun solishtirma gaz doimiysi.

Dvigatel ishining tezlik rejimi va detallarning ichki yuzalariga ishlov berilganlik sifatiga mos ravishda $(j^2 + \frac{\varepsilon}{5_{kr}}) = 3,3$, zaryad harakatining tezligini esa $v_{kr} = 90 \text{ m/s}$ qabul qilamiz.

Dvigatelga kirishdagi bosim yo'qotilishi

$$\Delta p_a = \frac{(j^2 + \frac{\varepsilon}{5_{kr}}) \cdot v_{kr}^2 \cdot \rho_k \cdot 10^{-6}}{2} = \frac{3,3 \cdot 90^2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,0223 \text{ MPa}$$

Kiritish oxirida bosim

$$p_a = p_x - \Delta p_a = 0,17 - 0,0223 = 0,148 \text{ MPa}$$

Qoldiq gazlar koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\gamma_r = \frac{T_x + \Delta t}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} = \frac{355 + 40}{790} \cdot \frac{0,136}{15 \cdot 0,148 - 0,136} = 0,0327$$

Kiritish oxirida harorat

$$T_u = \frac{T_x + \Delta t + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{355 + 40 + 0,0327 \cdot 790}{1 + 0,0327} = 407,5 \text{ K}$$

Silindrning to'lish koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\eta_v = \frac{T_r (\varepsilon \cdot p_a - p_r)}{(T_x + \Delta t)(\varepsilon - 1) p_r} = \frac{355(15 \cdot 0,148 - 0,136)}{(355 + 40)(15 - 1)0,17} = 0,79$$

Siqish jarayoni

Siqish adiabatasi va politropasining o'rtacha ko'rsatkichlari.

Dvigatel nominal rejimda ishlaganda yetarli darajadagi aniqlikda siqish politropasining ko'rsatkichini adiabata ko'rsatkichiga taxminan teng deb qabul qilish mumkin, k_1 qiymatini ε va T_a funksiyasida nomogrammadan topiladi (1.9-rasmga qarang).

Siqish politropasi ko'rsatkichi n_1 qiymatini k_1 ga bog'liq holda aniqlaymiz, uning qiymati esa $k_1 = 1,381$, u holda

$$n_1 = (k_1 + 0,02) \dots (k_2 - 0,02) = 1,381.$$

Siqish oxirida bosim

$$p_c = p_n \varepsilon^{n_1} = 0,148 \cdot 15^{1,381} = 6,22 \text{ MPa}.$$

Siqish oxirida harorat

$$T_c = T_n \varepsilon^{n_1-1} = 407,5 \cdot 15^{1,381-1} = 1143,4 \text{ K}.$$

Siqish oxirida zaryad (havo)ning o'rtacha molyar issiqlik sig'imini (qoldiq gazlar ta'sirini hisobga olmasdan) aniqlaymiz

$$(mc_p)_g = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} T_c = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} \cdot 1143 = 22,15 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}.$$

Qoldiq gazlar mollari sonini aniqlaymiz

$$M_r = \alpha \cdot \gamma_r \cdot L_0 = 1,95 \cdot 0,0327 \cdot 0,501 = 0,032 \text{ kmol}.$$

Siqish oxirida (yonish boshlanishidan oldin) gazlar mollari soni

$$M_c = M_f + M_r = 0,977 + 0,032 = 1,01 \text{ kmol}.$$

Yonish jarayoni

Dizelda bosim o'zgarmas va $\alpha \geq 1$ bo'lganda yonish mahsulotlarining o'rtacha molyar issiqlik sig'imini aniqlaymiz.

$$\begin{aligned} (mc_p)'_i &= \left[20,2 + \frac{0,92}{\alpha} \right] + \left[\left(15,5 + \frac{13,8}{\alpha} \right) \cdot 10^{-4} \cdot T_i \right] + 8,314 = \\ &= \left[20,2 + \frac{0,92}{1,95} \right] + \left[\left(15,5 + \frac{13,8}{1,95} \right) \cdot 10^{-4} \cdot T_i \right] + 8,314 = 28,99 + 0,0023 \cdot T_i \end{aligned}$$

Yonishdan keyin gazlar mollari sonini aniqlaymiz

$$M_z = M_2 + M_r = 1,011 + 0,032 = 1,043 \text{ kmol}.$$

Ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyenti

$$\beta = \frac{M_z}{M_c} = \frac{1,043}{1,010} = 1,033.$$

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining qiymatini qabul qilamiz $\xi = 0,9$.

U holda 1 kg yonilg'i yonganida indikator diagrammaning cz'z uchastkasida gazdan ajralib chiqayotgan issiqlik miqdori

$$Q = \xi Q_i = 0,9 \cdot 42500 = 38250 \text{ kJ/kg}.$$

Bosimning ortish darajasini $\lambda_p = 1,7$ deb qabul qilamiz. Nadduvli dizellarda yonishning maksimal bosimini cheklash uchun λ_p qiymati nadduvsiz dizellarnikiga nisbatan kichikroq olinadi.

Yonish oxiridagi harorat yonish tenglamasidan aniqlanadi

$$\beta \cdot mc_p' \cdot T_z = \frac{\xi \cdot H_u}{\alpha \cdot L_0 \cdot (1 + \gamma_r)} + T_n \cdot (mc_p' + 8,314 \cdot \lambda_p) \cdot$$

$$> 1.033 \cdot (28.99 - 0.0023 \cdot T_z) \cdot T_z = \frac{38250}{1.95 \cdot 0.501 \cdot (1 + 0.0327)} + 1143.4 \cdot (22.15 + 8.314 \cdot 1.7 \cdot 0.0023 \cdot T_z^2 + 29.95 \cdot T_z - 79399.6 = 0.$$

Ma'lum kattaliklarning qiymatlarini qo'yib, olingan kvadrat tenglamani T_z ga nisbatan yechamiz va uning qiymatini topamiz, $T_z = 2259 \text{ K}$.

Yonish jarayoni oxiridagi bosim

$$p_z = \lambda_p \cdot p_i = 6.22 \cdot 1.7 = 10.57 \text{ MPa}.$$

Dastlabki kengayish darajasini aniqlaymiz

$$\rho = \frac{\beta \cdot T}{\lambda_p \cdot T_z} = \frac{1.033 \cdot 2259}{1.7 \cdot 1143.4} = 1.20.$$

Kengayish jarayoni

Keyingi kengayish darajasini aniqlaymiz

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = \frac{15}{1.20} = 12.50.$$

Dizel uchun kengayish politropasi ko'rsatkichi n_2 ni nomogrammadan topamiz (1.12-rasm), bunda n_2 qiymati kengayish adiabatasi ko'rsatkichi k_2 dan juda kam farq qilishini hisobga olamiz.

Kengayish politropasi ko'rsatkichining qiymatini topishni quyidagi tarzda amalga oshiramiz.

T_z va δ larning ma'lum qiymatlaridan kesishish nuqtasini aniqlaymiz. Olingan nuqtadan $\alpha = 1.0$ nuqtadan tushirilgan vertikal chiziq bilan kesishguncha gorizontal chiziq o'tkazamiz va k_2 ning egri chizig'ı bo'ylab berilgan α qiymatidan tushirilgan vertikal bilan kesishguncha siljiymiz. Olingan nuqtaning ordinatasi k_2 ning izlanayotgan qiymatini beradi.

Qabul qilamiz: $k_2 = 1.28$; $n_2 = k_2 = 1.28$.

Kengayish jarayoni oxirida gazlarning bosimi

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \frac{10.57}{12.5^{1.28}} = 0.416 \text{ MPa}.$$

Kengayish oxirida gazlarning harorati

$$T_1 = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{2259.1}{12.5^{1.28-1}} = 1114 \text{ K}.$$

Qoldiq gazlar harorati ilgari qabul qilingan qiymatining to'g'riligini tekshiramiz (nominal ish rejimi uchun xatolik 5%dan oshmasligi kerak).

$$T_1 = \frac{T_b}{\sqrt[3]{p_b / p_i}} = \frac{1114}{\sqrt[3]{0.416 / 0.136}} = 767.4 \text{ K}.$$

Xatolik

$$\Delta = \frac{T_c - T_c'}{T_c} \cdot 100\% = \frac{790 - 767,3}{790} \cdot 100\% = 2,8\%.$$

Nadduvli dizel ishchi siklining indikator parametrlari.

Nazariy o'rtacha indikator bosim

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda_p (\rho - 1) + \frac{\lambda_p \cdot \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] =$$
$$= \frac{6,22}{15 - 1} \left[1,7 \cdot (1,20 - 1) + \frac{1,7 \cdot 1,20}{1,28 - 1} \left(1 - \frac{1}{12,5^{1,28 - 1}} \right) - \frac{1}{1,381 - 1} \left(1 - \frac{1}{15^{1,381 - 1}} \right) \right] = 1,041 \text{ MPa}.$$

Indikator diagrammaning to'liqligi ko'effitsiyentini $\varphi_i = 0,96$ qabul qilamiz.

Dizelning o'rtacha indikator bosimi

$$p_i = \varphi_i p_i' = 0,96 \cdot 1,041 = 0,999 \text{ MPa}.$$

Indikator foydali ish ko'effitsiyenti

$$\eta_i = \frac{p_i l_d \alpha}{H_u \rho_i \eta_v} = \frac{0,999 \cdot 1,95 \cdot 14,52}{42,5 \cdot 0,67 \cdot 0,79} = 0,504.$$

Yonilg'ining indikator solishtirma sarfini aniqlaymiz

$$g_i = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_i} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{42,5 \cdot 0,504} = 168,1, \text{ g/kVt} \cdot \text{soat}.$$

Dizelning effektiv ko'rsatkichlari

Traktor dizeli uchun birinchi yaqinlashuvda porshen o'rtacha tezligini $v_{por} = 9 \text{ m/s}$ qabul qilamiz.

Mexanik yo'qotishlarning o'rtacha bosimini aniqlaymiz

$$p_M = a + b \cdot v_{por} = 0,089 + 0,0118 \cdot 9 = 0,195 \text{ MPa}.$$

Bu yerda ajralmagan yonish kamerali dizellar uchun $a=0,089$, $b=0,0118$.

O'rtacha effektiv bosim

$$p_e = p_i - p_M = 0,999 - 0,195 = 0,804 \text{ MPa}.$$

Dizelning mexanik f.i.k.

$$\eta_M = \frac{p_e}{p_i} = \frac{0,804}{0,999} = 0,805.$$

Dizelning effektiv f.i.k.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M = 0,504 \cdot 0,805 = 0,406.$$

Yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi

$$g_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_e} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{42,5 \cdot 0,406} = 208,6, \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)}.$$

Silindr va dvigatelning asosiy parametrlari

Silindrning ishchi hajmi

$$V_h = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{p_e \cdot i \cdot n} = \frac{30 \cdot 4 \cdot 128}{0.804 \cdot 6 \cdot 2100} = 1.516 \text{ l.}$$

Odatda dizellarda porshen yo'lining silindr diametriga nisbati $S/D \geq 1.0$. O'xshash dvigatellarga qarab bu nisbatni $S/D=1.08$ qabul qilamiz.

Silindr diametri

$$D = 100 \sqrt{\frac{4V_h}{\pi \cdot S/D}} = 100 \sqrt{\frac{4 \cdot 1.516}{3.14 \cdot 1.08}} = 120.82 \text{ mm.}$$

Silindr diametrini $D=120$ mm qabul qilamiz.

Porshen yo'li

$$S = D \cdot \left(\frac{S}{D}\right) = 120 \cdot 1.08 = 129.6 \text{ mm}$$

qabul qilamiz $S=130$ mm

Qabul qilingan D va S qiymatlarini bo'yicha dizelning qolgan parametrlari va ko'rsatkichlarini aniqlaymiz.

Porshen tubi yuzasi

$$F_p = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3.14 \cdot 120^2}{4} = 11304 \text{ mm}^2 = 113 \text{ sm}^2.$$

Silindrning ishchi hajmi

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4} = \frac{3.14 \cdot 120^2 \cdot 130}{4} = 1.47 \text{ l.}$$

Porshenning o'rtacha tezligini aniqlaymiz

$$v_{por} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^4} = \frac{130 \cdot 2100}{3 \cdot 10^4} = 9.1 \text{ m/s.}$$

bu qiymat ilgari qabul qilingan $v_{por}=9 \text{ m/s}$ ga yetarlicha yaqin (xatolik 1.1%).

Dvigatelning effektiv quvvati

$$N_e = \frac{p_e \cdot i \cdot V_h n}{30 \cdot \tau} = \frac{0.804 \cdot 6 \cdot 1.47 \cdot 2100}{30 \cdot 4} = 124.1 \text{ kVt.}$$

Xatolik

$$\Delta = \frac{128 - 124.1}{128} \cdot 100\% = 3\%.$$

Burovchi moment

$$M_{br} = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} = \frac{3 \cdot 10^4}{3.14} \cdot \frac{124}{2100} = 564.6 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

1.8. Karbyuratorli dvigatelning issiqlik hisobi

1.8.1. Umumiy holatlar

Boshlang'ich ma'lumotlar:

- *dvigatel turi* – taktiligi, silindrlar soni va joylashishi;
- *tirsakli valning aylanishlar chastotasi* n , ayl/min;
- *effektiv quvvat (nominal ish rejimi uchun)* N_e , kVt)
- *siqish darajasi* ϵ ;
- *havo ortiqqlik koeffitsiyenti* α ;
- *yonilg'i turi* – benzin AI-80 GOST R51105-97, o'rtacha elementar tarkibi va molekulyar massasi
 $C'=0,855$, $H=0,145$ va $t_{yo}=115$ kg/kmol.

Yonilg'i

Yonilg'i yonishining quyi issiqligi

$$H_u = 33,91 \cdot C + 125,60 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot (9H + W), \quad MJ/kg.$$

Ishchi jism parametrlari

1 kg yonilg'i to'liq yonishi uchun nazariy zaruriy havo miqdori

$$L_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) \quad kg \text{ havo } / kg \text{ yonilg'i}.$$

$$L_0 = \frac{L_0}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \quad kmol \text{ havo } / kg \text{ yonilg'i}.$$

Yonuvchi aralashma (yangi zaryad) miqdori

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_f} \quad kmol \text{ yon.aral. } / kg \text{ yonilg'i}.$$

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdori

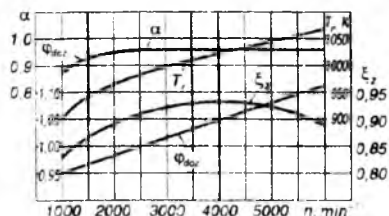
$$M_2 = \alpha \cdot L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32} - 0,21 \cdot L_0 (1 - \alpha) \quad kmol \text{ yon.mah } / kg \text{ yonilg'i}.$$

Atrof muhit parametrlari va qoldiq gazlar

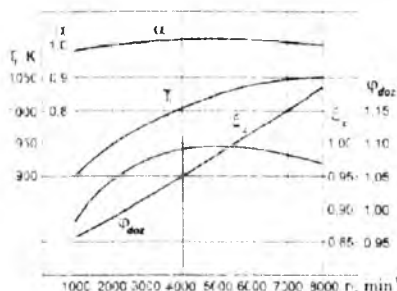
Dvigatel nadduvsiz ishlaganida atrof muhit bosimi va harorati

$$p_k = p_0 = 0,1 \text{ MPa}, \quad T_k = T_0 = 293 \text{ K}.$$

Qoldiq gazlar harorati. Siqish darajasi o'zgarmas va qoldiq gazlarning harorati $\alpha = const$ bo'lganda tezlik rejimi ortishi bilan amalda deyarli chiziqli kattalashib boradi, lekin aralashma boyiganda kamayadi. Aniqlanib bo'lingan p va α larning ma'lum qiymatlari bo'yicha karbyuratorli dvigatelning hisobiy rejimlari uchun T_f qiymatini 1.21- va 1.22-rasmlardan aniqlash mumkin.



1.21-rasm. Karbyuratorli dvigatelni issiqlik hisoblash uchun boshlang'ich parametrlar



1.22-rasm. Yonilg'i taqsimlanib purkaladigan dvigatelni issiqlik hisoblash uchun boshlang'ich parametrlar

Qoldiq gazlar bosimi p_r ni gaz taqsimlash fazasi kengayishi va hisoblanayotgan dvigatellar chiqarish traktini konstruktiv shakllantirganda qarshilik kamayishi hisobiga nominal ish rejimida quyidagi oraliqda olish mumkin

$$p_r = (1,02 \dots 1,15) \cdot p_0, \text{ MPa.}$$

Kiritish jarayoni

Yangi zaryad qizishi harorati $\Delta t = -5 \dots +25^\circ \text{S}$ oralig'ida qabul qilinadi.

Kiritishda zaryad zichligi

$$\rho_x = \frac{p_x \cdot 10^5}{R_h T_x} \text{ kg / m}^3$$

bu yerda $R_h = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{grad}$ – havo uchun solishtirma gaz doimiysi.

Dvigatel ishining tezlik rejimi va ichki sirtlarga ishlov berilganlikning sifatiga muvofiq quyidagilarni qabul qilamiz. koeffitsiyent $(\beta^2 + \frac{p}{p_0}) = 2,5 \dots 4,0$, zaryad harakatining tezligi esa $w_w = 50 \dots 130 \text{ m/s}$

Dvigatelga kirishda bosim yo'qotilishi

$$\Delta p_a = \frac{(\beta^2 + \varepsilon) \omega_b^2 \cdot \rho_k \cdot 10^{-6}}{2} \text{ MPa}$$

Kiritish oxirida silindrdagi gazlar bosimi

$$p_a = p_k - \Delta p_a \text{ MPa}$$

Qoldiq gazlar koeffitsiyenti

$$\gamma_r = \frac{T_a + \Delta t}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r}$$

Kiritish oxirida silindrdagi gazlar harorati

$$T_a = \frac{T_r + \Delta t + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} K$$

Silindrning hajmiy to'lish koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\eta_k = \frac{T_0(\varepsilon \cdot p_a - p_r)}{(T_0 + \Delta t)(\varepsilon - 1)p_0}$$

Siqish jarayoni

Siqish adiabatasi ko'rsatkichi k_l ni ε va T_a funksiyasida nomogramma (1 9-rasm) bo'yicha aniqlaymiz.

Siqish politropasi ko'rsatkichi $n_l = (k_l + 0,02) \dots (k_l - 0,02)$ oralıqda qabul qilinadi.

Siqish oxirida gazlar bosimi

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_l} \text{ MPa}$$

Siqish oxirida gazlar harorati

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_l - 1} K$$

Siqish oxirida zaryad (havo)ning o'rtacha molyar issiqlik sig'imini (qoldiq gazlarning ta'sirini hisobga olmasdan) aniqlaymiz

$$(mc_p)_{\text{ga}}^{\text{ga}} = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} T_c \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}$$

Qoldiq gazlar molyar sonini aniqlaymiz

$$M_r = \alpha \gamma_r I_{\text{q}} \text{ kmol}$$

Siqish oxirida (yonish boshlangunicha) gazlar mollari sonini hisoblaymiz

$$M_c = M_l + M_r \text{ kmol}$$

Yonish jarayoni

O'zgarmas bosimda, $\alpha \leq 1,0$ da, karbyuratorli dvigatelda yonish mahsulotlarining o'rtacha molyar issiqlik sig'imini aniqlaymiz

$$(mc_p)_{\text{ga}}^{\text{ga}} = [18,4 + 2,6 \cdot \alpha] \cdot (15,5 + 13,8 \cdot \alpha) \cdot 10^{-3} \cdot T_c \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}$$

Yonishdan keyin gazlar mollari soni

$$M_z = M_2 + M_r \text{ kmol}$$

Ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyenti

$$\beta = \frac{M_z}{M_c}$$

Issiklikdan foydalanish koeffitsiyentining qiymatini $\xi=0,7\ldots 0,9$ oralikda qabul qilamiz.

U holda 1 kg yonilg'i yonishida indikator diagrammaning oz uchashtkasida gaz uzatayotgan issiqlik miqdori

$$Q = \xi (H_u - \Delta H_u), \text{ kJ kg.}$$

Yonilg'i kimyoviy to'liq yonmaganligi oqibatida yo'qotilgan issiqlik miqdori

$$\Delta H_u = 119\,950 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_0, \text{ kJ kg.}$$

Yonish oxiridagi harorat yonish tenglamasidan aniqlanadi

$$\beta \cdot (mc_p)_{\text{g}}^{\text{t}} \cdot T_{\text{t}} = \frac{\xi \cdot (H_u - \Delta H_u)}{\alpha \cdot L_0 \cdot (1 - \gamma_r)} + (mc_p)_{\text{g}}^{\text{t}} \cdot T_{\text{c}}.$$

Kattaliklarning ma'lum bo'lgan qiymatlarini tenglamaga qo'yamiz, hosil bo'lgan kvadrat tenglamani T_{t} ga nisbatan yechamiz va uning qiymatini K da topamiz.

Yonish oxiridagi nazariy maksimal bosim

$$p = \frac{p_{\text{c}} \cdot \beta \cdot T_{\text{t}}}{T_{\text{c}}}, \text{ MPa.}$$

Yonish jarayoni oxiridagi haqiqiy bosim

$$p_{\text{t}} = 0,85 \cdot p, \text{ MPa.}$$

Bosim ortishi darajasini aniqlaymiz

$$\lambda_p = \frac{p_{\text{t}}}{p_{\text{c}}}.$$

Kengayish jarayoni

Karbyuratorli dvigatel uchun kengayish politropasining ko'rsatkichi n_2 ni nomogramma (1.11-rasm)dan aniqlaymiz, uning qiymati kengayish adiabatasi ko'rsatkichi k_2 dan juda kam farqlanishini inobatga olib, $n_2 \approx k_2$ deb qabul qilamiz.

Kengayish adiabatasi ko'rsatkichi k_2 ni aniqlash quyidagicha amalga oshiriladi.

T_{c} va δ larning ma'lum qiymatlaridan kesishish nuqtasini aniqlaymiz. Olingan nuqtadan $\alpha=1,0$ nuqtadan tushirilgan vertikal chiziq bilan kesishgunicha gorizontaal chiziq o'tkazamiz va k_2 ning egri chizig'i bo'ylab berilgan α qiymatidan tushirilgan vertikal bilan kesishguncha siljiymiz. Olingan nuqtaning ordinatasi k_2 ning

izlanayotgan qiymatini beradi.

Qabul qilamiz: $k_2=1,273$; $n_2=k_2=1,273$

Kengayish jarayoni oxiridagi bosim

$$p_b = \frac{p_c}{\delta^{n_2}} \text{ MPa.}$$

Kengayish oxirida gazlar harorati

$$T_b = \frac{T_c}{\delta^{n_2-1}} K.$$

Qoldiq gazlar haroratining ilgari qabul qilingan qiymati to'g'riligini tekshiramiz (xatolik dvigatelning hamma tezlik rejimlari 5%dan oshmasligi kerak).

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[p_1/p_c]{p_1/p_c}} K;$$

$$\Delta = \frac{T_r - T_c}{T_r} \cdot 100\%.$$

Dvigateli shchi siklining indikator parametrlari. Nazariy indikator diagramma uchun siklining o'rtacha indikator bosimi

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\varepsilon p_c (\gamma - 1) + \frac{\lambda_p \cdot p}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] \text{ MPa.}$$

Indikator diagramma to'liqligi koeffitsiyentini qabul qilamiz $\varphi_i = 0,94 \dots 0,97$.

Haqiqiy (dumaloqlashtirilgan) indikator diagramma uchun siklining o'rtacha bosimi

$$p_i = \varphi_i p_i' \text{ MPa.}$$

Siklining indikator f.i.k.

$$\eta_i = \frac{P_i I_{0i} \varepsilon^{\gamma}}{H_v C_n n_i}.$$

Yonilg'ining indikator solishtirma sarfi

$$g_i = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_i \eta_i}, \text{ g/kVt soat.}$$

Dvigatelning effektiv ko'rsatkichlari

Porshenning o'rtacha tezligi $v_{p, o'rt}$ ni yengil avtomobillar dvigatellari uchun 12...20 m/s oralig'ida va yuk avtomobillarining dvigatellari uchun 9...16 m/s oralig'ida qabul qilinadi.

Mexanik yo'qotishlarning o'rtacha bosimi

$$p_{i, \Delta} = a + b \cdot v_{p, o'rt} \text{ MPa.}$$

bu yerda, $a=0,049$, $b=0,0152$ – silindrlar soni oltitagacha va $S/D>1$

bo'lgan

benzinli dvigatellar uchun;

$a=0,039$ va $b=0,0132$ – $S/D < 1$ bo'lgan sakkiz silindrli benzinli

dvigatellar uchun;

$a=0,034$, $b=0,0113$ – silindrlar soni oltitagaacha va $S/D \leq 1$ bo'lgan

benzinli dvigatellar uchun.

O'rtacha effektiv bosim

$$p_e = p_i - p_M \text{ MPa.}$$

Mexanik f.i.k.

$$\eta_M = \frac{p_e}{p_i}$$

Effektiv f.i.k.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M$$

Yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi

$$g_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_e \eta_e}, \quad g' (kVt \cdot soat).$$

Silindrning asosiy o'lchamlari va dvigatelning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari.

Dvigatelning effektiv quvvati, tirsakli val aylanishlar chastotasi, o'rtacha effektiv bosim va silindrlar sonidan kelib chiqib bir silindrning ishchi hajmini aniqlaymiz

$$V_h = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{p_e \cdot i \cdot n}, \quad l.$$

Silindr diametrini aniqlaymiz

$$D = 100 \sqrt{\frac{4V_h}{\pi \cdot S \cdot D}}, \quad mm.$$

Olingan qiymatni (butun songacha) yiriklashtiramiz.

Porshen tubining yo'lini aniqlaymiz

$$S = D \cdot \left(\frac{S}{D}\right), \quad mm.$$

D va S ning olingan qiymatlari butun songa, nolga yoki beshga yiriklashtiriladi. Qabul qilingan D va S qiymatlari bo'yicha dvigatelning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari aniqlanadi.

Porshen yuzasini aniqlaymiz

$$F_p = \frac{\pi D^2}{4}, \quad sm^2$$

Silindrning (qabul qilingan yangi o'lchamlari bo'yicha) ishchi hajmini aniqlashtiramiz

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4} \cdot l$$

Porshenning o'rtacha tezligi

$$v_{por} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^4} \cdot m/s.$$

va bu qiymatni oldingi qiymat bilan solishtiramiz.

Dvigatelning effektiv quvvati

$$N_e = \frac{p_e \cdot i \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau} \text{ kVt}$$

Dvigatelning hisobiy topilgan effektiv quvvatini berilgan quvvat bilan solishtiramiz va issiqlik hisobi to'g'ri bajarilganligi haqida xulosa chiqaramiz

$$\Delta = \frac{N_e - N_e'}{N_e} \cdot 100\%$$

farq 5% dan oshmasligi kerak.

Dvigatelning effektiv burovchi momenti

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e'}{n} \text{ N} \cdot \text{m}.$$

1.8.2. Karbyuratorli dvigatelning issiqlik hisobi misoli

Boshlang'ich ma'lumotlar:

- dvigatel turi – to'rt taktili, sakkiz silindrli, V-simon, nadduvsiz;
- tirsakli valning aylanishlar chastotasi $n = 3200 \text{ ayl/min}$;
- effektiv quvvati $N_e = 96 \text{ kVt}$;
- siqish darajasi $\epsilon = 7,6$;
- havo ortiqqligi koeffitsiyenti $\alpha = 0,95$;
- yonilg'i turi – benzin AI-80 GOST R 51105-97, o'rtacha elementar tarkibi va molekulyar massasi: $C=85,5\%$, $H=14,5\%$, $t_f=115 \text{ kg/kmol}$

Yonilg'i

Yonilg'i yonishining quyi issiqligi

$$H_u = 33,91 \cdot C + 125,60 \cdot H - 10,89 \cdot (O - S) - 2,51 \cdot (9H + W) = 33,91 \cdot 0,855 + 125,60 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43,93 \text{ MJ/kg} = 43930 \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi jism parametrlari

1 kg yonilg'i yonishi uchun zarur bo'lgan havoning nazariy miqdorini aniqlaymiz

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,855 + 8 \cdot 0,145 \right) = 14,96 \text{ kg}.$$

yoki

$$L_0 = \frac{l_0}{m_h} = \frac{14,96}{28,96} = 0,516 \text{ kmol}, \quad m_h = 28,96 - \text{havochun}.$$

Yangi zaryad miqdorini aniqlaymiz

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_{\text{yin}}} = 0,95 \cdot 0,516 + \frac{1}{115} = 0,499 \text{ kmol}.$$

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdorini aniqlaymiz

$$M_2 = \alpha \cdot L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32} + 0,21 \cdot L_0 \cdot (1 - \alpha) =$$

$$0,95 \cdot 0,516 + \frac{0,145}{4} + 0,21 \cdot 0,516 \cdot (1 - 0,95) = 0,532 \text{ kmol}$$

Atrof muhit parametrlari va qoldiq gazlar

Atmosfera sharoitlari

$$p_a = p_0 = 0,1 \text{ MPa}, \quad T_a = T_0 = 293 \text{ K}.$$

Qoldiq gazlar bosimi

$$p_r = (1,02 \dots 1,15) \cdot p_0 = 1,15 \cdot 0,1 = 0,115 \text{ MPa};$$

Qoldiq gazlar haroratini $T_r = 1000 \text{ K}$ qabul qilamiz.

Kiritish jarayoni

Yangi zaryad qizishi haroratini $M = 10^2 \text{ S}$ deb qabul qilamiz.

Kiritishda zaryad zichligini aniqlaymiz

$$\rho_* = \frac{p_* \cdot 10^3}{R_h T_*} = \frac{0,1 \cdot 10^3}{287 \cdot 293} = 1,19 \text{ kg/m}^3$$

bu yerda $R_h = 287 \text{ J/kg grad}$ – havo uchun solishtirma gaz doimiysi.

Dvigatel ishining tezlik rejimi va ichki yuzalarga ishlov berilganlik sifatiga mos ravishda koeffitsiyentni $(\beta^2 + \varepsilon_{kr}) = 3,25$, zaryad harakatining tezligini esa $\omega_{kr} = 85 \text{ m/s}$ qabul qilamiz.

Dvigatelga kirishdagi bosim yo'qotilishini aniqlaymiz

$$\Delta p_a = \frac{(\beta^2 + \varepsilon_{kr}) \omega_{kr}^2 \cdot \rho_* \cdot 10^{-6}}{2} = \frac{3,25 \cdot 85^2 \cdot 1,19 \cdot 10^{-6}}{2} = 0,014 \text{ MPa}$$

Kiritish oxiridagi bosimni aniqlaymiz

$$p_e = p_0 - \Delta p_a = 0,1 - 0,014 = 0,086 \text{ MPa}$$

Qoldiq gazlar koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\gamma_* = \frac{T_* + \Delta t}{T_r} \cdot \frac{p_r}{\varepsilon \cdot p_a - p_r} = \frac{293 + 10}{1000} \cdot \frac{0,115}{7,6 \cdot 0,086 - 0,115} = 0,0647$$

Kiritish oxirida gazlar haroratini aniqlaymiz

$$T_a = \frac{T + \Delta t + \gamma_r T}{1 + \gamma_r} = \frac{293 + 10 + 0,0647 \cdot 1000}{1 + 0,0647} = 345,3 \text{ K}$$

Silindrning hajmiy to'lish koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\eta_v = \frac{T_a (\varepsilon \cdot p_a - p_r)}{(T_a + \Delta t)(\varepsilon - 1)p_r} = \frac{293(7,6 \cdot 0,086 - 0,115)}{(293 + 10)(7,6 - 1)0,1} = 0,79$$

Siqish jarayoni

Siqish adiabatasi ko'rsatkichi k_l ni ε va T_a funksiyasida nomogramma (1 9-rasmga qarang) bo'yicha aniqlaymiz.

Siqish politropasi ko'rsatkichi n_l ni k_l ga bog'liq holda topamiz, bu bog'lanish: $n_l = (k_l - 0,01) \dots (k_l - 0,04) = 1,377$.

Siqish oxiridagi bosimni aniqlaymiz

$$p_r = p_a \varepsilon^{n_l} = 0,086 \cdot 7,6^{1,377} = 1,40 \text{ MPa}.$$

Siqish oxiridagi haroratni aniqlaymiz

$$T_r = T_a \varepsilon^{n_l - 1} = 345,3 \cdot 7,6^{1,377 - 1} = 741,8 \text{ K}.$$

Siqish oxirida zaryad (havo)ning o'rtacha molyar issiqlik sig'imini (qoldiq gazlar ta'sirini hisobga olmasdan) aniqlaymiz

$$(mc_v)_r = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} T = 20,16 + 1,74 \cdot 10^{-3} \cdot 741,8 = 21,45 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}.$$

Qoldiq gazlar mollari sonini aniqlaymiz

$$M_r = \alpha \gamma_r I_{q0} = 0,95 \cdot 0,0647 \cdot 0,515 = 0,0317 \text{ kmol}.$$

Siqish oxirida (yonish boshlanishidan oldin) gazlar mollari soni

$$M_c = M_l + M_r = 0,499 + 0,0317 = 0,531 \text{ kmol}.$$

Yonish jarayoni

Karbyuratorli dvigatelda bosim o'zgarmas va $\alpha \leq 1$ bo'lganda yonish mahsulotlarining o'rtacha molyar issiqlik sig'imini aniqlaymiz.

$$\begin{aligned} mc_v &= (18,4 + 2,6 \cdot \alpha) + (15,5 + 13,8 \cdot \alpha) \cdot 10^{-4} \cdot T_r = \\ &= (18,4 + 2,6 \cdot 0,95) + (15,5 + 13,8 \cdot 0,95) \cdot 10^{-4} \cdot T_r = \\ &= 20,87 + 0,00296 \cdot T_r, \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}. \end{aligned}$$

Yonishdan keyin gazlar mollari sonini aniqlaymiz

$$M_z = M_c + M_r = 0,532 + 0,0317 = 0,564 \text{ kmol}$$

Ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyenti

$$\mu_0 = \frac{M_z}{M_c} = \frac{0,564}{0,531} = 1,062.$$

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining qiymatini $\xi = 0,8$ qabul qilamiz.

U holda 1 kg yonilg'i yonganida indikator diagrammaning cz uchastkasida gazdan ajralib chiqqan issiqlik miqdori

$$Q = \xi (H_u + \Delta H_u) = 0,8 \cdot (43930 - 3094,71) = 32668,1 \text{ kJ/kg}.$$

Kimyoviy noto'liq yonish tufayli yo'qotilgan issiqlik miqdorini aniqlaymiz.

$$\Delta H_u = 119950 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_0 = 119950 \cdot (1 - 0,95) \cdot 0,516 = 3094,71 \text{ kJ/kg.}$$

Yonish oxiridagi haroratni yonish tenglamasidan aniqlaymiz

$$\mu_c \cdot (mc_v^*)'_c \cdot T_z = \frac{\xi \cdot (H_u + \Delta H_u)}{\alpha \cdot L_0 \cdot (1 + \gamma_c)} + (mc_v^*)'_c \cdot T_c \times$$

$$\times 1,062 \cdot (20,87 + 0,00286 \cdot T_z) \quad T_z = \frac{32668,1}{0,95 \cdot 0,516 \cdot (1 + 0,0647)} + 21,45 \cdot 741,8$$

$$0,003 \cdot T_z^2 + 22,164 \cdot T_z - 78504,26 = 0.$$

Ma'lum kattaliklarning qiymatlarini qo'yib, olingan kvadrat tenglamani T_z ga nisbatan yechamiz va uning qiymatini topamiz, $T_z = 2615,8 \text{ K}$.

Yonish jarayoni oxiridagi nazariy bosimni topamiz

$$p_z = \frac{p_c \cdot \mu_o \cdot T_z}{T_c} = \frac{1,40 \cdot 1,062 \cdot 2615,8}{741,8} = 5,24 \text{ MPa.}$$

Yonish jarayoni oxiridagi haqiqiy bosimni topamiz

$$p_{zx} = 0,85 \cdot p_z = 0,85 \cdot 5,25 = 4,45 \text{ MPa.}$$

Bosim ortishi darajasini aniqlaymiz

$$\lambda_p = \frac{p_z}{p_c} = \frac{5,24}{1,40} = 3,74.$$

Kengayish jarayoni

Karbyuratorli dvigatelda kengayish politropasining ko'rsatkichini nomogramma (1.11-rasmga qarang) bo'yicha aniqlaymiz, bunda uning qiymati kengayish adiabatasi ko'rsatkichi k_2 dan kam farq qilishini hisobga olamiz.

Kengayish politropasi ko'rsatkichining qiymatini topishni quyidagi tarzda amalga oshiramiz.

T_z va δ larning ma'lum qiymatlaridan kesishish nuqtasini aniqlaymiz. Olingan nuqtadan $\alpha = 1,0$ nuqtadan tushirilgan vertikal chiziq bilan kesishgunicha gorizontal chiziq o'tkazamiz va k_2 ning egri chizig'i bo'ylab berilgan α qiymatidan tushirilgan vertikal bilan kesishguncha siljiymiz. Olingan nuqtaning ordinatasi k_2 ning izlanayotgan qiymatini beradi.

Qabul qilamiz $n_2 = k_2 = 1,253$

Kengayish jarayoni oxirida gazlarning bosimini aniqlaymiz

$$p_b = \frac{p_z}{\epsilon^{n_2}} = \frac{5,24}{7,6^{1,253}} = 0,41 \text{ MPa.}$$

Kengayish oxirida gazlarning harorati

$$T_b = \frac{T_a}{\varepsilon^{n-1}} = \frac{2615,8}{7,6^{1,253-1}} = 1565,8 \text{ K}$$

Qoldiq gazlar harorati ilgari qabul qilingan qiymatining to'g'riligini tekshiramiz (nominal ish rejimi uchun xatolik 5% dan oshmasligi kerak).

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[n]{p_b/p_r}} = \frac{1565,8}{\sqrt[3]{0,41/0,115}} = 1024 \text{ K}$$

Xatolik

$$\Delta = \frac{T_r - T_a}{T_r} \cdot 100\% = \frac{1024 - 1000}{1024} \cdot 100\% = 2,3\%$$

Karbyuratorli dvigatel ishchi siklining indikator parametrlari.

Nazariy o'rtacha indikator bosim

$$p_i' = \frac{p_r}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\varepsilon_p}{n_i - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_i - 1}} \right) - \frac{1}{n_i - 1} \left(\frac{1}{\varepsilon^{n_i - 1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{1,40}{7,6 - 1} \left[\frac{3,74}{1,253 - 1} \left(1 - \frac{1}{7,6^{1,253-1}} \right) - \frac{1}{1,377 - 1} \left(\frac{1}{7,6^{1,377-1}} \right) \right] = 0,997 \text{ MPa}$$

Indikator diagramma to'liqligi koeffitsiyentini $\phi_i = 0,95$ qabul qilamiz.

Karbyuratorli dvigatelning o'rtacha indikator bosimi

$$p_i = \phi_i p_i' = 0,95 \cdot 0,997 = 0,947 \text{ MPa}$$

Indikator foydali ish koeffitsiyenti

$$\eta_i = \frac{p_i l_o \alpha}{H_u \rho_s \eta_s} = \frac{0,947 \cdot 0,95 \cdot 14,96}{43,93 \cdot 1,19 \cdot 0,79} = 0,326$$

Yonilg'ining indikator solishtirma sarfini aniqlaymiz

$$g_i = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_i} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{43,93 \cdot 0,326} = 251,4 \text{ g/kVt} \cdot \text{soat}$$

Karbyuratorli dvigatelning effektiv ko'rsatkichlari.

Birinci yaqinlashuvda yuk avtomobili dvigateli uchun porshen o'rtacha tezligini $v_{p.o.r} = 9,5 \text{ m/s}$ qabul qilamiz.

Dvigateldagi mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimini aniqlaymiz

$$p_M = a + b \cdot v_{p.o.r} = 0,039 + 0,0132 \cdot 9,5 = 0,165 \text{ MPa}$$

Sakkiz silindrli, $S/D < 1$ bo'lgan benzinli dvigatellar uchun $a = 0,039$, $b = 0,0132$.

O'rtacha effektiv bosimni aniqlaymiz

$$P_e = P_i - P_M = 0,947 - 0,165 = 0,782 \text{ MPa}.$$

Karbyuratorli dvigatelning mexanik f.i.k.ni aniqlaymiz

$$\eta_{M1} = \frac{P_e}{P_i} = \frac{0,782}{0,947} = 0,826.$$

Dvigatelning effektiv f.i.k.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_{M1} = 0,326 \cdot 0,826 = 0,269.$$

Yonilg'ining effektiv solishtirma sarfini aniqlaymiz

$$g_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_e} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{43,93 \cdot 0,269} = 304,6, \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)}.$$

Silindr va dvigatelning asosiy parametrlari.

Dvigatelning effektiv quvvati, tirsakli val aylanishlar chastotasi, o'rtacha effektiv bosim va silindrlar sonidan kelib chiqib, bir silindrning ishchi hajmini aniqlaymiz

$$V_h = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{P_e \cdot i \cdot n} = \frac{30 \cdot 4 \cdot 96}{0,782 \cdot 8 \cdot 3200} = 0,576, \text{ l}.$$

Karbyuratorli dvigatellarda porshen yo'lining silindr diametriga nisbati $S/D=1,0$. Tajribadan ushbu dvigatel uchun $S/D=0,95$ qabul qilamiz.

Silindr diametri

$$D = 100 \sqrt{\frac{4V_h}{\pi \cdot \rho}} = 100 \sqrt{\frac{4 \cdot 0,576}{3,14 \cdot 0,95}} = 91,91 \text{ mm}.$$

Silindr diametrini $D=92 \text{ mm}$ gacha yiriklashtiramiz.

Porshen yo'lini aniqlaymiz

$$S = D \cdot \left(\frac{S}{D}\right) = 92 \cdot 0,95 = 87,4, \text{ mm}$$

Porshen yo'lini $S=88 \text{ mm}$ gacha yiriklashtiramiz.

Qabul qilingan $D=92 \text{ mm}$ va $S=88 \text{ mm}$ qiymatlari bo'yicha karbyuratorli dvigatelning qolgan parametrlari va ko'rsatkichlarini aniqlaymiz.

Porshen tubining yuzasi

$$F_p = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 92^2}{4} = 6644 \text{ mm}^2 = 66,44 \text{ sm}^2$$

Silindrning ishchi hajmi

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4} = \frac{3,14 \cdot 92^2 \cdot 88}{4} = 0,585 \text{ l}.$$

Porshenning o'rtacha tezligi

$$v_{p.i.} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^4} = \frac{88 \cdot 3200}{3 \cdot 10^4} = 9,39 \text{ m/s}.$$

bu qiymat ilgari qabul qilingan $v_{pov.} = 9,5 \text{ m/s.}$ ga yetarli darajada yaqin (xatolik 1,2%).

Dvigatelning effektiv quvvati

$$N_e = \frac{p_e \cdot l \cdot V_d \cdot n}{30 \cdot \tau} = \frac{0,782 \cdot 8 \cdot 0,585 \cdot 3200}{30 \cdot 4} = 97,6 \text{ kVt.}$$

Farq

$$\Delta = \frac{97,6 - 96}{97,6} \cdot 100\% = 1,6\%.$$

Burovchi moment

$$M_{br} = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} = \frac{3 \cdot 10^4}{3,14} \cdot \frac{97,6}{3200} = 291,4 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

1.9. Yonilg'i taqsimlanib purkaladigan benzinli dvigatelning issiqlik hisobi.

1.9.1. Umumiy holatlar

Boshlang'ich ma'lumotlar:

- dvigatel turi (taktililigi, silindrlar soni va joylashishi);
- tirsakli valning aylanishlar chastotasi n , ayl/min,
- effektiv quvvat (nominal ish rejimi uchun N_e , kVt)
- siqish darajasi ε ;
- havo ortiqligi koeffitsiyenti α ;
- yonilg'i turi – benzin AI-95 AI-80 GOST R 51105-97, o'rtacha elementar tarkibi va molekulyar massasi:

$$C=0,855, H=0,145 \text{ va } t_{yo}=115 \text{ kg kmol.}$$

Yonilg'i.

Yonilg'i yonishining quyi issiqligi

$$H_u = 33,91 \cdot C + 125,60 \cdot H - 10,89 \cdot (O + S) - 2,51 \cdot (9H + W), \text{ kJ, kg}$$

Ishchi jism parametrlari.

1 kg yonilg'i to'liq yonishi uchun nazariy zaruriy havo miqdori

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) \text{ kg havo / kg yonilg'i.}$$

$$L_0 = \frac{l_0}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \text{ kmol havo / kg yonilg'i}$$

Yangi zaryad (yonuvchi aralashma) miqdori

$$M_1 = \alpha \cdot L_0 + \frac{1}{m_{yo}} \text{ kmol yon.aral. / kg yonilg'i}$$

Yonish mahsulotlari alohida komponentlarining miqdori

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} + 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0.208 L_o, \text{ kmol } CO_2 / \text{ kg yonilg' i};$$

$$M_{CO} = 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0.208 L_o, \text{ kmol } CO / \text{ kg yonilg' i};$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} + 2 \cdot K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0.208 L_o, \text{ kmol } H_2O / \text{ kg yonilg' i};$$

$$M_{H_2} = 2 \cdot K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0.208 L_o, \text{ kmol } H_2 / \text{ kg yonilg' i};$$

$$M_{N_2} = 0.792 \cdot \alpha \cdot L_o, \text{ kmol } N_2 / \text{ kg yonilg' i};$$

bu yerda K – o'zgarmas kattalik, u vodorod miqdorining yonish mahsulotlari tarkibidagi uglerod oksidiga bo'lgan nisbatidir, $K=0.45 \dots 0.50$ – benzin uchun.

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdori

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2}, \text{ kmol yon.mah. / kg yonilg' i}$$

Atrof muhit parametrlari va qoldiq gazlar.

Quyidagi atmosfera sharoitlarini qabul qilamiz

$$p_k = p_0 = 0.1 \text{ MPa}; \quad T_k = T_0 - 293 \text{ K}$$

Dvigatel nominal ish rejimi uchun qoldiq gazlar bosimini aniqlaymiz

$$p_{p_0} = (1.05 \dots 1.25) p_0, \text{ MPa}$$

Qoldiq gazlar bosimining katta qiymatlaritirsakli val aylanishlar chastotasi katta bo'lgan dvigatellar uchun qabul qilinadi. Kichik qiymatlari esa yonilg'i bevosita purkaladigan va ta'minlash tizimi elektron boshqariladigan dvigatellar uchun qabul qilinadi.

Dvigatelning har xil tezlik rejimlari uchun qoldiq gazlar bosimini quyidagi formula bo'yicha aniqlaymiz

$$p_r = p_0 \cdot (1.005 + A_p \cdot 10^{-8} \cdot p^2), \text{ MPa},$$

bu yerda

$$A_p = \frac{(p_{r_0} - 1.035 \cdot p_0) \cdot 10^8}{n_{d_0} \cdot p_0}$$

n – dvigatel tirsakli valining aylanishlar chastotasi (berilgan topshiriqdan qabul qilinadi), *ayl min*;

p_{r_0} – nominal rejimda qoldiq gazlar bosimi, *MPa*;

n_{d_0} – dvigatel tirsakli valining nominal aylanishlar chastotasi (hisoblanayotgan dvigatel prototipining texnikxarakteristikasidan aniqlanadi), *ayl min*.

Yonilg'i taqsimlanib purkaladigan benzinli dvigatellar uchun qoldiq gazlar harorati T_r ni nomogramma (1.20-rasm) bo'yicha

aniqlaymiz.

Kiritish jarayoni.

Nominal tezlik rejimi uchun yangi zaryad qizishi harorati

$$\Delta T_N = 0 \dots 20^\circ$$

Dvigatelnig har xil tezlik rejimlari uchun yangi zaryad qizishi haroratini quyidagi formuladan aniqlaymiz

$$\Delta T = A_T (110 - 0,0125 \cdot p),$$

bu yerda,

$$A_T = \frac{\Delta T_N}{(110 - 0,0125 \cdot p_N)}$$

Kiritishda zaryad zichligi

$$\rho_s = \frac{p_0 \cdot 10^6}{R_s T} \text{ kg/m}^3$$

bu yerda $R_s = 287 \text{ J/kg grad}$ – havo uchun solishtirma gaz doimiysi.

Dvigatel ishining tezlik rejimi va ichki sirtlarga ishlov berilganligining sifatiga muvofiq koefitsiyent $(\beta^2 + \varepsilon_{kr}) = 2,5 \dots 4,0$, zaryad harakatining tezligi esa $\omega_{kr} = 50 \dots 130 \text{ m/s}$.

Yonilg'i elektron purkaladigan dvigatellar uchun $(\beta^2 + \varepsilon_{kr})$ qiymati karbyuratorli dvigatellarga nisbatan kichik olinadi.

Har xil tezlik rejimlarida dvigatelga kirishda bosim yo'qotilishi

$$\Delta p_s = \frac{(\beta^2 + \varepsilon_{kr}) \cdot A_n^2 \cdot n^2 \cdot \rho_s \cdot 10^{-6}}{2}, \text{ MPa}$$

bu yerda, $A_n = \frac{\omega_{kr}}{r_N}$.

Kiritish oxirida silindrdagi gazlar bosimi

$$p_n = p_0 - \Delta p_s, \text{ MPa}$$

Qoldiq gazlar koefitsiyenti

$$\gamma_r = \frac{T_s + \Delta T}{T_s} \cdot \frac{\varphi_{toz} \cdot p_r}{\varepsilon \cdot \varphi_{doz} \cdot p_n - \varphi_{toz} \cdot p_r}$$

bu yerda, φ_{toz} – tozalash koefitsiyenti, silindr produvka qilinishini hisobga olganda $\varphi_{toz} = 1$

φ_{doz} – silindr dozaryadkasi koefitsiyenti, u dvigatel ishining tezlik rejimiga bog'liq, nomogrammadan (1.22-rasm) topiladi.

Kiritish oxirida silindrdagi gazlar harorati

$$T_n = \frac{T_s + \Delta T + \gamma_r T_s}{1 + \gamma_r} \text{ K}$$

Silindrning hajmiy to'lish koefitsiyenti

$$\eta_s = \frac{T_0(\varepsilon \cdot \varphi_{\text{daz}} \cdot p - \varphi_{\text{daz}} \cdot p_r)}{(T_0 + \Delta T)(\varepsilon - 1)p_0}$$

Siqish jarayoni.

Siqish adiabatasi ko'rsatkichi k_I ni ε va T_a funksiyasida nomogramma (1.9-rasm) bo'yicha aniqlaymiz.

Siqish politropasi ko'rsatkichi k_I ga bog'liq, uning qiymati $n_I = (k_I - 0.01) \dots (k_I - 0.04)$ oraliqda qabul qilinadi. Bunda aylanishlar chastotasi kamayishi bilan gazlardan silindr devorlariga issiqlik uzatilishi (yo'qotilishi) ortishini, demak n_I kamayishini, hisobga olish zarur.

Siqish oxirida gazlar bosimi

$$p_c = p_a \varepsilon^{n_I}, \text{ MPa}$$

Siqish oxirida gazlar harorati

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_I - 1}, \text{ K.}$$

Siqish oxirida gazlarning o'rtacha molyar issiqlik sig'imi:

– yangi aralashma (havo)ning

$$(mc_p)_{\text{h}}^c = 20.6 + 2.638 \cdot 10^{-3} t_c, \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}$$

bu yerda $t_c = T_c - 273 \text{ } ^\circ\text{C}$;

– qoldiq gazlarning

$$(mc_p^*)_{\text{h}}^c, \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}$$

1.4-jadvaldan t_c va α ga bog'liq holda interpolatsiya metodi bilan topiladi;

– ishchi aralashmaning

$$(mc_p^*)_{\text{h}}^c = \frac{1}{1 + \gamma_r} [(mc_p)_{\text{h}}^c + \gamma_r \cdot (mc_p^*)_{\text{h}}^c], \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}$$

Yonish jarayoni.

Yonuvchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyenti

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1}$$

Ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyenti

$$\mu = \frac{(\mu_0 + \gamma_r)}{1 + \gamma_r}$$

Yonilg'i kimyoviy to'liq yonmaganligi oqibatida yo'qotilgan issiqlik miqdori

$$\Delta H_u = 119\,950 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_0, \text{ kJ/kg}$$

Ishchi aralashma yonganida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori

$$Q_{\text{ishchi aral.}} = \frac{H_u - \Delta H_u}{M_1 \cdot (1 + \gamma_r)} \text{ kJ (kmol ishchi aral.)}$$

Yonish mahsulotlarining o'rtacha molyar issiqlik sig'imi

$$(mc''_v)_{t_0}^{t_z} = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc''_{v_{CO_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{CO} (mc''_{v_{CO}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2O} (mc''_{v_{H_2O}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2} (mc''_{v_{H_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{N_2} (mc''_{v_{N_2}})_{t_0}^{t_z} \right]$$

bu

yerda

$$(mc''_{v_{CO_2}})_{t_0}^{t_z}, (mc''_{v_{CO}})_{t_0}^{t_z}, (mc''_{v_{H_2O}})_{t_0}^{t_z}, (mc''_{v_{H_2}})_{t_0}^{t_z}, (mc''_{v_{N_2}})_{t_0}^{t_z} -$$

hajm o'zgarmas bo'lganda alohida gazlarning o'rtacha molyar issiqlik sig'imi. Haroratlarning 1501 dan 2800°S intervali uchun 1.3-jadvalda kiritilgan formulalar bo'yicha aniqlanadi.

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ε_z ni tajribadan olingan ma'lumotlar bo'yicha nomogrammadan (1.22-rasm) aniqlaymiz.

Yonish jarayoni oxiridagi haroratni yonish tenglamasidan aniqlaymiz

$$\varepsilon_z \cdot Q_{\text{mahsulotlar}} + (mc'_v)_{t_0} \cdot t_0 = \mu \cdot (mc''_v)_{t_0}^{t_z} \cdot t_z$$

Kattaliklarning ma'lum bo'lgan qiymatlarini tenglamaga qo'yamiz, hosil bo'lgan kvadrat tenglamani t_z ga nisbatan yechamiz va uning qiymatini °S da topamiz,

$$T_z = t_z + 273, K$$

Yonish jarayoni oxiridagi maksimal nazariy bosim

$$p_z = \frac{p_1 \cdot \mu \cdot T_z}{T_1} \text{ MPa.}$$

Yonish jarayoni oxiridagi maksimal haqiqiy bosim

$$p_{zx} = 0,85 \cdot p_z, \text{ MPa}$$

Bosimning ortish darajasi

$$\lambda_p = \frac{p_z}{p_1}$$

Kengayish jarayoni.

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun kengayish adiabatasiyining ko'rsatkichi k_2 berilgan ε da α va T_z larning mos qiymatlari uchun nomogrammadan (1.11-rasm) topiladi, kengayish politropasining

o'rtacha ko'rsatkichining qiymati k_2 bo'yicha baholanadi, $n_2 \approx k_2$.

T_2 va ε larning ma'lum qiymatlaridan kesishish nuqtasini aniqlaymiz. Olingan nuqtadan $\alpha = 1,0$ nuqtadan tushirilgan vertikal chiziq bilan kesishgunicha gorizontaal chiziq o'tkazamiz va k_2 ning egri chizig'i bo'ylab berilgan α qiymatidan tushirilgan vertikal bilan kesishguncha siljiymiz. Olingan nuqtaning ordinatasi k_2 ning izlanayotgan qiymatini beradi.

Qabul qilamiz. $k_2 = 1,273$; $n_2 = k_2 = 1,273$.

Kengayish jarayoni oxirida gazlar bosimi

$$p_b = \frac{p_1}{\varepsilon^{n_2}} \text{ MPa,}$$

Kengayish jarayoni oxirida gazlar harorati

$$T_b = \frac{T_1}{\varepsilon^{n_2-1}} \text{ K}$$

Qoldiq gazlar haroratining ilgari qabul qilingan qiymati to'g'riligini tekshiramiz (xatolik dvigatelning hamma tezlik rejimlari 5% dan oshmasligi kerak)

$$T_r = \frac{T_1}{\sqrt[p_1/p_r]{p_1/p_r}} \text{ K;}$$

$$\Delta = \frac{T_r - T_1}{T_1} \cdot 100\%$$

Dvigatel ishchi siklining indikator parametrarlari. Nazariy indikator diagramma uchun siklining o'rtacha indikator bosimi

$$p_i' = \frac{p_1}{\varepsilon - 1} \left[\lambda_p (p - 1) + \frac{\lambda_p \cdot p}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] \text{ MPa,}$$

Siklining o'rtacha indikator bosimi,

$$p_i = \varphi_i p_i' \text{ MPa,}$$

bu yerda φ_i – indikator diagramma to'liqligi koeffitsiyenti, yonilg'i elektron pirkaladigan dvigatellar uchun $\varphi_i = 0,95 \dots 0,98$.

Siklining indikator f.i.k.

$$\eta_i = \frac{p_i \alpha l_i}{H_0 p_0 \eta_0}$$

Yonilg'ining indikator solishtirma sarfi

$$g_i = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_i \eta_i}, \text{ g kVt soat.}$$

Dvigatelning effektiv ko'rsatkichlari

Mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi

$$p_{ht} = a + b \cdot v_{p, \text{avr}}, \text{ MPa}$$

Yonilg'i purkaladigan va elektron boshqariladigan yuqori forsirovka qilingan benzinli dvigatellar uchun $a=0,024$ va $b=0,0053$.

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun oldindan porshen yo'li S ni dvigatel prototipiga mos ravishda qabul qilamiz va porshenning o'rtacha tezligini aniqlaymiz

$$v_{p.oy} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^4}, \text{ m/s.}$$

O'rtacha effektiv bosim

$$p_e = p_i - p_M, \text{ MPa.}$$

Mexanik f.i.k.

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i}.$$

Effektiv f.i.k.

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M.$$

Yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi

$$g_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_e}, \text{ g/(kVt \cdot soat).}$$

Silindrning asosiy o'lchamlari va dvigatelning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari

Dvigatelning effektiv quvvati, tirsakli valning aylanishlar chastotasi, o'rtacha effektiv bosim va silindrlar sonibo'yicha bir silindrning ishchi hajmini aniqlaymiz

$$V_e = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{p_e \cdot i \cdot n}, \text{ l.}$$

Silindr diametrini hisoblaymiz

$$D = 2 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{\frac{V_h}{\pi \cdot S}}, \text{ mm,}$$

so'ngra uni butun songacha yiriklashtiramiz.

Porshen tubining yuzasini aniqlaymiz

$$F_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4 \cdot 100}, \text{ sm}^2.$$

Silindrning (qabul qilingan yangi o'lchamlar bo'yicha) ishchi hajmini aniqlashtiramiz

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot S}{4 \cdot 10^3}, \text{ l.}$$

Dvigatelning effektiv quvvati

$$N_e = \frac{p_e \cdot i \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau}, \text{ kVt.}$$

Dvigatelning hisobiy topilgan effektiv quvvatini berilgan quvvat bilan solishtiramiz va issiqlik hisobi to'g'ri bajarilganligi haqida xulosa chiqaramiz

$$\Delta = \frac{N_e - N_e'}{N_e} \cdot 100\%$$

Dvigatelning effektiv burovchi momenti

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} \quad N \cdot m$$

1.9.2. Yonilg'i taqsimlanib purkaladigan dvigatel issiqlik hisobi misoli

Boshlang'ich ma'lumotlar:

- dvigatel turi – to'rt taktili, to'rt silindrlı, silindrlari qator joylashtirilgan;
- tirsakli valning aylanishlar chastotasi $n = 4000$ ayl/min;
- effektiv quvvati $N_e = 69$ kVt;
- siqish darajasi $\varepsilon = 11$;
- havo ortiqqligi koeffitsiyenti $\alpha = 1,0$;
- yonilg'i turi – benzin AI-95 GOST R 51105-97, o'rtacha elementar tarkibi va molekulyar massasi $C=85.5\%$, $H=14.5\%$, $t_1=115$ kg/kmol.

Yonilg'i.

Yonilg'i yonishining quyı issiqligi

$$H_u = 33.91 \cdot C + 125.60 \cdot H - 10.89 \cdot (O - S) - 2.51 \cdot (9H + W) = 33.91 \cdot 0.855 + 125.60 \cdot 0.145 - 2.51 \cdot 9 \cdot 0.145 = 43.93 \text{ MJ/kg} = 43930 \text{ kJ/kg}$$

Ishchi jism parametrlari

1 kg yonilg'i yonishi uchun zarur bo'lgan havoning nazariy miqdorini aniqlaymiz

$$L_o = \frac{l_o}{0.208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0.208} \left(\frac{0.855}{12} + \frac{0.154}{4} \right) = 0.516 \text{ kmolhavo/kg yonilg'i}$$

$$l_r = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0.855 + 8 \cdot 0.145 \right) = 14.957 \text{ kg havo/kg yonilg'i}$$

Yangi zaryad (yonuvchi aralashma) miqdorini aniqlaymiz

$$M_1 = \alpha \cdot L_o + \frac{1}{m_{v_o}} = 1 \cdot 0.516 + \frac{1}{115} = 0.5247 \text{ kmol}$$

Yonish mahsulotlari alohida komponentlarining miqdorini aniqlaymiz umumiy miqdorini aniqlaymiz

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} + 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208L_o = \frac{0,855}{12} + 2 \cdot \frac{1-1}{1+0,48} = 0,0712, \text{ kmol } CO_2 / \text{ kg yonilg' i,}$$

$$M_{CO} = 2 \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208L_o = 0, \text{ kmol } CO / \text{ kg yonilg' i,}$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} + 2 \cdot K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208L_o = \frac{0,145}{2} + 2 \cdot 0,48 \cdot \frac{1-1}{1+0,48} = 0,0725, \text{ kmol } H_2O / \text{ kg yonilg' i}$$

$$M_{H_2} = 2 \cdot K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0,208L_o = 0, \text{ kmol } H_2 / \text{ kg yonilg' i,}$$

$$M_{N_2} = 0,792 \cdot \alpha \cdot L_o = 0,792 \cdot 1 \cdot 0,516 = 0,4087, \text{ kmol } N_2 / \text{ kg yonilg' i,}$$

bu yerda K – doimiy kattalik, u yonish mahsulotlari tarkibidagi vodorod miqdorining uglerod oksidiga bo'lgan nisbatiga bog'liq, benzin uchun $K=0,48$ qabul qilamiz.

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdorini aniqlaymiz

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} = 0,0712 + 0 + 0,0725 + 0 + 0,4087 = 0,5524 \text{ kmol yon mah' kg yonilg' i}$$

Atrof muhit parametrlari va qoldiq gazlar.

Quyidagi atmosfera sharoitlarini qabul qilamiz

$$p_r = p_c = 0,1 \text{ MPa} \quad \text{va} \quad T_r = T_c = 293 \text{ K.}$$

Dvigatelning nominal ish rejimi uchun qoldiq gazlar bosimi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$p_{rN} = (1,05 \dots 1,25) \cdot p_o = 1,10 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ MPa.}$$

Dvigatelning berilgan tezlik rejimi uchun qoldiq gazlar bosimi quyidagi formula bo'yicha aniqlanadi

$$p_r = p_o \cdot (1,035 + A_p \cdot 10^{-8} \cdot n^2) = 0,11 \cdot (1,035 + 0,1327 \cdot 10^{-8} \cdot 4000^2) = 0,1056 \text{ MPa,}$$

$$\text{bu yerda } A_p = \frac{(p_{rN} - 1,035 \cdot p_o) \cdot 10^8}{n_N^2 \cdot p_c} = \frac{(0,11 - 1,035 \cdot 0,1) \cdot 10^8}{7000^2 \cdot 0,1} = 0,1327,$$

n – dvigatel tirsakli valining aylanishlar chastotasi, $n=4000$ ayl/min;

p_{rN} – nominal ish rejimida qoldiq gazlar bosimi, $p_r = 0,11 \text{ MPa}$;

n_N – dvigatel tirsakli valining nominal aylanishlar chastotasi, $n_N=7000$ ayl/min.

Qoldiq gazlar haroratini T_r ni nomogrammadan (1.22-rasm) aniqlaymiz, $T_r=1000 \text{ K}$.

Kiritish jarayoni.

Dvigatel nominal tezlik rejimi uchun yangi zaryad qizishi haroratini quyidagicha qabul qilamiz

$$\Delta T_V = 6^\circ.$$

Dvigatelning berilgan tezlik rejimi uchun yangi zaryad qizishi haroratini quyidagi formuladan topamiz

$$\Delta T = A_T (110 - 0,0125 \cdot p) = 0,2667(110 - 0,0125 \cdot 4000) = 16^\circ,$$

bu yerda $A_T = \frac{\Delta T_N}{(110 - 0,0125 \cdot n_N)} = \frac{6}{110 - 0,125 \cdot 7000} = 0,2667.$

Kiritishda zaryad zichligini aniqlaymiz

$$\rho_s = \frac{p_s \cdot 10^6}{R_g T_0} = \frac{0,1 \cdot 10^6}{287 \cdot 293} = 1,189 \text{ kg/m}^3.$$

bu yerda $R_g = 287 \text{ J/kg grad}$ – havo uchun solishtirma gaz doimiysi.

Dvigatel ishining tezlik rejimi va ichki yuzalarga ishlov berilganlik sifatiga mos ravishda koeffitsiyentni $(\beta^2 + \xi_{\omega}) = 2,5$, zaryad harakatining tezligini esa $\omega_{\omega} = 95 \text{ m/s}$ qabul qilamiz.

Nominal tezlik rejimida dvigatelga kirishda bosim yo'qotilishini aniqlaymiz

$$\Delta p_s = \frac{(\beta^2 + \xi_{\omega}) \omega_{\omega}^2 \cdot (A_0^2 \cdot n^2 \cdot \rho_s \cdot 10^{-6})}{2} = \frac{2,5 \cdot (0,01357^2 \cdot 4000^2 \cdot 1,189 \cdot 10^{-6})}{2} = 0,0044 \text{ MPa}$$

bu yerda $A_0 = \frac{\omega_{\omega}}{n_N} = \frac{95}{7000} = 0,01357.$

Kiritish oxirida gazlar bosimi

$$p_a = p_0 - \Delta p_s = 0,1 - 0,0044 = 0,0956 \text{ MPa}$$

Qoldiq gazlar koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\gamma_s = \frac{T_s + \Delta T}{T_c} \cdot \frac{\varphi_{\omega z} \cdot p_s}{\varepsilon \cdot \varphi_{\omega z} \cdot p_a - \varphi_{\omega z} \cdot p_c} = \frac{293 + 16}{1000} \cdot \frac{1 \cdot 0,1056}{11 \cdot 1,055 \cdot 0,0956 - 1 \cdot 0,1056} = 0,0325.$$

bu yerda $\varphi_{\omega z}$ – tozalash koeffitsiyenti, silindr prodavka qilinishini inobatga olganda $\varphi_{\omega z} = 1$;

$\varphi_{\omega z}$ – dozaryadka koeffitsiyenti, uning qiymati nomogrammadan

(1.20-rasm) aniqlanadi.

Kiritish oxirida silindrdagi gazlar haroratini aniqlaymiz

$$T_a = \frac{T_s + \Delta T + \gamma_s T_c}{1 + \gamma_s} = \frac{293 + 16 + 0,0325 \cdot 1000}{1 + 0,0325} = 331 \text{ K}$$

Silindrning hajmiy to'lish koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\eta_s = \frac{T_c (\varepsilon \cdot \varphi_{\omega z} \cdot p_a - \varphi_{\omega z} \cdot p_c)}{(T_s + \Delta T)(\varepsilon - 1) p_0} = \frac{293(11 \cdot 1,055 \cdot 0,0956 - 1 \cdot 0,1056)}{(293 + 16) \cdot (11 - 1) \cdot 0,1} = 0,9519.$$

Siqish jarayoni.

Siqish adiabatasi ko'rsatkichi k_f ni ε va T_a funksiyasida nomogramma (1.9-rasmga qarang) bo'yicha aniqlaymiz.

Siqish politropasi ko'rsatkichi n_I ni k_I ga bog'liq holda topamiz, bu bog'lanish: $n_I = (k_I - 0,01) \dots (k_I - 0,04)$. Qabul qilamiz $n_I = 1,375$.

Siqish oxirida gazlar bosimni aniqlaymiz

$$p = p_0 s^{n_I} = 0,0956 \cdot 11^{1,375} = 2,5844 \text{ MPa}$$

Siqish oxirida gazlar haroratni aniqlaymiz

$$T_c = T_0 s^{n_I-1} = 331 \cdot 11^{1,375} = 813 \text{ K}$$

Siqish oxirida gazlarning o'rtacha molyar issiqlik sig'imini aniqlaymiz

– yangi aralashma (havo)

$$(mc_v)_k^t = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} t_c = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot 540 = 22,025 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)},$$

bu yerda $t_c = T_c - 273 = 813 - 273 = 540 \text{ }^\circ\text{C}$;

– qoldiq gazlar $(mc_v)_k^t$ 1.5-jadval bo'yicha interpolyatsiya metodi bilan aniqlanadi

$$(mc_v)_k^t = 24,150 + (24,586 - 24,150) \cdot \frac{40}{100} = 24,324 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}$$

– ishchi aralashma

$$(mc_v)_c^t = \frac{1}{1 + \gamma_r} [(mc_v)_k^t + \gamma_r \cdot (mc_v)_k^t] = \frac{1}{1 + 0,0325} (22,025 + 0,0325 \cdot 24,324) = 22,097 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}.$$

Yonish jarayoni.

Yonuvchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} = \frac{0,5524}{0,5247} = 1,0528.$$

Ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining hisobiy koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\mu = \frac{(\mu_0 + \gamma_r)}{1 + \gamma_r} = \frac{1,0528 + 0,0325}{1 + 0,0325} = 1,0511.$$

Kimyoviy noto'liq yonish natijasida yo'qotilgan issiqlik miqdorini aniqlaymiz

$$\Delta H_u = 119\,950 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_0 = 119\,950 \cdot (1 - 1) \cdot 0,516 = 0, \text{ kJ/kg}.$$

Ishchi aralashma yonganida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori

$$H_{\text{ishchi aral.}} = \frac{H_u - \Delta H_u}{M_1 \cdot (1 + \gamma_r)} = \frac{43930 - 0}{0,5247 \cdot (1 + 0,0325)} = 81089 \text{ kJ (kmol ishchi aral.)}.$$

Yonish mahsulotlarining o'rtacha molyar issiqlik sig'imini aniqlaymiz

$$\begin{aligned}
 (mc''_v)_{t_0}^{t_z} &= \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc''_{v_{CO_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{CO} (mc''_{v_{CO}})_{t_0}^{t_z} \right. \\
 &\quad \left. + M_{H_2O} (mc''_{v_{H_2O}})_{t_0}^{t_z} + M_{H_2} (mc''_{v_{H_2}})_{t_0}^{t_z} + M_{N_2} (mc''_{v_{N_2}})_{t_0}^{t_z} \right] \\
 &= \frac{1}{0,5524} [0,0712(39,123 + 0,003349 \cdot t_z) + 0 + 0,0725(26,670 + \\
 &\quad 0,004438 \cdot t_z) + 0,4087(21,951 + 0,001457 \cdot t_z)] = 24,784 + \\
 &\quad 0,002091 \cdot t_z.
 \end{aligned}$$

bu

yerda

$(mc''_{v_{CO_2}})_{t_0}^{t_z}, (mc''_{v_{CO}})_{t_0}^{t_z}, (mc''_{v_{H_2O}})_{t_0}^{t_z}, (mc''_{v_{H_2}})_{t_0}^{t_z}, (mc''_{v_{N_2}})_{t_0}^{t_z}$ – alohida gazlarning hajm o'zgarish bo'lganda o'rtacha molyar issiqlik sig'imi. 1.3-jadvaldagi formulalar bo'yicha 1501 dan 2800°S harorat oralig'i uchun topiladi

Nomogramma (1.22-rasm) bo'yicha issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ξ_z ni aniqlaymiz: $\xi_z = 0,988$.

Yonish jarayoni oxiridagi harorat quyidagi yonish tenglamasidan aniqlanadi.

$$\xi_z \cdot H_{uh-harorat} = (mc'_v)_{t_0}^{t_z} \cdot t_z = \mu \cdot (mc''_v)_{t_0}^{t_z} \cdot t_z.$$

Ma'lum qiymatlarni yonish tenglamasiga qo'yamiz

$$0,988 \cdot 81089 + 22,025 \cdot 540 = 1,0511 \cdot (24,784 + 0,002091 \cdot t_z) \cdot t_z;$$

$$0,002198 \cdot t_z^2 + 26,0505 \cdot t_z - 92009 = 0.$$

Olingan kvadrat tenglamani t_z ga nisbatan yechamiz va uning qiymatini topamiz, $t_z = 2849^\circ S$.

$$T_z = t_z + 273 = 2849 + 273 = 3122 \text{ K}.$$

Yonish jarayoni oxiridagi nazariy maksimal bosimni aniqlaymiz

$$p_z = \frac{p_c \cdot \mu \cdot T_z}{T_c} = \frac{2,5844 \cdot 1,0511 \cdot 3122}{813} = 10,4315 \text{ MPa}.$$

Yonish jarayoni oxiridagi haqiqiy maksimal bosimni aniqlaymiz

$$p_z = 0,85 \cdot p_z = 0,85 \cdot 10,4315 = 8,8663 \text{ MPa}$$

Bosim ortishi darajasini aniqlaymiz

$$\lambda_p = \frac{p_z}{p_0} = \frac{10,4315}{2,5844} = 4,0^{\circ}6$$

Kengayish jarayoni.

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun kengayish adiabatasiining ko'rsatkichi k_2 berilgan ε da α va T_z larning mos qiymatlari uchun

nomogrammadan (1.11-rasm) topiladi, kengayish politropasining o'rtacha ko'rsatkichining qiymati k_2 bo'yicha baholanadi, $n_2 \approx k_2$.

T_2 va ε larning ma'lum qiymatlaridan kesishish nuqtasini aniqlaymiz. Olingan nuqtadan $\alpha=1,0$ nuqtadan tushirilgan vertikal chiziq bilan kesishgunicha gorizontaal chiziq o'tkazamiz va k_2 ning egri chizig'i bo'ylab berilgan α qiymatidan tushirilgan vertikal bilan kesishguncha siljiymiz. Olingan nuqtaning ordinatasi k_2 ning izlanayotgan qiymatini beradi.

Qabul qilamiz: $n_2=k_2=1,248$.

Kengayish jarayoni oxiridagi gazlar bosimini aniqlaymiz

$$p_b = \frac{p_1}{\varepsilon^{n_2}} = \frac{10,4315}{11^{1,248}} = 0,5232 \text{ MPa.}$$

Kengayish oxirida gazlar haroratini aniqlaymiz

$$T_b = \frac{T_1}{\varepsilon^{n_2-1}} = \frac{3122}{11^{0,2484}} = 1723 \text{ K.}$$

Qoldiq gazlar haroratining ilgari qabul qilingan qiymatining to'g'riligini tekshiramiz (xatolik dvigatelning hamma tezlik rejimlari uchun 5% dan oshmasligi kerak).

$$T_r = \frac{T_b}{\sqrt[3]{p_b/p_r}} = \frac{1723}{\sqrt[3]{0,5232/0,1056}} = 1011 \text{ K.}$$

Xatolik

$$\Delta = \frac{T_r - T_r'}{T_r} \cdot 100\% = \frac{1011 - 1000}{1011} \cdot 100\% = 1,1\%.$$

Dvigatel ishchi siklining indikator parametrlari.

Siklining nazariy o'rtacha indikator bosimini aniqlaymiz

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\varepsilon}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(\frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] =$$

$$= \frac{2,5844}{11-1} \left[\frac{4,036}{1,248-1} \left(1 - \frac{1}{11^{1,248-1}} \right) - \frac{1}{1,375-1} \left(1 - \frac{1}{11^{1,375-1}} \right) \right] = 1,4768 \text{ MPa.}$$

Siklining o'rtacha indikator bosimini aniqlaymiz

$$p_i = p_i' \cdot \varphi_i = 1,4768 \cdot 0,98 = 1,4473 \text{ MPa}$$

bu yerda φ_i – indikator diagrammaning to'liqligi koeffitsiyenti, qabul qilamiz $\varphi_i = 0,98$.

Siklining indikator foydali ish koeffitsiyentini aniqlaymiz

$$\eta_i = \frac{p_i \alpha l_0}{H_u \rho_0 \eta_f} = \frac{1,4473 \cdot 1 \cdot 14,957}{43,930 \cdot 1,189 \cdot 0,9519} = 0,4354$$

Yonilg'ining indikator solishtirma sarfini aniqlaymiz

$$g_i = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_i} = \frac{2,6 \cdot 10^3}{43,93 \cdot 0,4354} = 188, \text{ g } kVt \cdot soat.$$

Dvigatelning effektiv ko'rsatkichlari.

Mexanik yo'qotishlarning o'rtacha bosimini aniqlaymiz

$$p_{Me} = a + b \cdot v_{por} = 0,024 + 0,0053 \cdot 10,267 = 0,0784 MPa$$

Yonilg'i purkaladigan va elektron boshqariladigan yuqori forsirovka qilingan benzinli dvigatellar uchun $a=0,024$ va $b=0,0053$.

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun dvigatel prototipiga muvofiq porshen yo'lini berilgan yaqinlashuvda $S=77 \text{ mm}$ qabul qilamiz va porshenning o'rtacha tezligini aniqlaymiz

$$v_{por} = \frac{S \cdot n}{3 \cdot 10^4} = \frac{77 \cdot 4000}{3 \cdot 10^4} = 10,267, \text{ m/s.}$$

O'rtacha effektiv bosimni aniqlaymiz

$$p_e = p_i - p_M = 1,4473 - 0,0784 = 1,3689 MPa$$

Mexanik f.i.k.ni aniqlaymiz

$$\eta_M = \frac{p_e}{p_M} = \frac{1,3689}{1,4473} = 0,9458$$

Effektiv f.i.k.ni aniqlaymiz

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M = 0,4354 \cdot 0,9458 = 0,4118.$$

Yonilg'ining effektiv solishtirma sarfini aniqlaymiz

$$g_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \eta_e} = \frac{3,6 \cdot 10^3}{43,93 \cdot 0,4118} = 199 \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)}.$$

Silindrning asosiy o'lchamlari va dvigatelning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari.

Dvigatelning effektiv quvvati, tirsakli val aylanishlar chastotasi, o'rtacha effektiv bosim va silindrlar soni bo'yicha silindrning ishchi hajmini aniqlaymiz

$$V_k = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{p_e \cdot i \cdot n} = \frac{30 \cdot 4 \cdot 69}{1,3689 \cdot 4 \cdot 4000} = 0,378 \text{ l}$$

Silindr diametrini aniqlaymiz

$$D = 2 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{V_k}{\pi \cdot S}} = 2 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0,378}{3,14 \cdot 77}} = 79,08 \text{ mm.}$$

Diametrni $D=80 \text{ mm}$ gacha yiriklashtiramiz.

Porshentubining yuzasini aniqlaymiz

$$F_p = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 80^2}{4} = 50,24 \text{ cm}^2$$

Silindrning ishchi hajmini aniqlaymiz

$$V_e = \frac{\pi \cdot D^3 \cdot S}{4 \cdot 10^6} = \frac{3,14 \cdot 80^3 \cdot 77}{4 \cdot 10^6} = 0,3868 \text{ l.}$$

Dvigatelning effektiv quvvatini aniqlaymiz

$$N_e = \frac{p_e \cdot t \cdot V_e n}{30 \cdot \tau} = \frac{1,3689 \cdot 4 \cdot 0,3868 \cdot 4000}{30 \cdot 4} = 70,59 \text{ kVt.}$$

Dvigatelning hisobiy topilgan effektiv quvvatini berilgan quvvat bilan solishtiramiz va issiqlik hisobi to'g'ri bajarilganligi haqida xulosa chiqaramiz. Farq 5% dan katta bo'lmasligi kerak.

$$\Delta = \frac{N_e - N_e'}{N_e} \cdot 100\% = \frac{70,59 - 69}{70,59} \cdot 100\% = 2,25\%.$$

Dvigatelning effektiv burovchi momentini aniqlaymiz

$$M_e = \frac{3 \cdot 10^4}{\pi} \cdot \frac{N_e}{n} = \frac{3 \cdot 10^4}{3,14} \cdot \frac{70,59}{4000} = 168,6 \text{ N} \cdot \text{m.}$$

1.10. Dizelning issiqlik balansi hisobi misoli

Umumiy ko'rinishda dvigatelning tashqi issiqlik balansi quyidagi tarkibiy qismlardan tarkib topadi:

$$Q_0 = Q_e + Q_g + Q_h + Q_{\text{chiziq yontish}} + Q_{\text{tot}} = H_u \cdot G_{\text{yo}} / 3,6. \quad (1.118)$$

bu yerda Q_0 – dvigatelga yonilg'i bilan kiritilgan issiqlikning umumiy

miqdori, $J \cdot s$;

Q_e – dvigatelning 1 sekunddagi effektiv ishiga ekvivalent issiqlik, $J \cdot s$

$$Q_e = 1000 \cdot N_e \quad (1.119)$$

Q_g – ishlangan gazlar bilan yo'qotilgan issiqlik, $J \cdot s$

$$Q_g = (G_g / 3,6) [M_2 (mc_2)'_t + 8,315] \cdot t_r - M_1 (mc_1)'_t + 8,315] \cdot t_0] \quad (1.120)$$

Q_h – sovutuvchi muhitga uzatilayotgan issiqlik, $J \cdot s$

$$Q_h = c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot n^m (H_u - AH_u) / (\alpha \cdot H_u), \quad (1.121)$$

bu yerda $c=0,45 \dots 0,53$ – to'rt taktli dvigatellar uchun proporsionallik koeffitsiyenti, qabul qilamiz $c=0,48$;

i – silindrlar soni $i=8$;

D – silindr diametri, $D=12,0 \text{ sm}$;

n – dvigatel tirsakli vali aylanishlar chastotasi,

$n=2600 \text{ ayl/min}$;

$m=0,5 \dots 0,7$ – to'rt taktli dvigatellar uchun daraja ko'rsatkichi,

qabul qilamiz $m=0,67$.

Yonilg'i kimyoviy noto'liq yonishi tufayli yo'qotilgan issiqlik

$$Q_{ch,yo} = \Delta H_u \cdot G_{yo} / 3,6, \quad J/s.$$

Q_{qot} – hisobga olinmagan issiqlik yo'qotishlari

$$Q_{qot} = Q_0 - (Q_r + Q_g + Q_h + Q_{ch,yo}).$$

Yonilg'ining 1 soatdagi sarfini aniqlaymiz

$$G_{yo} = N_{yo} \cdot g_{yo} \cdot 10^{-3} = 159 \cdot 252,85 \cdot 10^{-3} = 40,20 \text{ kg/saat}.$$

Yonilg'i bilan dvigatelga kirgan issiqlikning umumiy miqdori

$$Q_0 = \frac{H_u \cdot G_{yo}}{3,6} = \frac{42500 \cdot 40,20}{3,6} = 474583 \text{ J/s}.$$

Dizellar uchun 1 sekundda bajarilgan effektiv ishga ekvivalent issiqlikni aniqlaymiz

$$Q_r = 1000 \cdot N_r = 1000 \cdot 159 = 159000 \text{ J/s}.$$

Dizellar uchun sovutuvchi muhitga uzatiladigan issiqlikni aniqlaymiz

$$Q_h = c \cdot i \cdot D^{1+2m} \cdot n^m \left(\frac{1}{\alpha} \right) = 0,48 \cdot 8 \cdot 12,0^{1+2 \cdot 0,67} \cdot 2600^{0,67} \left(\frac{1}{1,4} \right) = 178451 \text{ J/s}.$$

Ishlangan gazlar bilan olib ketilgan (yo'qotilgan) issiqlikni aniqlaymiz

$$\begin{aligned} Q_g &= \left(\frac{G_g}{3,6} \right) \left[M_g [(mc_g)_g^t + 8,315] \cdot t_r - M_g [(mc_g)_g^t + 8,315] \cdot t_s \right] = \\ &= \left(\frac{40,20}{3,6} \right) [0,735 [23,574 + 8,315] \cdot 510 - 0,702 [20,775 + 8,315] \cdot 20] = 128921 \text{ J/s}. \end{aligned}$$

bu yerda $(mc_g)_g^t$ – 1.5-jadvaldan (dizellar uchun) $\alpha = 1,4$ va $t_r = T_r - 273 = 783 - 273 = 510 \text{ } ^\circ\text{C}$ bo'lganda interpolyatsiya metodi bilan aniqlangan:

$$(mc_g)_g^t = 23,533 + (23,938 - 23,533) \cdot \frac{10}{100} = 23,574 \frac{\text{J}}{(\text{kmol} \cdot \text{grad})};$$

$(mc_g)_g^t$ – $t_s = t_0 = T_0 - 273 = 293 - 273 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ da va quyidagi qiymatlardan kelib chiqib interpolyatsiya metodi bilan aniqlanadi:

$$t_s = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ haroratda } (mc_g)_g^t = 20,759 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{grad}),$$

$$t_s = 100 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ haroratda } (mc_g)_g^t = 20,839 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{grad}),$$

$$(mc_g)_g^t = 20,759 + (20,839 - 20,759) \cdot \frac{20}{100} = 20,775 \text{ kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{grad}).$$

Yonilg'i kimyoviy noto'liq yonishi tufayli yo'qotilgan issiqlik

$$Q_{ch,yo} = \frac{\Delta H_u \cdot G_{yo}}{3,6} = 0 \text{ J/s}.$$

Issiqlikning hisobga olinmagan issiqlik yo'qotishlari

$$Q_{qol} = Q_3 - (Q_4 + Q_5 - Q_6 + Q_{1,2,3}) = 474583 - (159000 + 128921 + 178451) = 8211 \text{ J/s}$$

Nazorat va muhokama savollari

1. Ichki yonuv dvigatelining issiqlik hisobi qay tartibda bajariladi?
2. Boshlang'ich ma'lumotlarni tanlashda nimalarga e'tibor qaratish lozim?
3. Silindrlar soni va joylashishi dvigatel quvvatiga qanday ta'sir ko'rsatadi?
4. Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari silindrlarining diametri necha *mm* oralig'ida bo'ladi?
5. Porshen tezligi ortishi bilan dvigateldagi mexanik yo'qotishlar qanday o'zgaradi?
6. Havo ortiqligi koeffitsiyenti qanday oraliqda bo'ladi?
7. Bosim ortishi darajasi deganda qanday kattalik tushuniladi?
8. Nazariy siklning haqiqiy sikldan qanday farqlari mavjud?
9. Dvigatel haqiqiy siklining hisobi qanday ketma-ketlikda amalga oshiriladi?
10. Siqish politropasi ko'rsatkichi n_1 qanday aniqlanadi?
11. Yonish jarayoni nima maqsadda hisoblanadi?
12. Kengayish politropasi ko'rsatkichi n_2 qanday aniqlanadi?
13. Dvigatelning indikator va effektiv ko'rsatkichlarining bir-biridan farqi nimada?
14. Ichki yonuv dvigatelining issiqlik balansi nima maqsadda hisoblanadi?

2-BOB. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING KINEMATIK VA DINAMIK HISOBI

2.1. Umumiy holatlar

Ichki yonuv dvigatelinin issiqlik hisobida uning asosiy parametrlari va o'lchamlari (silindr diametri, porshen yo'li, o'rtacha bosim, litraj) aniqlanadi. ular dvigatelning nominal ish rejimida berilgan effektiv quvvat va burovchi momentni olishni ta'minlaydi. Ushbu ma'lumotlarga ega bo'lganda dvigatel ishchanlik qobiliyatini, mustahkamligini, ishonchliligini va talab qilinayotgan xizmat muddatini kafolatlovchi dvigatel asosiy detallarining o'lchamlarini hisoblab topish mumkin. Bunday hisobni dvigatel ishini kinematik va dinamik tahlil qilish natijasida bajarish mumkin.

Dvigatel dinamikasi

- krivoship-shatunli mexanizmining kinematik analizi;
- krivoship-shatunli mexanizmining dinamik analizi

masalalarini o'rganib chiqishni nazarda tutadi.

Kinematik analiz krivoship (tirsakli val) harakati qonuni ma'lum bo'lganda krivoship-shatunli mexanizm detallari harakati qonunlarini aniqlash imkonini beradi.

Dinamik analiz esa dvigatel ishlayotganda uning asosiy detallariga ta'sir qiluvchi kuchlarning qiymatlarini va bu kuchlarning o'zgarish xarakterini aniqlash uchun hisobiy formulalarni olish imkonini beradi.

Shuni ta'kidlash lozimki, porshenli dvigatellarning kinematikasi va dinamikasi bo'yicha bayon qilinayotgan material, demak barcha hisobiy bog'lanishlar, dvigatel barqaror ish rejimida ishlayotgan hol uchun, ya'ni tirsakli val aylanishlar chastotasi $\omega = const$ uchun, to'g'ri keladi. Vaholangki, avtomobil va traktor dvigatellari vaqtning ko'p qismida o'zgaruvchi tezlik rejimlarida ishlaydilar, bu holda detallarga tushayotgan yuk va uning o'zgarishining xarakteri sezilarli darajada farqlanadi. Shu sababli konstruktorlar dvigatelning asosiy detallarini hisoblashayotganda va konstruksiyalayotganda sezilarli darajada mustahkamlik zahirasi qabul qilishadi.

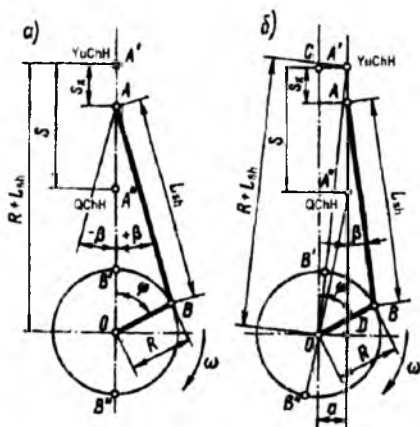
2.2. Krivoship-shatunli mexanizmning kinematik hisobi

2.2.1. Umumiy holatlar

Ichki yonuv dvigatellarida porshenning ilgariqlama-qaytma harakati krivoship-shatunli mexanizm vositasida tirsakli valning aylanma harakatiga aylanadi.

Krivoship-shatunli mexanizm *markaziy* – bunda silindr va tirsakli valning o'qlari bir tekislikda yotadi (2.1,*a*-rasm) yoki *siljigan* (*dezaksial*) bo'lishi mumkin – bunda silindr va tirsakli val o'qlari boshqa-boshqa tekisliklarda yotadi (2.1,*b*-rasm).

Bugungi kunda avtomobil va traktor dvigatellarida markaziy krivoship-shatunli eng keng tarqalgan.



2.1-rasm Krivoship-shatunli mexanizm sxemasi
a – markaziy; b – siljigan (dezaksial)

2.1,*b* – rasmda bunday mexanizmning asosiy belgilanishlari keltirilgan:

s_r – porshenning joriy siljishi (A nuqta – porshen barmog'ining o'qi);

φ – krivoship (OB) ning burilish burchagi, u silindr o'qi (AO) dan tirsakli valning soat strelkasi bo'ylab aylanishi yo'nalishida hisoblanadi (O nuqta – tirsakli val o'qi);

B nuqta – shatun bo'yini o'qi;

A'' nuqta – quyi chekka holat;

β – shatun o'qi (AB) ning silindr o'qidan og'ish burchagi;

ω – tirsakli val aylanishining burchak tezligi;

$R = OB$ – krivoship radiusi;

$S = 2R = A'A''$ porshen yo'li;

$L_{sh} = AB$ – shatun uzunligi;

λ – krivoship radiusining shatun uzunligiga nisbati;

$R + L_{sh} = OA'$ – tirsakli val o'qidan YuChHgacha bo'lgan masofa.

Dezaksial krivoship-shatunli mexanizm (2.1, b-rasm) markaziy mexanizm qabul qilingandan belgilanishlardan farqli ravishda krivoshipning burilish burchagi ϕ silindr o'qi $A'D$ ga parallel bo'ladi va tirsakli val o'qidan o'tuvchi CO to'g'ri chiziqdan boshlab o'lanadi hamda $S = A'A'' = 2R$ bo'ladi. Dezaksial mexanizm nisbiy siljish $K = a/R = 0,05 \dots 0,15$ kattaligi bilan tavsiflanadi, bu yerda $a = OD$ – silindr o'qining tirsakli val o'qiga nisbatan siljishi.

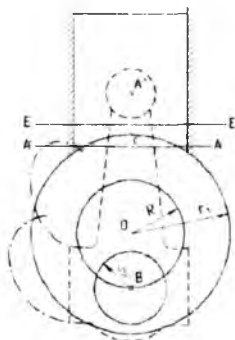
Krivoship-shatunli mexanizm ta'sir qiluvchi inersiya kuchlarining qiymati yuqorida keltirilgan o'lchamlar va ularning nisbatlariga bog'liq.

$\lambda = R/L_{sh}$ kamayishi bilan (L_{sh} kattalashishi hisobiga) inersiya va normal kuchlar kamayadi, bunda dvigatelning balandligi va massasi kattalashadi. Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarida $\lambda = 1/3 \dots 1/4$ (ya'ni $0,31 \dots 0,23$).

Silindr diametri kichik bo'lgan dvigatellar uchun R/L_{sh} nisbati shunday tanlanadiki, shatun og'ganida u silindrning quyi qirrasiga tegib qolmasin (2.2-rasm): silindrning vertikal o'qida tirsakli val markazi " O " nuqta belgilanadi, undan $R = S/2$ radiusida shatun bo'yini markazining aylanish traektoriyasi chiziladi. So'ngra tirsakli val elementlarining konstruktiv o'lchamlaridan foydalanib B nuqtadan (QChHdagi krivoship markazi) $r_{sh,1}$ radiusida shatun bo'yinining aylanasi o'tkaziladi. " O " markazdan esa r_1 radiusida (chekka yoki posangining chekka nuqtasi) ikkinchi aylana o'tkaziladi.

Posangisiz shatunlar uchun $r_1 = R + (1,15 \dots 1,25) \cdot r_{sh,b}$.

Posangili shatunlar uchun $r_1 = R + (1,30 \dots 1,50) \cdot r_{sh,b}$.



2.2-rasm. Shatun minimal uzunligini aniqlash uchun krivoship-shatunli mexanizm sxemasi

C nuqtadan 6...8 mm pastga tushib, silindr o'qiga perpendikulyar A-A chizig'i o'tkaziladi, u porshen quyi qirrasining tirsakli val o'qiga minimal ruxsat etilgan yaqinlashishini aniqlaydi.

Porshen o'lchamlarining konstruktiv o'lchamlaridan foydalanib, A-A chizig'idan boshlab yuqorida porshen konturi, jumladan porshen barmog'i markazi A'' nuqta chiziladi. A'' va B nuqtalari orasidagi masofa – shatunning minimal uzunligi $L_{sh\ min}$ bo'lib, u bo'yicha $\lambda_{(min)} = L_{(min)}$ aniqlanadi.

Krivoship-shatunli mexanizm kinematikasining hisobi porshen yo'li, tezligi va tezlanishini topishga keltiriladi.

2.2.2. Porshen yo'li

Markaziy krivoship-shatunli dvigatel uchun krivoship burlish burchagi bo'yicha porshen yo'li

$$S_p = R \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda} (1 - \cos \beta) \right]. \quad (2.1)$$

Hisoblashda porshen siljishi faqat φ burchakning funksiyasi bo'lgan ifodadan foydalanish qulay.

(2.1) – formuladan

$$\cos \beta = 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \varphi - \frac{1}{2 \cdot 4} \lambda^4 \sin^4 \varphi - \dots$$

Bu formuladan faqat birinchi ikkita iborani qabul qilib, qolganlarini tashlab yuborsak, yetarli darajadagi aniqlik saqlanadi, shu sababli

$$S_p = R \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right]. \quad (2.2)$$

2.1-jadval

$$(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\varphi)$$
 ifodaning qiymatlari

φ , grad	λ						φ , grad
	1/3,2	1/3,4	1/3,6	1/3,8	1/4,0	1/4,2	
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	360
10	0,020	0,020	0,019	0,019	0,019	0,019	350
20	0,079	0,078	0,077	0,076	0,075	0,074	340
30	0,173	0,171	0,169	0,167	0,165	0,164	330
40	0,298	0,295	0,291	0,288	0,286	0,283	320
50	0,449	0,444	0,439	0,434	0,431	0,427	310
60	0,617	0,610	0,604	0,599	0,594	0,589	300
70	0,796	0,788	0,781	0,774	0,768	0,763	290
80	0,978	0,969	0,961	0,954	0,948	0,942	280
90	1,156	1,147	1,139	1,132	1,125	1,119	270
100	1,325	1,316	1,308	1,301	1,295	1,289	260
110	1,480	1,472	1,465	1,458	1,452	1,447	250
120	1,617	1,610	1,604	1,599	1,594	1,589	240
130	1,734	1,729	1,724	1,720	1,716	1,713	230
140	1,831	1,827	1,823	1,820	1,818	1,815	220
150	1,905	1,903	1,901	1,899	1,897	1,896	210
160	1,958	1,957	1,956	1,955	1,954	1,954	200
170	1,989	1,989	1,989	1,989	1,989	1,989	190
180	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	180

(2.2) – formuladan $\varphi=90^\circ$ da $S_{90^\circ} = R(1 + \lambda/2)$ va $\varphi=180^\circ$ da $S_{180^\circ} = 2R$ ligi ko'rinadi. Qavs ichidagi qiymatlar λ va φ ga bog'liq holda 2.1-jadvalda keltirilgan.

(2.2) – ifoda va 2.1-jadval ma'lumotlaridan foydalanib, analitik yo'l bilan porshenning YuChHdan QChHga siljishida bosib o'tgan yo'li φ ning oraliq holatlari uchun aniqlanadi, bunda zaruratga qarab 10, 15, 20 yoki 30° oraliq olinadi va $x = f(\varphi)$ egri chizig'i chiziladi (2.3-rasm).

(2.2) – tenglamaga muvofiq porshen siljishiga birinchi va ikkinchi tartibli garmonik siljishlar yig'indisi sifatida qarash mumkin

$$S_i = S_{i1} + S_{i2},$$

bu yerda $S_{i1} = R(1 - \cos \varphi)$ – porshenning birinchi tartibli siljishi (agar shatun uzunligi cheksiz $L_{\infty} = \infty$ bo'lsa, u holda $\lambda = R_{\infty} / \infty = 0$), ya'nibinomning faqat birinchi hadi hisobga olinganda;

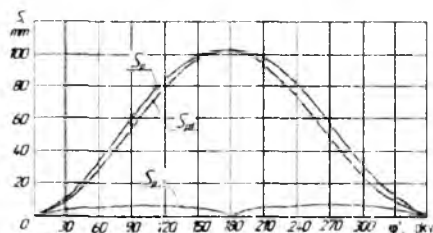
$S_{i2} = R \cdot \lambda / 4(1 - \cos 2\varphi)$ – porshenning ikkinchi tartibli siljishi.

ya'ni shatun uzunligiga bog'liq qo'shimcha siljish, u shatun uzunligiga bog'liq va tenglamaning ikkinchi hadi bilan aniqlanadi.

Porshen krivoship burilishi burchagiga bog'liq siljishining va uni tashkil qiluvchilarning xarakteri 2.3-rasmda keltirilgan grafikdan shu narsa ko'rinadiki, tirsakli val 90°ga burilganida porshen o'z yo'lining yarmidan ko'pinib bosib o'tar ekan.

Masalan, $\lambda = 1/4$ bo'lganda

$$S_y = R(1 - \cos 90^\circ) + \frac{R_m}{4} \left(1 - \cos 2 \cdot 90^\circ \right) = \frac{9}{8} R_m \approx 0.56 \cdot S.$$



2.3-rasm. Tirsakli val aylanishlar burchagi φ bo'yicha porshen siljishining o'zgarishi

Buning sababi – krivoship YuChHdan chorak aylanaga burilganda ($\varphi = \pi/2$) porshen, krivoship ikkinchi chorak aylanaga burilganida bosib o'tadigan yo'lga nisbatan, ko'proq siljir ekan. Buning sababi porshen siljishi ikki qo'shiluvchidan tarkib topadi, bulardan birinchisi shatunning silindr o'qi bo'ylab siljishi bilan, ikkinchisi esa – shatunning silindr o'qidan og'ishi bilan (tebranma harakat) belgilanadi. Krivoship aylanishining birinchi choragida bu ikkila harakat porshenni bitta yo'nalishda siljitadi (siljishlar qo'shiladi), aylanishning ikkinchi choragida esa – ular teskari yo'nalishda bo'ladi (siljishlar ayriladi).

R_{sh} va λ qiymatlari qanchalik katta bo'lsa porshen siljishiga silindr o'qidan shatun og'ishining ta'siri shunchalik katta bo'ladi. Porshen siljishini kompyuterda, masalan Microsoft Excel dasturidan foydalanib, grafik yo'l bilan aniqlash mumkin.

2.2.3. Porshen tezligi

Porshen siljiyotganda uning harakatining tezligi o'zgaruvchi qiymat bo'lib, tirsakli valning o'zgarmas aylanishlar chastotasida

tirsakli val (krivoship) burilishi burchagi φ ning o'zgarishiga va $\lambda = R/L_{sh}$ nisbatga bog'liq bo'ladi.

Porshen siljishi tezligini krivoship burilishi burchagi funksiyasi sifatida krivoship-shatunli mexanizm harakati tenglamasining chap va o'ng qismlarini vaqt bo'yicha differensiallab topish mumkin (m/s)

$$\frac{ds_x}{dt} = \frac{d}{d\varphi} \left\{ R \cdot \left[(1 - \cos\varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right] \right\} \frac{d\varphi}{dt}$$

$$= R \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \frac{d\varphi}{dt}.$$

Lekin $ds_x/dt = V_p$ – porshen siljishining tezligi;

$d\varphi/dt = \omega$ – krivoship aylanishining burchak tezligi.

Demak,

$$V_p = \omega R \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) \quad (2.3)$$

(2.3) – formulada qavs ichidagi ifodaning φ va λ ning har xil qiymatlari uchun qiymatlari 2.2-jadvalda keltirilgan.

2.2-jadval

φ , grad	$(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi)$ ifodasining qiymatlari								φ , grad
	ishora	1/3.2	1/3.4	1/3.6	1/3.8	1/4.0	1/4.2	ishora	
0	+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	360
10	+	0,227	0,224	0,221	0,219	0,216	0,214	-	350
20	+	0,442	0,437	0,431	0,427	0,422	0,418	-	340
30	+	0,635	0,627	0,6200	0,614	0,608	0,608	-	330
40	+	0,797	0,788	0,780	0,772	0,766	0,760	-	320
50	+	0,920	0,911	0,903	0,896	0,889	0,883	-	310
60	+	1,001	0,993	0,980	0,980	0,974	0,969	-	300
70	+	1,040	1,034	1,029	1,024	1,020	1,016	-	290
80	+	1,038	1,035	1,032	1,030	1,028	1,026	-	280
90	+	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	-	270
100	+	0,931	0,934	0,937	0,940	0,942	0,944	-	260
110	+	0,839	0,845	0,850	0,855	0,859	0,862	-	250
120	+	0,731	0,739	0,746	0,752	0,758	0,763	-	240
130	+	0,612	0,621	0,629	0,636	0,643	0,649	-	230
140	+	0,489	0,489	0,506	0,513	0,520	0,526	-	220
150	+	0,365	0,373	0,380	0,386	0,392	0,397	-	210
160	+	0,242	0,247	0,253	0,257	0,262	0,266	-	200
170	+	0,120	0,123	0,126	0,129	0,131	0,133	-	190
180	+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	-	180

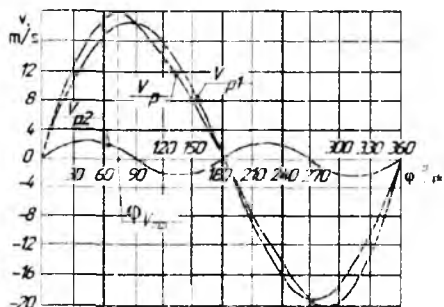
Porshen tezligini birinchi va ikkinchi tartibli tezliklar yig'indisi sifatida taqdim etish mumkin

$$V_p = V_{p1} + V_{p2},$$

bu yerda $V_{p1} = \omega R \sin\varphi$ – porshenning birinchi tartibli garmonik o'zgaruvchi tezligi, ya'ni shatun uzunligi cheksiz katta bo'lganda porshen harakatlanishi mumkin bo'lgan tezlik;

$V_{p2} = \frac{\omega \cdot R \cdot \lambda}{2} \cdot \sin 2\varphi$ – porshenning garmonik o'zgaruvchi ikkinchi tartibli tezligi, ya'ni shatun uzunligi chekliligi tufayli vujudga kelayotgan porshenning qo'shimcha siljishi.

Porshen tezligini tashkil qiluvchilar φ burchagining garmonik funksiyasi bo'lib, unda porshen ikkinchi tartibli tezligining funksiyasi sifatida garmonik tebranishlar davri porshen birinchi tartibli tezligining davriy funksiyasi sifatida tebranishlar davri ikki marta kichik. Porshen siljishi tezligi va uni tashkil qiluvchilarning krivoship burilish burchagidan bog'liqligi 2.4-rasmda keltirilgan



2.4-rasm. Porshen tezligi V_p ning tirsakli val burilish burchagi φ ga bog'liq holda o'zgarishi

(2.3) – ifoda va uning 2.4-rasmdagi tasviridan quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin: porshenning birinchi tartibli tezligi $\varphi=90^\circ$ da maksimal qiymatga erishadi $V_{p1\max}=\omega R$, ya'ni bu xolda porshen tezligi krivoshipning shatun bo'yini o'qining tezligiga teng bo'ladi. bu onda shatun silindri o'qi bo'ylab faqat ilgarilama harakatlanadi. Bu tezlik porshening maksimal tezligi bo'lmaydi, porshen maksimal tezligiga $\varphi<90^\circ$ da erishadi. $\varphi=0^\circ$ (YuChH) va $\varphi=180^\circ$ da porshen tezligi nolga teng, chunki bu nuqtalarda porshen harakatining yo'nalishi o'zgaradi.

Porshen tezligining maksimal qiymati $V_{p\max}$ va unga mos

burchak $\varphi_{V_{p1max}}$ qiymati (2.3) ifoda maksimumga tekshirilganda topiladi:

$$\begin{aligned}\frac{dV_n}{d\varphi} &= \omega \cdot R \cdot \cos\varphi_{V_{pmax}} + \frac{\omega \cdot R \cdot \lambda}{2} \cos 2\varphi_{V_{pmax}} \\ &= \omega \cdot R (\cos\varphi_{V_{pmax}} + \\ &\quad + \lambda \cdot \cos 2\varphi_{V_{pmax}}) = 0,\end{aligned}$$

$$\cos 2\varphi_{V_{pmax}} = 2 \cdot \cos^2 \cdot \varphi_{V_{pmax}} - 1, \text{ bo'lganligi sababli}$$

$$\cos\varphi_{V_{pmax}} + \lambda(2 \cdot \cos^2 \cdot \varphi_{V_{pmax}} - 1) = 0,$$

u yerdan

$$\cos\varphi_{V_{pmax}}$$

$$\begin{aligned}&= \frac{1}{4 \cdot \lambda} \\ &+ \sqrt{\left(\frac{1}{4\lambda}\right)^2 + \frac{1}{2}}.\end{aligned}\quad (2.4)$$

Olingan $\varphi_{V_{pmax}}$ qiymatini (2.3) formulaga qo'yib, porshen tezligining eng katta qiymati $V_{p,max}$ ni olamiz. Ko'p hollarda shatun va krivoship bir-biriga perpendikulyar, ya'ni $\varphi + \beta = 90^\circ$, bo'lganda porshen tezligi maksimal qiymatga erishadi deb hisoblashadi. Lekin (2.4) ifoda bo'yicha hisoblar shuni ko'rsatadiki, $\lambda = 1/4$ bo'lganda shatun krivoshipga $\varphi = 75^\circ 58'$ da perpendikulyar bo'ladi, porshen tezligi maksimal qiymatga esa $\varphi_{V_{pmax}} = 77^\circ$ dan erishadi.

Muhandislik amaliyotida avtomobil va traktor dvigatellarining tezyurarligi va pishiq-puxtaligini baholash uchun porshen tezligining o'rtacha qiymatidan foydalanishadi

$$V_{p.o'r.} = \frac{G \cdot n}{30} = \frac{2 \cdot R}{30} \cdot \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{2 \cdot R \cdot \omega}{\pi}$$

Porshen o'rtacha tezligi ortishi bilan dvigatel detallarining (birinchi navbatda porshen guruhining) issiqlikdan kuchlanganligi ortadi, KShM detallarini yuklovchi inersiya kuchlari kattalashadi, tirsakli val podshipniklari va silindrlarning yeyilishi tezlashadi, gaz taqsimlash tizimida gazlarning tezligi kattalashadi va buning natijasida kiritish tizimining qarshiligi ortadi. Avtomobil va traktor dvigatellari porshenlarining o'rtacha tezligi porshen guruhi

detallarining ishonchli ishlash sharoitlari bilan cheklanadi va avtomobil dvigatellarida 9...16 m/s, traktor dvigatellarida esa 5...9 m/s oralig'ida bo'ladi.

Porshen maksimal tezligi $V_{p,max}$ ning porshen o'rtacha tezligi $V_{p,o'r}$ ga nisbati $\lambda=0,24...0,31$ oralig'ida 1,62...1,64 ni tashkil qiladi:

$$V_{p,max}/V_{p,o'r} = \left(\frac{\pi}{2}\right) \cdot \sqrt{1 + \lambda^2}.$$

Siljigan (dezaksial) krivoship-shatunli mexanizmida porshen tezligi

$$V_p = \omega \cdot R \cdot (\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi - K \cdot \lambda \cdot \cos\varphi).$$

2.2.4. Porshen tezlanishi

Porshen tezlanishi

$$\frac{dV_p}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{dV_p}{d\varphi}$$

$$= \omega^2 \cdot R (\cos\varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi).$$

(2.5)

Olingan ifodada $(\cos\varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi)$ qiymatlari λ va φ ning qiymatlariga bog'liq holda 2.3-jadvalda keltirilgan.

2.3-jadval

$(\cos\varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi)$ ifodaning qiymatlari

φ , grad	belgi	λ						belgi	φ , grad
		1/3,2	1/3,4	1/3,6	1/3,8	1/4, 0	1/4,2		
0	+	1,312	1,294	1,278	1,263	1,250	1,233	--	360
10	+	1,278	1,261	1,246	1,232	1,220	1,208	--	350
20	+	1,179	1,165	1,152	1,141	1,131	1,022	--	340
30	+	1,022	1,013	1,005	0,998	0,991	0,985	--	330
40	+	0,820	0,817	0,814	0,812	0,809	0,807	--	320
50	+	0,588	0,592	0,594	0,597	0,599	0,601	--	310
60	+	0,344	0,353	0,361	0,368	0,375	0,381	--	300
70	+	0,103	0,117	0,129	0,140	0,150	0,160	--	290
80	+	0,120	0,103	0,087	0,074	0,061	0,050	--	280
90	-	0,312	0,294	0,278	0,263	0,250	0,238	--	270
100	-	0,467	0,450	0,435	0,421	0,409	0,397	--	260
110	-	0,58	0,567	0,555	0,544	0,533	0,524	--	250
120	-	0,656	0,694	0,691	0,688	0,686	0,684	--	240
130	-	0,697	0,489	0,506	0,513	0,520	0,526	--	230
140	-	0,712	0,715	0,718	0,720	0,723	0,725	--	220
150	-	0,710	0,719	0,727	0,734	0,741	0,747	--	210
160	-	0,700	0,714	0,727	0,738	0,748	0,757	--	200
170	-	0,691	0,708	0,724	0,737	0,750	0,761	--	190
180	-	0,687	0,706	0,722	0,737	0,750	0,762	--	180

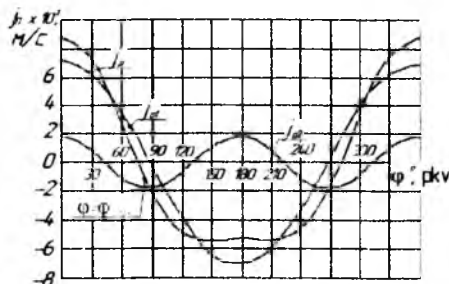
(2.5) formuladan shu narsa ko‘rinadiki, porshenning tezlanishi ikki tashkil etuvchidan tarkib topar ekan

$$j_p = j_{p1} + j_{p2},$$

bu yerda $j_{p1} = \omega^2 \cdot R \cdot \cos\varphi$ – porshenning birinchi tartibli tezlanishi;

$j_{p2} = \omega^2 \cdot R \cdot \lambda \cdot \cos 2\varphi$ – porshenning ikkinchi tartibli tezlanishi.

Ushbu tezlanishlarning krivoship burilishi burchagi φ ga qarab o‘zgarishi xarakteri 2.5-rasmda keltirilgan.



2.5-rasm Porshen tezlanishi j_p ning tirsakli val burilish burchagi φ ga bog‘liqligi

(2.5) ifoda va uni grafik tasviridan shu narsa ko‘rinadiki, porshen tezlashishining tarkibiy qismlari φ burchagining garmonik funksiyalari bo‘lib, unda birinchi tartibli tezdanihning o‘zgarish davri ikkinchi tartibli tezlanish o‘zgarish davriga nisbatan ikki marta katta bo‘ladi.

Porshenning tezlanishi $\varphi = 0^\circ$ da maksimal qiymatga erishadi

$$j_{pmax} = \omega^2 \cdot R \cdot (1 + \lambda) \quad (2.6)$$

Porshen tezlanishining minimal qiymatlari:

$$\left. \begin{aligned} a) \lambda < 0,25 \text{ bo'lganda } \varphi = 180^\circ \text{ nuqtada; } j_{min} &= -\omega^2 \cdot R(1 - \lambda); \\ b) \lambda > 0,25 \text{ bo'lganda } \varphi = \arccos\left(-\frac{1}{4} \cdot \lambda\right) \text{ nuqtada; } \\ j_{min} &= -\omega^2 R[\lambda + 1/(8\lambda)]. \end{aligned} \right\}$$

(2.5) tenglama va 2.3-jadval ma‘lumotlaridan foydalanib, porshen tezlanishi qiymatlarini, $\varphi=0-360^\circ$ intervalida φ burchagining qator qiymatlari uchun, analitik usulda topishadi hamda $\varphi=0-360^\circ$ intervalida $j=f(\varphi)$ grafigi chiziladi.

Siljigan (dezaksial) krivoship-shatunli mexanizmda porshen tezlanishi

$$j_p = \omega^2 \cdot R \cdot (\cos\varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi + K \cdot \lambda \sin\varphi)$$

Porshen siljishi, tezligi va tezlanishining krivoship burilishi burchagiga bog'liq grafigini Microsoft Excel dasturi yordamida qurish mumkin.

Porshen tezlanishining maksimal qiymati avtomobil va traktor dvigatellari uchun $6000...22000 \text{ m/s}^2$ oralig'ida bo'ladi.

2.3. Krivoship-shatunli mexanizmning dinamik hisobi

2.3.1. Umumiy holatlar

Krivoship-shatunli mexanizmni dinamik hisoblashning vazifasi – gaz bosimi va inersiya kuchlaridan vujudga keladigan yig'indi kuch va momentlarni aniqlashdir.

Ishlayotgan dvigatelda krivoship-shatunli mexanizm detallariga silindrdagi gazlar bosimi kuchi, mexanizm harakatlanayotgan massalarining inersiya kuchlari, ishqalanish kuchlari va dvigatel validagi foydali qarshilik kuchlari ta'sir qiladi.

Kattaligi va yo'nalishi bo'yicha o'zgaruvchi tezlikda harakatlanayotgan dvigatel detallari massalarining inersiya kuchlari dvigatelda, u ham salt ishi rejimida va ham yuk ostida ishlaganida, vujudga keladi. Dvigatelning ba'zi detallari uchun bu kuchlar asosiy hisobiy kuchlar hisoblanadi.

Krivoship-shatunli mexanizmni harakatlanuvchi massalarining inersiya kuchlari uch guruhga:

- ilgari lama-qaytma harakatlanayotgan massaning inersiya kuchlari;
- aylanma harakatlanayotgan massaning inersiya kuchlari;
- murakkab (tekis-parallel) harakatlanayotgan massaning inersiya kuchlariga bo'linadi.

Dvigatelda ta'sir qilayotgan hamma kuchlar tirsakli valdagi foydali qarshilik, ishqalanish kuchlari va dvigateldagi tayanchlar qabul qiladi.

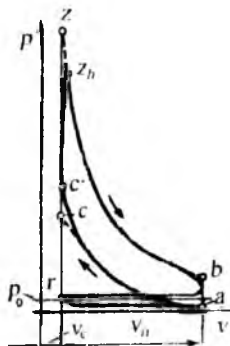
Har bir ishchi sikl (to'rt taktli dvigatellar uchun 720°) davomida krivoship-shatunli mexanizmدا ta'sir etayotgan kuchlar qiymati va yo'nalishi bo'yicha o'zgarib turadi. Shu sababli ushbu kuchlarning qiymatlari o'zgarishini aniqlash uchun bu qiymatlarni tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha har $10...30^\circ$ oralig'ida aniqlashadi. Dinamik hisob natijalari bo'yicha jadvallar to'ldiriladi.

Krivoship-shatunli mexanizmda ta'sir qiluvchi kuchlar tahlili dvigatel elementlarini mustahkamlikka hisoblash, podshipniklarga tushayotgan yuklarni aniqlash, tirsakli val buralma tebranishlarini tahlil qilish va boshqa hisoblar uchun zarur.

2.3.2. Gazlar bosimi kuchlari

Porshen tubi yuzasiga ta'sir qiluvchi gazlar bosimi kuchi dinamik hisobni soddalashtirish maqsadida silindr o'qi bo'ylab yo'nalgan va porshen barmog'i o'qiga qo'yilgan bitta kuch bilan almashtiriladi.

Silindrdagi gazlar bosimi kuchi porshen yo'lining holatiga qarab p - V koordinatalarida chizilgan indikator diagrammadan aniqlanadi. Indikator diagramma dvigatel sikli issiqlik hisobi ma'lumotlari bo'yicha chiziladi (2.6-rasm): a – kiritish takti oxiri; ac – siqish takti; cz – yonish takti; zb – kengayish takti; br – chiqarish takti; ra – kiritish takti; c – nazariy siqish oxiri; z – nazariy yonish jarayonining oxirgi nuqtasi; z_h – haqiqiy yonish jarayonining oxirgi nuqtasi.



2.6-rasm. Benzinli dvigatelning indikator diagrammasi

Porshenga ta'sir qiluvchi, silindr o'qi bo'ylab yo'nalgan gazlarning bosim kuchi

$$P_g = (p_g - p_o) \cdot F_p, \quad (2.9)$$

bu yerda p_g – silindrdagi gazlar bosimi, MPa;

p_o – porshen ostidagi bosim (karteri ventilyatsiya qilinadigan to'rt taktli dvigatellar uchun atmosfera bosimiga teng), MPa;

F_p – porshen (silindr ko'ndalang kesimi) yuzasi, m^2 .

Yoyilgan indikator diagramma mos masshtabda (2.9) ifodaning grafigini, ya'ni krivoship burilish burchagi bo'yicha gaz bosimi kuchlari grafigini ifodalaydi. Analitik usulda u Microsoft Excel yoki kafedrada ishlangan dasturdan foydalanib quriladi.

Indikator diagrammani tirsakli val burilish burchagi bo'yicha yoyilgan diagrammaga prof. F.A.Briks metodi bo'yicha grafik usulda ham amalga oshirish mumkin. Buning uchun indikator diagramma ostida $R=S/2$ radiusda yordamchi yarim aylana chiziladi (2.6-rasm).

So'ngra yarimaylana markazi (O nuqta) dan QChH tarafa $R/\lambda/2$ ga teng Briks tuzatishi quyiladi. Yarimaylana markaz O dan nurlar bilan bir necha qismlarga bo'linadi, keyin Briks markazi (O' nuqta) dan ushbu nurlarga parallel chiziqlar o'tkaziladi. Yarim aylanada hosil bo'lgan nuqtalar φ burchagining ma'lum qiymatlariga mos bo'ladi (2.7-rasmda nuqtalar orasidagi interval 30° ga teng). Ushbu nuqtalardan indikator diagramma chiziqlari bilan kesishguncha vertikal chiziqlar o'tkaziladi va bosimlarning olingan qiymatlari mos φ burchagiga vertikal bo'yicha qo'yiladi. Indikator diagrammani qurishni odatda kiritish jarayonining boshlanishidagi YuChH dan boshlashadi. Shuni nazarda tutish kerakki, indikator diagrammada bosim absolyut nuldin boshlab o'lchanadi, yoyilgan indikator diagrammada esa porshen ustidagi ortiqcha bosim $\Delta p_g = p_g - p_o$ ko'rsatiladi.

Tirsakli val o'qiga yo'nalgan gaz bosimi kuchlari – musbat, tirsakli val o'qidan yo'nalgan kuchlar – manfiy hisoblanadi.

Gaz bosimi kuchlari p_g ni bosimlar Δp_g ning yoyilgan diagrammasidan aniqlash uchun masshtabni hisoblash kerak. Agar Δp_g egri chizig'i M_p (MPa/mm) da qurilgan bo'lsa, p_g uchun bu masshtab $M_p = M_p \cdot F_n$ (MN/mm) da bo'ladi

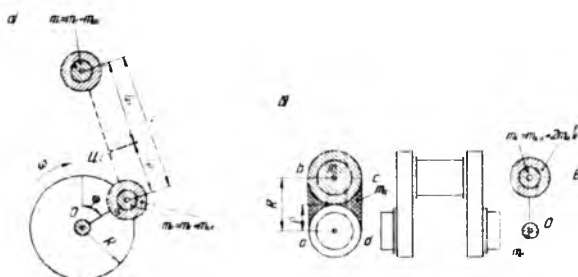
2.3.3. Krivoship-shatunli mexanizm qismlarining massalarini keltirish

Krivoship-shatunli mexanizm detallarini massalari harakatining xarakteri bo'yicha ilgarilama-qaytma harakatlanuvchi (porshen guruhi va shatunning porshen kallagi), aylanma harakatlanuvchi (tirsakli val va shatunning krivoship kallagi) va murakkab tekis-parallel harakatlanuvchi (shatun sterjeni) larga ajratish mumkin.

Dinamik hisobni soddalashtirish uchun haqiqiy krivoship-shatunli mexanizm to'plangan massalarning dinamik ekvivalent tizimi

bilan almashtiriladi.

Porshen guruhi massasi m_n porshen barmog'i o'qi bo'lgan A nuqtada (2.7,a-rasm) to'plangan deb hisoblanadi. Shatun guruhi massasi m_{sh} ikkita massa bilan almashtiriladi, ulardan biri – $m_{sh,p}$ porshen barmog'i o'qi A nuqtada, ikkinchisi – $m_{sh,k}$ esa – krivoship o'qi V nuqtada to'planadi.



2.7-rasm Krivoship-shatunli mexanizimga dinamik ekvivalent bo'lgan to'plangan massalar tizimi: a – krivoship-shatunli mexanizmnng keltirilgan tizimi; b – krivoshipning keltirilgan massasi

Ushbu massalarning qiymatlari (kg)

$$m_{sh,p} = (L_{sh,k}/L_{sh}) \cdot m_{sh}, \quad m_{sh,k} = (L_{sh,p}/L_{sh}) \cdot m_{sh}, \quad (2.10)$$

bu yerda L_{sh} – shatun uzunligi;

$L_{sh,p}$ – porshen kallagi markazidan shatun og'irlik markazigacha

bo'lgan masofa;

$L_{sh,k}$ – krivoship kallagi markazidan shatun og'irlik markazigacha

bo'lgan masofa.

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari konstruktsiyalarining aksariyat qismi uchun $t_{sh,p} = (0,2 \dots 0,3) \cdot t_{sh}$ va $t_{sh,k} = (0,7 \dots 0,8) \cdot t_{sh}$.

Hisoblaganda quyidagi o'rtacha qiymatlarni qabul qilish mumkin

$$t_{sh,p} = 0,275 \cdot t_{sh} \text{ va } t_{sh,k} = 0,725 \cdot t_{sh}. \quad (2.11)$$

Krivoship massasi ikkita: krivoship o'qi B nuqtada joylashgan massa t_k va o'zak bo'yin o'qi O nuqtada joylashgan massa t_o bilan almashtiriladi (2.7,b-rasm). O'zak bo'yini massasi aylanish o'qiga

nisbatan simmetrik joylashgan chekkalarning bir qismi bilan muvozanatlashgan bo'ladi B nuqtada to'plangan massa (kg):

$$t_k = t_{sh,b} + 2 \cdot t_{ch} \rho / R, \quad (2.12)$$

bu yerda $t_{sh,b}$ – shatun bo'yining unga yondoshgan chekka qismlari bilan birga massasi;

t_{ch} – og'irlik markazi ρ radiusida bo'lgan $abcd$ konturi bo'yicha chekka o'rta qismining massasi.

Zamonaviy qisqa yo'lli dvigatellarda t_{ch} qiymati $t_{sh,b}$ ga nisbatan ancha kichik, ko'p hollarda uni hisobga olishmaydi. Hisoblashda $t_{sh,b}$ ni va zarur bo'lgan hollarda t_{ch} ni krivoship o'lchamlaridan va tirsakli val materiali zichligini hisobga olib aniqlashadi.

Demak, krivoship-shatunli mexanizmga dinamik ekvivalent bo'lgan to'plangan massalar tizimi A nuqtada to'plangan va ilgari lama-qaytma harakatlanuvchi $t_j = t_n + t_{sh,n}$ massadan va I' nuqtada to'plangan va aylanma harakatlanuvchi $t = t + t$ massadan tarkib topadi. Ikkilangan krivoship-shatunli mexanizmlar I' -simon dvigatellarda

$$t_{R\Sigma} = t_k + 2 \cdot t_{sh,b}.$$

Dvigatel dinamik hisobini bajarishda t_p va t_{ch} massalar prototip ma'lumotlaridan olinadi yoki chizmalar hisobi bo'yicha hisoblanadi.

t_n , t_{sh} va t_k massalarining taqribiy qiymatini aniqlashda 2.4-jadvalda keltirilgan $m' = m F_p$ ($kg\ m^2$ yoki $g\ sm^2$) konstruktiv massalardan foydalanish mumkin.

2.4-jadval

Krivoship-shatunli mexanizm elementlari	Konstruktiv massalar, $kg\ m^2$	
	Benzinli dvigatellar ($D=60-100\ mm$)	Dizellar ($D=80-120\ mm$)
Porshen guruhi ($m'_n = m_n F_n$)		
• alyuminiy qotishmali porshen	80 – 100	150 – 300
• cho'yan porshen	150 – 250	250 – 400
Shatun ($m'_{sh} = m_{sh} F_n$)	100 – 200	250 – 400
Posangisiz val bitta tirsagining muvozanatlanmagan qismi ($m'_k = m_k F_n$);	150 – 200	200 – 400
– bo'yinlari to'liq po'latli bolg'alangan val	100 – 200	150 – 300
– bo'yin ichi bo'sh quyma cho'yan val		

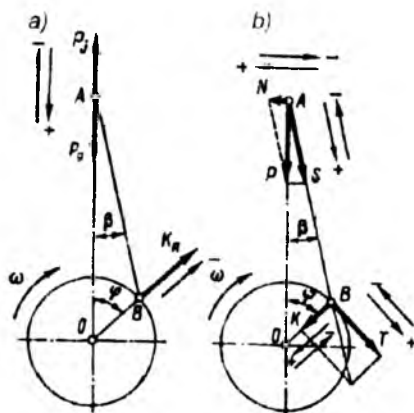
2 4-jadvaldan massalarni aniqlashda m' ning katta qiymatlari silindr diametri katta bo'lgan dvigatellarga mos keladi. SD nisbatning kichiklashishi t'_{sh} va t'_k ni kamaytiradi. Krivoship bo'yinida ikkitadan shatun joylashgan *V-simon* dvigatellarga t'_k ning katta qiymatlari mos keladi.

2.3.4. Inersiya kuchlari

Krivoship-shatunli mexanizmda ta'sir qiluvchi inersiya kuchlari keltirilgan massalar harakatining xarakteriga qarab ilgariqlama-qaytma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlari P_j va aylanma harakatlanuvchi massalarning markazdan qochma inersiya kuchi K_R ga bo'linadi (2.8,a-rasm)

Ilgariqlama-qaytma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlari

$$P_j = -m_j \cdot j = -m_j \cdot R \cdot \omega^2 \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi). \quad (2.13)$$



2 8-rasm. Krivoship-shatunli mexanizmda ta'sir qiluvchi kuchlarning sxemasi
 a – inersiya va gaz kuchlari, b – yig'indi kuchlar

Porshen tezlanishiga o'xshash ravishda P_j kuchi birinchi tartibli inersiya kuchi P_{j1} va ikkinchi tartibli inersiya kuchi P_{j2} yig'indisi ko'rinishida ifodalanishi mumkin

$$P_j = P_{j1} + P_{j2} = -(m_j \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi + m_j \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\varphi). \quad (2.14)$$

(2.13) va (2.14) tenglamalarda minus ishorasi inersiya kuchi tezlanishga nisbatan qarama-qarshi yo'nalganligini bildiradi.

Ilgariqlama-qaytma harakatlanuvchi massalar inersiya kuchlarining diagrammasi porshen tezlanishi diagrammasi qurilgani

kabi quriladi (2.5-rasmga qarang).

P_g va ΔP_g krivoshipning qaysi holatlari uchun qurilgan bo'lsa, P_j o'sha holatlar uchun hisoblanadi.

Aylanma harakatlanuvchi massalarning markazdan qochma inersiya kuchi

$$K_R = -m_R \cdot R \cdot \omega^2. \quad (2.15)$$

$\omega = \text{const}$ bo'lganda qiymati bo'yicha o'zgarmas bo'lib, krivoship radiusi bo'yicha ta'sir qiladi va tirsakli val o'qidan tashqariga yo'nalgan bo'ladi.

Markazdan qochma inersiya kuchi K_R quyidagi ikkita kuchning yig'indisi bo'ladi:

shatun aylanuvchi massalarining inersiya kuchi

$$K_{Rsh} = m_{sh.b} \cdot R \cdot \omega^2 \quad (2.16)$$

va krivoship aylanuvchi massalarining inersiya kuchi

$$K_{Fk} = m_k \cdot R \cdot \omega^2. \quad (2.17)$$

I'-simon dvigatellar uchun

$$K_{R\Sigma} = K_{Rk} + K_{Rsh.l} + K_{Rsh.p} = -(m_k + m_{sh.k.l} + m_{sh.k.p}) R \cdot \omega^2. \quad (2.18)$$

bu yerda $K_{Rsh.l}$ va $K_{Rsh.p}$ – o'ng va chapda joylashgan shatunlar aylanuvchi massalarning inersiya kuchlari.

Krivoshipning bir bo'yinida yonma-yon joylashgan ikkita bir xil shatunli *I'-simon* dvigatel uchun

$$K_{R\Sigma} = K_R + 2K_R = -(m_k + 2m) R \cdot \omega^2 = -m_{R\Sigma} \cdot R \cdot \omega^2 \quad (2.19)$$

2.3.5. *Krivoship-shatunli mexanizm*da ta'sir qiluvchi yig'indi kuchlar

Krivoship-shatunli mexanizm

da ta'sir qiluvchi yig'indi kuchlarni (KN) gaz bosimi kuchlari va ilgarilama-qaytma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlarini algebraik qo'shishi yo'li bilan topishadi:

$$P_{\Sigma} = P_g + P_j \quad (2.20)$$

Dvigatellarning dinamik hisobini bajarishda kuchlarning absolyut qiymatidan emas, balki ularning porshen yuzasi birligiga tushadigan solishtirma kuchlardan foydalanish maqsadida muvofiq bo'ladi:

$$p = \Delta p_g + p_j, \quad (2.21)$$

bu yerda

$$p_j = P_j / F_n = -(m_n \cdot R \cdot \omega^2 / F_n) \cdot (\cos \varphi + \lambda \cdot \cos 2\varphi). \quad (2.22)$$

Solishtirma yig'indi kuchlar p grafigini $\Delta p_g = f(\varphi)$ va $p_j = f(\varphi)$ (2.6-rasmga qarang) diagrammalari yordamida qurishadi.

Yig'indi kuch P_{Σ} gaz bosimi kuchi P_g va inersiya kuchi P_j kabi silindr o'qi bo'ylab yo'nalgan va porshen barmog'ining o'qiga qo'yilgan (2.3,b-rasm) P_{Σ} kuchdan ta'sir silindr devoriga uning o'qiga perpendikulyar holda yo'naladi, shatunga esa uning o'qi bo'ylab yo'naladi.

Silindr o'qiga perpendikulyar ta'sir qiluvchi N kuchi (kN) *normal kuch* deyiladi, uni silindr devorlari qabul qiladi:

$$N = P_{\Sigma} \cdot \operatorname{tg} \beta. \quad (2.22)$$

Agar normal kuch N tirsakli val o'qiga nisbatan dvigatel tirsakli vali aylanishi yo'nalishiga nisbatan qarama-qarshi yo'nalishda moment hosil qilsa musbat hisoblanadi.

Shatun bo'ylab yo'nalgan S kuchi (kN) unga ta'sir qiladi va krivoshipga uzatiladi. Bu kuch shatunni siqayotgan bo'lsa musbat, cho'zayotgan bo'lsa esa – manfiy hisoblanadi:

$$S = P_{\Sigma} \cdot (1/\cos \beta). \quad (2.23)$$

S kuchining shatun bo'yiniga ta'siridan kuchning ikkita tashkil etuvchisi vujudga keladi (2.8,b-rasm):

krivoship radiusi bo'ylab yo'nalgan kuch (kN):

$$K = P_{\Sigma} \cos (\varphi + \beta) \cos \beta \quad (2.24)$$

va krivoship radiusi aylanasiga urilma bo'yicha yo'nalgan tangensial kuch (kN):

$$T = P_{\Sigma} \sin (\varphi + \beta) / \cos \beta. \quad (2.25)$$

K kuchi chekkani siqsa (markazga yo'nalgan bo'lsa) musbat hisoblanadi.

Agar T kuchi yaratayotgan moment yo'nalishi tirsakli val aylanishi yo'nalishiga mos bo'lsa, kuch musbat hisoblanadi.

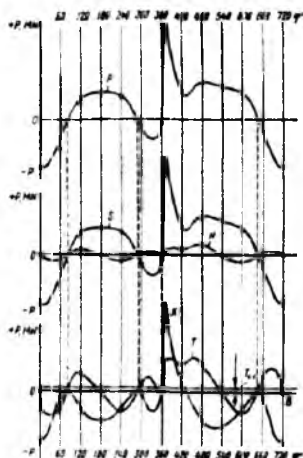
(2.22) – (2.25) tenglamalarga kiruvchi trigonometrik funksiyalarning qiymatlari turli λ va φ uchun 2.5-2.8-jadvallarda keltirilgan. Ushbu tenglamalarni yechish natijasida olingan ma'lumotlar bo'yicha N , S , K va T kuchlarining diagrammalar (2.9-rasm) quriladi.

2.5-jadval

φ, grad	belg i	λ ... bo'lganda tgβ qiymati								belg i	φ, grad
		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31		
0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	-	360
10	+	0,042	0,043	0,045	0,047	0,049	0,050	0,052	0,054	-	350
20	+	0,082	0,086	0,089	0,093	0,096	0,100	0,103	0,106	-	340
30	+	0,121	0,126	0,131	0,136	0,141	0,146	0,151	0,156	-	330
40	+	0,156	0,162	0,169	0,176	0,182	0,189	0,196	0,202	-	320
50	+	0,186	0,194	0,202	0,210	0,218	0,226	0,234	0,243	-	310
60	+	0,211	0,220	0,230	0,239	0,248	0,257	0,267	0,276	-	300
70	+	0,230	0,240	0,250	0,260	0,270	0,280	0,291	0,301	-	290
80	+	0,241	0,252	0,263	0,273	0,284	0,295	0,306	0,316	-	280
90	+	0,245	0,256	0,267	0,278	0,289	0,300	0,311	0,322	-	270
100	+	0,241	0,252	0,263	0,273	0,284	0,295	0,306	0,316	-	260
110	+	0,230	0,240	0,250	0,260	0,270	0,280	0,291	0,301	-	250
120	+	0,211	0,220	0,230	0,239	0,248	0,257	0,267	0,276	-	240
130	+	0,186	0,194	0,202	0,210	0,218	0,226	0,234	0,243	-	230
140	+	0,156	0,162	0,169	0,176	0,182	0,189	0,196	0,202	-	220
150	+	0,121	0,126	0,131	0,136	0,141	0,146	0,151	0,156	-	210
160	+	0,082	0,086	0,089	0,093	0,096	0,100	0,103	0,106	-	200
170	+	0,042	0,043	0,045	0,047	0,049	0,050	0,052	0,054	-	190
180	+	0	0	0	0	0	0	0	0	-	180

2.6-jadval

φ grad	belgi	λ ... bo'lganda / cosβ qiymati								belgi	φ, grad
		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31		
0	+	1	1	1	1	1	1	1	1	+	360
10	+	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	+	350
20	+	1,003	1,004	1,004	1,004	1,005	1,005	1,005	1,006	+	340
30	+	1,007	1,008	1,009	1,009	1,010	1,011	1,011	1,012	+	330
40	+	1,012	1,013	1,014	1,015	1,016	1,018	1,019	1,020	+	320
50	+	1,017	1,019	1,020	1,022	1,024	1,025	1,027	1,029	+	310
60	+	1,022	1,024	1,026	1,028	1,030	1,031	1,035	1,037	+	300
70	+	1,026	1,028	1,031	1,033	1,036	1,039	1,041	1,044	+	290
80	+	1,029	1,031	1,034	1,037	1,040	1,043	1,046	1,049	+	280
90	+	1,030	1,032	1,035	1,038	1,041	1,044	1,047	1,050	+	270
100	+	1,029	1,031	1,034	1,037	1,040	1,043	1,046	1,049	+	260
110	+	1,026	1,028	1,031	1,033	1,036	1,039	1,041	1,044	+	250
120	+	1,022	1,024	1,026	1,028	1,030	1,032	1,035	1,037	+	240
130	+	1,017	1,019	1,020	1,022	1,024	1,025	1,027	1,029	+	230
140	+	1,012	1,013	1,014	1,015	1,016	1,018	1,019	1,020	+	220
150	+	1,007	1,008	1,009	1,009	1,010	1,011	1,011	1,012	+	210
160	+	1,003	1,004	1,004	1,004	1,005	1,005	1,005	1,006	+	200
170	+	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	+	190
180	+	1	1	1	1	1	1	1	1	+	180



2.9-rasm. N , S , K va T kuchlarining krivoship burilish burchagi bo'yicha qurilishi

2.7-jadval

φ, grad	belgi	λ... bo'liganda $\cos(\alpha \cdot \beta) \cos \beta$ qiymati								belgi	φ, grad
		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31		
0	+	1	1	1	1	1	1	1	1	+	360
10	+	0,978	0,977	0,977	0,977	0,976	0,976	0,975	0,975	+	350
20	+	0,912	0,910	0,909	0,908	0,907	0,906	0,905	0,903	+	340
30	+	0,806	0,803	0,801	0,798	0,795	0,793	0,790	0,788	+	330
40	+	0,666	0,662	0,657	0,653	0,649	0,645	0,640	0,636	+	320
50	+	0,500	0,494	0,488	0,482	0,476	0,469	0,463	0,457	+	310
60	+	0,317	0,309	0,301	0,293	0,285	0,277	0,269	0,261	+	300
70	+	0,126	0,117	0,107	0,098	0,088	0,078	0,069	0,059	+	290
80	-	0,064	0,075	0,085	0,095	0,106	0,117	0,127	0,138	-	280
90	-	0,245	0,256	0,267	0,278	0,289	0,300	0,311	0,322	-	270
100	-	0,411	0,422	0,432	0,443	0,453	0,464	0,475	0,485	-	260
110	-	0,558	0,568	0,577	0,586	0,596	0,606	0,615	0,625	-	250
120	-	0,683	0,691	0,699	0,707	0,715	0,723	0,731	0,739	-	240
130	-	0,785	0,792	0,798	0,804	0,810	0,816	0,822	0,829	-	230
140	-	0,866	0,870	0,875	0,879	0,883	0,887	0,892	0,896	-	220
150	-	0,926	0,929	0,931	0,934	0,937	0,939	0,942	0,945	-	210
160	-	0,968	0,969	0,970	0,971	0,973	0,974	0,975	0,976	-	200
170	-	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	0,994	-	190
180	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-	180

2.8-jadval

φ, grad	belgi	λ ... bo'lganda $\sin(\alpha + \beta) \cos \beta$ qiymati								belgi	φ, grad
		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31		
0	+	0	0	0	0	0	0	0	0	—	360
10	+	0,215	0,216	0,218	0,220	0,221	0,223	0,225	0,227	—	350
20	+	0,419	0,423	0,426	0,429	0,432	0,436	0,439	0,442	—	340
30	+	0,605	0,609	0,613	0,618	0,622	0,627	0,631	0,636	—	330
40	+	0,762	0,767	0,772	0,777	0,782	0,788	0,793	0,798	—	320
50	+	0,886	0,891	0,896	0,901	0,906	0,912	0,917	0,922	—	310
60	+	0,972	0,976	0,981	0,985	0,990	0,995	0,999	1,004	—	300
70	+	1,018	1,022	1,025	1,029	1,032	1,035	1,039	1,043	—	290
80	+	1,027	1,029	1,030	1,032	1,034	1,036	1,038	1,040	—	280
90	+	1	1	1	1	1	1	1	1	—	270
100	+	0,943	0,941	0,939	0,937	0,936	0,934	0,932	0,930	—	260
110	+	0,861	0,858	0,854	0,851	0,847	0,844	0,840	0,837	—	250
120	+	0,760	0,756	0,751	0,747	0,742	0,737	0,733	0,728	—	240
130	+	0,646	0,641	0,636	0,631	0,626	0,617	0,615	0,610	—	230
140	+	0,524	0,519	0,513	0,508	0,503	0,498	0,493	0,488	—	220
150	+	0,395	0,391	0,387	0,382	0,378	0,373	0,369	0,364	—	210
160	+	0,265	0,261	0,258	0,255	0,252	0,248	0,245	0,242	—	200
170	+	0,133	0,131	0,129	0,127	0,126	0,124	0,122	0,121	—	190
180	+	0	0	0	0	0	0	0	0	—	180

Grafik usulda $T_{o,r}$ qiymati T egri chizig'i ostida joylashgan yuza bo'yicha aniqlanadi

$$T_{o,r} = (\sum f_1 \text{ va } \sum f_2) M_r OB, \quad (2.26)$$

bu yerda $\sum f_1$ va $\sum f_2$ – mos ravishda musbat va manfiy yuzalar, mm^2 ; M_p – kuch masshtabi, MN/mm ; OB – diagramma asosining uzunligi, mm (2.10-rasm).

Hisoblash va T kuchi diagrammasi (egri chizig'i) qurilishining aniqligi quyidagi tenglama bo'yicha tekshiriladi

$$T_{o,r} = 2 \cdot p_i \cdot F_p / (\tau \pi), \quad (2.27)$$

bu yerda $T_{o,r}$ – bir siklda tangensial kuchning o'rtacha qiymati, MN ;

p_i – o'rtacha indikator bosim, MPa ;

F_p – porshen tubi yuzasi, m^2 ;

τ – dvigatel taktililigi.

T qiymati bo'yicha bir silindrda vujudga keladigan burovchi moment aniqlanadi ($MN \cdot m$)

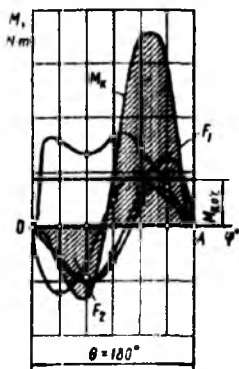
$$M_{bur ts} = T \cdot R. \quad (2.28)$$

T kuchi o'zgarishining φ burchagiga bog'liq holda chizilgan

grafigi $M_{\text{Af}} = M_p \cdot R$ ($\text{MN} \cdot \text{m} / \text{mm}$) masshtabida $M_{\text{bur ts}}$ o'zgarishi grafigini ham ifodalaydi

Ko'p silindrlı dvigatelning yig'indi burovchi momenti M_{bur} grafigini chizish uchun har bir silindrning burovchi momentlari grafik ravishda summalanadi, bunda bir egri chiziq boshqasiga nisbatan o't olishlar orasida krivoship buraladigan burchakka siljiriladi. Dvigatel hamma silindrlarining tirsakli val burilish burchagi bo'yicha burilish momentlarining qiymatlari va o'zgarish xarakteri bir xil bo'lganligi va faqat alohida silindrlarda o't olishlar orasidagi burchak intervallariga teng bo'lgan burchak intervallari bilan farq qilinganlari uchun, bitta silindr burovchi momentining grafigiga ega bo'lish yetarli bo'ladi.

M_{bur} egri chizig'ini grafik ko'rinishda (2.10-rasm) bir silindr burovchi momenti $M_{\text{bur ts}}$ ning egri chizig'ini to'rt taktli dvigatellar uchun $720^\circ/i$ ga teng bo'lgan uchastkalarga bo'lishadi. so'ngra egri chiziqning hamma uchastkalari birga chiziladi. Yakuniy egri chiziq dvigatel yig'indi burovchi momentining tirsakli val burilish burchagi o'zgarishini ko'rsatadi



2.10-rasm To'rt silindrlı to'rt taktli dvigatel yig'indi burovchi momentining egri chizig'ini qurish

Yig'indi burovchi moment $M_{\text{bur o'r}}$ ning o'rtacha qiymati M_{bur} egri chiziq va OA chizig'i orasidagi yuza bo'yicha aniqlanadi ($\text{MN} \cdot \text{m}$)

$$M_{\text{bur o'r}} = (F_1 - F_2) \cdot M_m / OA, \quad (2.29)$$

bu yerda F_1 va F_2 mos ravishda musbat va manfiy yuzalar, ular M_{bur} egri chizig'i va OA chizig'i orasidagi yuzalar bo'lib, yig'indi burovchi moment bajarayotgan ishga ekvivalent bo'ladi ($i \geq 6$ bo'lganda odatda

manfiy yuza bo'lmaydi), mm^2 ;

M_m – momentlar masshtabi, $\text{MN} \cdot \text{m} / \text{mm}$;

$O.A$ – diagrammada o't olishlar orasidagi interval uzunligi (2.10-rasm), mm .

$M_{\text{bur.o'r}}$ momenti dvigatening o'rtacha indikator momentini ifodalaydi.

Dvigatel validan olinadigan haqiqiy effektiv burovchi moment

$$M_e = M_{\text{bur.o'r}} \eta_m, \quad (2.30)$$

bu yerda η_m – dvigatelning mexanik f.i.k.

2.3.6. Tirsakli val shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlar

Dvigatellar tirsakli vallarning shatun bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar analitik usulda yoki grafik qurish bilan aniqlanadi.

Bir qatorli dvigatellar. Bir qatorli dvigatel tirsakli valining shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi (analitik) natijaviy kuch (2.11, a-rasm)

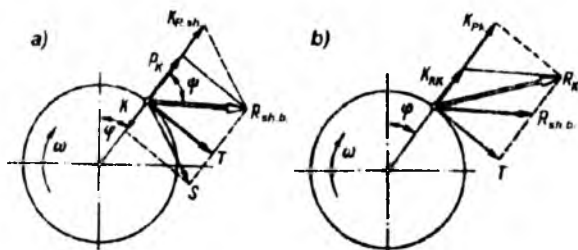
$$R_{sh.b} = \sqrt{T^2 + P_k^2} \quad (2.31)$$

bu yerda $P_k = K + K_{R_{sh}}$ – krivoship bo'ylab shatunga ta'sir qilayotgan kuch, N.

Tirsakli valning har xil xolatlari uchun natijaviy $R_{sh.b}$ kuchning yo'nalishi $R_{sh.b}$ vektori va krivoship o'qi orasidagi burchak ψ bilan aniqlanadi.

Burchak ψ qiymati quyidagi misbatdan topiladi:

$$\text{tg } \psi = T / R_k \quad (2.32)$$

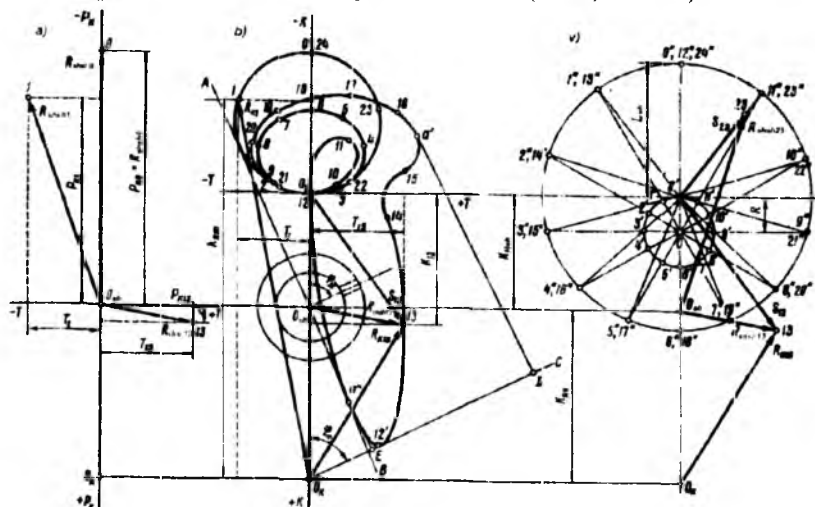


2.11-rasm. Ta'sir etuvchi kuchlar:

a – valning shatun bo'yiniga; b – val tirsagiga

Tirsakli valning shatun bo'yiniga ta'sir etuvchi natijaviy $R_{sh.b}$ kuchni krivoship bo'ylab ta'sir etayotgan R_k va tangensial T kuchlarni geometrik qo'shib yoki shatun bo'ylab ruxsat etayotgan yig'indi kuch S va shatun aylanayotgan massalarining markazdan qochma kuchi

K_{Rsh} larni geometrik qo'shib topish mumkin (2.11, a-rasm).



2.12-rasm. Tirsakli val shatun bo'yiniga ta'sir etayotgan kuchlarning qutb diagrammasini qurish

Krivoship burilish burchagi bo'yicha $R_{sh.b}$ kuchni grafik qurish qutbi O_{sh} nuqtada bo'lgan qutb diagrammasi ko'rinishida amalga oshiriladi (2.12, b-rasm).

$R_{sh.b}$ kuchi T va R_k kuchlarning summasi deb qaralganda qutb diagrammasini qurish quyidagicha amalga oshiriladi (2.12, a-rasm).

Diagramma qutbi O_{sh} nuqtadan abtsissa o'qi bo'ylab o'ng tarafga musbat T kuchlari, ordinata o'qi bo'ylab yuqori tarafga esa – manfiy R_k kuchlari qo'yiladi. Tirsakli valning aylanish burchagiga mos bo'lgan $R_{sh.b}$ natijaviy kuch T va R_k kuchlarning geometrik yig'indisi sifatida grafik aniqlanadi. 2.12, a-rasmda $\varphi_0=0^\circ$, $\varphi_1=30^\circ$ va $\varphi_{13}=390^\circ$ burchaklar uchun $R_{sh.b}$ kuchi qurilishi keltirilgan. Tirsakli valning boshqa holatlari uchun kuchlar shunga o'xshash quriladi.

Qutb diagrammasini olish uchun natijalovchi kuch $R_{sh.b}$ ning oxirgi nuqtalari burchak ortib borishi tartibida silliq egri chiziq bilan ketma-ket birlashtiriladi. 2.12, b, v-rasmlarda shatun bo'yiniga ta'sir qilayotgan kuchlarning qutb diagrammasi S va K_{Rsh} kuchlarni geometrik qo'shib olingan. 2.12, b-rasmda S kuchlari T va K kuchlar geometrik qo'shib, ya'ni $S = \sqrt{T^2 + K^2}$ usulida geometrik qo'shib aniqlangan va tirsakli val krivoshipi burilish burchagi $\varphi_{13} = 390^\circ$

holatiga mos S_{13} kuchi qurilishi ko'rsatilgan. 2.12,v-rasmda esa dastlab analitik hisoblangan S kuchlari K_{Rsh} kuchi bilan bevosita summalashtirilgan.

Shatun o'qi bo'ylab ta'sir qilayotgan yig'indi S kuchini krivoship bo'ylab ta'sir qilayotgan markazdan qochma K_{Rsh} kuchi bilan geometrik qo'shib shatun bo'yiniga tushayotgan yukning qutb diagrammasinin qurish quyidagi tarzda amalga oshiriladi (2.12,v-rasm). Shartli qo'zg'almas o'zak bo'yini markazini tasvirlovchi O nuqtadan qabul qilingan masshtabda krivoship radiusiga teng bo'lgan radiusda aylana chiziladi. YuChHdagi shatun bo'yini markazi O' nuqtadan o'sha masshtabda shatun uzunligiga teng bo'lgan radiusda ikkinchi aylana teng (odatda 13 yoki 24) bo'laklarga bo'linadi. Markaz O nuqtadan ushbu nuqtalardan o'tuvchi nur markazi O nuqtada bo'lgan aylana bilan kesishguncha o'tkaziladi. Ushbu nurlar dvigatelni shartli aylanayotgan silindri o'qining nisbiy holatini ifodalaydi. Shartli ravishda, silindr tirsakli val burchak tezligiga teng, lekin qarama-qarshi yo'nalishda aylanmoqda deb qabul qilinadi. Nuqta o'tkazilgan nurlarning oxirgi nuqtalari bilan birlashtirilib $O'1''$, $O'2''$ va h.k. kesmalar olinadi. Bu kesmalar tirsakli val burilishining ma'lum burchaklarida shatun o'qining nisbiy holatini ifodalaydi O' nuqtadan shatun o'qlari yo'nalishlarida ma'lum M_r masshtabda ishorasi inobatga olingan holda S kuchlarining vektorlari qo'yiladi (2.12,v-rasmda S_{13} kuchlari $\varphi_{13}=390^\circ$ da va S_{23} kuchlari $\varphi_{23}=690^\circ$ da ko'rsatilgan) va ularning oxirlari silliq egri chiziq bilan tutashtirilgan. Hosil bo'lgan egri chiziq qutbi O' nuqtada bo'lgan S kuchlarining qutb diagrammasi deyiladi.

Yakuniy $R_{sh\ b}$ kuchini topish uchun O' qutbni vertikal bo'yicha K_{Rsh} kuchi kattaligiga (K_{Rsh} qiymati va yo'nalishi bo'yicha o'zgarmas kuch) M_r masshtabdasiljitish kerak. Hosil bo'lgan O_{sh} nuqtasi shatun bo'yicha ta'sir qilayotgan yig'indi kuch $R_{sh\ b}$ qutb diagrammasining qutbi deyiladi.

Krivoship qandaydir (masalan, 23) holati uchun S va K_{Rsh} kuchlari vektorlarini geometrik qo'shish uchun O_{sh} qutbdan $\overline{O_{sh}23}$ vektorini o'tkazish kifoya. $\overline{O_{sh}O'} = \overline{K_{Rsh}}$ va $\overline{O'23} = \overline{S_{23}}$ vektorlarning geometrik summasi bo'lgan bu vektor qiymati va yo'nalishi bo'yicha izlanayotgan $R_{sh\ b\ 23}$ kuchga mos bo'ladi.

Demak, koordinata boshi bo'lgan (O_{sh} qutb) nuqtani S kuchlari

qutb diagrammasi konturidagi nuqtalar bo'yicha tirsakli valning mos burilish burchaklarida shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlarni ifodalaydi.

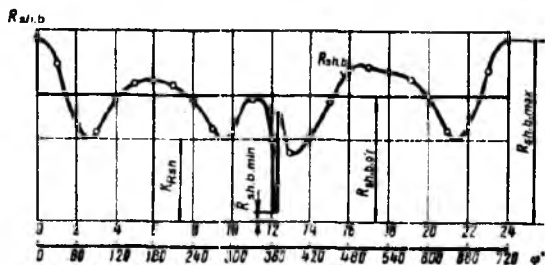
Val tirsagiga ta'sir qilayotgan va shatun bo'yinini egayotgan yig'indi $\overline{R_K} = \overline{R_{sh.b.}} + \overline{K_{RK}}$ kuchni olish uchun (2.11, b-rasnga qara) krivoship massasi markazdan qochma inersiya kuchi $K_{RK} = -m_k \cdot R \cdot \omega^2$ kattaligiga O_k nuqtaga siljitish kerak. 2.12,b,v-rasmda $\varphi_{13}=390^\circ$ burchaklari uchun yig'indi kuchlarni qurish ko'rsatilgan.

Analitik usulda kuch (2.12.b-rasm)

$$R_k = \sqrt{T^2 + K_{RR}^2} \quad (2.33)$$

bu yerda $K_{p_k} = P_k + K_{RK} = K + K_{Rsh} + K_{Rc} = K + K_R$ - krivoship bo'ylab val tirsagiga ta'sir qiluvchi kuch (2.12.b-rasmda $\varphi=30^\circ$ bo'lganda bu kuch qurilishi ko'rsatilgan).

Bir siklda yig'indi kuch $R_{sh.b.o'r}$ hamda uning maksimal $R_{sh.b.max}$ va minimal $R_{sh.b.min}$ qiymatlarini aniqlash uchun qutb diagrammasi tirsakli val burilish burchagi funksiyasida to'g'ri burchakli koordinatasida qayta qurishadi (2.13-rasm). Buning uchun abstsissa o'qi bo'ylab tirsakli krivoshipning burilish burchagi, ordinata o'qi bo'ylab esa yig'indi kuch $R_{sh.b}$ ning qutb diagrammasidan olingan qiymatlari qo'yiladi. Diagrammani qurishda $R_{sh.b}$ ning hamma qiymatlari musbat hisoblanadi. Yakuniy kuch $R_{sh.b.o'r}$ ning o'rtacha qiymati $R_{sh.b} = f(\varphi)$ egri chiziq ostidagi yuzani planimetrlash yo'li bilan topiladi.



2.13-rasm. Shatun bo'yiniga tushadigan yukning to'g'ri burchakli koordinatalaridagi diagrammasi

V-simon dvigatellar. V-simon dvigatelning shatun bo'yiniga ta'sir qilayotgan yakuniy kuchini aniqlashda shatunlarning tirsakli val bilan birlashishi qanday konstruktiv amalga oshirilganligini hisobga

olish kerak.

Shatunlari birikkan (shatun bo'yini bilan faqat bitta shatun ulangan) *V-simon* dvigatellar uchun shatun bo'yiniga ta'sir qiladigan yakuniy $R_{sh.b \Sigma}$ va $R_{k\Sigma}$ kuchlarni geometrik qo'shib aniqlanadi (2.14-rasm).

$$R_{sh.b \Sigma} = \sqrt{T_{\Sigma}^2 + P_{k\Sigma}^2}. \quad (2.34)$$

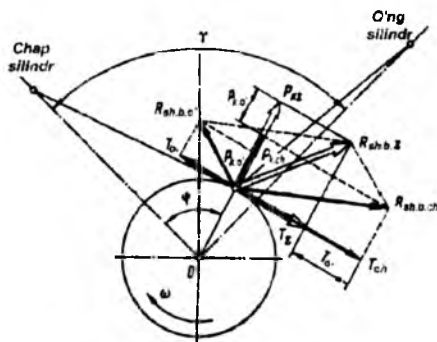
T_{Σ} va $R_{k\Sigma}$ kuchlar dvigatel ishlash tartibini hisobga olgan holda jadval usulida aniqlanadi

$$T_{\Sigma} = T_{ch} + T_{o'}. \quad (2.35)$$

$$R_{k\Sigma} = R_{kch} + R_{k o'} = K_{ch} + K_{Rsh.i} = K_{o'} + K_{Rsh.i} = K_{\Sigma} + K_{Rsh \Sigma} \quad (2.36)$$

V-simon dvigatellarda tirsakli valning burilish burchagi birinchi krivoshipning chap silindrdagi YuChHgga mos keladigan holatidan boshlab hisoblanadi.

Agar o'ng yoki chap silindrlardagi ishchi yo'llar orasidagi intervallar har xil krivoshiplarda bir xil bo'lsa, birinchi krivoship uchun aniqlangan yig'indi kuchlardan boshqa krivoshiplar uchun ham foydalanish mumkin.



2.14-rasm. *V-simon* dvigatel tirsakli valining shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlar

Bir hil shatunlari bitta bo'yinda yonma-yon joylashgan *V-simon* dvigatellar uchun shatun bo'yinining mos uchastkalariga ta'sir qiluvchi $R_{sh.b i}$ va $R_{sh.b o'}$ yakuniy kuchlar bir qatorli dvigatellarda topilgani kabi alohida-alohida aniqlanadi. Lekin val tirsagiga ta'sir qilayotgan yakuniy $R_{k\Sigma}$ kuchni taxminiy aniqlash uchun ikkilangan

krivoshipli mexanizmning shatun bo'yoyniga ta'sir qilayotgan shartli $R_{sh.b\sum}$ kuchni hisoblashadi. $R_{sh.b\sum}$ kuchni shatunlar bir-biriga nisbatan siljiganini hisobga olmasdan, shatunlari birikkan dvigatel uchun o'sha kuchni aniqlagani kabi aniqlanadi.

Bu holda

$$\overline{R_{K\Sigma}} = \overline{R_{sh.b.\Sigma}} + \overline{K_{R\Sigma}}. \quad (2.34)$$

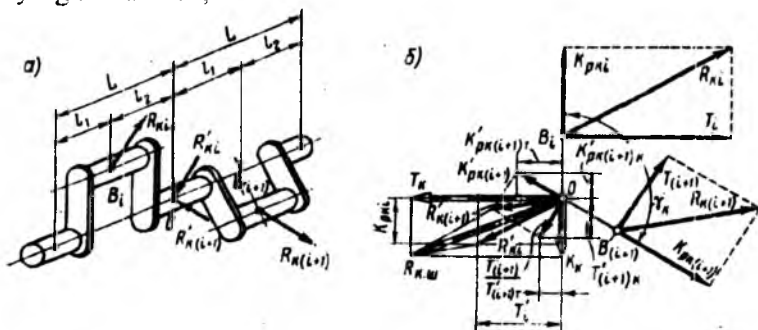
Shatun chekkasi va val tirsagiga ta'sir qilayotgan yuklarning qutb diagrammasi, qatorli dvigatellar uchun qanday qurilsa. *T'-simon* dvigatellar uchun ham shunday quriladi.

2.3.7. Tirsakli val o'zak bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar

Tirsakli valning o'zak bo'yiniga ta'sir qiluvchi yakuniy kuch $R_{k.sh}$ ikkita qo'shni tirsaklardan uzatilayotgan, bir-biriga teng, lekin qarama-qarshi yo'nalishlarda ta'sir qilayotgan kuchlarni geometrik qo'shish bilan aniqlanadi (2.15-rasm).

$$\overline{R_{k.sh}} = \overline{R'_{ki}} + \overline{R'_{k(i+1)}}, \quad (2.35)$$

bu yerda $R'_{ki} = -R_{ki} \cdot l_2/L$ va $R'_{k(i+1)} = -R_{k(i+1)} \cdot l_1/L$ – mos ravishda i va $(i+1)$ tirsaklardan ular orasida joylashgan tirsakka uzatilayotgan kuchlar;



2.15-rasm. O'zak bo'yini:

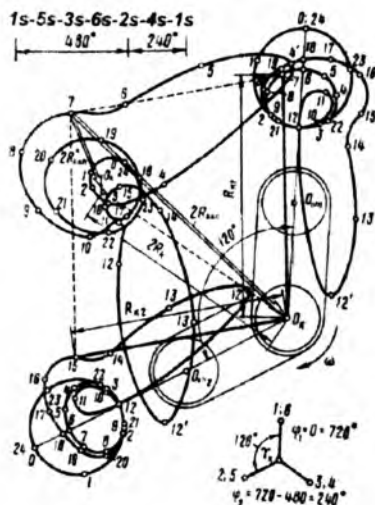
a – tirsakli val sxemasi, b – o'zak bo'yining ta'sir qilayotgan kuch

l_1 va l_2 – val o'qi bo'yicha o'zak va shatun bo'yinlari o'rtalari orasidagi masofa;

L – qo'shni o'zak bo'yinlar orasidagi masofa.

Tirsaklar simmetrik bo'lganda $R'_{ki} = -0,5 \cdot R_{ki}$ va $R'_{k(i+1)} = -0,5 \cdot R_{k(i+1)}$, u holda

$$\bar{R}_{k.b} = -0,5(\bar{R}_{ki} + \bar{R}'_{k(i+1)}). \quad (2.36)$$



2.16-rasm. Qatorli olti silindrlı to'rt taktli dvigatel ikkinchi o'zak bo'yiniga tushayotgan yukning qutb diagrammasi

$R_{k.b}$ kuchning qutb diagrammasini qutblari O_k bir nuqtada tutashtirilgan qo'shni shatun bo'yinlariga tushayotgan yuklarning ikkita qutb diagrammalari yordamida qurishadi (2.16-rasm). Val burilishining mos burchaklari uchun o'zak bo'yiniga ta'sir qilayotgan yuk qutb diagrammasining nuqtalarini silindrlar ish tartibiga muvofiq ravishda tirsakli valga bir paytda ta'sir qilayotgan ikkala diagramma R_k vektorlarini geometrik qo'shib topishadi. Olingan yakuniy vektorlarning har biri ikkilangan $R_{k.sh}$ kuchni teskari ishorada ifodalaydi. Yakuniy vektorlarning oxirgi nuqtalarini, tirsakli val burilish burchagi ortib borishi tartibida silliq egri chiziq bilan birlashtirib qutb diagrammasini olishadi.

Ushbu diagramma yordamida i -nchi silindr krivoshipning ushbu burilish burchagida o'zak bo'yiniga qo'yilgan yakuniy $R_{k.sh}$ kuchni ushbu diagramma yordamida aniqlash uchun shatun bo'yiniga tushayotgan yuk qutb diagrammalari masshtabiga nisbatan diagramma masshtabini ikki marta kichiklashtiriladi va vektor egri chiziqdan O_k qutbga yo'naladi.

2.16-rasmda ishlash tartibi 1-5-3-6-2-4 bo'lgan bir qatorli olti silindrlı to'rt taktli dvigatelning ikkinchi o'zak bo'yiniga tushayotgan

yuk qutb diagrammasini qurish ko'rsatilgan.

O'zak bo'yiga ta'sir qilayotgan yakuniy kuchni analitik yo'l bilan ham hisoblash mumkin

$$R_{k.sh} = \sqrt{T_k^2 + K_k^2}, \quad (2.37)$$

bu yerda T_k va K_k – mos ravishda i – krivoshipning T va K o'qlariga R'_{ki} va $R'_{rk(i+1)}$ kuchlar proeksiyalarining summasi.

T_k va K_k kuchlar quyidagicha aniqlanadi (2.15.b-rasmga qarang).
 $R'_{ki} = -0,5 R_{ki}$ kuchning i -krivoshipning T va K o'qlariga proeksiyasi:

$$T'_i = -0,5 \cdot T_i; K'_{rki} = -0,5 \cdot K'_{rki}$$

Shunga o'xshash $(i+1)$ – krivoshipning T va K o'qlariga $R'_{k(i+1)}$ kuchning proeksiyasi

$$T'_{i+1} = -0,5 \cdot T_{i+1}; K'_{rk(i+1)} = -0,5 \cdot K'_{rk(i+1)}$$

Keyin T'_{i+1} va $K'_{rk(i+1)}$ kuchlarning i – krivoshipning T va K o'qlariga proeksiyalari aniqlanadi:

$$T'_{(i+1)T} = T'_{i+1} \cdot \cos \gamma_k = -0,5 \cdot T_{i+1} \cdot \cos \gamma_k;$$

$$T'_{(i+1)K} = T'_{i+1} \cdot \sin \gamma_k = -0,5 \cdot T_{i+1} \cdot \sin \gamma_k;$$

$$K'_{rk(i+1)T} = K'_{rk(i+1)} \cdot \sin \gamma_k = 0,5 \cdot K_{rk(i+1)} \cdot \sin \gamma_k;$$

$$K'_{rk(i+1)K} = -K'_{rk(i+1)} \cdot \cos \gamma_k = -0,5 \cdot K_{rk(i+1)} \cdot \cos \gamma_k.$$

bu yerda γ_k – i va $i+1$ – silindrlar krivoshiplari orasidagi burchak

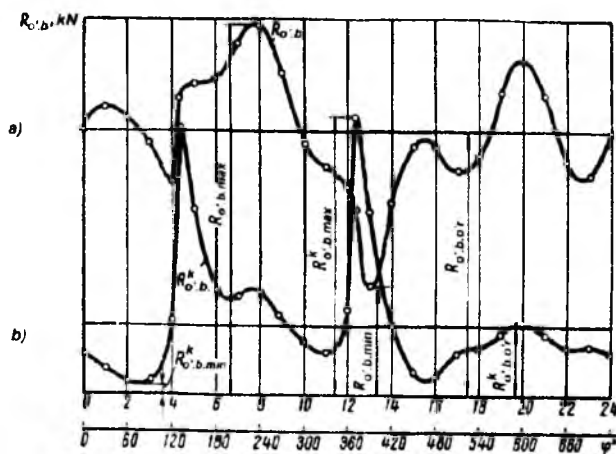
$$\left. \begin{aligned} T_k &= T'_i + T'_{(i+1)T} + K'_{rk(i+1)T} = -0,5 \cdot (T_i + T_{i+1} \cdot \cos \gamma_k - K_{rk(i+1)} \cdot \sin \gamma_k); \\ K_k &= K'_{rki} + T'_{(i+1)K} + K'_{rk(i+1)K} = -0,5 \cdot (K_{rki} + T_{i+1} \cdot \sin \gamma_k + K_{rk(i+1)} \cdot \cos \gamma_k). \end{aligned} \right\} \quad (2.35)$$

Tirsakli valning har xil burilish burchaklarida T_k va K_k larni aniqlashda jadval shaklidan (2.9-jadval) foydalanish qulay.

2.9-jadval sikl boshlanishidan birinchi silindr krivoshipining burilish burchagi bo'yicha tuziladi. Burilish burchaklari ϕ_i va ϕ_{i-1} va ularga mos kuchlar silindrlar ishlash tartibi burchak siljishini hisobga olingan holda aniqlanadi.

Tirsakli valning har xil burilish burchaklari uchun olingan T_k va K_k qiymatlari bo'yicha i -silindrnin T va K koordinatalarida o'zak bo'yniga ta'sir qiluvchi yakuniy $R_{k.sh}$ kuchning qutb diagrammasi quriladi. Diagramma shatun bo'yniga tushayotgan yukning qutb diagrammasiga o'xshash quriladi.

φ^0	i – krivoship			$(i+1)$ – krivoship						O'zak bo'yni			
	φ_i	$-0,5 T_i$	$-0,5 K_{\text{pri}}$	φ_{i+1}	$-0,5 T_{i+1}$	$-0,5 T_{i+1} \cos \gamma_K$	$-0,5 T_{i+1} \sin \gamma_K$	$-0,5 K_{\text{pri}(i+1)} \sin \gamma_K$	$-0,5 K_{\text{pri}(i+1)} \cos \gamma_K$	φ_i	K_K	T_K	$R_{K \text{ sh}}$
0													
30													
...													
360													
...													
720													



2.17-rasm. O'zak bo'yinga tushayotgan yuk diagrammasi:
 a – posangilar hisobga olinmaganda. b – posangili val

V-simon dvigatellar o'zak bo'yinlariga ta'sir qilayotgan yakuniy $R_{k \text{ sh}}$ kuchlarni aniqlash va ular uchun qutb diagrammalarini qurish qatorli dvigatellardagi kabi bajariladi, lekin bunda valning har bir

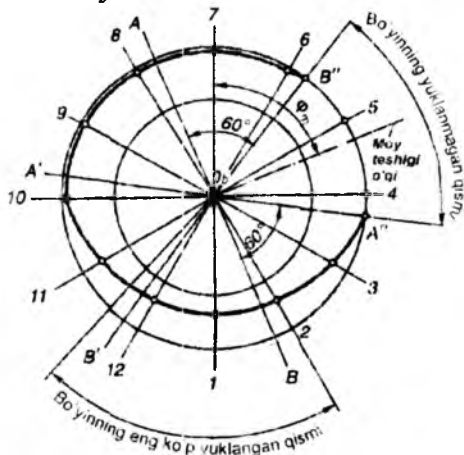
tirsagiga ikkita silindrdan ta'sir qilayotgan yig'indi kuch hisobga olinadi. To'g'ri burchakli koordinatalar $R_{ksh} - \varphi$ da (2.17, a-rasm) R_{ksh} kuchlarining qutb diagrammasini qurish va u yerda $R_{ksh o'r}$, $R_{ksh max}$ va $R_{ksh min}$ larni aniqlash $R_{sh b}$ kuchlari diagrammasini qayta qurishdagi kabi bajariladi.

2.3.8. Tirsakli val bo'yinlari yeyilishi diagrammasi

Tirsakli val bo'yinlariga tushadigan yukning qutb diagrammasi asosida bo'yinlar yeyilishining diagrammasini qurish mumkin. Bu diagrammalar shatun va o'zak bo'yinlarining eng ko'p va eng kam yuklangan uchastkalarini aniqlash imkonini beradi, bu moy teshigi joylashtiriladigan joyni to'g'ri aniqlash imkonini beradi. Bundan tashqari ular yeyilish bo'yniga ta'sir qiluvchi kuchlarga proporsional bo'ladi deb qabul qilsak, bo'yinning butun aylanasi bo'yicha yeyilishining xarakteri haqida ko'rgazmali tasavvur beradi.

Shatun bo'ynining yeyilish diagrammasini (2.18-rasm). 2.12,b-rasmda keltirilgan qutb diagrammasi bo'yicha quyidagi tarzda quriladi. Shatun bo'ynini ixtiyoriy masshtabda ifodalovchi aylana o'tkaziladi va uni O_{sh1} , O_{sh2} va h.k. nurlar bilan teng bo'laklarga (odatda 12 ta yoki 18 ta) bo'lishadi

Keyingi qurilishlarni $R_{sh b i}$ kuchi har bir vektorining ta'siri kuch qo'yilgan nuqtadan shatun aylanasiining ikkala tarafiga 60° ga yoyiladi deb tasavvur qilishda bajariladi.



2.18-rasm. Shatun bo'yinining yeyilish diagrammasi

Shunday qilib, har bir nur bo'ylab (masalan, O_{sh22} nur bo'ylab) ta'sir qilayotgan kuch (eyilish) qiymatini aniqlash uchun quyidagilarni bajarish lozim.

- a) nurni yeyilish diagrammasidan o'ziga parallel qilib qutb diagrammasiga ko'chiriladi;
- b) qutb diagrammada shatun bo'yniga (O_{sh11} nurdan ikkala tarafga 60° dan) sektor aniqlanadi, unga ta'sir qiluvchi kuchlar $R_{sh.b.i}, O_{sh11}$ nuri yo'nalishida yuk (eyilish) hosil qilishadi;
- c) O_{sh11} nuri sektorida ta'sir qiluvchi har bir $R_{sh.b.i}$ kuchining qiymati aniqlanadi (O_{sh11} nuri sektorida uchta: $R_{sh.b.13}$, $R_{sh.b.14}$ va $R_{sh.b.15}$ kuchlar ta'sir qiladi) va O_{sh11} nuri uchun yakuniy $R_{sh.b.\Sigma}$ kuchning qiymati aniqlanadi ($R_{sh.b.\Sigma} = R_{sh.b.13} + R_{sh.b.14} + R_{sh.b.15}$);
- d) $R_{sh.b.\Sigma}$ yakuniy qiymat tanlangan masshtabda yeyilish diagrammasida O_{sh11} nur bo'ylab aylanadan markazga qarab qo'yiladi;
- e) har bir nur sektorida ta'sir qiluvchi kuchlarning yakuniy qiymatlari shu tarzda aniqlanadi (masalan, O_{sh1} nuri sektorida $R_{sh.b.13}$ kuchidan boshqa hamma $R_{sh.b.i}$ kuchlar ta'sir qiladi, O_{sh4} va O_{sh5} nurlari sektorlarida esa birorta ta'sir qilayotgan kuch yo'q);
- f) har bir nurda tanlangan masshtabda $R_{sh.b.\Sigma,i}$ kuchlarning yakuniy qiymatlariga mos kesmalar qo'yiladi, kesmalarning oxiri esa bo'yin yeyilishini tavsiflovchi silliq egri chiziq bilan tutashtiriladi;
- g) qutb diagrammasiga bo'lgan cheklovchi urinmalar $O_{sh.1}$ va O_{sh1} eyilish diagrammasiga ko'chiriladi va ulardan 60° ostida nurlar $O_{sh4'}$ va $O_{sh1'}$ o'tkazilib, shatun bo'yini yeyilishining egri chizig'ida cheklovchi nuqtalar ($4''$ va V'') aniqlanadi, moy teshigining o'qi odatda shu nuqtalar orasida joylashadi.

Yakuniy kuch $R_{sh.b.\Sigma,i}$ qiymatlarini hisoblarni soddalashtirish uchun jadval tuziladi va unga har bir nur bo'yicha ta'sir qilayotgan $R_{sh.b.i}$ kuchlarning va ular yig'indisining qiymatlari kiritiladi.

O'zak bo'yini yeyilishining diagrammasi shunga o'xshash quriladi.

Nazorat va muhokama savollari

1. Krivoship-shatunli mexanizmning kinematik hisobi qay tartibda bajariladi?
2. Porshen siljishiga qanday ko'rsatkichlar ta'sir qiladi?
3. Porshen tezligi bilan porshen siljishi o'rtasida qanday bog'liqlik mavjud?
4. Porshen tezlanishi qanday aniqlanadi?
5. Porshen tezlanishining maksimal qiymati avtomobil va traktor dvigatellari uchun qanday oraliqda bo'ladi?
6. Krivoship-shatunli mexanizmning dinamik hisobi qanday ketma-ketlikda amalga oshiriladi?
7. Krivoship-shatunli mexanizmida ta'sir qiluvchi kuchlar tahlili nima uchun zarur?
8. Porshen tubi yuzasiga ta'sir qiluvchi gazlar bosimi kuchi qanday aniqlanadi?
9. Krivoship-shatunli mexanizm qismlarining massalari qanday keltiriladi?
10. Ilgarilama-qaytma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchlari qaysi formula yordamida hisoblanadi?
11. Krivoship-shatunli mexanizmida ta'sir qiluvchi yig'indi kuchlar qaysi kuchlarning algebraik qo'shishi yo'li bilan topishadi?
12. Dvigatellar tirsakli vallarning shatun bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar qanday usulda aniqlanadi?

GLOSSARIY

Asosiy chiqarish – porshenning q.ch.h da boshlanadi va yu.ch.h da tugaydi, ya'ni 180° davom etadi.

Asosiy kiritish – porshenning yu.ch.h da boshlanadi va q.ch.h da tugaydi, ya'ni 180° davom etadi. U porshen tezligi ortayotganda (0° dan taxminan 80° gacha) va kiritish va porshen tezligi sekinlashayotganida ($\sim 80^\circ$ dan 180° gacha) kiritishlardan tarkib topadi.

Aylanish chastotasi – jismning aylanishar sonining aylanishga ketgan vaqtga nisbatiga teng kattalik. Odatda, n bilan belgilanadi. Birliqi – SI tizimida ayl/min va ayl/sek.

Bosim ortishi darajasi – yonishda bosimning ortish darajasi i_p deganda yonish maksimal bosimi p_z ning siqish oxiridagi bosim p_s ga nisbati tushuniladi.

Burchak chastotasi – aylanma chastota, sikl chastota – davriy tebranish jarayonining xarakteristikasi. B.ch.tebranishlar chastotasining 2 ga ko'paytmasiga teng: $\omega = 2\pi\nu = 2\pi/T$, bunda ν va T – tebranishlar chastotasi va davri. B.ch.ning birligi – rad/c (SI) da.

Burchak tezlanish – qattiq jism burchak tezligini o'zgarishini xarakterlovchi vector kattalik. Jism o'q atrofida aylanayotganda Δt vaqt oralig'ida uning burchak tezligi orttirmasi $\Delta\omega$ tekis o'sib borsa (yoki kamayib borsa) B.t.ning absolyut qiymati $a = \lim(\Delta\omega/\Delta t) = d\omega/dt$ bo'ladi. B.t birligi – rad/s² (SI)da.

Burchak tezlik – qattiq jism aylanish tezligini xarakterlaydigan vector kattalik ω . Jism qo'zg'almas o'q atrofida bir tekis aylanganda uning absolyut qiymati $\omega = \lim(\Delta\varphi/\Delta t)$ bo'ladi, bunda $\Delta\varphi/\Delta t \rightarrow 0$ – aylanish burchagi φ ning Δt vaqt oralig'idagi orttirmasi. Birliqi – rad/s (SI)da.

Dastlabki kiritish kiritish klapani ochila boshlaganda, yu.ch.h.ga $10 \div 35^\circ$ yetmasdan oldin boshlanadi va yu.ch.h. da tugaydi. Dastlabki kiritishda nadduvsiz dvigatellarda silindrga yangi zaryad kirmaydi. Bu bosqichning vazifasi – silindrga gazlar kiraboshlanishiga kiritish klapanining mumkin qadar ko'proq ochilishini va natijada asosiy kiritishda silindrga mumkin qadar ko'proq yangi zaryad kirishini ta'minlashdir.

Detonatsiya (detonatsiyali yonish) – bu majburan alangalanadigan dvigatellarda ishchi aralashma nonormal yonishining bir turidir. Detonatsiya paydo bo'lishining sababi shundaki, siqish davrida silindrdagi aralashmalar yuqori harorat va bosim ta'sirida yonilg'i termik dissotsiatsiyalanadi va qisman oksidlanadi; buning natijasida birlamchi mahsulot sifatida kimyoviy barqaror bo'lmagan oksidlanishga moyil bo'lgan gidroperoksidlar hosil bo'ladi. Yonilg'i detonatsion yonishining sababi – yonilg'i oksidlanishida barqaror bo'lmagan birlamchi birikmalarning parchalanishidir. Ularning energiya zahirasi katta bo'ladi.

Dinamik analiz – esa dvigatel ishlayotganda uning asosiy detallariga ta'sir qiluvchi kuchlarning qiymatlarini va bu kuchlarning o'zgarish xarakterini aniqlash uchun hisobiy formulalarni olish imkonini beradi.

Dizel – siqilishdan alangalanadigan ichki yonuv dvigateli. D. silindrida alangalanish porshenning siqishi natijasida yuqori t-ragacha qizigan havoga yonilg'i purkashdan hosil bo'ladi. Siqilishdan alangalanadigan birinchi dvigatel, uni 1897 y. birinchi bo'lib ixtiro qilgan nemis injeneri R. Dizel (R. Diesel) nomi bilan atalgan. D. benzindan ancha arzon bo'lgan yonilg'i (k. Dizel yonilg'isi)da ishlaydi. Shuningdek, D. sikli bo'yicha gaz b-n ishlaydigan dvigatellar ham bor (q. Gazodizel). D. ancha tejamli issiqlik dvigatellaridan. Eng yaxshilarining solishtirma yonilg'i sarfi taxm. 190 gG'(kVt. soat), bosh-qa ko'pgina tiplari uchun esa (nominal quvvatda) 270 gG'(kVt. soat)dan oshmaydi. Bunday yonilg'i sarfi fik 31—44% ga to'g'ri keladi (karbyura-torli ichki yonuv dvigatellarniki, odatda, 25—30%). D. valining aylanishlar chastotasi, odatda, 100-3000 ayl/min, ayrim hollardagina 5500 ayl/min gacha yetadi. Dvigatel quvvati (bitta agregatda) ba'zan 30 MVt ni tashkil etadi. D. da quvvat birligiga to'g'ri keladigan solishtirma mas-sa 80 kg/kVt gacha. D.ning xizmat muddati 5–80 ming soat. D. kemalarda asosiy va yordamchi dvigatellar sifatida, statsionar ustanovkalar, teplovozlar, tanklar, avtomobillar va b. da ishlatiladi.

Dizel yonilg'isi – neftdan olinadigan yonilg'i, siqilishdan alangalanadigan ichki yonuv dvigatellari (dizellar)da ishlatiladi.

Dvigatel – biror turdagi energiyani mexanik ishga aylantiruvchi mashina. Dvigatelning tipiga qarab, mexanik ish aylanuvchi rotorda

ilgarilanma-qaytma harakatlanadigan porshenda yoki reaktiv apparatda hosil qilinadi.

Dvigatel litraji – ichki yonuv dvigateli barcha silindrlarining ish hajmi yig'indisi. Bir silindrning ish hajmi porshen yuzining porshen yo'liga ko'paytmasiga teng, dm^3 (litrlar)da ifodalanadi. Dvigatel quvvati va o'lchamlarini ifodalaydi (mas., mikro yoki kichik litrajli dvigatel).

Effektiv f.i.k. – dvigatel validagi foydali ishga ekvivalent bo'lgan issiqlik miqdorining yonilg'i bilan dvigatelga kiritilgan issiqlikning umumiy miqdoriga nisbatidir.

Effektiv quvvat – vaqt birligida dvigatel valida olinadigan foydali ishdir N_e deyiladi. N_e qiymatini (kVt) indikator quvvatdan mexanik f.i.k. orqali aniqlash mumkin.

Gaz taqsimlash – ichki yonuv dvigatelida – porshenli ichki yonuv dvigateli kiritish va chiqarish organlarining davriy ishi; bunda silindr yangi zaryad bilan to'ldiriladi, ishlangan gazlar esa chiqarib yuboriladi.

Gilza – (nem. Hulse) 1) porshenli issiqlik dvigatellarining blok karteriga o'rnatilib almashtiriladigan silindrik quyma; gilza ichida porshen harakatlanadi. Gilza cho'yandan tayyorlanadi va alyuminiy qotishmalaridan tayyorlangan bloklarda ishqalanuvchi yuzalarning yiyilishini kamaytirish hamda bloklarning remontini yengillashtirish maqsadida ishlatiladi. 2) artilleriya qurolining elementi.

Havo ortiqligi koefitsienti – 1 kg yonilg'i yonishida ishtirok etayotgan havo haqiqiy miqdorining l (yoki L) nazariy zarur bo'lgan havo miqdoriga l_0 (yoki L_0) nisbatidir.

Indikator f.i.k. η_i – foydali ishni olish uchun yonilg'i issiqligidan haqiqiy siklda foydalanganlik darajasini tavsiflaydi va u siklning indikator ishiga ekvivalent bo'lgan issiqlikning yonilg'i bilan silindrga kirgan issiqlikning to'liq miqdoriga nisbatiga teng.

Indikator ish – ishchi sikl bajarilishi natijasida yonilg'i yonganida ajralib chiqqan issiqlikning bir qismi foydali mexanik ishga aylanadi dvigatel silindrlarida gazlar (bosimi) bajariladigan ish.

Indikator quvvat – dvigatel silindri ichida erishiladigan, indikator diagrammasi bo'yicha hisoblanadigan quvvat.

Indikator quvvat N_i – vaqt birligida silindr ichida gazlar bajaradigan ishdir.

Ish hajmi – porshenli ichki yonuv dvigatellarida — porshen minimal hajmli nuqtadan maksimal hajmli nuqtaga (siqish kamerasi hajmidan to'la hajmga) siljiganda silindr ichida u bo'shatgan hajm. I.h. porshen yuzasining porshen yo'li uzunligiga ko'paytmasiga teng. I.h. m^3 va l da, motosikl va qayiqning osma dvigatellarida ba'zan sm^3 da ifodalanadi. Dvigatel barcha silindrlarining I.h.lari yig'indisiga dvigatel litraji deyiladi

Ish rejimi – bu dvigatel ma'lum quvvat, tejamkorlik va ekologik ko'rsatkichlariga ega bo'lishini ta'minlovchi ishchi jarayon parametrlari, tashqi muhit omillari va tashqi yuk majmuidir.

Issiqlik balansi – foydali samarali ishga aylanayotgan issiqlik miqdorini aniqlash imkonini. ya'ni issiqlikdan foydalanishda erishilgan takomillik darajasini o'rnatish va mavjud issiqlik yo'qotishlarini kamaytirish yo'llarini belgilash imkonini, beradi.

Karbyurator – (frand. carburateur)— ichki yonuv dvigatelitning yengil suyuq yonilg'i (benzin, kerosin va b.)da ishlaydigan, yonilg'i aralashmasi tashqarida hosil bo'ladigan asbobi. Yonuvchi aralashmadagi yonilg'i b-i havo zarur nisbatni ta'minlaydi. K da yonilg'i changlanib, havo b-n tez arala-shadi va qisman bug'lanadi. Hosil bo'lgan aralashma dvigatel silindriga kiradi (rasmga k.). 2) Karbyuri-zatorning bogaqacha nomi.

Kech kiritish porshen q.ch.h.dan o'tayotganda boshlanadi va kiritish tirqishi berkilgan onda tugaydi. Kech kiritish silindrdagi gazlar hajmi kamayayotganda sodir bo'ladi. Kiritish klapanining kech berkitilishi kiritish tizimidagi gazlarning tezlik bosimi (napor), inersion va to'liqin hodisalaridan foydalanib, dvigatel silindriga yangi zaryadning qo'shimcha massasini kiritish imkonini beradi, bu esa silindr ishchi hajmidan foydalanish darajasini oshiradi. Porshen q.ch.h. dan o'tganidan keyin silindrga qo'shimcha zaryad kiritish dozaryadka deyiladi.

Klapan – (nem. *klappe* – qopqoq, to'siq) – mashinalar va trubiprovtlarda gaz, bug' yoki suyuqlik sarifini boshqaradigan detal yoxud qurilma.

Litrli quvvat – dvigatel litrli quvvati N_{el} (kVt/l) deb nominal quvvatning ishchi hajm (litraj)ga bo'lgan nisbatga aytiladi.

Mexanik f.i.k. – o'rtacha effektiv bosimning o'rtacha indikator bosimga nisbatidir.

Mexanik yo'qotishlar – dvigatel ichidagi har xil qarshiliklarni engishga bo'lgan yo'qotishlarni mexanik yo'qotishlar quvvati yoki mexanik yo'qotishlar quvvatining silindr bir birlik ishchi hajmiga nisbatiga mos ish bilan baholashadi.

Motor moylari – ichki yonuv dvigatellari (porshenli, reaktiv, gaz-turbinali) moylanadigan moylar; surkov moylari razryadiga kiradi. Amalda ular neftni qayta ishlab olingan mahsulotlar hisoblanadi.

Nazariy sikl – berk sikl bo'lib, u tasavvur qilinadigan issiqlik mashinasida bajariladi; bunda ishchi jism o'zgarmas bo'ladi va almashmaydi. Nazariy sikl berk bo'lganligi tufayli haqiqiy sikldagi yonish va ishchi jismni chiqarish jarayonlari issiqlik kiritilishi va olib ketilishi bilan almashtiriladi. Siqish va kengayish jarayonlari adiabatik deb qabul qilinadi, chunki bu issiqlikdan maksimal foydalanishni ta'minlaydi.

Nominal quvvat – dvigatelning nominal quvvati deyilganda ishning ma'lum sharoitlarida (atmosfera sharoitlari, valning aylanishlar chastotasi, ish davomiyligi va sh.k.) ishlab chiqaruvchi zavod kafolatlaydigan effektiv quvvat tushuniladi.

Nominal quvvat (N_n) – zavod-ishlab chiqaruvchi ishning ma'lum sharoitlari uchun kafolatlaydigan effektiv quvvatdir. Avtomobil va traktor dvigatellarida nominal quvvat tirsakli valning nominal aylanishlar chastotasidagi maksimal quvvatga teng. Nominal quvvat berilishi yoki uni tanlash birinchi navbatda dvigatel vazifasi (yengil yoki yirik avtomobili uchun, traktor uchun); uning turi (benzinli yoki gazli dvigatel, dizel); ekspluatatsiya sharoitlari va h.k.lar bilan aniqlanadi.

O'rtacha effektiv bosim – bu dvigatel validagi effektiv ishning silindr ishchi hajmining bir birligiga nisbatidir.

O'rtacha indikator bosim – yoki mos ravishda mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi, o'rtacha effektiv bosim deb shunday shartli (fiktiv, amalda mavjud bo'lmagan), qiymati o'zgarmas bo'lgan silindrdagi o'rtacha bosimga aytiladiki, u porshenga ta'sir qilib, uning YuChHdan QCChHga siljishida siklning (silindrning hajmi 1 litr deb olinganda) indikator ishiga (yoki mos ravishda mexanik qarshiliklarni engishga sarflanadiganishga va sikldagi effektiv ishga) teng ish bajaradi.

O'rtacha indikator bosim. Uchqun bilan o't oldiriladigan dvigatel va dizelning butun ishchi sikli davomida bosimning o'zgarishi hisobiy indikator diagrammalarda ko'rsatilgan. Dumaloqlashtirilmagan diagrammalarning yuzasi (aczba) ma'lum masshtabda dvigatel bir siklda gazlar bajargan nazariy hisobiy ishni ifodalaydi. Bu ishning porshen yo'liga nisbati nazariy o'rtacha indikator bosim p_i bo'ladi.

Oktan soni – yonilg'ining detonatsiyaga chidamliligini o'lchaydigan shartli birlikdir. Oktan soni son bo'yicha sinovning standart sharoitida ushbu yonilg'ining detonatsiyaga chidamliligiga ekvivalent bo'lgan etalon yonilg'i tarkibidagi izooktanning hajm bo'yicha foiz salmog'iga teng bo'ladi.

Ot kuchi – sistemaga kirmagan quvvat birligi; 1980 y. 1 yanvardan foydalanish tavsiya etilmaydi. Belgisi — o.k. I o.k. (metrik) q 735,499 Vt, AQSh va Buyuk Britaniyada. hp b-n belgilanadigan va 745,7 Vt ga teig bo'lgan O.k. qo'llaniladi (q. Vatt).

Porshen yo'li – porshen tezligi bilan bog'liq bo'lgan solishtirma qiymat S/D bilan tavsiflanadi. S/D qiymati bo'yicha qisqa yo'lli ($S/D < 1,0$) va uzun yo'lli ($S/D > 1,0$) dvigatellarni farqlashadi. Qisqa yo'lli dvigatelga o'tilganida dvigatelning balandligi va massasi kamayadi, indikator f.i.k. va silindr to'lishi koeffisienti ortadi, porshen tezligi sekinlashadi va dvigatel detallari eyilishi kamayadi.

Porshenli dvigatellar uchun moylar. Porshenli dvigatellarda moylar og'ir sharoitda ishlaydi, buning sababi – porshen halqalari zonasidagi, porshen ichki qismidagi, klapanlardagi va boshqa detallardagi yuqori haroratdir. Yuqori harorat, bosim va yuk sharoitlarida dvigatel moylanishini ta'minlash uchun qovushqoqligi yuqori bo'lgan, maxsus tozalangan moylar qo'llaniladi.

Porshenli quvvat – dvigatelning **porshenli quvvati** N_{ep} (kVt/dm^2 yoki kVt/sm^2) deb nominal quvvatning dvigatel porshenlarining yig'indi yuzasiga bo'lgan nisbatidir.

Produvka koeffisienti – siklda silindrga kirgan havo miqdori $G_{k\kappa}$ ning siqish boshlanishi onida (kiritish klapanlari berkilgan onda) silindrda qolgan havo miqdori G_{ls} ga nisbatidir.

Qisman tezlik xarakteristikasi – drossel to'sig'i to'liq ochilmaganda (benzinli dvigatel) yoki yonilg'i nasosining reykasi

qisman (noto'liq) quvvatga ega bo'lgan holatda olingan dvigatelning istalgan tezlik xarakteristikasi – qisman tezlik xarakteristikasi deyiladi

Qoldiq gazlar – chiqarish taktidan so'ng silindrda (yonish kamerasi hajmi V_s da) qolgan ishlangan gazlardir. Ularning holati indikator diagrammaning r nuqtasidagi harorat T_r va bosim p_r bilan tavsiflanadi.

Qoldiq gazlar bosimi – dvigatel silindrida, kiritish jarayoni boshlanishidan oldin, doim qoldiq gazlarning qanchadir miqdori bo'ladi, ular chiqarish jarayonidan keyin yonish kamerasi hajmi V_s da qoladi. Qoldiq gazlar bosimi klapanlar soni va joylashishiga, kiritish va chiqarish traktlarining qarshiliklariga, gaz taqsimlash fazalariga, nadduv xarakteriga, dvigatel aylanishlar soni va yukiga, sovitish tizimi va boshqa omillarga bog'liq.

Qoldiq gazlar koefitsienti γ_r – silindrning yonish mahsulotlaridan tozalanganligi sifatini tavsiflaydi. γ_r qiymati ortishi bilan kiritish jarayonida dvigatel silindriga kirayotgan yangi zaryad miqdori kamayadi.

Qoldiq gazlar koefitsiyenti γ_r silindrni yonish mahsulotlaridan tozalashni tavsiflaydi. U silindrda qolgan gazlar miqdori G_r ning silindrga kirgan yangi zaryad miqdori G yangi zaryadga bo'lgan nisbatini ifodalaydi, $\gamma_r = G_r / G$.

Salt yurish – mashina yoki mexanizmning foydali ish bajarmaydigan harakati.

Setan soni – yonilg'i o'z-o'zidan alanganishining shartli o'lcham birligidir. SS son bo'yicha sinovning standart sharoitida sinalayotgan yonilg'ining o'z-o'zidan alanganishishiga ekvivalent bo'lgan etalon aralashma tarkibidagi setanning hajm bo'yicha salmog'iga teng bo'ladi.

Silindr o'lchamlari – silindr diametri va porshen yo'li – dvigatelning asosiy konstruktiv parametrlaridir. Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari silindrlarining diametri D (mm) 60...150 mm oralig'ida joylashgan va ularning qiymati asosan dvigatel turi va vazifasiga bog'liq.

Siqish darajasi – ichki yonuv dvigateli silindri to'la hajmining siqish kamerasi xajmiga nisbati. Dizel dvigatellarda 12-22, karbyuratorli dvigatellarda esa 6-10 bo'ladi.

Tezlik xarakteristikasi – asosiy parametrlar: effektiv quvvat (yoki burovchi moment) va yonilg'i sarfining, ba'zan esa, boshqa parametrlarning ham – tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog'liqligining grafik ifodasi dvigatelning tezlik xarakteristikasi deyiladi.

Tirsakli val – krivoshipli mexanizmning podshipniklarga tayanadigan bir necha o'qdosh o'zak bo'yinlaridan va bir yoki bir necha tirsakdan iborat aylanuvchi zvenosi; har qaysi tirsakda ikkita shcheka va bitta shatun biriktiriladigan shatun bo'yni bo'ladi (rasimga q.). Shatun bo'yinlarining o'qlari T.v.ning aylanish o'qlariga nisbatan siljigan bo'ladi. Ish vaqtida T.v. ni muvozanatlash uchun ularning shchekalarida, odatda, posangi bo'ladi. T.v. porshenli dvigatellar, nasoslar, kompressorlar, temirchilik-presslash mashinalari va b.da ishlatiladi.

Tirsakli valning aylanishlar chastotasi – dvigatel turini va uning dinamik sifatlarini tavsiflaydi.

Val – bo'ylama o'qi bo'yicha burovchi moment uzatuvchi mashina detali; ko'pincha, o'zi b-n birga aylanayotgan boshqa detallarni tutib turadi, ular vositasida burovchi momentni qabul qiladi va uzatadi.

Xarakteristika – IYOD ko'rsatkichlarining, qolgan parametrlar o'zgarmas bo'lganda, bir yoki bir necha parametrlarga bog'liqligining grafik ifodasidir.

Yonish jarayoni – dvigatel ishchi siklining asosiy jarayoni bo'lib, uning davomida yonilg'i yonishi natijasida ajralib chiqadigan issiqlik ishchi jism ichki energiyasining ortishiga va mexanik ishini bajarishga sarflanadi.

Kilomol – modda miqdorining birligi bo'lib, u xalqaro birliklar tizimi (SI)da asosiy birlikdir. Istalgan gazning kilomoli – bu gazning shuncha miqdoriki, uning kilogrammdagi massasi ushbu gazning molekulyar massasiga teng bo'ladi.

Kinematik analiz – krivoship (tirsakli val) harakati qonuni ma'lum bo'lganda krivoship-shatunli mexanizm detallari harakati qonunlarini aniqlash imkonini beradi.

XULOSA

Ichki yonuv dvigatellarining nazariyasi real omillarni hisobga olgan holda termodinamik bog'lanishlardan foydalanishga asoslangan. Shu sababli dvigatel silindrida sodir bo'layotgan jarayonlarni chuqur o'rganish zarur. Porshenli ichki yonuv dvigatellarining dinamikasi harakatni o'zgartiruvchi mexanizmlar zvenolarining va ularning alohida nuqtalarining kinematik hisobini; bu zvenolarda hosil bo'ladigan inersiya kuchlarining hisobini; mexanizmlarning dinamik modellarini ishlab chiqishni; kinematik juftlarda ta'sir etayotgan kuchlarni hisoblashni o'z ichiga oladi. Shu tarzda mustahkamlikka hisoblash uchun zarur bo'lgan shart-sharoitlar aniqlanadi. bu dvigatelning konstruktiv o'ziga xos xususiyatlarini optimallashtirish imkonini beradi.

Dvigatel forsirovka qilinishining darajasi ortishi hamda ular metall hajmining kamayishi munosabati bilan dvigatel issiqlik va dinamik hisobining ahamiyati ortib boradi (alohida zvenolar mustahkamligi va birligini ta'minlash muammosi vujudga keladi).

Ushbu kurs ishi bo'yicha o'quv qo'llanmada gazsimon yonilg'ida va benzinda ishlaydigan dvigatellar hamda nadduvsiz va nadduvli dizellar hisobi ko'rib chiqilgan.

Bu dvigatellar hisobini ularning prototiplari hisobi bilan solishtirish originaldan juda kam farqni ko'rsatadi, bu hisob optimalligini ko'rsatadi va korrektirovka qilishni talab etmaydi.

Bu kurs ishi bo'yicha o'quv qo'llanma 5312500 – “Energiya mashinasozligi (ichki yonuv dvigatellari)”, 5310500 – “Avtomobilsozlik va traktorsozlik”, 5310600 – “Yerusti transport tizimlari va ularning ekspluatatsiyasi”, 5111000 – “Kasb ta'limi (5310600 – Yerusti transport tizimlari va ularning ekspluatatsiyasi)” ta'lim yo'nalishlari bo'yicha bitiruvchilarni sifatli tayyorlashga ko'maklashadi.

ADABIYOTLAR

1. To'layev B.R. Ichki yonuv motorlari nazariyasi va dinamika asoslari. – T.: Fan va texnologiya. 2010, -294 b.
2. А.И. Колчин, В.П. Демидов. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа, 2008.
3. To'layev B.R., Daminov O.O. «IYoD nazariyasi va dinamikasi asoslari» fanidan kurs ishi bo'yicha uslubiy ko'rsatmalar. –T.: ToshDTU, 2015. – 32 b.
4. Гаврилов А.А. Расчет циклов поршневых двигателей: учеб. пособие / А.А. Гаврилов, М.С. Игнатов, В.В. Эфрос; Владим. гос. ун-т. –Владимир. 2003. – 124 с.
5. Гоц А.Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей: учеб. пособие / А.Н. Гоц; Владим. гос. ун-т. –Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 104 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 2. Динамика и конструирование: Учебник для вузов / В.Н.Луканин, И.В. Алексеев, М.Г.Шатров и др.; Под ред. В.Н.Луканина и М.Г.Шатрова – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа. 2007. –400 с: ил.
7. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов / В.Н.Луканин, К.А.Морозов, А.С.Хачиян и др.; Под ред. В.Н.Луканина и М.Г.Шатрова – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2007. – 479 с: ил.
8. Динамический расчет двигателя и расчет удельных нагрузок на шейки коленчатого вала метод. указания к курсовому и дипломному проектированию / сост.: А.Н. Гоц, А.М. Шарапов; Владим. гос. ун-т. – Владимир, 2001. – 20 с.
9. Лиханов В.А., Девятьяров Р.Р. Расчет двигателей внутреннего сгорания – Киров: Вятская ГСХА, 2008 – 69 с.
10. Combustion Science and Engineering (Computational Mechanics and Applied Analysis). Kalyan Annamalailshwar K. Puri. 2006. Brand: CRC Press.
11. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine (2nd Edition). Willard W. Pulkrabek. 2003.
12. Willard W. Pulkrabek. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey, 2003.

MUNDARIJA

KIRISH.....	4
1-BOB. ICHKI YONUV DVIGATELINING ISSIQLIK HISOBI....	5
1.1. UMUMIY HOLATLAR.....	5
1.2. BOSHLANG‘ICH MA‘LUMOTLARNI TANLASH VA ASOSLASH	7
1.3. DVIGATEL HAQIQIY SIKLINING HISOBI	29
<i>1.3.1. Kiritish va gaz almashinish jarayoni</i>	<i>29</i>
<i>1.3.2. Siqish jarayoni</i>	<i>39</i>
<i>1.3.3. Yonish jarayoni</i>	<i>47</i>
<i>1.3.4. Kengayish jarayoni</i>	<i>53</i>
<i>1.3.5. Chiqarish jarayoni va ekspluatatsiyada ishlangan gazlar zaharliligini kamaytiruvchi metodlar</i>	<i>57</i>
1.4. DVIGATELNING INDIKATOR VA EFFEKTIV KO‘RSATKICHLARI	60
<i>1.4.1. Ishchi siklning indikator parametrlari.....</i>	<i>60</i>
<i>1.4.2. Ishchi siklning effektiv parametrlari.....</i>	<i>64</i>
1.5. INDIKATOR DIAGRAMMASINI QURISH.....	70
1.6. ICHKI YONUV DVIGATELINING ISSIQLIK BALANSI.....	75
1.7. DIZELNING ISSIQLIK HISOBI	78
<i>1.7.1. Umumiy holatlar.....</i>	<i>78</i>
<i>1.7.2. Nadduvsiz dizel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>84</i>
<i>1.7.3. Turbonadduvli dizel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>90</i>
1.8. KARBYURATORLI DVIGATELNING ISSIQLIK HISOBI.....	95
<i>1.8.1. Umumiy holatlar.....</i>	<i>95</i>
<i>1.8.2. Karbyuratorli dvigatelning issiqlik hisobi misoli</i>	<i>102</i>
1.9. YONILG‘I TAQSIMLANIB PURKALADIGAN BENZINLI DVIGATELNING ISSIQLIK HISOBI.	108
<i>1.9.1. Umumiy holatlar.....</i>	<i>108</i>
<i>1.9.2. Yonilg‘i taqsimlanib purkaladigan dvigatel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>115</i>
1.10. DIZELNING ISSIQLIK BALANSI HISOBI MISOLI	122
2-BOB. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING KINEMATIK VA DINAMIK HISOBI.....	125
2.1. UMUMIY HOLATLAR.....	125

2.2. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING KINEMATIK HISOBI..	126
2.2.1. Umumiy holatlar.....	126
2.2.2. Porshen yo'li.....	128
2.2.3. Porshen tezligi.....	130
2.2.4. Porshen tezlanishi.....	134
2.3. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING DINAMIK HISOBI	136
2.3.1. Umumiy holatlar.....	136
2.3.2. Gazlar bosimi kuchlari	137
2.3.3. Krivoship-shatunli mexanizm qismlarining massalarini keltirish.	138
2.3.4. Inersiya kuchlari.....	141
2.3.5. Krivoship-shatunli mexanizmda ta'sir qiluvchi yig'indi kuchlar..	142
2.3.6. Tirsakli val shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlar	148
2.3.7. Tirsakli val o'zak bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar	153
2.3.8. Tirsakli val bo'yinlari yeyilishi diagrammasi	156
GLOSSARIY	160
XULOSA.....	168
ADABIYOTLAR.....	169

ОГЛАВЛЕНИЕ

KIRISH	4
1-BOB. ICHKI YONUV DVIGATELINING ISSIQLIK HISOBI	5
1.1. UMUMIY HOLATLAR.....	5
1.2. BOSHLANG'ICH MA'LUMOTLARNI TANLASH VA ASOSLASH	7
1.3. DVIGATEL HAQIQIY SIKLINING HISOBI	29
<i>1.3.1. Kiritish va gaz almashinish jarayoni.....</i>	<i>29</i>
<i>1.3.2. Siqish jarayoni.....</i>	<i>39</i>
<i>1.3.3. Yonish jarayoni.....</i>	<i>47</i>
<i>1.3.4. Kengayish jarayoni.....</i>	<i>53</i>
<i>1.3.5. Chiqarish jarayoni va ekspluatatsiyada ishlangan gazlar zaharliligini kamaytiruvchi metodlar</i>	<i>57</i>
1.4. DVIGATELNING INDIKATOR VA EFFEKTIV KO'RSATKICHLARI	60
<i>1.4.1. Ishchi siklning indikator parametrlari.....</i>	<i>60</i>
<i>1.4.2. Ishchi siklning effektiv parametrlari.....</i>	<i>64</i>
1.5. INDIKATOR DIAGRAMMASINI QURISH.....	70
1.6. ICHKI YONUV DVIGATELINING ISSIQLIK BALANSI.....	75
1.7. DIZELNING ISSIQLIK HISOBI	78
<i>1.7.1. Umumiy holatlar</i>	<i>78</i>
<i>1.7.2. Nadduvsiz dizel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>84</i>
<i>1.7.3. Turbonadduvli dizel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>90</i>
1.8. KARBYURATORLI DVIGATELNING ISSIQLIK HISOBI.....	95
<i>1.8.1. Umumiy holatlar</i>	<i>95</i>
<i>1.8.2. Karbyuratorli dvigatelning issiqlik hisobi misoli</i>	<i>102</i>
1.9. YONILG'I TAQSIMLANIB PURKALADIGAN BENZINLI DVIGATELNING ISSIQLIK HISOBI.	108
<i>1.9.1. Umumiy holatlar</i>	<i>108</i>
<i>1.9.2. Yonilg'i taqsimlanib purkaladigan dvigatel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>115</i>
1.10. DIZELNING ISSIQLIK BALANSI HISOBI MISOLI	122
2-BOB. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING KINEMATIK VA DINAMIK HISOBI	125
2.1. UMUMIY HOLATLAR.....	125
2.2. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING KINEMATIK HISOBI..	126
<i>2.2.1. Umumiy holatlar</i>	<i>126</i>

2.2.2. <i>Porshen yo'li</i>	128
2.2.3. <i>Porshen tezligi</i>	130
2.2.4. <i>Porshen tezlanishi</i>	134
2.3. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING DINAMIK HISOBI	136
2.3.1. <i>Umumiy holatlar</i>	136
2.3.2. <i>Gazlar bosimi kuchlari</i>	137
2.3.3. <i>Krivoship-shatunli mexanizm qismlarining massalarini keltirish</i>	138
2.3.4. <i>Inersiya kuchlari</i>	141
2.3.5. <i>Krivoship-shatunli mexanizmda ta'sir qiluvchi yig'indi kuchlar</i> ..	142
2.3.6. <i>Tirsakli val shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlar</i>	148
2.3.7. <i>Tirsakli val o'zak bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar</i>	153
2.3.8. <i>Tirsakli val bo'yinlari yeyilishi diagrammasi</i>	157
GLOSSARIY	160
XULOSA	168
ADABIYOTLAR	169

CONTENTS

KIRISH	4
1-BOB. ICHKI YONUV DVIGATELINING ISSIQLIK HISOBI	5
1.1. UMUMIY HOLATLAR.....	5
1.2. BOSHLANG‘ICH MA‘LUMOTLARNI TANLASH VA ASOSLASH	7
1.3. DVIGATEL HAQIQIY SIKLINING HISOBI.....	29
<i>1.3.1. Kiritish va gaz almashinish jarayoni</i>	<i>29</i>
<i>1.3.2. Siqish jarayoni</i>	<i>39</i>
<i>1.3.3. Yonish jarayoni</i>	<i>47</i>
<i>1.3.4. Kengayish jarayoni.....</i>	<i>53</i>
<i>1.3.5. Chiqarish jarayoni va ekspluatatsiyada ishlangan gazlar zaharligini kamaytiruvchi metodlar</i>	<i>57</i>
1.4. DVIGATELNING INDIKATOR VA EFFEKTIV KO‘RSATKICHLARI.....	60
<i>1.4.1. Ishchi siklning indikator parametrlari.....</i>	<i>60</i>
<i>1.4.2. Ishchi siklning effektiv parametrlari.....</i>	<i>64</i>
1.5. INDIKATOR DIAGRAMMASINI QURISH.....	70
1.6. ICHKI YONUV DVIGATELINING ISSIQLIK BALANSI	75
1.7. DIZELNING ISSIQLIK HISOBI.....	78
<i>1.7.1. Umumiy holatlar.....</i>	<i>78</i>
<i>1.7.2. Nadduvsiz dizel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>84</i>
<i>1.7.3. Turbonadduvli dizel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>90</i>
1.8. KARBYURATORLI DVIGATELNING ISSIQLIK HISOBI.....	95
<i>1.8.1. Umumiy holatlar.....</i>	<i>95</i>
<i>1.8.2. Karbyuratorli dvigatelning issiqlik hisobi misoli</i>	<i>102</i>
1.9. YONILG‘I TAQSIMLANIB PURKALADIGAN BENZINLI DVIGATELNING ISSIQLIK HISOBI.....	108
<i>1.9.1. Umumiy holatlar.....</i>	<i>108</i>
<i>1.9.2. Yonilg‘i taqsimlanib purkaladigan dvigatel issiqlik hisobi misoli</i>	<i>115</i>
1.10. DIZELNING ISSIQLIK BALANSI HISOBI MISOLI.....	122
2-BOB. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING KINEMATIK VA DINAMIK HISOBI	125
2.1. UMUMIY HOLATLAR.....	125
2.2. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING KINEMATIK HISOBI	126
<i>2.2.1. Umumiy holatlar.....</i>	<i>126</i>
<i>2.2.2. Porshen yo‘li.....</i>	<i>128</i>
<i>2.2.3. Porshen tezligi</i>	<i>130</i>
<i>2.2.4. Porshen tezlanishi.....</i>	<i>134</i>
2.3. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZMNING DINAMIK HISOBI	136

2.3.1. Umumiy holatlar.....	136
2.3.2. Gazlar bosimi kuchlari	137
2.3.3. Krivoship-shatunli mexanizm qismlarining massalarini keltirish.	138
2.3.4. Inerسیا kuchlari.....	141
2.3.5. Krivoship-shatunli mexanizmدا ta'sir qiluvchi yig'indi kuchlar ..	142
2.3.6. Tirsakli val shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlar	148
2.3.7. Tirsakli val o'zak bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar.....	153
2.3.8. Tirsakli val bo'yinlari yeyilishi diagrammasi.....	157
GLOSSARIY.....	160
XULOSA	168
ADABIYOTLAR	169

O.O.DAMINOV

ICHKI YONUV DVIGATELLARI NAZARIYASI

*Нашр учун масъул: Шухрат Ғуломов
Саҳифаловчи: Гулчеҳри Мелибоева
Мусахҳих: Алишер Султонов*

Босишга рухсат этилди. 25.08.2018 й.
Қоғоз бичими 60x84 1/16. Times New Roman
гарнитурасида терилди.
Офсет услубида оқ қоғозда чоп этилди.
Нашриёт ҳисоб табоғи 11 5, Адади 100. Буюртма № 39
Баҳоси келишув асосида

“BROK CLASS SERVIS” МЧЖ босмахонасида чоп этилди
Манзил: Тошкент шаҳар Заргарлик кўчаси, Сегизбаева 10а