

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

B. TO'LAYEV

**ICHKI YONUV MOTORLARI
NAZARIYASI VA DINAMIKA
ASOSLARI**

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim
vazirligi tomonidan darslik sifatida tavsiya etilgan*

TOSHKENT – 2010

31.365

T96

B. To'layev. Ichki yonuv motorlari nazariyasi va dinamika asoslari. – T.: «Fan va texnologiya», 2010, 294 bet.

Darslikda porshenli ichki yonuv dvigatellari nazariy va haqiqiy sikllari, ularning indikator va effektiv ko'rsatkichlari, xarakteristikalari, issiqlikdan foydalanish va issiqlik balansi, yonish mahsulotlarining insonga va ekologiyaga ta'siri hamda dvigatel (krivoship-shatunli mexanizm) kinematikasi va dinamikasi ko'rilgan; dvigatel ishiga va uning ko'rsatkichlariga konstruksion omillar va ekspluatatsiya sharoitlarining ta'siri batafsil bayon qilingan; ko'rilyotgan jarayon mohiyatini tushuntirishga alohida urg'u berilgan; mustaqil ishda o'rganilyotgan jarayonlar bo'yicha amaliy ko'nikmalar hosil qilish uchun zarur bo'lgan eng yangi ma'lumotlar yetarli darajada keltirilgan.

BBK 31.365873

UDK 621. 1(075)

Taqrizchilar: t.f.d. B.I.Bozorov;
t.f.n. M.Z. Vagizov.

ISBN 978–9943–10–388–7

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2010.

KIRISH

Ichki yonuv dvigatellari issiqlik mashinalari turkumiga kiradi. Issiqlik mashinalarining vazifasi – issiqlik energiyasini mexanik energiyaga aylantirishdir. Dunyoda ishlab chiqarilayotgan birlamchi energiyaning 90 foizdan ortiqrogʻini issiqlik mashinalari ishlab chiqaradi (qolgani gidroelektr stantsiyalari; atom elektr stantsiyalari; quyosh, shamol, suv energiyasidan foydalanadigan va h.k. mashinalar hisobiga toʻgʻri keladi).

Bugungi kungacha issiqlik mashinalarining toʻrt turi maʼlum: bugʻ mashinalari; ichki yonuv dvigatellari, bugʻ turbinalari va gaz turbinalari. Bugʻ mashinalari oʻz vazifasini bajarib boʻldi. Ichki yonuv dvigatellariga oʻrnatilgan quvvat bugungi kunda dunyoda ishlab chiqarilayotgan birlamchi energiyaning 70 foiziga toʻgʻri keladi.

Ichki yonuv dvigatellarida dastlab yonish jarayonida yonilgʻining ichki kimyoviy energiyasi issiqlik energiyasiga, soʻngra kengayish jarayonida issiqlik energiyasi mexanik energiyaga aylanadi.

1867 va 1878-yillar oraligʻida bir necha ichki yonuv dvigatellar paydo boʻldi: Bishop (Bishop) va Gilel (Gillel) dvigatellari – biroz oʻzgartirilgan atmosfera mashinalari; venalik Gik dvigateli – oʻz dvigatelida kerosinni ishlatib koʻrdi, bundan tashqari u sekin-asta yonishni kiritdi, shu bois bu dvigatelni Dizelning oʻtmish-doshlaridan biri deb qarash mumkin. Lekin bu dvigatellarning birortasi salohiyatga ega boʻlmadi va toʻrt taktli Otto dvigateli paydo boʻlgandan keyin eʼtibordan chetda qolishdi.

Otto dvigatelida quyidagi toʻrt printsip amalga oshirildi:

- alanga olinguncha gaz aralashmasi siqiladi;
- porshenning chekka holatida aralashma alangalanadi (bu bilan Lenuar dvigatelidek yoʻl oʻrtasida alangalanishda vujudga keladigan zarba sodir boʻlishi bartaraf qilinadi);
- toʻrt taktli jarayonning qoʻllanilishi, yaʼni dvigatel silind-

ri goh nasos va goh ishchi silindr vazifasini o'taydi;

– aralashma shunday joylashtiriladiki, o't oladigan joyda yonilg'iga eng boy gaz aralashmasi hosil bo'ladi.

Bu g'oyalar yangi emas edi. 1838 yildayoq Barnet siqishni qo'lladi; Million (Million)ning 1861 yildagi Angliya patentida ham siqish taklif qilingan edi. Lekin bu borada fransuz Bo de Rosh (Beau de Rochas)ning patent haqidagi iltimosnomasi alohida ahamiyatga ega: patent 1862 yilda so'ralgan.

O'z g'oyalarini amalga oshirish uchun Bo de Rosh quyidagi jarayonni taklif qilgan:

- 1) birinchi yo'l davomida aralashmani so'rish;
- 2) ikkinchi yo'lda aralashmani siqish;
- 3) porshen chekka holatida aralashmani yoqish va uchinchi yo'lda aralashma kengayishi;
- 4) to'rtinchi yo'lda aralashmani siqib chiqarish.

Otto dvigatelida amalga oshirilgan to'rt taktli sikl – aynan shudir.

XIX asr 80-yillarining ikkinchi yarmi ichki yonuv dvigatellarini takomillashtirish masalalari bilan shug'ullanish uchun maqbul payt edi: bug' mashinalarining issiqlik dvigateli sifatidagi kamchiliklari aniqlangan; uning kichik sanoatda qo'llashga kam yaroqliligini ham hamma sezar edi. Ottoning birinchi gaz dvigateli katta istiqbolga ega bo'lsa ham, konstruksion tavsifdagi yirik takomillashtirishga to'g'ri keldi; bundan tashqari yorituvchi gazni qo'llash qimmatga tushar va uni hamma joyda ham topib bo'lmas edi, gaz generatorlarida va ichki yonuv dvigatellarida suyuq yonilg'i qo'llanilayotgan edi.

Dizelning asosiy g'oyasi Karno sikliga yaqinlashish edi. Shu maqsadda u siqish oxiridagi bosimning 3,3–3,5 MPa gacha ko'tarilishini loyihaladi; toza havoning so'rilishi nazarda tutilgan, chunki yonuvchi aralashma so'rilsa, haroratning bunday ko'tarilishi vaqtdan oldin alanganishga olib kelishi mumkin edi.

Shunday yuqori haroratga ko'tarilgan havoga Dizel kukun-simon yonilg'ini kiritishni mo'ljallagan (birlamchi g'oya – ko'mir kukuni). Bu yonilg'i shunchalik sekin-asta kiritilishi nazarda tutilgan ediki, yonganda aralashma harorati sezilarli oshmasin

(«izotermik yonish»). Shu taxminlar tufayli Dizel silindrni suv bilan sovitishni ortiqcha deb hisobladi. Loyihalayotgan dvigatel tuzilishi bo'yicha o'z g'oyalarini Dizel 1892 yil 28 fevraldagi patentida, so'ngra 1893 yilda «Ratsional issiqlik dvigatelining nazariyasi va konstruksiyasi» nomi bilan chiqqan inshosida bayon qildi.

Dizel inshosi o'ziga ko'pchilikning e'tiborini qaratdi va ko'pgina tanqidiy baholashlarga sabab bo'ldi. Lekin tanqidiy fikrlar bilan bir qatorda ijobiy baholashlar ham bo'ldi, bular orasida katta obro'ga ega bo'lganlar ham bor edi.

Ixtirochi o'z patentida va inshosida bayon qilingan printsiplar amalga oshirilgan birinchi dvigatel 1893 yilning iyulida tayyor bo'ldi. Bir necha tajriba namunalari tayyorlandi, har biri qandaydir o'zgarishlarga ega edi, lekin qiyinchiliklarning aksariyati hali oldinda edi. Faqat 1895 yil boshida tayyorlangan va martida sinalgan dvigatelda ancha ma'qul natijalarga erishildi; bu dvigatelda suv bilan sovitish kiritilgan edi. Suyuq yonilg'i (kerosin)ni purkash uchun siqilgan havodan foydalanildi; bu havo dvigateli bilan bog'langan kompressordan kelardi. Boshqa konstruktiv takomillashtirishlar ham kiritildi. 1895 yilning 1-mayida bu dvigatel to'xtamasdan yarim soat ishladi, ikki haftadan so'ng esa yuk ostida ham ishlay oldi.

Endi yirik sinovlarga yaraydigan va ishlab chiqarishda ishlaydigan dvigatelni qurishga kirishish mumkin edi. Bu ish yana ko'p vaqtni egalladi va faqat 1896 yil oxirida Dizel o'tkazilayotgan tajribalarni moliyalatgan Kruppga ishchi dvigatel muvaffaqiyatli qurilgani haqida xat yozdi.

Bu dvigatelning ishlash printsiipi Dizelning dastlabki taxminlaridan sezilarli farqlanardi. Bu ish printsiipi hozirgi paytgacha deyarli o'zgarmasdan qoldi. Otto dvigateli sikli kabi ish 4 taktida bajariladi: birinchi taktida toza havo so'riladi, ikkinchisida – taxminan 3,5 MPa gacha siqiladi, bunda havo harorati 500–600°C gacha ko'tariladi. Bu qizigan havoga 2-yo'lning eng oxirida yonilg'i (kerosin) kirita boshlanadi. Kerosin forsunka orqali berilardi, forsunkaga kerosin nasos yordamida etkazilardi, kerosin purkalishi uchun forsunkaga siqilgan havo berilardi (forsunka

silindr kallagiga joylashtirilgan edi). Purkaydigan havoning bosimi 5,0–6,0 MPa ga yetkazilardi. Yonish bosimning sezilarli ortishisiz, taxminan izobara bo'yicha borardi; yonish porshen uchunchi yo'lining 1/6–1/5 qismida davom etardi, so'ngra yo'l oxirigacha yonish mahsulotlari kengayadi. Kengayishda bosim 2,5 MPa gacha kamayadi, ya'ni kengayish Otto dvigatellaridek to'liq bo'lmaydi. To'rtinchi takt paytida yonish mahsulotlari atmosfera chiqarib yuboriladi.

Dizelning natijaviy f.i.k. 0,25 ga teng chiqdi. Bu natija o'sha paytda juda yuqori edi, chunki oddiy kerosinda ishlaydigan dvigatellarning f.i.k. 0,155 edi.

Dizelning mexanik f.i.k., kutilganidek, katta bo'lmadi, u 0,75 atrofida bo'ldi.

1897 yilni dizelsozlik rivoji birinchi davrining tugashi deb hisoblash mumkin – yuqori natijaviy f.i.k. ishchan dvigatel yaratildi.

Ortiqcha yuk bo'lmaganda dizel dvigatellari uglevodorodlarni to'liq yondirishga qodir. Lekin ular ancha-muncha NO_x oqimini hosil qiladilar. Hozirgi paytda dizel dvigatellarida ishlangan gazlar tarkibidagi ba'zi zarrachalar kontserogendir degan fikr bor. Bu o'ziga xos mahsulotlarning vujudga kelishiga dizel dvigatellarida qabul qilingan yonilg'ini purkash va yonish jarayonlari sababchi.

Texnika atrof-muhit ifloslanishi muammosini hal qilishga va insonlar sog'ligiga bo'lgan xavfni bartaraf qilishga transport ehtiyoji uchun Otto va Dizel sikllaridan foydalanishni man qilmasdan ham hal qilish mumkin. Ikkinchi tarafdin, masalan, elektr energiyasini samaraliroq jamlab, elektromobillarni yaratish mumkin yoki issiqlik dvigatellarining yangi turlari ish berib qolishi mumkin. Ular orasida liderlikka bir nechta nomzodlar bor. Eng ma'qul nomzod – Stirling dvigateli. Stirling dvigateli qizigan gazlarda ishlaydi va qachonlardir suv nasoslarida muvaffaqiyatli ishlagan.

Qisqa xulosalar

1. Ijodlarida dastlab yonish jarayonida yonilg'ining ichki kimyoviy energiyasi issiqlik energiyaga, so'ngra kengayish jara-

yonida issiqlik energiyasi (ishchi jism – gazning ichki energiyasi) mexanik energiyaga aylanadi.

2. Ichki yonuv dvigatellarini o'rganishda asosiy o'rinni sikl – ishchi jarayon egallaydi, dvigatel konstruksiyasi va tizimlari ishchi jarayonni takomillashtirishga xizmat qiladi.

3. Ichki yonuv dvigatellari rivojining boshlang'ich bosqichida asosiy e'tibor dvigatelning (solishtirma) quvvatini oshirishga, keyingi bosqichda dvigatel tejamkorligini yaxshilashga qaratilgan bo'lsa, hozirgi paytda asosiy vazifa – dvigatelning ekologik ko'rsatkichlarini yaxshilashdir.

I BOB. PORSHENLI ICHKI YONUV DVIGATELLARINING TASNIFLANISHI VA ISHLASH PRINSIPLARI

1.1. Avtomobil va traktor dvigatellarining tasniflanishi

Avtotraktor dvigatellari modellari va modifikatsiyalarining soni yildan-yilga ortib bormoqda, ular tasniflanishining yagona tizimi shu paytgacha ishlab chiqilmagan. Buning sababi shundaki, hamma avtotraktor dvigatellari kuch qurilmalari bo'lib, ular istalgan transport vositasining harakatini ta'minlashi hamda ularning harakati va ish rejimlari doim o'zgarib turadigan sharoitda turli transport vositalari qo'yadigan har xil talablarni qondirishi kerak. Bundan tashqari, yetarli darajadagi murakkab agregat sifatida istalgan dvigatel kimyo va fizika, gidravlika va gazdinamikasi, is-siqlik texnikasi va elektronika, materialshunoslik va materiallar qarshiligi, matematika va hisoblash texnikasi va h.k. kabi fan-larning doim rivojlanib borayotgan yo'nalishlari va tarmoqlari-ning ko'p yutuqlarini o'zida mujassamlashtirish kerak.

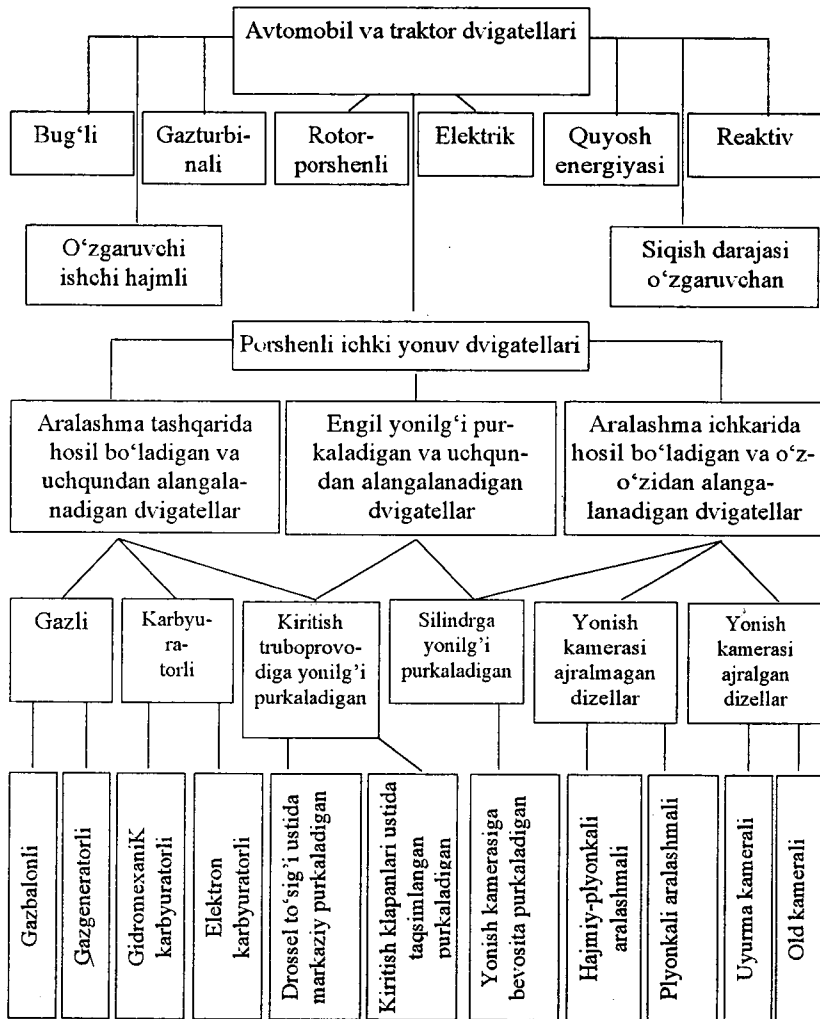
1.1-rasmda avtotraktor dvigatellari asosiy turlari tasniflani-shining mumkin bo'lgan sxemalaridan biri keltirilgan.

Bu sxemada dvigatellarning ikkita printsiplial farqlanadigan guruh-lari keltirilgan. Seriyali chiqarilayotgan avtomobillar va traktorlarga o'rnatilayotgan va ularda ishlayotgan porshenli dvi-gatellarning amaldagi hamma turlari asosiy guruhga kiritilgan. Ikkinchi guruhga dvigatellarning sakkiz guruhi kiritilgan; ular u yoki bu sabablarga ko'ra ishlab chiqilishi va me'yoriga yetkazi-lishining turli bosqichlarida (bug', quyosh, reaktiv) yoki kichik tajribaviy partiyalarda (rotor-porshenli, gazturbinali, elektromo-billar) ishlab chiqarilmoqda.

Porshenli ichki yonuv dvigatellari (Ijod)ning asosiy guruhi bo'yicha quyidagilarni aytish mumkin:

1. Yonilg'i-havo aralashmasi silindr ichida va tashqarisida hosil bo'ladigan Ijodlarining ikki asosiy turlariga dvigatellarning uchinchi yengil yonilg'i purkaladigan va uchqundan alangala-

nadigan guruhi qo'shilgan. Bu guruhga taalluqli bo'lgan dvigatellar yonilg'i uzatilishining konstruktiv xususiyatlari bo'yicha ham aralashma tashqarida sodir bo'ladigan Ijodlarga (yonilg'i kiritish truboprovodiga purkaladi) va aralashma ichkarida hosil bo'ladigan Ijodlarga (yonilg'i bevosita silindr ichiga purkaladi) taalluqli bo'lishi mumkin.



1.1-rasm. Avtomobil va traktor dvigatellarining tasniflanishi.

2. Ikkinchi guruhdagi dvigatellarning deyarli hammasida ishchi jarayon ham to'rt taktli sikl va ham ikki taktli sikl bo'yicha tashkil qilinishi mumkin.

3. Bu guruhdagi hamma dvigatellar turli lapatali mashinalar va kompressorlardan foydalanish hisobiga havo yoki yonilg'i-havo aralashmasining majburiy nadduviga ega bo'lishi mumkin.

4. Turli porshenli, gazturbinali, bug' va boshqa mashinalardan tarkib topishi mumkin bo'lgan kombinatsiyalashgan dvigatellar guruhi sxemaga kiritilmagan.

1.2. Porshenli dvigatellarning ishlash prinsiplari

Yonilg'i issiqlik (ichki kimyoviy) energiyasini mexanik ishga aylantirish printsiplari hamma porshenli dvigatellar uchun bir xil. Istalgan porshenli dvigatelning ishchi sikli beshta ketma-ket kechadigan jarayonlardan tarkib topadi:

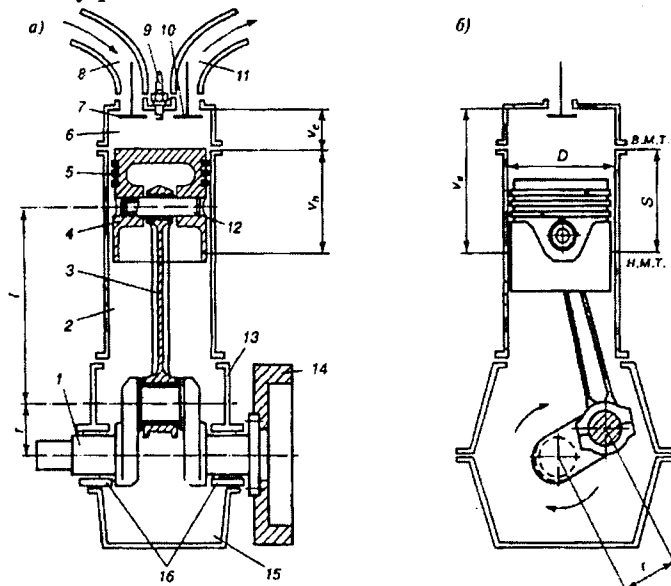
- 1) silindrni yangi zaryad (yonilg'i-havo aralashmasi yoki havo) bilan to'ldirish (kiritish);
- 2) yangi zaryadni siqish;
- 3) aralashmaning o't olishi va yonishi;
- 4) yongan gazlarning kengayishi (ishchi yo'l);
- 5) ishlangan gazlarni chiqarish.

Aralashma tashqarida hosil qilinadigan va uchqundan alanganadigan dvigatellarga hamma karbyuratorli va gazda ishlaydigan hamda yonilg'i kiritish truboprovodiga purkaladigan dvigatellar kiradi.

Aralashma ichkarida hosil bo'ladigan dvigatellarga yonilg'i-havo aralashmasi siqish natijasida o'z-o'zidan alanganadigan hamma dizellar (jumladan gazodizellar), hamda yengil yonilg'i bevosita silindrga purkaladigan dvigatellar kiradi.

Yonishda ajralib chiqadigan yonilg'i issiqlik energiyasining mexanik ishga aylanish prinsipining bir xilligi hamma porshenli dvigatellar konstruktiv sxemalarining bir-biriga o'xshashligini belgilaydi. 1.2-rasmda porshenli dvigatelning tipik sxemasi keltirilgan.

Porshenli dvigatellarning hamma konstruktiv sxemalari bir nechta asosiy parametrlar bilan tavsiflanadi (1.2-rasm).



1.2-rasm. Porshenli ichki yonuv dvigatelining sxemasi:

- a – bo'ylama kesim; b – ko'ndalang kesim; 1 – tirsakli val; 2 – silindr;
3 – shatun; 4 – porshen; 5 – halqalar; 6 – yonish kamerasi; 7 – kiritish klapani;
8 – kiritish patrulkasi; 9 – svecha; 10 – chiqarish klapani; 11 – chiqarish patrulkasi; 12 – porshen barmog'i; 13 – karter; 14 – maxovik; 15 – moy karteri; 16 – o'zak podshipniklari.

- silindr diametri D va porshen yo'li S ; $S/D > 1$ bo'lgan dvigatellar uzun yo'lli, $S/D < 1$ bo'lgan dvigatellar esa – kalta yo'lli deb ataladi;

- krivoship radiusi r ning shatun uzunligi l ga nisbati – o'lchamsiz kattalik; $\lambda = r/l$ shatunning silindr devorlariga tegmasdan erkin harakatlanishi va porshenning tirsakli valning o'zak podshipniklariga tegmasdan erkin siljishini ta'minlashi kerak;

- silindrning ishchi hajmi V_h va yonish kamerasining hajmi V_s , ularning yig'indisi silindrning to'liq hajmi V_a ni beradi;

- dvigatel litraj $V_a = V_h \cdot i = \pi D^2 S i / (4 \cdot 10^3)$, bu erda i – silindrlar soni, D va S sm da ifodalangan;

- *siqish darajasi* ε silindr to'liq hajmi V_a ning yonish kamerasi hajmi V_s ga nisbati; uning qiymati benzinli dvigatellarda yonilg'ining detonatsiyaga chidamliligi bo'yicha, dizellarda esa dvigatelni sovuq sharoitda ishonchli o't oldirish sharti bo'yicha aniqlanadi.

Porshenli dvigatellarning beshta jarayondan tarkib topgan ishchi sikli, odatda, tirsakli valning ikkita aylanishida bajariladi, bu porshenning bir chekka holatidan boshqasiga to'rtta yo'li (takt)da bajariladi. Bunday dvigatellar to'rt taktli dvigatellar deb ataladi.

Birinchi takt – dvigatel silindrini yangi zaryad dizellarda – havo, benzinli dvigatellarda yonilg'i-havo aralashmasi bilan **to'ldirish (kiritish)** porshen yuqori chekka holat (yu.ch.h) dan quyi chekka holat (q.ch.h)ga harakatlanganida sodir bo'ladi. Porshen yu.ch.h. dan q.ch.h. ga harakatlanganda – *kiritish* taktida yangi zaryad (havo yoki yonilg'i-havo aralashmasi) oldingi ishchi sikldan yonish kamerasida qolgan ishlangan gazlar bilan aralashadi. Shunday qilib, kiritish taktida silindrga yangi zaryad kiradi, yangi zaryad va ishlangan qoldiq gazlar orasida gaz almashinuvi sodir bo'ladi, aralashma tashqarida sodir bo'ladigan dvigatellarda esa ishchi aralashma tayyorlanish (yonilg'i bug'lanishi va uning havo va ishlangan qoldiq gazlar bilan aralashma) faol davom etadi. *Qoldiq gazlarning kamayishi, ishchi aralashma tarkibida yomuvchi aralashma miqdori va zichligining ortishi dvigatel ishining samaradorligini oshiradi.*

Ikkinchi takt – *siqish* porshen q.ch.h. dan yu.ch.h ga harakatlanganda sodir bo'ladi. Lekin bu taktning birinchi davri (boshlanishi)da silindrga yangi zaryad kirishi davom etadi (dozaryadka) yoki aralashma silindrdan qaytarib chiqariladi, chunki kiritish klapani bu davrda hali yopilmagan bo'ladi; u porshen q.ch.h. dan birmuncha yo'l o'tgandan keyin yopiladi. Kiritish klapani yopilgandan keyin bevosita siqish jarayoni boshlanadi, bunda silindrdagi gazlarning bosimi ortadi va harorati ko'tariladi. Aralashma silindr ichida hosil bo'ladigan dvigatellarda siqish taktining oxirida yonilg'i silindrga katta bosim ostida purkaladi, havo bilan aralashadi, qiziydi, bug'lanadi va o'z-o'zidan alan-

galanadi. Aralashma tashqarida hosil bo'ladigan dvigatellarda porshen yu.ch.h. ga yaqinlashganda ishchi aralashma yuqori kuchlanishli elektr uchqunidan alanganadi. Siqish taktining oxirgi davri ishchi aralashmaning siqilishi va yonishning bir vaqtda o'tishi bilan tavsiflanadi.

Uchinchi takt – kengayish – ishchi yo'l. Taktning birinchi bosqichida yonish kamerasida ishchi aralashma intensiv yonishda davom etadi, gazlar bosimi va harorati keskin ortadi. Yonish jarayonida kengayayotgan gazlar porshenni yu.ch.h. dan q.ch.h. ga siljitib, foydali ish bajaradi – *ishchi yo'l*. Kengayayotgan gazlar bosimi kuchi porshen va shatun orqali tirsakli valning shatun bo'yniga uzatiladi, uni aylanishga majbur qiladi, ya'ni foydali mexanik ish bajaradi. Kengayish jarayoni porshen q.ch.h. ga yetib kelishidan oldin chiqarish klapanining ochilishi va silindrdan ishlangan gazlar chiqishining boshlanishi bilan tugaydi.

To'rtinchi takt – ishlangan gazlarning chiqishi porshen q.ch.h. dan yu.ch.h. ga harakatlanishda sodir bo'ladi. Kengayayotgan ishlangan gazlar ta'sirida, keyin esa porshen siljishi natijasida ishlangan gazlar silindrdan dastlab erkin, so'ngra majburan chiqariladi. Porshen yu.ch.h. ga yaqinlashganda kiritish klapani ham ochiladi. Shunday qilib, chiqarish jarayonining oxirida ikkita – chiqarish va kiritish klapanlari ochiq bo'ladi, bu chiqarish taktining oxirida yangi ishchi sikl boshlanishini ta'minlaydi, ichki yonuv dvigateli uzluksiz ishlashi uchun sharoit yaratiladi.

II BOB. PORSHENLI ICHKI YONUV DVIGATELLARINING NAZARIY SIKLLARI

2.1. Umumiy holatlar

Termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq issiqlik energiyasini mexanik ishga aylantirish uchun:

- ishchi jism gaz bo'lishi;
- ikkita issiqlik manbayi – biri issiq, ikkinchisi sovuq manba bo'lishi;
- issiqlikning bir qismi sovuq manbaga uzatilishi (yo'qotilishi) kerak.

Ichki yonuv dvigatellarida issiqlikni mexanik ishga aylantirish *ishchi jism* – gazlar yordamida amalga oshiriladi; ish jarayonida gazlarning holati o'zgarib turadi. Ushbu o'zgarish (jarayon)lar majmuasi ichki yonuv dvigatelining *haqiqiy (ishchi) ulash* deb ataladi.

Haqiqiy (ishchi) sikl havo va yonish mahsulotlarining o'zgaruvchi issiqlik sigimlarida dvigatel silindrida kechadigan real jarayonlaridan tarkib topadi. Yonilg'ining yonishi natijasida ishchi jismning kimyoviy tarkibi, demak fizik xossalari ham sezilarli darajada o'zgaradi.

Dvigatel silindrida haqiqiy jarayonlar kechishining murakabligi oddiy munosabatlarda ularni tahlil qilishni qiyinlashtiradi. Shu sababli, ichki yonuv dvigateli silindrlarida sodir bo'layotgan jarayonlar takomilligi darajasini baxolash va issiqlikdan foydalanishni yaxshilash yo'llarini aniqlash uchun haqiqiy sikllar ideal (termodinamik) sikllar bilan solishtiriladi. Ideal, berk va qaytalanadigan sikllarda, haqiqiy sikllardan farqli o'laroq, termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq sovuq manbaga uzatiladigan (yo'qotiladigan) issiqlikdan boshqa issiqlik yo'qotmaydi.

2.2. Qaytalanuvchi termodinamikaning sikillarni tadqiqot qilishda qabul qilinadigan farazlar

Farazlarning bir qismi ishchi jism xossalari va miqdoriga taalluqli. Real dvigatellarida ishchi jism gazlar aralashmasi bo'lib, yonilg'i silindrida yonganida uning tarkibi o'zgaradi; gaz almashish jarayonida gazlarning ham tarkibi va ham massasi o'zgaradi. Berk nazariy (termodinamik) sikllarni hisoblashda ishchi jism sifatida ideal gaz, qabul qilinadi, uning o'zi va massasi hamma jarayonlarda o'zgarmas va doimiy (almashmaydigan) deb hisoblanadi. Demak, kiritish va chiqarish jarayonlari va bular bilan bogliq bo'lgan yo'qotgichlar hisobiga olinmaydi.

Tadqiqotlarda ham qaytalanuvchi termodinamik sikllardan foydalanishadi; bunda ishchi jism sifatida tarkibi real dvigatellardagi bilan bir xil bo'lgan ideal gazlar aralashmasi olinadi va ishchi jism issiqlik sigimining gazlar aralashmasi harorati va tarkibining o'zgarishini hisobga olib aniqlanadi.

Ishchi jismga kiritilishi jarayonining qaytalanuvchanligini tasavvur qilish uchun issiqlikning issiq manbai degan abstrakt tushuncha kiritiladi. Issiq manbadagi issiqlik kiritilishi qonuniyati dvigatel silindrida yonilg'i yonishi xususiyatini hisobga olib belgilanadi.

Dvigatel silindrida ishchi jismni siklaviy almashtirish uchun zarur bo'lgan gaz almashinishi jarayonlarida ishchi jism massasi o'zgaradi. Qaytalanuvchi termodinamik sikllarda gaz almashishining haqiqiy qaytalanmas jarayonlari sovuq - issiqlik uzatilishining qaytalanuvchi jarayonlari bilan almashtiriladi. Sovuq manbaga issiqlik uzatilishi jarayonining turi gaz almashinuvi haqiqiy jarayonlarining xususiyatlarini hisobga olgan holda toklanadi.

Dvigatellarning qaytalanuvchi termodinamik sikllarda siqish va kengayish jarayonlari adiabatik deb qabul qilinadi va shu bilan haqiqiy jarayonlardagi devorlar bilan issiqlik almashinuvi hisobga olinmaydi.

Demak, *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 ishehi 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.

Nazariy sikllarning ahamiyati nafaqat bir xil siklda ishlayotgan real dvigatellarning maksimal tejamkorligini va quvvatini aniqlashda, balki ularni solishtirishda hamdir. Nazariy sikllar faqat termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq issiqlik yo'qotilishiga ega bo'ladilar, ya'ni ulardagi issiqlik yo'qotilishi minimal bo'ladi.

2.3. Porshenli ichki yonuv dvigatellarining nazariy sikllari

Mavjud porshenli ichki yonuv dvigatellari o'zlarining tavsifli xususiyatlariga ega bo'lgan quyidagi uch siklning biri bo'yicha ishlaydi:

1. Majburan o't oldiriladigan benzin va gazda ishlaydigan porshenli va kombinatsiyalashgan dvigatellarda yonish jarayoni—porshen yu.ch.x. yaqinida bo'lganida, ya'ni deyarli o'zgarmas hajmda sodir bo'ladi. Sikl tahlil qilinganda issiqlik o'zgarmas hajmda kiritiladi deb qabul qilinadi (2.1-rasm).

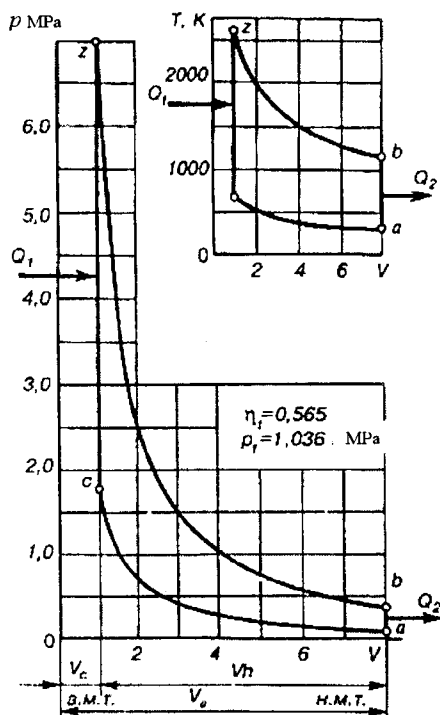
2. Siqish issiqligidan yonilg'i alanganadigan dvigatel (dizel)larda yonilg'ining yonishi dastlab yu.ch.h. yaqinida katta tezlikda kechadi, so'ngra yonish tezligi sekinlashadi va yonilg'ining bir qismi kengayish jarayoni boshlanishida yonadi. Nazariy siklda issiqlikning bir qismi o'zgarmas hajmda, qolgani esa o'zgarmas bosimda kiritiladi deb qabul qilinadi (2.2-rasm).

3. Zamonaviy dizellarda (porshenli dvigatellarda) o'zgarmas bosimda yonish realizatsiya qilinmaydi, shu sababli issiqlik o'zgarmas bosimda kiritiladigan nazariy sikldan faqat nazariy tahlilda foydalaniladi.

Har bir nazariy sikl ikkita asosiy ko'rsatkich bilan tavsiflanadi:

- issiqlikdan foydalanish; u termik foydalanish ish koeffitsiyenti orqali aniqlanadi;

- ishchanlik qobiliyati; u siklning solishtirma ishi bilan aniqlanadi.



2.1-rasm. Majburan o't oldiriladigan porshenli dvigatelning qaytalanuvchi termodinamik sikli.

Termik f.i.k. deb foydali mexanik ishga aylangan issiqlik miqdorining ishchi jismiga keltirilgan issiqlikning umumiy miqdoriga bo'lgan nisbatga aytiladi:

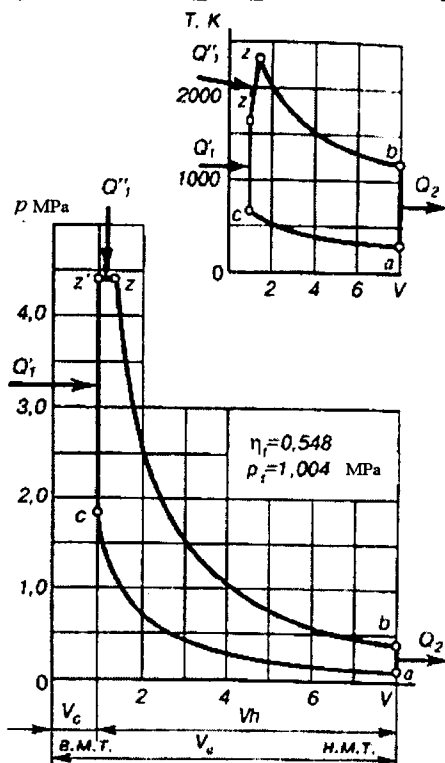
$$\eta_t = (Q_1 - Q_2) / Q_1 = 1 - Q_2 / Q_1, \quad (2.1)$$

bu erda Q_1 – ishchi jismga tashqi manba'dan keltirilgan issiqlik miqdori; Q_2 – ishchi jismdan sovuq manba'ga uzatilgan issiqlik miqdori.

Siklning solishtirma ishi deb mexanik ishga aylangan issiqlik miqdorining ishchi hajmiga bo'lgan nisbatga aytiladi:

$$p_t = (Q_1 - Q_2)/(V_a - V_c) = L_u/(V_a - V_c), \quad (2.2)$$

bu yerda $V_a = V_c + V_h$ – silindrning to‘liq hajmi, m^3 ; V_c – yonish kamerasining hajmi, m^3 ; $L_{ts} = Q_1 - Q_2$ – sikl ishi, Dj ($N \cdot m$).



2.2-rasm. O‘z-o‘zidan alanganadigan porshenli dvigatelnig qaytalanuvchi termodinamik sikli.

Siklning solishtirma ishi ($Dj/m^3 = N \cdot m/m^3 = N/m^2$) son jihatidan siklning o‘rtacha bosimi ($Pa = N/m^2$)ga teng.

Nazariy sikllarni ko‘rib chiqish va ularni tahlil qilish uch asosiy vazifani yechish:

1. Ushbu sikl termodinamik omillarning termik f.i.k. va o‘rtacha bosimning o‘zgarishiga ta‘sirini baholash va buning asosida siklning eng yaxshi tejamkorligini va maksimal solishtirma

ishni olish uchun termodinamik omillarning optimal qiymatlarini o'rnatish;

2. Bir xil sharoitda tejamkorlik va ishchanlik qobiliyati nuqtai nazaridan turli nazariy sikllarni qiyoslash;

3. Tejamkorlik va solishtirma (quvvat) bo'yicha real dvigatellar takomilligi darajasini baholash uchun mezon vazifasini o'tashi mumkin bo'lgan siklning termik f.i.k. va o'rtacha bosimning muayyan son qiymatlarini olish imkonini beradi.

2.4. Issiqlik o'zgarmas hajmda keltiriladigan nazariy sikl

Sikl boshlanishida q.ch.h. da bo'lgan porshen (2.1-rasm, *a*-nuqta) yu.ch.h. ga qarab siljiydi (2.1-rasm, *s*-nuqta) va ishchi jism-gazni siqa boshlaydi – *siqish jarayoni*. Silindr sirtini hosil qiluvchi materiallar issiqlikni absolyut o'tkazmaydi deb faraz qilinadi. Bu holda siqish jarayoni (*as* chizig'i) adiabatik kechadi, siqishga sarflanayotgan mexanik ishning hammasi siqilayotgan ichki energiyasining ortirishga sarflanadi.

Majburan o't oldiriladigan, benzinli va gazli dvigatellarda *yonish jarayoni* porshen yu.ch.h. atrofida bo'lganida sodir bo'ladi. Sikl tahlil qilinayotganda yonish jarayoni o'zgarmas holda issiqlik kiritilishi bilan almashtiriladi, natijada gaz bosimi va harorati o'zgarmas hajmda ortadi (2.1-rasm, *sz* izoxorasi).

Porshen harakatining boshlanishida, ya'ni yu.ch.x. da (*z*-nuqta), issiqlik kiritilishi to'xtaydi. Gaz adiabatik kengayadi, kengayish jarayoni uning ichki energiyasining bir qismi tashqi mexanik ishga aylanadi. Quyi chekka holatda (*v*-nuqta) *zv* adiabata bilan ifodalangan kengayish jarayoni tugaydi.

Siklni takrorlash uchun gazni boshlang'ich holatga (indikator diagrammada *a* nuqta bilan tavsiflanadi) qaytarish zarur. Buning uchun silindrdagi gaz sovutilishi lozim. Issiqlikning sovuq manbaga uzatilishi (yo'qotilishi) porshen q.ch.h. da bo'lganida sodir bo'ladi, natijada gaz bosimi va harorati o'zgarmas ($V_a = V_v = \text{sonst}$) hajmda pasayadi (2.1-rasm, *va* izoxorasi).

Issiqlik o'zgarmas hajmda kiritiladigan nazariy sikl quyidagilar bilan tavsiflanadi:

dvigatelning siqish darajasi ε ;

bosimning ortish darajasi λ_r – issiqlik kiritilishi jarayonining oxiridagi bosim r_z ning bu jarayon boshlanishidagi bosim r_s ga nisbati:

$$\lambda_r = r_z/r_s.$$

Siklning termik f.i.k.

Istalgan nazariy (termodinamik) siklning tejamkorligi uning termik f.i.k. bilan baholanadi; bu koeffitsiyent foydali ishga (AL_t) aylangan issiqlikning sarflangan issiqlik Q_1 ga nisbati bilan ifodalanadi:

$$\eta_t = AL_t / Q_1,$$

bu yerda A – ishning termik ekvivalentligi.

Nazariy siklda issiqlik miqdori Q_2 dan boshqa qo'shimcha issiqlik yo'qotishlari yo'q, shu sababli $Q_1 - Q_2$ issiqlik miqdorlarining farqi foydali ishga aylanadi, u holda:

$$\eta_t = (Q_1 - Q_2) / Q_1 = 1 - Q_2 / Q_1.$$

Issiqlik o'zgarmas hajmda kiritiladigan nazariy siklda (2.1-rasm) kiritilayotgan Q_1 va uzatilayotgan Q_2 issiqlik miqdorlari ishchi jism miqdori G , uning o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi s_v va mos haroratlarning farqiga proporsional bo'ladi:

$$Q_1 = G s_v (T_z - T_s); \quad Q_2 = G s_v (T_v - T_a)$$

Q_1 va Q_2 larni (2.1) ga qo'yib, quyidagini hosil qilamiz

$$\eta_t = 1 - (T_v - T_a) / (T_z - T_s). \quad (2.1 a)$$

Bu tenglama tarkibiga kiruvchi haroratlarni sikl boshlanishidagi harorat T_a , siqish darajasi ε va bosimning ortish darajasi λ_r lar orqali ifodalaymiz. Ma'lum termodinamik nisbatlar asosida quyidagilarni yozish mumkin:

$$\text{as adiabata uchun} \quad T_s = T_a \varepsilon^{k-1};$$

$$\text{sz izoxora uchun} \quad T_z = T_s \lambda_r = T_a \varepsilon^{k-1} \lambda_r;$$

$$\text{zv adiabata uchun} \quad T_v = T_z / \varepsilon^{k-1} = T_a \lambda_r.$$

Olingan qiymatlarni (2.1 a) ga qo'yamiz, u holda:

$$\eta_t = 1 - 1/\varepsilon^{k-1} \quad (2.3)$$

Siklning o'rtacha bosimi

Silindr dvigatelidagi gazlarning ishi L_{ts} sikl diagrammasining yuzasiga teng. Turli dvigatellar diagrammalari yuzalarini solishtirish uchun, diagramma yuzasini o'sha V_h asosda qurilgan unga teng bo'lgan to'rtburchak yuzasi bilan almashtirish lozim (2.1-rasm). Qurilgan to'rtburchak balandligi nazariy siklning o'rtacha bosimi R_t ni ifodalaydi:

$$r_t = L_t/V_h.$$

Transport dvigatellari uchun o'rtacha bosimni oshirish maqsadga muvofiq bo'ladi, chunki bunda berilgan quvvat dvigatelning kichik ishchi hajmida, ya'ni uning kichik o'lchamlari va masasida olinadi.

Nazariy siklning o'rtacha bosimini yuqorida keltirilgan $\eta_t = AL_t/Q_1$ bog'lanish orqali topish mumkin

$$r_t = Q_1 \eta_t / A.$$

$\eta_t = L_t/V_h$ bo'lganligi sababli

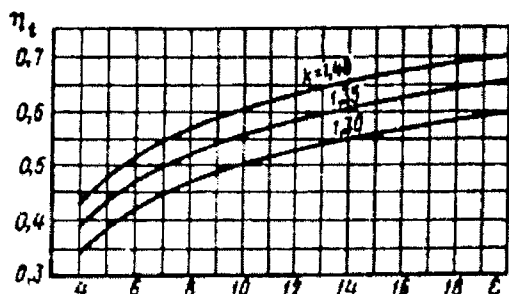
$$r_t = (\eta_t/A)(Q_1/V_h) \quad (2.4)$$

Ma'lum termodinamik nisbatlar asosida quyidagini yozish mumkin:

$$p_t = p_a \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \frac{\lambda_p - 1}{k - 1} \eta_t. \quad (2.5)$$

Sikl termik va o'rtacha bosimlarining tahlili

Siklning termik f.i.k. faqat siqish darajasi ε va siqish va kengayish adiabatlarini ko'rsatkichi k ga bog'liq (2.3). Bu formulaning taxmini shuni ko'rsatadiki, siqish darajasi va adiabata ko'rsatkichi ortganda termik f.i.k. ortib boradi (2.3-rasm). Lekin η_t ning ortishi yuqori siqish darajalarida, taxminan $\varepsilon = 11 \dots 12$ dan boshlab, sezilarli darajada pasayadi.



2.3-rasm. O'zgarmas hajmida issiqlik yuritiladigan nazariy sikl termik f.i.k.ning har xil adiabataga ko'rsatkichlarida siqish darajasiga bog'liqligi.

Adiabataga ko'rsatkichining o'zgarishi ishchi jism tabiatiga bog'liq.

Termik f.i.k. η_t ni hisoblashda adiabataga ko'rsatkichi k ning uchta qiymati qabul qilingan, ular quyidagilardan tarkib topgan ishchi jismga taxminan mos keladi:

- 1) ikki atomli gazlar (havo, $k=1,4$);
- 2) ikki va uch atomli gazlar aralashmasi (yonish mahsulotlari $k=1,3$);
- 3) havo va yonish mahsulotlari aralashmasi ($k=1,35$).

O'rtacha bosim kattaligi, qo'shimcha ravishda, boshlang'ich bosim r_a va bosim ortishi darajasi λ_r larga bog'liq. Nadduvsiz ishlaydigan dvigatellar uchun atmosfera bosimi boshlang'ich bosimning yuqori chegaraviy qiymati bo'ladi. Shuning uchun nazariy sikl hisoblanganda r_a bosim atmosfera bosimiga teng, ya'ni $r_a=0,1$ MPa deb qabul qilinadi.

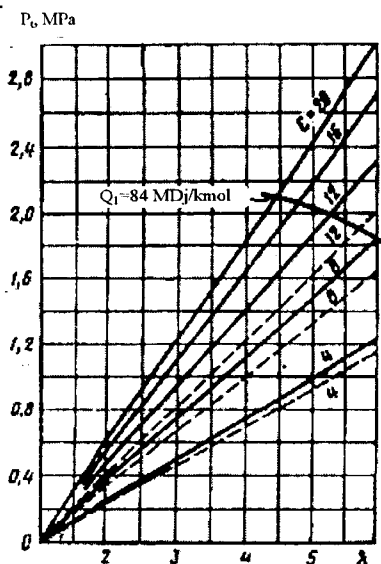
Bosim ortishi darajasining o'zgarishi birinchi navbatda siklga kiritilgan issiqlik miqdori Q_1 ga bog'liq:

$$\lambda_p = \frac{Q_1(k-1)}{RT_a \varepsilon^{k-1}} + 1, \quad (2.6)$$

bu yerda $R=8315$ Dj/(k mol·grad) – gaz universal doimiysi; T_a – siklning boshlang'ich harorati, K.

2.4-rasmda sikl o'rtacha bosimi r_t ning bosim ortishi darajasi λ_r ga bog'liqligi siqish darajasi ε ning har xil qiymatlarida va adiabataga ko'rsatkichi k ning ikkita qiymatida keltirilgan.

O'zgarmas boshlang'ich sharoitlarda ($r_a=0,1$ MPa, $T_a=350K$ va $V_a=\text{sonst}$) r_i ning bunday bog'liqligi siklga kiritilayotgan issiqlikning $\lambda_r=1,0$ bo'lganda $Q_1=0$ dan $\lambda_r=6$ va $\varepsilon=20$ bo'lganda $Q_1=120,6$ MDj/kmol ko'paytirilganda hosil bo'ladi. Agar $\alpha=1$ da benzin havo aralashmasining yonish issiqligi 84 MDj/kmol dan ortmasligini hisobga olinsa, o'zgarmas hajmda issiqlik $Q_1=84$ MDj/kmol kiritiladigan nazariy siklning mumkin bo'lgan o'rtacha bosimi $\varepsilon=20$ va $\lambda_r=4,5$ bo'lganda 2,1 MPa dan va $\varepsilon=8$ va $\lambda_r=6$ bo'lganda 1,85 MPa dan ortmaydi (2.4-rasmda r_i chizig'ini kesib o'tayotgan $Q_1=84$ MDj/kmol egri chizig'i). λ_r va r_i ning yanada yuqoriroq qiymatlarini olish uchun ko'proq issiqlik kiritish zarur, ya'ni yonganida ko'proq issiqlik ajralib chiqadigan yonilg'idan foydalanish kerak.

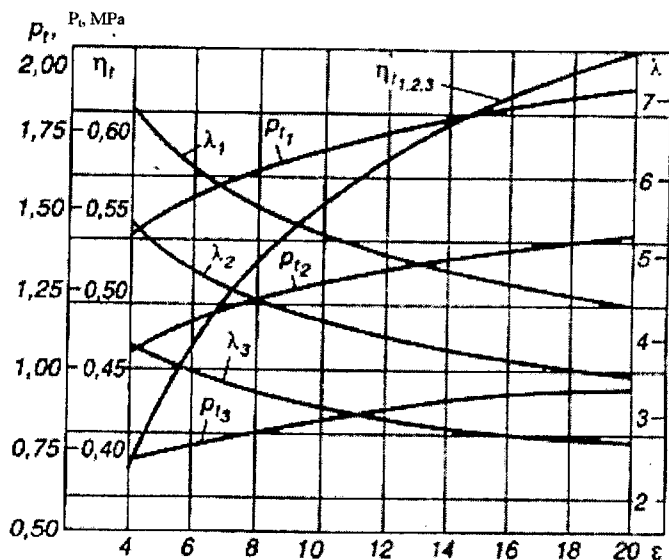


2.4-rasm. Sikl o'rtacha bosimining bosim ortishi darajasiga har xil siqish darajalarida va adiabatga ko'rsatkichlarida ($k=1,4$; $k=1,3$) bog'liqligi.

2.5-rasmda η_b , r_i va λ_r larning keltirilgan issiqlikning uchta qiymatlarida ($Q_1=84, 60$ va 40 MDj/kmol) siqish darajasining o'zgarishga bog'liqligi hisobining natijalari keltirilgan.

2.5-rasmda keltirilgan ma'lumotlardan ko'rinadi-ki, siklning o'rtacha bosimi siklda kiritilgan issiqlik miqdori ko'payishga proporsional ravishda ortadi; bir xil issiqlik miqdori kiritilganda ε kattalashganda r_t ortadi, lekin bu ortish termik f.i.k. ortishga qaraganda sustroq bo'ladi. Masalan, siqish darajasi ε 4 dan 20 gacha kattalashganda η_t 69% ga, r_t esa – faqat 33% ga ortadi. Siqish darajasi ε kattalashganda o'rtacha bosim r_t ortishining intensivligi sikl davomida kiritilgan issiqlik miqdoriga bog'liq bo'lmaydi, ya'ni Q_1 ning istalgan miqdorida (80, 60 yoki 40 MDj/kmol) siqish darajasi ε 4 dan 20 gacha o'zgarganda siklning o'rtacha bosimi 33% ga ortadi.

Bir xil issiqlik miqdori keltirilganda siqish darajasi kattalashishi bilan bosim ortishi darajasining kamayishi λ_R ning ε^{k-1} ga teskari proporsional bog'langanligiga (2.6-formula) mos keladi.



2.5-rasm. Issiqlik o'zgarmas hajmda kamaytiriladigan sikl termik f.i.k., o'rtacha bosimi va bosim ortishi darajasining har xil issiqlik miqdori keltirilganda siqish darajasiga bog'liqligi ($r_a=0,1$ MPa; $T_a=350$ K; $k=1,35$; $R=0,008\ 315$ MDj/(kmol·grad) indekslar: 1 – $Q_1=80$ MDj/kmol; 2 – $Q_1=60$ MDj/kmol; 3 – $Q_1=40$ MDj/kmol bo'lganda.

Qisqa xulosalar

1. Ushbu siklda issiqlikning minimal yo'qotilishi ishchi jism sifatida havodan foydalanilganda bo'ladi va $\varepsilon=12$ da 37% dan, $\varepsilon=20$ da 30,5% dan kam bo'lmaydi (2.3-rasmga qarang). Ishchi jism sifatida yonilg'i-havo aralashmasidan foydalanganda issiqlik yo'qotilishi ortadi.

2. Benzin-havo aralashmasi yonganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdoriga taxminan teng $Q=84$ MDj/kmol miqdorda issiqlik kiritilganda sikl o'rtacha bosimining maksimal qiymati $\varepsilon=12$ bo'lganda 2,0 Mpa dan, $\varepsilon=20$ bo'lganda esa 2,1 Mpa dan ortmaydi (2.4-rasmga qarang).

3. Ushbu sikl bo'yicha real dvigatelning ishchi jarayonini $\varepsilon=11-12$ dan katta bo'lmagan siqish darajalarida amalga oshirish maqsadga muvofiq bo'ladi. Siqish darajasi bundan orttirilganda siklning termik f.i.k. va o'rtacha bosimi (solishtirma ish) sezilarli ortadi—siqish darajasi bir birlikka kattalashganda η_t 1–2% ga, ρ_t 0,7–1,3% ga ortadi.

4. Siqish darajasining $\varepsilon=11-12$ dan katta qiymatlarida siklning maksimal bosimi r_t qiymati sezilarli darajada ortadi, natijada real dvigatel krivoship-shatunli mexanizmga tushadigan kuchlar keskin ortadi, ishqalanishga (mexanik) yo'qotishlar mos ravishda kattalashadi. Bundan tashqari, bu dvigatellarda siqish darajasining ortishi distantsion yonish paydo bo'lish havfini oshiradi.

2.5. Issiqlik dastlab o'zgarmas hajmda, so'ngra o'zgarmas bosimda keltiriladigan nazariy sikl (aralash nazariy sikl)

Yonilg'i siqish issiqligidan alanganadigan dvigatellarda (dizellarda) yonilg'ining yonishi dastlab yu.ch.h. yaqinida katta tezlikda sodir bo'ladi, so'ngra sekinlashadi va yonilg'ining bir qismi kengayish jarayonida yonadi. Nazariy sikllarda yonilg'ining bir qismi o'zgarmas hajmda, qolgani – o'zgarmas bosimda keltiriladi deb qabul qilinadi. Bu holda porshenli dizelning nazariy sikl adiabatik siqish as (2.6-rasm) va kengayish zv' ja-

rayonlari, ishchi jismga issiqlikning izoxorali sz' va izobarali zz' keltirilishi va ishchi jismdan issiqlikning termodinamikaning ikkinchi qonuniga muvofiq sovuq manbaga uzatilishi va izoxora jarayonidan tarkib topadi.

Siklning termik f.i.k.

Termik f.i.k.

$$\eta_t = 1 - Q_2/Q_1.$$

Ishchi jismga $V=\text{konst}$ (sz' izoxora bo'ylab) va $r=\text{sonst}$ (zz' izobara bo'ylab) keltirilgan issiqlik miqdori $Q_1'+Q_1''$ va $V=\text{sonst}$ (va izoxora bo'ylab) sovuq manbaga uzatilgan issiqlik miqdori Q_2 larning farqidan nazariy siklda gazlar bajargan ishni aniqlaymiz:

$$AL_t = Q_1' + Q_1'' - Q_2.$$

Mos ravishda izoxora va izobara bo'ylab keltirilayotgan issiqlik miqdori

$$Q_1' = Gs_v(T_z' - T_s) \text{ va } Q_1'' = Gs_r(T_z - T_z'),$$

bulardan keltirilgan issiqlikning umumiy miqdori

$$Q_1 = Q_1' + Q_1'' = Gs_v[T_z' - T_s + k(T_z - T_z')].$$

Uzatilayotgan issiqlik miqdori

$$Q_2 = Gs_v(T_v - T_a).$$

Aralash nazariy siklning termik f.i.k. ni aniqlovchi formulaga Q_1 va Q_2 larni qo'yib, quyidagini olamiz

$$\eta_t = 1 - (T_v - T_a)/[T_z' - T_s + k(T_z - T_z')].$$

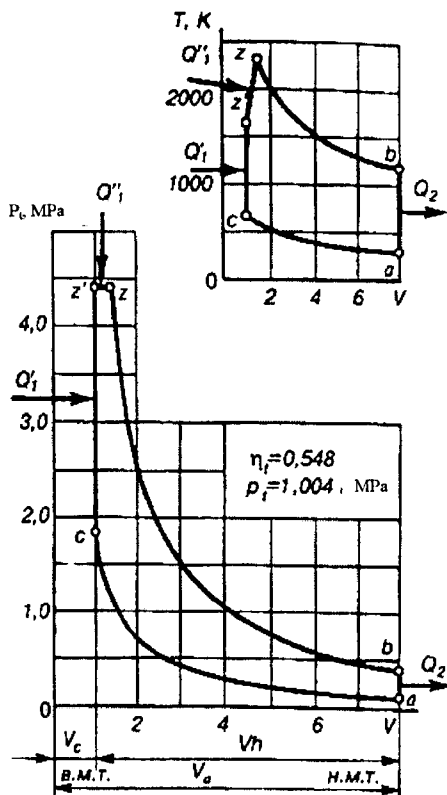
Hamma haroratlarni gazning chiqish boshlanishidagi harorati T_a orqali ifodalaymiz:

$$\begin{aligned} T_s &= T_a \varepsilon^{k-1}, & T_z' &= T_a \varepsilon^{k-1} \lambda_R; \\ T_z &= T_a \varepsilon^{k-1} \lambda_R \rho, & T_v &= T_a \lambda_R \rho^k, \end{aligned}$$

bu yerda, $\rho = V_z/V_s$ - dastlabki kengayish darajasi.

Haroratlarning olingan qiymatlari siklini termik f.i.k. tenglamasiga qo'yamiz, u holda:

$$\eta_t = 1 - (1/\varepsilon^{k-1})(\lambda_R \rho^k - 1)/[\lambda_R - 1 + k\lambda_R(\rho - 1)]. \quad (2.7)$$



2.6-rasm. Aralash nazariy siklning R-V va T-V diagrammalari.

Siklning o'rtacha bosimi

Siklning o'rtacha bosimi

$$p_t = \frac{L_t}{V_h} = \frac{Q_1 \eta_t}{V_h}$$

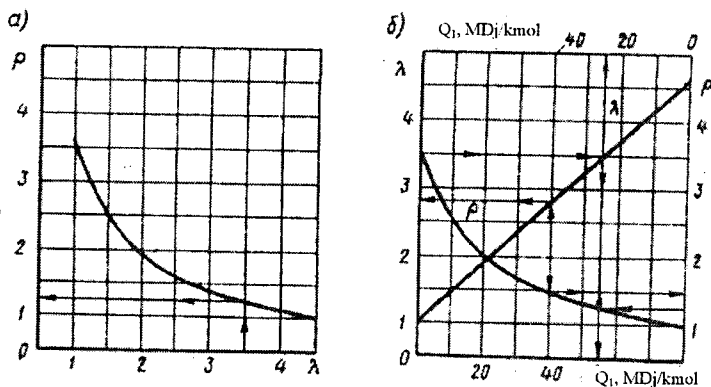
Ma'lum termodinamik nisbatlar asosida quyidagi ifodani olamiz:

$$p_t = p_a \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \frac{\lambda_p - 1 + k \lambda_p (\rho - 1)}{k - 1} \eta_t. \quad (2.8)$$

Sikl termik f.i.k. va o'rtacha bosimlarining tahlili

Siklga kiritiladigan Q_1' va Q_1'' issiqlik miqdorlari nisbati $Q_1'=Q_1$ va $Q_1''=0$ dan $Q_1'=0$ va $Q_1''=Q_1$ gacha oraliqda o'zgarishi mumkin. $Q_1'=Q_1$ va $Q_1''=0$ bo'lganda issiqlikning hammasi o'zgarmas hajmda keltiriladi va sikl issiqlik o'zgarmas hajmda kiritiladigan nazariy siklga aylanadi. $Q_1'=0$ va $Q_1''=Q_1$ bo'lganda issiqlikning hammasi o'zgarmas bosimda keltiriladi va sikl issiqlik o'zgarmas bosimda kiritiladigan nazariy siklga aylanadi.

Q_1' va Q_1'' larning hamma oraliq qiymatlarida ushbu keltirilgan issiqlik miqdori Q_1 va berilgan siqish darajasi ε uchun λ_R va ρ lar orasida aniq o'zaro bog'lanish mavjud. $Q_1=80$ MDj/kmol va $\varepsilon=16$ bo'lganda bosimning ortish darajasi λ_R va dastlabki kengayish darajasi ρ orasidagi bog'lanish 2.7,a-rasmda keltirilgan, 2.7,b-rasmdagi chiziqlar bo'yicha esa tanlab olingan λ_R va ρ qiymatlari bo'yicha $V=\text{sonst}$ da keltirilgan issiqlik miqdori aniqlanadi.



2.7-rasm. Bosim ortishi darajasi va dastlabki kengayish darajasi orasidagi bog'liqlik ($\varepsilon=16$; $Q_1=Q_1'+Q_1''=80$ MDj/kmol).

Masalan, $\lambda_R=3,5$ va $\rho=1,25$ (2.7,a-rasm) qiymatlarga $Q_1'=55$ MDj/kmol – $V=\text{konst}$ bo'lganda keltirilgan issiqlik va $Q_1''=25$ MDj/kmol – $r=\text{konst}$ bo'lganda keltirilgan issiqlik miqdorlari mos keladi. (2.7,b-rasm). Agar $V=\text{sonst}$ va $r=\text{konst}$ da keltirilgan issiq-

lik miqdorlari, masalan, $Q_1' = Q_1'' = 0,5$ $Q_1 = 40$ MDj/kmol, berilgan bo'lsa, 2.7, b-rasmdagi chiziqlardan $\lambda_R = 2,8$ va $\rho = 1,5$ qiymatlari topiladi.

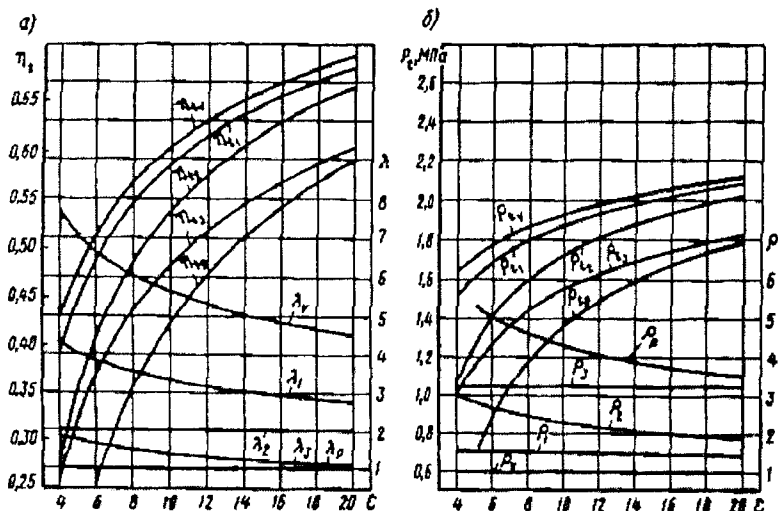
(2.7) va (2.8) formulalar va oldin ko'rilgan siklning analitik bog'lanishlarini tahlil qilib, quyidagi xulosani qilish mumkin:

Bir xil boshlang'ich shartlarda va keltirilgan issiqlikning bir xil miqdorida issiqlik aralash kiritiladigan sikl termik f.i.k. va o'rtacha bosimi qiymatlari issiqlik o'zgarmas hajmda keltiriladigan sikl termik f.i.k. va o'rtacha bosimi qiymatlari issiqlik o'zgarmas hajmda keltiriladigan siklning mos η_k va ρ_k qiymatlaridan doim kichik va issiqlik o'zgarmas bosimda keltiriladigan siklning mos η_k va ρ_k qiymatlaridan doim katta bo'ladi. Bu qanday 2.8, a, b-rasmda grafiklar ko'rinishda ifodalangan hisobi ma'lumotlar bilan tasdiqlanadi.

2.8-rasmda issiqlik uch har xil sharoitlarda keltiriladigan aralash siklning termik f.i.k. va o'rtacha bosimi hisobining natijalari keltirilgan:

1) Siqish darajasining hamma qiymatlarida o'zgarmas hajmda keltirilgan issiqlik miqdori Q_1' o'zgarmas va o'zgarmas bosimda keltirilgan issiqlik miqdori Q_1'' ga teng, ya'ni $Q_1' = Q_1'' = 0,5$ $Q_1 = 42$ MDj/kmol bo'lib qoladi. Bunda bosimning ortish darajasi λ_R va dastlabki kengayish darajasi ρ qiymatlari, siqish darajasi ε o'zgarishiga qarab, o'zgarib boradi. Sikl, termik f.i.k. va o'rtacha bosim o'zgarishining xarakteri $V = \text{konst}$ da issiqlik keltiriladigan sikl mos parametrlari o'zgarishining xarakteriga taxminan mos keladi (2.8, a, b-rasmdagi 1 va v indeksli egri chiziqlar);

2) Siqish darajasining hamma qiymatlarida bosimning ortish darajasining qiymati doimiy $\lambda_R = 2$ saqlanib keladi. Natijada siqish darajasi ortishi ε bilan o'zgarmas hajmda keltiriladigan issiqlik miqdori Q_1' ortadi, o'zgarmas bosimdagi Q_1'' esa – qisqaradi. Shu sababli ε ortganda siklning termik f.i.k. va o'rtacha bosimi, birinchi holatdagiga qaraganda, intensivroq ortadi va katta siqish darajalarida ($\varepsilon = 17-20$) ularning qiymatlari issiqlik $V = \text{konst}$ da keltiriladigan sikl mos ko'rsatkichlarning qiymatlariga yaqinlashadi (2.8-rasm, 2 indeksli chiziqlar);



2.8-rasm. Issiqlik har xil usullarda keltirilganda nazariy sikllar termik f.i.k. va o'rtacha bosimining siqish darajasiga bog'liqligi ($r_a=0,1$ MPa; $T_a=350$ K; $k=1,4$; $Q_1=84$ MDj/kmol; $V_a=\text{konst}$).

3) Siqish darajasining hamma qiymatlarida dastlabki kengayish darajasining qiymati doimiy $\rho=3,2$ saqlanib qoladi. Natijada ε ortishi natijasida $V=\text{konst}$ da keltirilgan issiqlik qisqaradi, $r=\text{konst}$ bo'lganda esa – ortadi. Siklning termik f.i.k. va o'rtacha bosimi o'sishining oldingi ikki holdagiga nisbatan intensivligi sustroq, ularning qiymatlari esa $r=\text{sonst}$ da issiqlik kiritiladigan siklning η_t va ρ_t qiymatlariga yaqinlashadi (2.8-rasm, 3 va r indeksli chiziqlar).

Nazariy sikllarni batafsilroq tahlil qilish uchun sikllar termik f.i.k. va o'rtacha bosimi o'zgarishidan tashqari sikllar maksimal haroratlari va bosimlari hamda kengayishi oxiridagi haroratlar qiymatlarining o'zgarishini ko'rib chiqish lozim. Real sharoitlarda bosimlarning maksimal qiymatlari dvigatel detallarining ruxsat etilgan kuchlanishi sharti bilan, haroratlarning maksimal qiymatlari esa, bundan tashqari, dvigatelning berilgan yonilg'ida

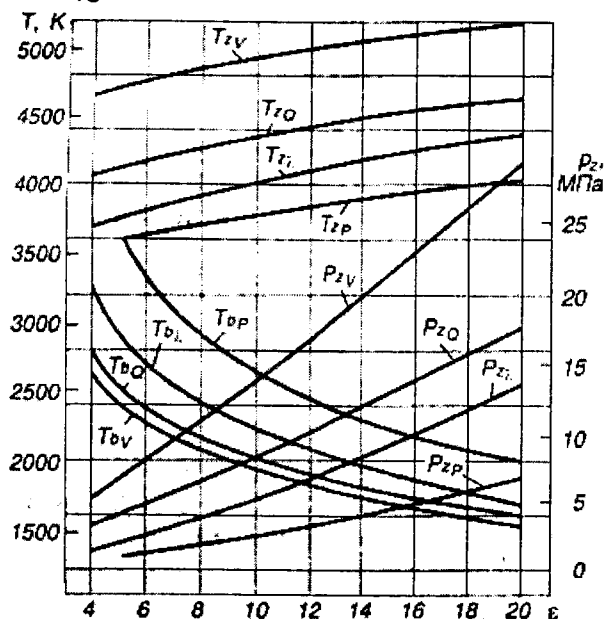
depanattsiyasiz ishlash sharti va moy sifati bilan cheklanadi. Kengayish oxiridagi harorat ham katta ahamiyatga ega; haqiqiy sikllarda ishchi jism (ishlangan gazlar) silindrdan oqib chiqqa boshlaydi. Dvigatel chiqaruvchi organlarning ishonchli ishlashi kengayish oxiridagi haroratga ma'lum cheklanishlar o'rnatilishi hisobiga erishiladi.

Indekslar: $V - V = \text{konst}$ da issiqlik keltiriladigan sikl; 1 – $Q_1' = Q_1'' = 0,5$ $Q_1 = 42$ MDj/kmol da issiqlik aralash keltiriladigan sikl; 2 – $\lambda_R = 2 = \text{konst}$ da issiqlik aralash keltiriladigan sikl; 3 – $\rho = 3,2 = \text{konst}$ da issiqlik aralash keltiriladigan sikl; $r - r = \text{konst}$ da issiqlik keltiriladigan sikl.

2.9-rasmda yuqorida ko'rib o'tilgan sikllar uchun sikl haroratlari va o'rtacha bosimi maksimal qiymatlari hamda kengayish oxiridagi haroratlarning siqish darajasiga bog'lanishini ifodalovchi chiziqlar keltirilgan. Tabiiyki, nazariy sikllar parametrlarning absolyut qiymatlari haqiqiy sikllarda olinadigan qiymatlarni aks ettirmaydi, lekin nazariy sikllar ko'rilayotgan parametrlarning nisbatlari, haqiqiy sikllardagi bu nisbatlar xarakterini yetarli darajada belgilaydi.

2.9-rasmda keltirilgan grafiklardan shu narsa ko'rinadiki, maksimal harorat va bosimlarning eng katta qiymatlari issiqlik $V = \text{sonst}$ da (V indeksli chiziqlar) keltiriladigan siklda, eng kichiklari esa issiqlik $r = \text{konst}$ da (r indeksli chiziqlar) keltiriladigan siklda hosil bo'ladi. Issiqlik aralash keltiriladigan siklda T_z va r_z ning oraliq qiymatlari hosil bo'ladi. (Q va λ indeksli chiziqlar). Issiqlik $V = \text{konst}$ da keltiriladigan siklda siqish darajasining ortishi bilan maksimal harorat va bosimning sezilarli ortishi, ushbu siklni real sharoitda katta ε qiymatlarida qo'llashni cheklaydi. Lekin bu siklda kengayish oxirida gazlarning harorati boshqa sikllardagiga nisbatan eng past bo'ladi. Issiqlik aralash keltiriladigan siklda, $V = \text{konst}$ va $r = \text{konst}$ da issiqlik keltirilishi teng taqsimlansa, siklning maksimal harorati deyarli 600 K (yoki

11%)ga pasayadi, kengayish oxiridagi harorat esa atigi 60–100 K (yoki 3,3–4,7%)ga ko'tariladi.



2.9-rasm. Maksimal harorat T_z , bosimi r_z va kengayish oxiridagi harorat T_v larning issiqlik keltirilishining har xil usullarida siqish darajasiga bog'liqligi ($\rho_a=0,1$ Mpa; $T_a=350$ K; $k=1,4$; $Q_1=84$ MDj/kmol).

Indekslar: $V - V=\text{konst}$ da issiqlik keltiriladigan sikl; $Q - Q_1'=Q_1'=0,5$ $Q_1=42$ MDj/kmol da issiqlik aralash keltiriladigan sikl; $\lambda - \lambda=2$ da issiqlik aralash keltiriladigan sikl; $r - r=\text{konst}$ da issiqlik keltiriladigan sikl.

O'tkazilgan tahlil asosida quyidagi xulosalarni chiqarish mumkin

1. Issiqlik aralash keltiriladigan sikl asosiy termodinamik ko'rsatkichlarining qiymatlari issiqlik $V=\text{konst}$ va $r=\text{konst}$ da keltiriladigan sikllar mos ko'rsatkichlari qiymatlarining orali-g'ida bo'ladi.

2. Issiqlik $V=\text{konst}$ va $r=\text{konst}$ da keltiriladigan sikllar issiqlik aralash keltiriladigan siklning xususiy hollari bo'ladi. Bunda issiqlik $V=\text{konst}$ va $r=\text{konst}$ da keltiriladigan sikllar chegaraviy bo'lib, ular amalga oshirilganda η , r , T_z va r_z larning bir xil boshlang'ich sharoitlarda va keltirilayotgan issiqlikning bir xil miqdorida mos ravishda maksimal va minimal qiymatlari hosil bo'ladi.

3. Issiqlik aralash keltiriladigan siklda $V=\text{konst}$ da keltiriladigan issiqlik ulushining ortishi (λ kattalashishi) va $r=\text{konst}$ da keltiriladigan issiqlik ulushining kamayishi (ρ kamayishi) bilan sikl termik f.i.k. va o'rtacha bosimining qiymatlari ortadi.

4. Issiqlik aralash keltiriladigan siklni siqish darajasining yetarli darajada katta qiymatlarida (12 dan katta) va bosim ortishi darajasining mumkin qadar katta qiymatlarida qo'llash maqsadga muvofiq bo'ladi. Nadduvsiz hamma avtomobil va traktor tezyurar dizellari ish sikl bo'yicha ishlaydi.

5. Issiqlik aralash keltiriladigan sikl f.i.k. uchgundan o't oladigan dvigatellar ($V=\text{konst}$ sikl) sikl f.i.k. dan, siqish darajasining katta qiymatlaridan foydalanish hisobiga, katta bo'lishi mumkin.

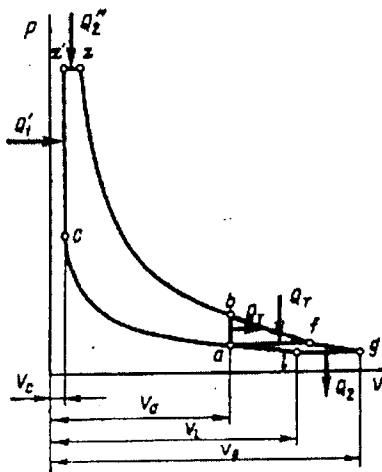
2.6. Nadduvli dvigatellarning nazariy sikllari

Siklning solishtirma ishi (o'rtacha bosimi)ni oshirish maqsadida siqish boshlanishda (2.2- va 2.6-rasmlar, a nuqta) bosimni ko'tarish *nadduv* deb ataladi. Avtomobil va traktor dvigatellarida havoni yoki yonilg'i-havo aralashmasini oldindan kompressorda siqish hisobiga amalga oshiriladi. Kompresor yuritmasi bevosita dvigatel validan gazlar energiyasi hisobiga ishlaydigan gazturbina-gazli, bo'lishi mumkin. Bundan tashqari, siqish boshlanishida bosim ortishini tezlik inertsiasini hisobiga hamda dvigatel kiritish tizimidagi inertsion to'liqlik hodisalar hisobiga, ya'ni «inertsion nadduv» hisobiga olish mumkin.

Inertsion nadduvda va mexanik yuritmalik kompressorli nadduvda nazariy sikllar borishining tavsifi o'zgarib qolmaydi. Faqat kiritish oxiridagi bosim va harorat o'zgarishiga bog'liq bo'lgan termodinamik parametrlarning muayyan qiymatlari o'zgaradi. Real

Gazturbinali nadduvda porshenli qism, gaz turbinasi va kompressordan tarkib topgan kombinatsiyalashgan dvigatel hosil bo'ldi. Avtomobil va traktor dvigatellarida turbina oldida o'zgarmas bosimli turbokompressorlardan foydalaniladi. 2.10-rasmda keltirilgan nazariy sikl kombinatsiyalashgan dvigatel ishchi jarayoni-ning prototipi bo'ladi.

Turbina oldida o'zgarmas bosimli sikl *asz'z* va dvigatelning porshenli qismida, *afgla* sikli esa – turbokompressorda amalga oshadi. Dvigatel porshenli qismi siklda $V = \text{sonst}$ da olib ketilayotgan issiqlik Q_T (va chizig'i), o'zgarmas bosimda turbokompressor sikliga keltiriladi (*af* chizig'i). So'ngra gaz turbinada kengayish adiabatada bo'yicha davom etadi (*fg* chizig'i), o'zgarmas bosimda Q_2 issiqlik olib ketiladi (*gl* chizig'i) va gaz kompressorada adiabatik siqiladi (*la* chizig'i).



2.10-rasm. Kombinatsiyalashgan dvigatellarning nazariy sikllari.

Bunday siklning termik f.i.k.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon_0^{k-1}} \frac{\lambda \rho^k - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}, \quad (2.9)$$

bu yerda $\varepsilon_0 = \varepsilon \varepsilon_k = V_1/V_s$ – kombinatsiyalashgan dvigatelning umumiy siqish darajasi, qiymati porshenli qism siqish darajasi $\varepsilon = V_a/V_s$ va kompressor siqish darajasi $\varepsilon_k = V_1/V_a$ ko‘paytmasiga teng.

Dvigatel porshengli qismining ishchi hajmiga nisbatan siklning o‘rtacha bosimi

$$p_t = p_a \frac{\varepsilon_0^k}{\varepsilon - 1} \frac{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}{k - 1} \eta_t. \quad (2.10)$$

Kengayish davom etgan va turbina oldida gazlar bosimi o‘zgaruvchi bo‘lgan nazariy sikl *asz’zvf gla* (2.10-rasm) porshenli dvigatel va turbokompressordan tarkib topgan kombinatsiyalashgan dvigatelda amalga oshirishi mumkin. Bunda ishchi jismning yuqori bosim va nisbatan kichik hajm jabhasiga mos siklning qismi *asz’zv* porshenli qismda, siklning *vfg la* qismi esa turbokompressorda amalga oshadi. Davomli kengayish gaz turbinasida *vfg* adiabata bo‘yicha, *r=sonst* da issiqlik olib ketilishi *gl* uchastkada va dastlabki siqish va adiabata bo‘yicha havo kompressorida amalga oshadi.

Bunday siklning termik f.i.k. quyidagi formula bo‘yicha aniqlanadi:

$$\eta_t = 1 - \frac{k}{\varepsilon_0^{k-1}} \frac{\rho \lambda^{1/k} - 1}{\lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)}. \quad (2.11)$$

Bu siklda ishlangan gazlarning kinetik energiyasidan qo‘shimcha foydalanish hisobiga siklning f.i.k. 70–75% gacha ortadi. Sikl ishning absolyut qiymati ham biroz ortadi, lekin 2.10-formula bilan aniqlanadigan siklning o‘rtacha bosimi keskin pasayadi. Ushbu termik sikldan foydalanish qator konstruktiv qiyinchiliklarni yechishga bog‘liq.

III BOB. YONILG'I, ISHCHI QISMLAR VA ULARNING XOSSALARI

3.1. Umumiy ma'lumotlar

Haqiqiy siklda ish bajarilishi uchun zarur bo'lgan issiqlik energiyasi dvigatel silindrlarida yonilg'i yonganida hosil bo'ladi. Avtotraktor dvigatellari uchun asosiy yonilg'ilar-benzinlar va dizel yonilg'ilaridir; ular neftni to'g'ri haydash jarayonlari yordamida olinadi.

Avtotraktor dvigatellarida ishlaydigan yonilg'ilarning fizik-kimyoviy xossalari dvigatel turiga, konstruksiyasining xususiyatlariga, ishchi jarayon parametrlariga va ekspluatatsiya sharoitlariga bog'liq bo'lgan talablarga javob berishi kerak.

Demak, yonilg'ining istalgan turi:

- yonilg'ining to'liq yonish, bunda yonish mahsulotlari tarkibida atrof-muhitni ifloslovchi zaxarli moddalar bo'lmashligi yoki ruxsat etilgan minimal darajada bo'lishi;

- atrof-muhitning har xil haroratlarida har xil turdagi dvigatellarning zamonaviy talablariga javob beradigan bug'lanuvchanlikka ega bo'lishi;

- har xil iqlim sharoitlarida dvigatel ishonchli o't olishini ta'minlash va dvigatelning hamma ish rejimlarida aralashma hosil qilish va ta'minlash tizimlarining barqaror ishlashi;

- yonish jarayonining dvigatel detallariga tushadigan yukning ruxsat etilgan oraliqda bo'lishini ta'minlaydigan darajada yumshoq kechish hamda soxta va kokslanishlar hosil bo'lmashligi;

- dvigatelning hamma ish rejimlarida yuqori quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlariga ega bo'lishni ta'minlashi kerak.

Benzinlar yonilg'i-havo aralashmasi uchqundan majburan o't oldiriladigan porshenli va rotorli porshenli ichki yonuv dvigatellari uchun mo'ljallangan.

Avtomobil benzinlarining asosiy ko'rsatkichi uning *oktan soni* (os) dir; u yonilg'ining *detonatsiyali yonishga* chidamliligini

tavsiflaydi. Benzinning oktan soni (os) n-gentan (os=0) bilan aralashmadagi izooktan (os=100)ning (%) da hajmiy miqdoriga teng. Oktan soni bir silindrli qurilmada ikki: motor (GOST 511-82) va tadqiqot (GOST 8226-82) metodlarida aniqlanadi. Motor metodi bo'yicha sinovlar, tadqiqot metodiga nisbatan, bir silindrli qurilmaning ancha og'ir ish rejimida o'tkaziladi. Motor metodi bo'yicha aniqlangan oktan soni ko'p jihatdan yuqori farsirovka rejimida ishlaydigan dvigatel yonilg'isining detonatsion chidamliligini qisman yuklarda ishlayotgan benzini tavsiflaydi. Bu metodlar bilan aniqlangan benzin oktan sonlari orasidagi farq – *benzinning detonatsiyaga sezgirligi* deb ataladi.

Uchqundan alangalanadigan dvigatellar uchun ruxsat etiladigan siqish darajasi va yonilg'ining zaruriy oktan soni orasidagi bog'liqlik:

Siqish darajasi.....	7,8–8,5	8,5–10,0	10,0–12,0
Oktan soni.....	74–80	80–90	90–100

Yonilg'ining oktan soni bir xil bo'lganda karbyuratorli dvigatel uchun siqish darajasi quyi chegaradan tanlanadi kirish trubasiga benzin purkaladigan dvigatellar uchun esa siqish darajasining kattaroq qiymatlaridan foydalanish mumkin. Nadduv qo'llanganda oktan soni kattaroq bo'lgan benzindan foydalanish zarur.

Avtotraktor dizellari va gazturbinali dvigatellar uchun mo'ljallangan **dizel yonilg'i** oltingugurt miqdoriga bo'lgan standart talablarini ta'minlovchi nisbatlarda to'g'ri haydalgan va gidrotozalangan funksiyalarni kompaundlash yo'li bilan olinadi. Hidrotozalash uchun ashyo sifatida to'g'ri haydash o'rta distansiyali fraksiyalarning ikkilamchi jarayonlar, ko'pincha to'g'ri haydashdan olingan dizel yonilg'isi va katalitik krekingdan olingan yengil gazoyk fraksiyalarning aralashmasidan foydalaniladi.

Dizel yonilg'isining asosiy ko'rsatkichi – uning tseton soni (TSS) dir, u birinchi navbatda yonilg'ining o'z-o'zidan alangalanishi qobiliyatini tavsiflaydi. Dizel yonilg'isining tseton soni (TSS) α -metilnaftalin (TSS=0) bilan aralashmadagi tseton (TSS=100) miqdoriga son jihatidan teng bo'ladi; bu aralashma alangalanish harorati bo'yicha sinalayotgan dizel yonilg'isiga ekvivalent bo'ladi.

Dizel dvigatellari uchun optimal tsenton sonlari 40–50 oralig'ida bo'ladi. Evropa standarti dizel yonilg'isi tseton soni uchun

pastki chegara 48 birlik deb o'ratilgan.

Benzin va dizel yonilg'ilaridan tashqari avtotraktor dvigatellarida sintetik yonilg'ilar hamda tabiiy va sanoat yonuvchi gazlari, spirtlar va efirlarning har xil turlaridan foydalanishadi.

Avtotraktor dvigatellarida ishlatiladigan yonilg'ilarning hamma turlari turli uglevodorodlarning aralashmasi bo'lib, ular bir-biridan element tarkibi bilan farqlanadi. Suyuq yonilg'ilar (benzin, dizel yonilg'isi)ning *elementar tarkibi* massa (kg) birliklarida, gazsimon yonilg'ilarniki esa hajmiy (m^3 yoki mol) birliklarda ifodalanadi.

Suyuq yonilg'ilar uchun

$$S + N + O = 1, \quad (3.1)$$

bu yerda S, N va O – 1 kg yonilg'idagi uglerod, vodorod va kislorodning massaviy ulushlari.

Gazsimon yonilg'ilar uchun

$$\sum S_N G'_M O_G + N_2 = 1, \quad (3.2)$$

bu yerda $S_N N_M O_G - 1m^3$ yoki 1 mol gazsimon yonilg'i tarkibiga kiruvchi har bir gazning hajmiy ulushi.

Benzin va dizel yonilg'ilari o'rtacha elementar tarkibi masaviy ulushlarda 3.1-jadvalda, gazsimon yonilg'ilarniki esa hajmiy ulushlarda 3.2-jadvalda keltirilgan.

3.1-jadval

Suyuq yonilg'i	Tarkibi, kg		
	C	H	O
Benzin	0,855	0,145	-
Dizel yonilg'isi	0,870	0,126	0,004

3.2-jadval

Gazsimon yonilg'i	Tarkibi, m^3 yoki mol								
	Metan CH_4	Etan C_2H_6	Propan C_3H_8	Butan C_4H_{10}	Og'ir uglevodorodlar C_nH_m	Vodorod H_2	Uglerod oksidi CO	Karbonat anhidrid CO_2	Azot H_2
Tabiiy gaz	90,0	2,96	0,	0,55	0,42	0,28	0,28	0,47	5,15
Sintez gaz	52,0	-	17	-	3,4	9,0	11,0	-	24,6
Yorituvchi gaz	16,2	-	-	-	8,6	27,8	20,2	5,0	22,2

3.2. Yonilg'i yonishidagi kimyoviy reaksiyalar

Yonilg'i massaviy yoki hajmiy birligining to'liq yonishi uchun aniq miqdordagi havo zarur, u *nazariy zarur bo'lgan havo miqdori* deb ataladi va yonilg'ining elementlar tarkibi bo'yicha topiladi.

Suyuq yonilg'ilar uchun

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) \quad (3.3)$$

yoki

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) \quad (3.4)$$

bu yerda l_0 – 1 kg yonilg'i yonishi uchun nazariy zarur bo'lgan havo miqdori (kg da), kg havo/kg yonilg'i; L_0 – 1 kg yonilg'i yonish uchun nazariy zarur bo'lgan havo miqdori (mol da), kmol havo/kg yonilg'i; 0,23-1 kg havodagi kislorodning massaviy ulushi; 0,208-1 kmol havodagi kislorodning hajmiy ulushi.

Bunda

$$l_0 = \mu_x L_0, \quad (3.5)$$

bu yerda $\mu_h = 28,96$ kg/kmol-1 kmol havoning massasi

Gazsimon yonilg'ilar uchun

$$L'_0 = \frac{1}{0.208} \sum \left(n + \frac{m}{4} - \frac{r}{2} \right) C_n H_m O_r, \quad (3.6)$$

bu yerda L'_0 – 1 mol yoki 1 m³ yonilg'i yonishi uchun nazariy zarur bo'lgan havo miqdori (mol yoki m³ da), (mol havo/mol yonilg'i yoki m³ havo/m³ yonilg'i).

Dvigatelning ishlash sharoiti, quvvatni sozlash usuli, aralashma hosil qilish turi va yonilg'ining sharoitlariga qarab, yonilg'ining har bir massaviy yoki hajmiy birligiga yonilg'i to'liq yonishi uchun nazariy zarur bo'lganga nisbatan ko'p, teng yoki kam havo miqdori to'g'ri keladi.

1 kg yonilg'i yonishida ishtirok etayotgan havo miqdori l (yoki L)ning nazariy zarur bo'lgan havo miqdori l_0 (yoki L_0)ga nisbati nazariy *havo ortiqligi koeffitsiyenti* deb ataladi:

$$\alpha = \frac{l}{l_0} = \frac{L}{L_0}. \quad (3.7)$$

Har xil dvigatellar uchun ularning nominal quvvatida α ning quyidagi qiymatlarini qabul qilishadi:

Karbyuratorli dvigatellar	0,80–0,96
Forkamera-fakelli o't oldiriladigan dvigatellar	0,85–0,98 va katta
Uchqundan o't oladigan va yonilg'i pirkaladigan dvigatellar	0,85–1,30
Yonish kamerasi ajralmagan va hajmiy aralashma hosil bo'ladigan dizellar	1,50–1,70
Yonish kamerasi ajralmagan va plyonkali aralashma hosil bo'ladigan dizellar	1,50–1,60
Uyurma kamerali dizellar	1,30–1,45
Old kamerali dizellar	1,40–1,50
Nadduvli dizellar	1,30–2,20

Silindr havo bilan prodovka qilinadigan dvigatellarda havo ortiqligini summar koeffitsiyentidan foydalaniladi

$$\alpha_{\Sigma} = \varphi_n \alpha,$$

bu yerda $\varphi_n=1,0-1,25$ – to'rt taktli dvigatelning prodovka koeffitsiyenti.

Dvigatel ishchi jarayonlari (quvvati)ni forsirovka qilishning samarali yo'llaridan biri α ni kamaytirishdir. Dvigatelning berilgan quvvati uchun havo ortiqligi koeffitsiyentini ma'lum chegaragacha kamaytirish silindr o'lchamlarini ixchamlashtirishga olib keladi. Lekin α qiymati kamayganda yonilg'i to'liq yonmaydi, tejamkorlik va ekologik ko'rsatkichlar yomonlashadi. Amalda dvigatelda yonilg'ining to'liq yonishi faqat $\alpha>1,0$ bo'lganida bo'-

lishi mumkin, chunki $\alpha=1,0$ bo'lganda yonilg'ining har bir zarrachasi kislorodning zarur miqdori bilan ta'minlanadigan yonilg'i-havo aralashmasini hosil qilib bo'lmaydi.

Uchqundan alangalanadigan dvigatellarda yonuvchi aralashma (yangi zaryad) havo va bug'langan yonilg'idan tarkib topadi va quyidagi qiymat bilan aniqlanadi

$$M_1 = \alpha L_0 + \frac{1}{m_{yo}} \quad (3.8)$$

bu yerda M_1 – yonilg'i aralashma miqdori (kmol yon. aral./kg yonilg'i); m_{yo} – yonilg'i bug'larining molekulyar massasi.

Turli yonilg'ilar uchun m_{yo} ning quyidagi qiymatlari qabul qilinadi: avtomobil benzinlari uchun 110–120 kg/kmol; dizel yonilg'ilari uchun – 180–200 kg/kmol.

Siqishdan alangalanadigan dvigatellar uchun M_1 aniqlangan havo hajmiga nisbatan kichik miqdor sifatida $1/m_{yo}$ ni hisobga olishmaydi.

Shu sababli bu dvigatellar uchun

$$M_1 = \alpha L_0 \quad (3.9)$$

Gazli dvigatellar uchun

$$M_1' = \alpha L_0' \quad (3.10)$$

bu yerda M_1' – yonuvchi aralashma miqdori (mol yon. aral./mol yonilg'i yoki m^3 yon. aral./ m^3 yonilg'i).

Istalgan yonilg'i uchun yonuvchi aralashma massasi

$$m_1 = \alpha \ell_0 + 1 \quad (3.11)$$

bu erda m_1 – yonuvchi aralashmaning massaviy miqdori, kg yon. aral./kg yonilg'i.

Yonilg'i to'liq yonganida ($\alpha \geq 1$) yonish mahsulotlari tarkibi karbonat angidrid gazi CO_2 , suv bug'i H_2O , ortiqcha kislorod O_2 va N_2 lardan iborat bo'ladi.

Yonilg'i to'liq yonganida ($\alpha \geq 1$) suyuq yonilg'i yonish mahsulotlari alohida komponentlarning miqdori:

Karbonat angidrid (kmol CO_2/kg yonilg'i)

$$M_{\text{SO}_2} = S/12;$$

Suv bug'i (kmol $\text{H}_2\text{O}/\text{kg}$ yonilg'i)

$$M_{\text{H}_2\text{O}} = H/2; \quad (3.12)$$

Kislorod (k mol O_2/kg yonilg'i)

$$M_{\text{O}_2} = 0,208(\alpha - 1)L_0$$

Azot (kmol N_2/kg yonilg'i)

$$M_{\text{N}_2} = 0,792\alpha L_0$$

Suyuq yonilg'i to'liq yonganida yonish mahsulotlarining umumiy miqdori (kmol yon.mahsul/kg yonilg'i)

$$M_2 = M_{\text{CO}_2} + M_{\text{H}_2\text{O}} + M_{\text{O}_2} + M_{\text{N}_2} = C/12 + H/2 + (\alpha - 0,208)L_0 \quad (3.13)$$

$\alpha \geq 1$ bo'lganda gazsimon yonilg'i yonish mahsulotlari alohida komponentlarining miqdori:

karbonat angidrid (kmol SO_2/mol yonilg'i)

$$M'_{\text{CO}_2} = \sum n (C_n H_m O_r):$$

suv bug'i (kmol $\text{N}_2\text{O}/\text{kg}$ yonilg'i)

$$M'_{\text{H}_2\text{O}} = \sum \frac{m}{2} (C_n H_m O_r), \quad (3.14)$$

kislorod (k mol O_2/kg yonilg'i)

$$M'_{\text{O}_2} = 0,208(\alpha - 1)L_0$$

azot (kmol N_2/kg yonilg'i)

$$M'_{\text{N}_2} = 0,792\alpha L_0 + N_2$$

bu yerda N_2 – azotning yonilg'idagi miqdori, mol.

Gazsimon yonilg'i to'liq yonganida mahsulotlarning umumiy miqdori (mol yon.mahsul./mol yonilg'i)

$$M'_2 = M'_{CO_2} + M'_{H_2O} + M'_{O_2} + M'_{N_2} \quad (3.15)$$

Yonilg'i chala yonganida ($\alpha < 1,0$) yonish mahsulotlari karbonat angidrid CO_2 , uglerod oksidi CO , suv bug'i H_2O , erkin vodorod H_2 va azot N_2 lardan tarkib topadi.

Suyuq yonilg'i chala yonish mahsulotlari alohida komponentlarining miqdori:

Karbonat angidrid (kmol CO_2 /kg yonilg'i)

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \frac{1-\alpha}{1+K} 0,208 L_0;$$

Uglerod oksidi (kmol CO /kg yonilg'i)

$$M_{CO} = 2 \frac{1-\alpha}{1+K} 0,208 L_0;$$

Suv bug'i (kmol H_2O /kg yonilg'i)

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2K \frac{1-\alpha}{1+K} 0,208 L_0; \quad (3.16)$$

vodorod (k mol H_2 /kg yonilg'i)

$$M_{H_2} = 2K \frac{1-\alpha}{1+K} 0,208 L_0;$$

azot (kmol N_2 /kg yonilg'i)

$$M_{N_2} = 0,792 \alpha L_0$$

bu yerda K – doimiy kattalik; u yonish mahsulotlari tarkibidagi vodorodning miqdoriga bo'lgan nisbatga bog'liq (benzinlar uchun $K=0,45-0,50$).

Suyuq yonilg'i chala yonish mahsulotlarining umumiy miqdori (kmol yon. maxsul./kg yonilg'i)

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,792 \alpha L_0 \quad (3.17)$$

Benzinli dvigatel va dizelda yonuvchi aralashma (yangi zar-yad), yonish mahsulotlari va ularning tashkil etuvchilari miqdorining havo ortiqligi koeffitsiyentiga bog'liqligi 3.1- va 3.2-

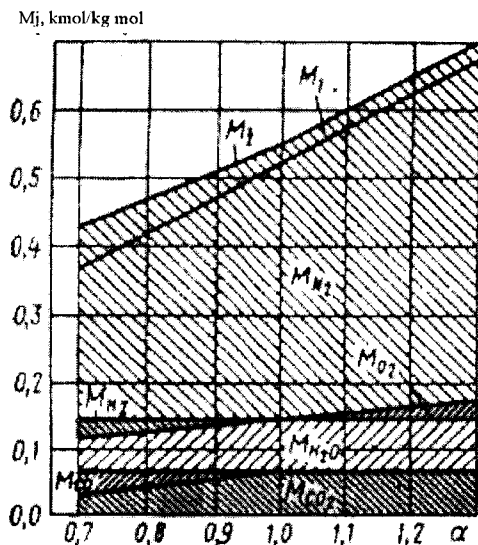
rasmlardagi grafiklarda keltirilgan.

Yonishda ishchi qism mollari miqdorining o'zgarishi quyidagi farqdan topiladi (kmol aral./kg yonilg'i):

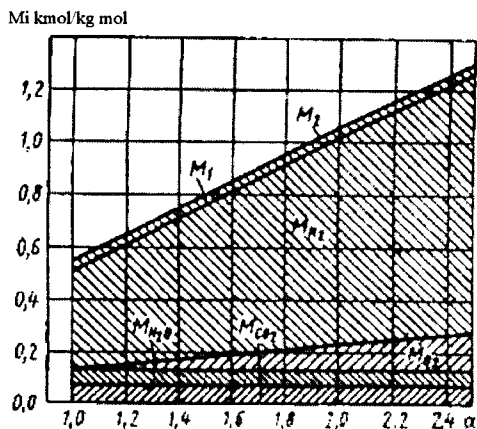
$$\Delta M_2 = M_2 - M_1 \quad (3.18)$$

Suyuq yonilg'i uchun yonish mahsulotlari mollari miqdori yangi zaryad (yonuvchi aralashma) mollari miqdoriga qaraganda doim ko'p bo'ladi. Yonish mahsulotlari hajmining kattalashishi ΔM kimyoviy reaksiyalar natijasida yonilg'i molekularining parchalanishi va yangi molekular hosil bo'lishi oqibatida sodir bo'ladi. Yonish mahsulotlari mollari sonining ortishi-ijobiy omil, chunki yonish mahsulotlari hajmi kattalashadi va natijada kengayishda gazlar foydali ishining biroz ortishiga sabab bo'ladi.

Gazsimon yonilg'ining yonish jarayonida mollar miqdori ΔM ning o'zgarishi yonilg'i tarkibiga kiruvchi uglevodorodlar tabiatiga, ularning miqdoriga, uglevodorodlar, vodorod, uglerod oksidi miqdorlari orasidagi nisbatga bog'liq. U musbat yoki manfiy bo'lishi mumkin.



3.1-rasm. Benzinli dvigatelda yonuvchi aralashma (yangi zaryad) yonish mahsulotlari va ularni tashkil etuvchilarning havo ortiqchilik koeffitsiyentiga bog'liqligi ($m_f=110$).



3.2-rasm. Dizelda yonuvchi aralashma (yangi zaryad) yonish mahsulotlari va ularni tashkil etuvchilarining havo ortiqqligi koeffitsiyentiga bog'liqligi.

Yonishda hajmning nisbiy o'zgarishi *yonuvchi aralashma molekulyar o'zgarishining kimyoviy koeffitsiyenti* μ_0 bilan tavsiflanadi, u yonish mahsulotlari mollari miqdorining yonuvchi aralashma mollari miqdoriga nisbatini ifodalaydi.

$$\mu_0 = M_2/M_1 = 1 + \Delta M/M_1. \quad (3.19)$$

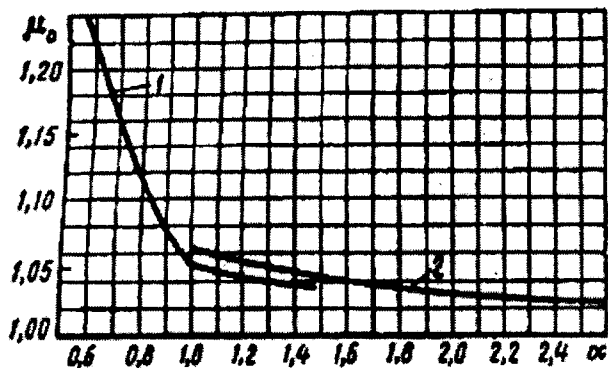
Suyuq yonilg'ilar uchun μ_0 qiymati doim birdan katta va havo ortiqqligi koeffitsiyenti kamayishi bilan ortib boradi (3.3-rasm).

Egri chiziqda $\alpha=1,0$ ga mos nuqtadagi sinish uglerod oksidi CO hosil bo'lishining to'xtashi va yonilg'i uglerodining karbonat angidrid CO₂ hosil qilib to'liq yonishi oqibatida sodir bo'ladi.

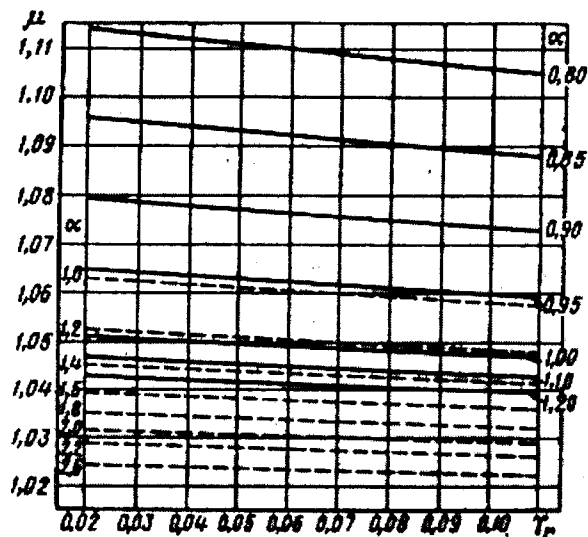
Real dvigatel silindrlarida yonishda yonuvchi aralashma emas, balki ishchi aralashma ishtirok etadi, u yangi zaryad (yonuvchi aralashma) M_1 va qoldiq gazlar M_r dan tarkib topadi.

Qoldiq gazlarning nisbiy miqdori qoldiq gazlar koeffitsiyenti bilan tavsiflanadi.

$$\gamma_r = M_r/M_1 \quad (3.20)$$



3.3-rasm. Yonuvchi aralashma molekulyar o'zgarishi kimyoviy koeffitsiyentining havo ortiqqligi koeffitsiyentiga bog'liqligi:
1 – benzinning havo bilan aralashmasi; 2 – dizel yonilg'isining havo bilan aralashmasi.



3.4-rasm. Ishchi aralashma molekulyar o'zgarishi koeffitsiyentining qoldiq gazlar koeffitsiyenti, yonilg'i tarkibi va havo ortiqqligi koeffitsiyentiga bog'liqligi:
——— – benzin; ——— – dizel yonilg'isi

Yonishda ishchi aralashma (yonuvchi aralashma + qoldiq gazlar) hajmining o'zgarishini *ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining haqiqiy koeffitsiyenti* hisobga oladi, u yongandan keyin silindrdagi gazlar mollari umumiy miqdori ($M_2 + M_r$)ning yonishigacha bo'lgan mollar soni ($M_1 + M_r$) ni ifodalaydi:

$$\mu_0 = (M_2 + M_r)/(M_1 + M_r) = (\mu_0 + \gamma_r)/(1 + \gamma_r). \quad (3.21)$$

(3.21)-ifodadan shu narsa ko'rinadiki, ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining haqiqiy koeffitsiyenti μ qoldiq gazlar koeffitsienti γ_g va yonuvchi aralashma molekulyar o'zgarishining kimyoviy koeffitsiyenti μ_0 ga bog'liq. O'z navbatida μ_0 yonilg'i tarkibi va havo ortiqqligi koeffitsiyenti α ga bog'liq.

μ qiymati o'zgarishiga aynan havo ortiqqligi koeffitsiyenti α eng katta ta'sir o'tkazadi (3.4-rasm). α kamayishi bilan ishchi aralashma molekulyar o'zgarishining haqiqiy koeffitsiyenti ortib boradi va ayniqsa aralashma bo'yiganida ($\alpha < 1$) bu ortish jadalashadi.

μ qiymati quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

benzinli dvigatellar	1,02–1,12
dizellar uchun	1,01–1,06

3.3. Yonilg'i va yonilg'i-havo aralashmasining yonish issiqligi

Yonilg'ining hajmiy yoki massaviy birligi to'liq yonganda ajralib chiqadigan issiqlik miqdori yonilg'ining yonish issiqligi deyiladi.

Yonilg'ining yuqori N_0 va quyi N_i yonish issiqliklarini farqlashadi. Yonishning yuqori issiqligi deganda yonilg'i to'liq yonganida ajralib chiqadigan summar issiqlik miqdori tushuniladi.

Yonishning quyi issiqligi deganda yonilg'i to'liq yonganida ajralib chiqadigan issiqlik miqdori tushuniladi, bunda suv bug'i kondensatsiyalanishi issiqligi N_0 dan bug'ga aylanishining yashi-

rin issiqligi miqdoridan kichik bo'ladi. Ichki yonuv dvigatellarida ishlangan gazlar chiqarishi suv bug'ining kondensatsiyalanishi haroratdan yuqori haroratlarda sodir bo'lishi sababli, yonilg'ining issiqlik qiymatini amalda baholash uchun odatda yonilg'ining quyi yonish issiqligi xizmat qiladi.

Agar suyuq yonilg'ining diametri ma'lum bo'lsa, unig quyi yonish issiqligini (MDj/kg) taxminiy aniqlash uchun D.I. Mendeleyev formulasidan foydalaniladi

$$Nu = 33,91S + 125,60N - 10,89(O - 9) - 2,51(9N - W) \quad (3.22)$$

bu yerda W – yonilg'i massaviy yoki hajmiy birligining yonish mahsulotlaridagi suv bug'i miqdori.

Gazsimon yonilg'i uchun uning quyi yonish issiqligi (MDj/m³)

$$Hu = 12,8CO + 10,8 N_2 + 35,7N_4 + 56,0 S_2N_2 + 59,5S_2N_4 + 63,3S_2N_6 + 90,9S_3N_8 + 119,7S_4N_{10} + 146,2S_5N_{12} \quad (3.23)$$

Avtotraktor yonilg'ilari quyi yonish issiqligining taxminiy qiymatlari:

Yonilg'i	Benzin	Dizel	Tabiiy yonilg'isi	Propan gaz	Butan
Ni	44,0	42,5	35,0	85,5	112,0
	MDj/kg	MDj/kg	MDj/m ³	MDj/m ³	MDj/m ³

Yonilg'i issiqligi baholanishini batafsilroq tavsiflash uchun nafaqat yonilg'ining yonish issiqligini, balki yonilg'i-havo aralashmalarining yonish issiqliklarini ham bilish zarur. Yonilg'i birinchi yonish issiqligining yonuvchi aralashmaning umumiy miqdoriga nisbati *yonuvchi aralashmaning yonish issiqligi* deyiladi.

Yonish issiqligining hajm birligi (kmol)ga nisbati – MDj/kmol yon.aral. massa birligiga nisbati - MDj/kg yon.aral. da ifodalanadi.

$$H_{yon.aral.} = H_u / M_1 \quad yoki \quad H_{yon.aral.} = Hu / m_1. \quad (3.24)$$

$\alpha < 1$ da ishlayotgan dvigatellarda kislorod yetishmasligi tu-

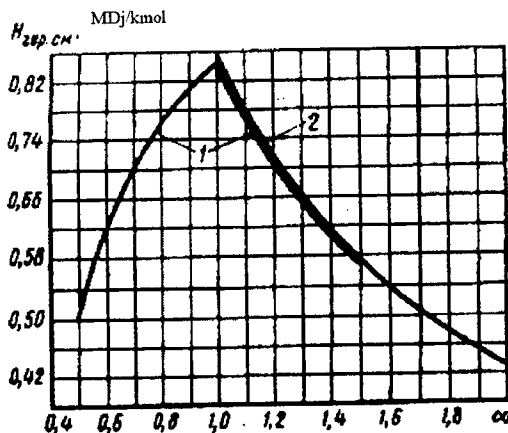
fayli yonilg'i kimyoviy to'liq yonmaydi.

$$\Delta H_u = 119,95 (1 - \alpha) L_0 \quad (3.25)$$

U holda (3.24)-formula $\alpha < 1,0$ bo'lganda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$H_{\text{yon.aral.}} = (H_u - \Delta H_u) / M_1 \quad \text{yoki} \quad H_{\text{yon.aral.}} = (H_u - \Delta H_u) / m_1 \quad (3.26)$$

3.5-rasmda yonilg'i-havo aralashmalari yonish issiqligining havo ortiqqligi koeffitsiyenti α ga bog'liqligi grafigi keltirilgan. Ishni qayd qilish lozimki, yonuvchi aralashmaning yonish issiqligi yonilg'ining yonish issiqligiga proporsional emas. α ning bir xil qiymatlarida dizel yonilg'isi havo bilan aralashmasining yonish issiqligi benzin-havo aralashmasining yonish issiqligidan biroz yuqoriroq. Buning sababi-dizel yonilg'isi bir birligining to'liq yonishi uchun zarur bo'lgan havo miqdori benzinning shuncha miqdori to'liq yonishi uchun zarur bo'lgan havo miqdoridan kamroq bo'ladi. Yonish jarayonida yonuvchi aralashma emas, balki ishchi aralashma (yonuvchi aralashma + qoldiq gazlar) ishtirok etganligi sababli, yonilg'i yonish issiqligini ishchi aralashmaning umumiy miqdoriga nisbatini olish (MDj/kmol ish.aral.) maqsadga muvofiq bo'ladi.



3.5-rasm. Yonilg'i-havo aralashmasi yonish issiqligining havo ortiqqligi koeffitsiyentiga bog'liqligi:

- 1 - havo-benzin aralashmasi, $N_m = 44$ MDj/kg;
- 2 - havo-dizel yonilg'isi, $N_m = 42,5$ MDj/kg.

$\alpha \geq 1$ da

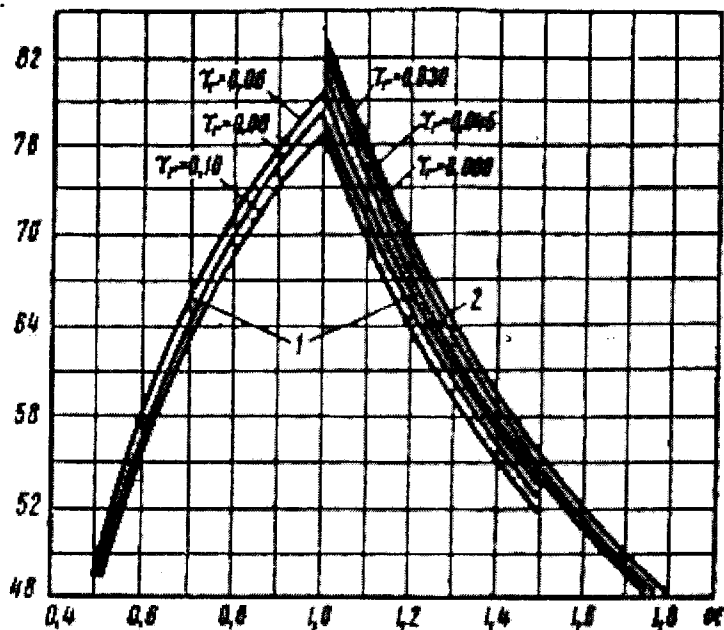
$$Hu_{\text{ish.aral.}} = Hu / (M_1 + M_r) = Hu / [M_1(1 + \gamma_r)] \quad (3.27)$$

$\alpha < 1$ da

$$Hu_{\text{ish.aral.}} = (Hu - \Delta Hu) / [M_1(1 + \gamma_r)] \quad (3.28)$$

(3.27) va (3.28) – tenglamalardan quyidagi xulosani chiqarish mumkin: ishchi aralashmaning yonish issiqligi yonuvchi aralashmaning yonish issiqligi o‘zgarishiga proporsional o‘zgaradi. Havo ortiqsligi koeffitsiyentining bir xil qiymatlarida qoldiq gazlar koeffitsiyenti kamayganda ishchi aralashmaning yonish issiqligi ortadi (3.6-rasm). Bu – ham benzin ham dizel yonilg‘isi uchun taalluqlidir.

$H_{\text{rab.am.}}$ MDj/kmol



3.6-rasm. Ishchi yonish issiqligining havo ortiqsligi koeffitsiyenti va qoldiq gazlar koeffitsiyentiga bog‘liqligi:

- 1 – havo, qoldiq gazlar va benzin aralashmasi, $N_m=44$ MDj/kg;
- 2 – havo, qoldiq gazlar va dizel yonilg‘isi, $N_m=42,5$ MDj/kg.

3.4. Gazlarning issiqlik sig'imi

Ishchi jismning o'rtacha issiqlik sig'imi deb ushbu jarayonda jisimga berilayotgan issiqlik miqdorining haroratning o'zgarishiga (agar haroratlar farqi oxirgi kattalik bo'lsa) bo'lgan nisbatga aytiladi. Issiqlik sig'imining qiymati jism harorati va bosimga, uning fizikaviy xossalari va jarayon tavsifiga bog'liq.

Dvigatellar ishchi jarayonlarini hisoblashda foyda o'zgarmas mc_v va o'zgarmas bosimdagi mc_r [kJ/(kmol.grad)] o'rtacha mol issiqlik sig'imlaridan foydalaniladi. Ular orasida quyidagi bog'lanish mavjud

$$mc_r - mc_v = 8,315 \quad (3.29)$$

Har xil gazlarning haroratiga qarab o'rtacha" mol issiqlik sig'imlarini aniqlash uchun empirik formulasidan yoki ma'lumot (spravochnik) jadval'ari yoki grafiklardan foydalaniladi.

3.3-jadvalda ba'zi gazlarning o'zgarmas hajmdagi o'rtacha mol issiqlik sig'imlarining qiymatlari, 3.4-jadvalda esa jadval ma'lumotlari tahlili asosida olingan empirik formulalar keltirilgan. Empirik formulalar bo'yicha olingan o'rtacha mol issiqlik sig'imining qiymatlarining jadvaldagi qiymatlaridan farqi 1,8% dan ortmaydi.

3.3-jadval

Harorat, °C	Ba'zi gazlarning o'zgarmas hajmdagi o'rtacha mol 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	24,438	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	25,792	46,832	36,942
2400	25,871	27,471	25,449	23,908	25,909	47,079	37,331
2500	25,993	27,613	25,562	24,071	26,022	47,305	37,704
2600*	26,120	27,753	25,672	24,234	26,120	47,515	38,060
2700*	26,250	27,890	25,780	24,395	26,212	47,710	38,395
2800*	26,370	28,020	25,885	24,550	26,300	47,890	38,705

3.4-jadval

Gaz nomi	Ba'zi gazlarning hajmdagi o'rtacha mol issiqlik sig'imini topish uchun formulalar, kDj/(kmol.grad), °C haroratlar uchun	
	0 dan 1500	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 H ₂	$mc_{VH_2} = 20,684 + 0,000206t + 0,000000588t^2$	$mc_{VH_2} = 19,678 + 0,001758t$
Uglerod oksidi CO	$mc_{VCO} = 20,597 + 0,002670t$	$mc_{VCO} = 22,490 + 0,001430t$
Karbonat angidrid CO ₂	$mc_{VCO_2} = 27,941 + 0,019t - 0,000005487t^2$	$mc_{VCO_2} = 39,123 + 0,003349t$
Suv bug'i H ₂ O	$mc_{VH_2O} = 24,953 + 0,05359t$	$mc_{VH_2O} = 26,670 + 0,004438t$

Yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'imi gazlar aralashmasining issiqlik sig'imi sifatida aniqlanadi [kJ/(kmol. grad)]:

$$(mC_V'')_{t_0}^{t_x} = \sum_{i=1}^{i=n} r_i (mC_{V_i}'')_{t_0}^{t_x}, \quad (3.30)$$

bu yerda $r_i = M_i/M_2$ – ushbu aralashma tarkibiga kiruvchi har bir gazning hajmiy ulushi; $(mC_{V_i}'')_{t_0}^{t_x}$ – ushbu aralashma tarkibiga kiruvchi har bir gazning aralashma harorati t_x dagi o'rtacha mol issiqlik sig'imi.

Yonilg'i to'liq yonganida $\alpha \geq 1,0$ yonish mahsulotlari tarkibida karbonat ангидрид, suv bug'lari, $\alpha > 1,0$ bo'lganda esa kislorod ham bo'ladi.

Bu holda,

$$(mC_{V_i}'')_{t_0}^{t_x} = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mC_{VCO_2}'')_{t_0}^{t_x} + M_{H_2O} (mC_{VH_2O}'')_{t_0}^{t_x} + M_{N_2} (mC_{VN_2}'')_{t_0}^{t_x} + M_{O_2} (mC_{VO_2}'')_{t_0}^{t_x} \right] \quad (3.31)$$

bu erda $t_0 = 0^\circ\text{C}$ ga teng harorat; t_x – yonish oxirida aralashma harorati.

Yonilg'i chala yonganida ($\alpha < 1,0$) yonish mahsulotlari tarkibida karbonat ангидрид, uglerod oksidi, suv bug'i, vodorod va azot bo'ladi.

Bu holda,

$$(mC_{V_i}'')_{t_0}^{t_x} = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mC_{VCO_2}'')_{t_0}^{t_x} + M_{CO} (mC_{VCO}'')_{t_0}^{t_x} + M_{H_2O} (mC_{VH_2O}'')_{t_0}^{t_x} + M_{H_2} (mC_{VH_2}'')_{t_0}^{t_x} + M_{N_2} (mC_{VN_2}'')_{t_0}^{t_x} \right] \quad (3.32)$$

Benzin (tarkibi: S=0,855; N=0,145) yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'imining α ga bog'liq qiymatlari 3.5-jadvalda, dizel yonilg'isi (tarkibi: S=0,870; N=0,126 O=0,004) niki esa 3.6-jadvalda keltirilgan.

3.5-jadval

Harorat, °C	Benzin $\alpha = \dots$ dagi yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'im, kDj/(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	21,786	21,880	21,966	22,046	22,119	22,187	22,123	22,065	22,011	21,962	21,916			
100	21,902	22,031	22,149	22,257	22,356	22,448	22,533	22,457	22,388	22,325	22,266	22,216			
200	22,140	22,292	22,431	22,559	22,676	22,784	22,885	22,796	22,722	22,650	22,584	22,523			
300	22,445	22,618	22,776	22,921	23,055	23,173	23,293	23,200	23,115	23,036	22,964	22,898			
400	22,777	22,968	23,143	23,303	23,450	23,586	23,712	23,613	23,521	23,437	23,360	23,289			
500	23,138	23,345	23,534	23,707	23,867	24,014	24,150	24,045	23,948	23,859	23,777	23,702			
600	23,507	23,727	23,929	24,113	24,284	24,440	24,586	24,475	24,373	24,280	24,193	24,114			
700	23,882	24,115	24,328	24,523	24,702	24,868	25,021	24,905	24,798	24,700	24,610	24,527			
800	24,249	24,493	24,715	24,919	25,107	25,280	25,441	25,319	25,208	25,106	25,012	24,925			
900	24,608	24,861	25,092	25,304	25,500	25,680	25,850	25,720	25,604	25,498	25,400	25,309			
1000	24,949	25,211	25,449	25,668	25,870	26,056	26,224	26,098	25,977	25,867	25,766	25,672			
1100	25,276	25,545	25,791	26,016	26,224	26,415	26,587	26,457	26,333	26,219	26,114	26,016			
1200	25,590	25,866	26,118	26,349	26,562	26,758	26,935	26,800	26,672	26,554	26,446	26,345			
1300	25,887	26,168	26,426	26,662	26,879	27,080	27,266	27,121	26,989	26,868	26,757	26,653			
1400	26,099	26,456	26,719	26,959	27,180	27,385	27,573	27,426	27,291	27,166	27,051	26,945			
1500	26,436	26,728	26,995	27,240	27,465	27,673	27,867	27,714	27,575	27,447	27,330	27,221			
1600	26,685	26,982	27,253	27,501	27,729	27,941	28,137	27,981	27,836	27,708	27,588	27,477			
1700	26,924	27,225	27,499	27,751	27,983	28,197	28,394	28,236	28,091	27,958	27,835	27,722			
1800	27,147	27,451	27,728	27,983	28,218	28,434	28,631	28,473	28,324	28,188	28,063	27,948			
1900	27,359	27,667	27,948	28,205	28,442	28,661	28,867	28,698	28,548	28,409	28,282	28,164			
2000	27,559	27,870	28,153	28,413	28,652	28,873	29,077	28,910	28,757	28,616	28,487	28,367			
2100	27,752	28,065	28,351	28,613	28,854	29,077	29,277	29,113	28,958	28,815	28,684	28,562			
2200	27,935	28,251	28,539	28,803	29,046	29,270	29,477	29,306	29,148	29,004	28,870	28,747			

2300	28,104	28,422	28,712	28,978	29,223	29,449	29,449	29,484	29,324	29,177	29,042	28,917
2400	28,268	28,588	28,879	29,147	29,394	29,621	29,621	29,655	29,494	29,345	29,209	29,082
2500	28,422	28,744	29,037	29,305	29,553	29,782	29,782	29,815	29,652	29,502	29,364	29,236
2600	28,570	28,892	29,187	29,458	29,706	29,936	29,936	29,969	29,804	29,653	29,513	29,384
2700	28,711	29,036	29,332	29,604	29,854	30,085	30,085	30,116	29,950	29,797	29,657	29,527
2800	28,847	29,173	29,470	29,743	29,994	30,226	30,226	30,257	30,090	29,936	29,794	29,663

3.6-jadval

Harorat °C	Dizel yonilg'isi $\alpha = \dots$ dagi yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'imi, kDj/(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	22,202	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	23,023	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	25,096	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	27,029	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	27,471	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

IV BOB. DVIGATELLARNING HAQIQIY SIKLLARI

4.1. Umumiy holatlar

Avtomobil va traktor dvigatellarining ekspluatatsiya rejimlari bir-biridan keskin farqlanadi. Yengil avtomobillarning dvigatellari odatda kam yuk (nagruzka)larda, lekin tirsakli val aylanishlar chastotasining katta diapazonlarida ishlaydi. Yuk avtomobillarining dvigatellari kattaroq yukda ishlaydi, tirsakli vali aylanishlar chastotasi o'zgarishining diapazoni kichikroq bo'ladi.

Ekspluatatsiya sharoitida avtomobil dvigatellari yuk, yo'l sharoitlari va harakat tezligiga qarab kam, o'rta va katta aylanishlar chastotasi va yuklarda ishlaydi. Kam, o'rta va katta yuklar va aylanishlar chastotasi deganda nominal 100%ga nisbatan mos ravishda 25, 50 va 75% ga yaqin yuk va aylanishlar chastotalari tushuniladi.

Traktor dvigatellari ekspluatatsiya sharoitida nominalga yaqin bo'lgan 2000 ayl/min ga yaqin yoki undan biroz kattaroq va u regulyator bilan cheklanadi.

Avtomobil va traktor dvigatellarining ekspluatatsiyasi – 4.1-jadvalda keltirilgan.

4.1-jadval

Ish rejimi	Dvigatellar	
	Avtomobil	Traktor
Val aylanishlar soni	Minimaldan maksimalgacha o'zgaradi	Deyarli o'zgarmas, maksimalga yaqin
Quvvat o'zgarishi	Keng diapazonda	Tor diapazonda
Quvvatdan foydalanish	To'liq quvvatdan kam foydalaniladi	Deyarli ko'pincha to'liq quvvatdan foydalaniladi
Dvigatelni o't oldirish	Tez-tez	Ora-sira

Avtomobil va traktor ichki yonuv dvigatellarining haqiqiy (ishchi) sikli yuqorida ko'rilgan nazariy termodinamik sikllardan sezilarli darajada farqlanadi, chunki ularda faraz qilingan ba'zi sharoitlarni real sikllarda bajarib bo'lmaydi. Agar nazariy siklda gaz tarkibi va miqdori o'zgarmas deb qabul qilingan bo'lsa, haqiqiy siklda gazning nafaqat fizikaviy, balki kimyoviy tarkibi ham o'zgaradi, gaz miqdori doimiy bo'lmaydi. Haqiqiy sikl tugagandan so'ng ishlangan gaz o'zining birlamchi holatiga qaytmaydi, u atmosferaga chiqarib yuboriladi, uning o'rniga silindrga *yangi zaryad* (uchqundan o't oldiriladigan dvigatellarda yonilg'i-havo aralashmasi, dizellarda esa havo) kiritiladi.

Yonish tezligining chekliligi va dissotsiatsiya tufayli yonilg'ining yashirin kimyoviy energiyasi bir onda ajralib chiqmaydi. Kengayish jarayonida (yonib ulgurmagan) yonilg'i yonishda davom etadi, dissotsiyalangan gazlar assotsiyalanadi, bunda issiqlik ajralib chiqishi davom etadi.

Haqiqiy siklda gazlarning issiqlik sig'imini o'zgarmas deb qabul qilib bo'lmaydi, sikl silindr-gazlarning harorati va tarkibi sezilarli darajada o'zgaradi. Bundan tashqari haqiqiy siklda qo'shimcha issiqlik va gidrodinamik yo'qotishlar mavjud.

4.2. Kiritish va gaz almashish jarayoni

Ichki yonuv dvigatellarida silindrlarning yangi zaryad bilan to'lishi kiritishning: dastlabki, asosiy va kech kiritish jarayonlarining majmuasidan tarkib topadi.

Silindrdan ishlangan gazlarni chiqarish va silindrni yangi zaryad bilan to'ldirish jarayonlari gaz almashish jarayonlari deyiladi. Dvigatel siklida chiqarish va kiritish jarayonlarining davomiyligi va ketma-ketligi klapanlar ochilishining davomiyligi va ketma-ketligi, ya'ni *gaz taqsimlash fazalari* bilan aniqlanadi. Gaz taqsimlash fazalari krivoshipning burchak koordinatalarida va yu.ch.h. va q.ch.h. larga nisbatan graduslarda beriladi.

4.2.1. Dastlabki va asosiy kiritish

Dastlabki kiritish I (4.1-rasm, 1-2 yoy) kiritish klapani ochila boshlaganda, yu.ch.h. ga $10 \div 35^\circ$ ga yetmasdan oldin (4.1-rasmda 1-nuqta) boshlanadi va yu.ch.h. da tugaydi (2-nuqta). Dastlabki kiritishda nadduvsiz dvigatellarda silindrga yangi zaryad kirmaydi. Bu bosqichning vazifasi silindrga gazlar kira boshlanishiga kiritish klapanining mumkin qadar ko'proq ochilishini va natijada asosiy kiritishda silindrga mumkin qadar ko'proq yangi zaryad kirishini ta'minlashdir. Nadduvli dvigatellarda dastlabki kiritishdan silindrlarni produvka (ishlangan qoldiq gazlardan tozalash) qilish uchun foydalaniladi, bu tadbir qoldiq gazlar miqdorini kamaytiradi, yonish kamerasini tashkil qiluvchi detallar haroratini pasaytiradi.

Hisoblashda produvkaning ta'siri tozalash koeffitsiyenti φ_{toz} bilan hisobga olinadi. φ_{toz} qiymati asosan nadduv darajasi, dvigatelning tezlik rejimi va klapanlar qoplashish (barobariga ochiq holatda bo'lish) davrining davomiyligiga bog'liq. Tozalash koeffitsiyenti odatda, nadduvli dvigatellarni hisoblashda hisobga olinadi. produvka bo'lmaganida $\varphi_{\text{toz}}=1$, klapanlar qoplashishi davrida silindrlar yonish mahsulotlaridan to'liq tozalanganda $\varphi_{\text{toz}}=0$.

Asosiy kiritish 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)

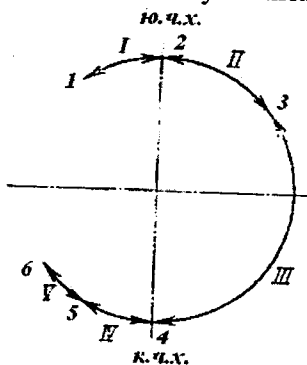
Kiritish va porshen tezligi sekinlashayotganida ($\sim 80^\circ$ dan 180° gacha) kiritishlardan tarkib topadi.

Porshen tezligi ortayotganda kiritish II (4.1 va 4.2-rasmlar, 2-3 yoy) yu.ch.h. da (2-nuqta) boshlanadi va porshen tezligi maksimal qiymatga yetganida, ya'ni tirsakli val yu.ch.h. dan taxminan 80° ga burilganida, tugaydi (3-nuqta). Porshen yu.ch.h. kiritish tirqishi hali kam ochilganligi sababli silindrga gaz kam kiradi, oldingi sikldan yonish kamerasida qolgan ishlangan gazlar kengayadi va silindrda bosim pasayadi. porshen tezligi orta borgani sari kiritish kollektoridagi gazlar porshen bo'shashayotgan hajmga tobora katta tezlikda kira boshlaydi.

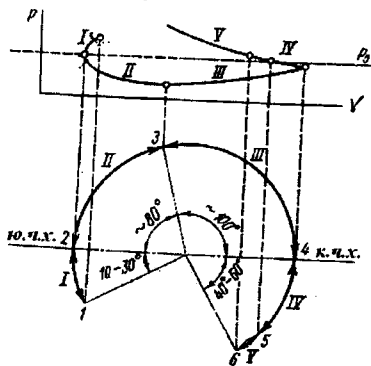
Porshen tezligi sekinlashayotganda kiritish III (4.1 va 4.2-rasmlar, 3-4 yoy) porshen eng katta tezlikka erishganda (3-nuqta) boshlanadi va q.ch.h. da (4-nuqta), porshen tezligi nolga teng bo'lganida tugaydi. Porshen tezligi kamayib borgani sari silindrga kirayotgan gaz tezligi biroz sekinlashadi, lekin nolga teng bo'lmaydi. Nadduvsiz dvigatellarda porshen tezligi sekinlashayotganda silindrga gaz porshen bo'shatayotgan silindr hajmining ortishi hamda gazlar inertsiasining ortishi hisobiga kiradi. Bunda silindrdagi gazlar bosimi asta-sekin ortib boradi.

4.2.2. Kech kiritish

Kech kiritish IV va V (4.1. va 4.2-rasmlar, 4-5 va 5-6 yoylar) porshen q.ch.h. (4-nuqta) dan o'tayotganda boshlanadi va kiritish tirqishi berkilgan onda (6-nuqta) tugaydi. Kech kiritish silindrdagi gazlar hajmi kamayayotganda sodir bo'ladi. Kiritish klapanining kech berkitilishi kiritish tizimidagi gazlarning tezlik bosimi (napor), inertsion 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.



4.1-rasm. Kiritish jarayonining davrlari.



4.2-rasm. Kiritish jarayonining indikator diagrammasi.

Val aylanishining kichik sonlarida, masalan dvigatel o't oldirilayotganda, kiritish kollektoridagi gazlarning inertsiyasi deyarli bo'lmaydi, shu sababli kech kiritishda silindrga oldin, asosiy kiritish paytida kirgan gazlarning bir qismi qaytib chiqadi.

Aylanishlarning o'rtacha sonlarida gazlarning inertsiyasi kattaroq bo'ladi, shuning uchun porshen haroratining boshlanishida dozaryadka bo'ladi. Lekin porshen ko'tarilgani sari silindrda siqilayotgan gazlarning bosimi ortib boradi va boshlangan dozaryadka tugab, silindrga kirgan gazlar qaytib chiqaboshlaydi.

Valning katta aylanishlar sonida kiritish kollektoridagi gazlar oqimining inertsiyasi katta bo'ladi, shuning uchun dozaryadka intensiv bo'ladi, gazlarning silindrdan qaytib chiqishi esa sodir bo'lmaydi. Shunday qilib, valning har xil aylanishlar sonida kech kiritishda: gazlarning faqat qaytib chiqishi; dastlab dozaryadka, so'ngra esa qaytib chiqish; faqat dozaryadka bo'lishi mumkin.

Dozaryadka IV q.ch.h. da boshlanadi va 5 nuqtada tugaydi (4.2-rasm), 5 nuqtada dozaryadka qaytib chiqish V ga aylanadi va qaytib chiqish kiritish klapani yonadigan on (6 nuqta) da tugaydi.

Val aylanishlar chastotasi o'zgarganda dvigateldagi dozaryadka tugab, qayta chiqarish boshlanadigan on o'zgaradi. Kichik aylanishlar sonida dozaryadka qaytib chiqishga erta, ya'ni q.ch.h. ga yaqin holatda, katta aylanishlar chastotasida esa kech aylanadi.

Bir siklda silindrga kiradigan yangi zaryadning summar miqdori G sikl:

$$G_{\text{sikl}} = G_{\text{asosiy}} + G_{\text{dozaryadka}} - G_{\text{qaytib chiqish}}$$

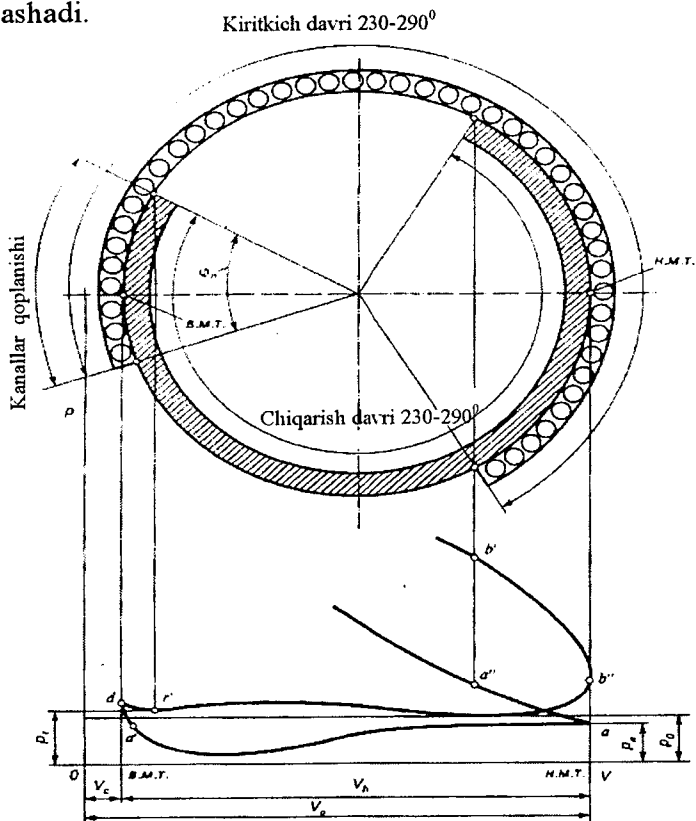
G sikl asosan kiritish jarayonining oxirida silindrdagi gazlarning bosimi r_a va harorati T_a hamda dozaryadka bilan qaytib chiqishga bog'liq.

Dozaryadkaning kiritish jarayoni parametrlariga ta'sirini hisoblashda dozaryadka koeffitsiyenti φ_{doz} orqali hisobga olinadi.

$$\varphi_{\text{doz}} = G_{\text{sikl}} / G_{\text{asosiy}}$$

Silindr ishchi hajmining yangi zaryad bilan dozaryadkasi asosan gaz taqsimlash fazalarini (birinchi navbatda kiritish kla-

pani berqilishining kechikish burchagi qiymatini) mos ravishda to'g'ri tanlashga, kiritish traktining uzunligiga va tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog'liq. Prof. I.M. Lenin ma'lumotlari bo'yicha yuqorida qayd etilgan parametrlar to'g'ri tarqalganda dvigatelning nominal ish rejimida dozaryadka 12–15% ga ya'ni, $\varphi_{\text{doz}} = 1,12-1,15$ ga yetishi mumkin. Lekin aylanishlar chastotasi kamayganda dozaryadka koeffitsiyenti kamayadi, aylanishlar minimal chastotasida esa dozaryadka o'rniga qaytib chiqishi bo'ladi, uning qiymati 5–12% ga yetadi, ya'ni $\varphi_{\text{doz}} = 0,95-0,88$ ga tenglashadi.



4.3-rasm. 4 taktli dvigatel gaz taqsimlanishi fazalarining doiraviy diagrammasi.

Zamonaviy tezyurar dvigatellarda kiritish klapani porshen yu.ch.h. ga $10-35^{\circ}$ yetmasdan ochila boshlaydi, berkilishi esa – q.ch.h. dan $40-85^{\circ}$ o'tgandan keyin sodir bo'ladi. Chiqarish klapani porshen yu.ch.h. dan $10-30^{\circ}$ o'tgandan keyin yopiladi. Gaz taqsimlash fazalarinig diagrammasi 4.3-rasmda tirsakli val burilish burchagi bo'yicha doiraviy diagramma ko'rinishida chiqarish va kiritish jarayonlarining indikator diagrammasiga bog'lab keltirilgan.

Kiritish va chiqarish traktlarining asosiy geometrik o'lchamlari va kompanovka sxemalari tajribaviy ma'lumotlar asosida o'rnatiladi va dvigatel yangi modelining eksperimental sinovida albatta aniqlashtiriladi.

Gaz taqsimlanish fazalari, kiritish traktining asosiy geometrik o'lchamlari va printsiipial sxemalarini hamda boshlang'ich sharoitlar – atrof-muhit, ishlangan gazlar va yangi zaryad haroratlari va bosimlarini to'g'ri tanlash – yangi dvigatelning muvaffaqiyatini hisoblash, uni yaratish imkonini beradi.

4.2.3. Kiritish jarayonida silindrga kiradigan yangi zaryad hajmi

Kiritish jarayonida silindrga kirayotgan yangi zaryad qoldiq gazlar bilan muntazam aralashib boradi. Lekin qoldiq gazlar yangi zaryaddan izolyatsiya qilingan-ku, ammo ular bilan bosimi va harorati bir xil deb faraz qilib, qoldiq gazlarning o'zi alohida egallaydigan hajmni ko'rib chiqish mumkin.

Yangi zaryadni kiritish jarayonida silindrda gazlar bosimi R_r dan R_a ga pasayadi (4.4-rasm), natijada qoldiq gazlar hajmi V_r dan V_r^I gacha ortadi, harorati esa $20-40^{\circ}\text{C}$ ga pasayadi. Silindrga yangi zaryad kirgani sari, qoldiq gazlar ularga o'z issiqligining bir qismini berib soviydi, natijada ularning hajmi kamayadi (r^I r^{II} chiziq). Porshen q.ch.h. ga kelganida qoldiq gazlarning keltirilgan hajmi V_r^{II} yonish kamerasi hajmining taxminan yarmini tashkil qiladi.

Natijada yangi zaryad egallagan hajmi quyidagiga teng bo'ladi

$$V_{\text{ya.z.}} = V_h + 0,5V_c$$

$$\varepsilon = (V_h + V_s) / V_s \text{ va } V_s = V_h / (\varepsilon - 1)$$

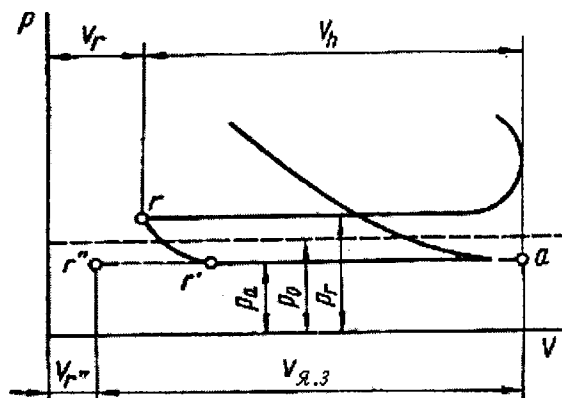
bo'lganligidan,

$$V_{\text{ya.z.}} = V_h + 2,5 V_h (\varepsilon - 1) = V_h (\varepsilon - 0,5) / (\varepsilon - 1)$$

yoki

$$V_{\text{ya.z.}} = V_h \cdot \delta$$

bu yerda $\delta = (\varepsilon - 0,5) / (\varepsilon - 1)$; yoki $\delta = 1,08-1,03$, ya'ni silindrdagi yangi zaryad hajmi uning ishchi hajmidan 3-8% ga katta bo'ladi.



4.4-rasm. Kiritish jarayonining indikator diagrammasi.

4.2.4. Kiritish jarayonini tavsiflovchi parametrlarni aniqlash

Atrof-muhit bosimi va harorati. Dvigatel nadduvsiz ishlaganda silindrga havo atmosferadan kiradi. Bu holda dvigatelnining ishchi sikli hisoblanganda atrof-muhit bosimi $p_0=0,1$ MPa, harorati esa $T_0=273$ K ga teng deb qabul qilinadi.

Avtomobil va traktor dvigatellari nadduv bilan ishlaganda silindrga havo kompressordan keladi, u yerda havo siqiladi. Bunga mos ravishda nadduvli dvigatel ishchi sikli hisoblanganda atrof-muhit bosimi va harorati kompressordan chiqayotgan havo-

ning bosimi r_k va harorati T_k ga teng deb qabul qilinadi. Oraliq sovutkich bo'lganida havo kompressoridan dastlab sovutkichga, so'ngra dvigatel silindriga keladi. Bu holda atrof-muhit bosimi r_k va harorati T_k sifatida sovutkichdan chiqayotgan havo bosimi va harorati olinadi.

Nadduv darajasiga qarab nadduv havosi bosimining quyidagi qiymatlari olinadi:

past nadduvda.....	1,5 r_0 ;
o'rta nadduvda.....	(1,5–2,2) r_0 ;
yuqori nadduvda.....	(2,2–2,5) r_0 .

Kompressordan chiqishda havo harorati

$$T_k = T_0 (p_k / p_0)^{(n_k-1)/n_k}, \quad (4.1)$$

bu yerda n_k – kompressorda havo siqilishi politropasining ko'rsatkichi.

(4.1) ifodadan quyidagi xulosa chiqadi: nadduv havosining harorati kompressordagi bosim ortishi darajasi va siqish politropasining ko'rsatkichiga bog'liq.

Nadduv agregatining turi va sovitish darajasiga qarab tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha n_k ning qiymatini quyidagicha qabul qililadi:

porshenli kompressorlar uchun.....	1,4–1,6;
hajmiy kompressorlar uchun.....	1,55–1,75;
o'qli va markazdan qochirma kompressorlar uchun.....	1,4–2,0.

T_k haroratini quyidagi ifodadan aniqlash mumkin

$$T_k = T_0 \left[1 + \frac{(p_k / p_0)^{(k-1)k} - 1}{\eta_{ad.k}} \right], \quad (4.2)$$

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

Qoldiq gazlar bosimi. Chiqarish jarayonidan keyin dvigatel silindrning yonish kamerasida doim ma'lum bir miqdorda qoldiq gazlar qoladi. Qoldiq gazlar bosimi klapanlar soni va joylashishi,

kiritish va chiqarish traktlarining qarshiliklari, gaz taqsimlanish fazalari, nadduv xarakteri, dvigatel tez yuruvchanligi, yuki, sovitish tizimi va boshqa omillarga bog'liq.

Nadduvsiz hamda nadduvli bo'lib, ishlangan gazlar atmosferaga chiqariladigan dvigatellar uchun qoldiq gazlar bosimi (MPa)

$$p_r = (1,05-1,25)p_0.$$

Tirsakli val aylanishlar chastotasi katta bo'lgan dvigatellar uchun n_k ning katta qiymatlari olinadi. Yonilg'i bevosita purkalanadigan va ta'minlash tizimi elektron boshqariladigan dvigatellarda n_k qiymatlari kichik bo'ladi.

Nadduvli va chiqishda gaz turbinasi bo'lgan dvigatellar uchun

$$p_r = (0,75-0,98)p_k.$$

Tirsakli val aylanishlar chastotasi kamayganda qoldiq gazlarning bosimi sezilarli darajada pasayadi.

Dvigatelning har xil tezlik rejimlarida va nominal rejimda r_r ning tanlangan qiymatida qoldiq gazlar bosimini quyidagi taxminiy formula yordamida aniqlash mumkin

$$p_r = p_0(1,035 + A_r 10^{-8} p^2),$$

bu yerda $A_r = (r_{rN} - 1,035 p_0) \cdot 10^8 / (r_0 p_N^2)$; r_{rN} - nominal rejimda qoldiq gazlar bosimi, MPa; n_N - nominal rejimda tirsakli val aylanishlar chastotasi, min^{-1} .

Qoldiq gazlar harorati. Qoldiq gazlar harorati asosan yonish jarayonida ajralib chiqadigan issiqlik miqdoriga (ya'ni dvigatel yukiga), siqish darajasiga, aylanishlar chastotasiga, aralashma tarkibiga bog'liq.

Dvigatel turi, siqish darajasi, aylanishlar chastotasi va havo ortiqqligi koeffitsiyentiga qarab, qoldiq gazlar harorati quyidagi oraliqlarda bo'ladi:

uchqundan alanganadigan dvigatellar uchun.....	900-1100 K;
dizellar uchun.....	600-900 K;
gazli dvigatellar uchun.....	750-1000 K.

T_r qiymatini tanlashda shu narsaga e'tibor berish kerak-ki, siqish darajasi ortganda va ishchi aralashma boyiganida qoldiq

gazlar harorati pasayadi, aylanishlar chastotasi kattalashganda esa ortadi.

Yangi zaryad qizish harorati ΔT . Kiritish jarayonida silindrga kirgan yangi zaryad dvigatelning qizigan detallariga tegib va qoldiq gazlar bilan aralashib qiziydi. ΔT kiritish truboprovodi joylashish va konstruksiyasi, sovitish tizimi, qizishiga to'plangan maxsus qurilmaning mavjudligi, dvigatel tez yurarligi va nadduvga bog'liq. Haroratning ko'tarilishi yonilg'i bug'lanishi jarayonini yaxshilaydi, lekin yangi zaryad zichligini kamaytiradi va natijada silindr to'lishiga salbiy ta'sir qiladi. Qizish harorati ko'tarilishi natijasida paydo bo'ladigan bu ikki qarama-qarshi omillari ΔT qiymatini tanlashda inobatga olinishi lozim.

Dvigatel turiga qarab ΔT qiymatlari quyidagicha topiladi:
uchqundan alanganadigan dvigatellar

uchun..... $0-20^{\circ}$;

nadduvsiz dizellar uchun..... $10-40^{\circ}$;

nadduvli dvigatellar uchun..... $(-5) - (+10)^{\circ}$.

Nadduvli dvigatellarda yangi zaryadning qizishi dvigatel detallari harorati va nadduv havosi harorati orasidagi farq kamayishi tufayli pasayadi. Nadduv havosining harorati sezilarli ko'tarilganda ΔT ning qiymati manfiy ham bo'lishi mumkin.

Taxminiy hisoblarda dvigatel tezlik rejimiga qarab ΔT qiymatining o'zgarishi quyidagi formuladan aniqlanishi mumkin

$$\Delta T = A_T (110 - 0,0125n), \quad (4.4)$$

bu yerda $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N)$; ΔT_N va n_N – mos ravishda dvigatel nominal rejimda ishlaganida qizish harorati va tirsakli valning aylanishlar chastotasi.

Kiritish oxirida gazlar bosimi. Kiritish oxiridagi bosimi (MPa) – dvigatel silindriga kirgan ishchi jism miqdorini belgilovchi asosiy omildir:

$$p_a = p_k - \Delta p_a \quad \text{yoki} \quad p_a = p_0 - \Delta p_a \quad (4.5)$$

Kiritish tezligi qarshiligi va silindrda zaryad harakati tezligining so'nishi hisobiga bosim yo'qotilishi Δr_a ni ma'lum yaqinlashuvda Bernulli tenglamasida aniqlash mumkin:

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{kir})(\omega_{kir}^2/2)\rho_k \cdot 10^{-6}, \quad (4.6)$$

bu yerda β – silindrning ko'rilayotgan kesimida zaryad harakati tezligi so'nishining koeffitsiyenti; ξ_{kir} – eng tor kesimga nisbatan olingan kiritish tezligining qarshilik koeffitsiyenti; ω_{kir} – kiritish tezligining eng tor kesimida zaryad harakatining o'rtacha tezligi (odatda klapan tirqishida yoki purkovchi darchalarda); ρ_k va ρ_0 – mos ravishda nadduvda va nadduv bo'lmaganda ($r_k=r_0$ va $\rho_k=\rho_0$ da) kirishda zaryad zichligi.

Tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha zamonaviy avtomobil dvigatellarda nominal ish rejimida ($\beta^2 + \xi_{kir}$)=2,5–4,0 va ω_{vp} =50–130 m/s. Elektron purkagichli dvigatellar uchun karbyurator bo'lmaganligi sababli ($\beta^2 + \xi_{kir}$) qiymatlari kichikroq olinadi.

Tish kesimlari kattalashtirilganda, klapanlarga silliq (oqib o'tadigan) shakl berilganda, kiritish tizimining ichki sirtlari aniqlanganda gaz taqsimlash gidravlik qarshiligi kamayadi.

Kiritishda zaryad zichligi [kg/m³]

$$\rho_k = p_k \cdot 10^6 / (R_x T_k) \quad \text{yoki} \quad \rho_0 = p_0 \cdot 10^6 / (R_x T_0), \quad (4.7)$$

bu yerda R_H – havoning solishtirma gaz doimiysi:

$$R_x = R / \mu_x = 8315 / 28,96287 \text{ Dj/(kg} \cdot \text{grad)} \quad (4.8)$$

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

Kiritish tizimining eng kichik kesimida zaryad harakatining o'rtacha tezligi

$$\omega_{kir} = v_{n \max} \frac{F_p}{f_{vp}} = \frac{\pi R}{30} n \sqrt{1 + \lambda^2} \cdot \frac{\pi D^2}{4 f_{kir}} = n \frac{R \cdot \pi^2 D^2}{120 f_{kir}} \sqrt{1 + \lambda^2} = A_n n \quad (4.9)$$

bu yerda F_n – porshen yuzasi, m^2 ; f_{kir} – kiritish tezligi eng kichik kesmining yuzasi, m^2 ; R va D – mos ravishda krivoshin radiusi va porshen diametri, m ; $\lambda = R/L_{sh}$ – krivoshin radiusining shatun uzunligiga nisbati; n – tirsakli valning aylanishlar chastotasi, min^{-1} ;

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

(4.9) ni (4.6) formulaga qo'yib, quyidagini olamiz

$$\Delta p_a = (\rho^2 + \xi_{kir}) (A_n^2 n^2 / 2) \rho_k \cdot 10^{-6}. \quad (4.10)$$

Nadduvsiz to'rt taktli dvigatellarda Δr_a qiymati quyidagi oraliqda o'zgaradi:

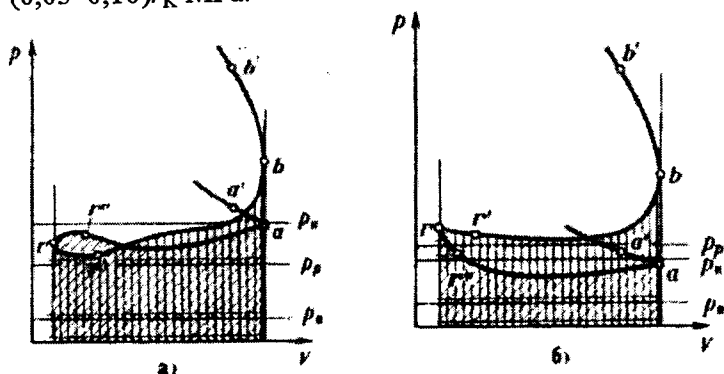
uchqundan alanganadigan

dvigatellarda.....(0,05–0,20) r_0 ;

nadduvsiz dizellarda..... (0,03–0,18) r_0 .

Bir xil aylanishlar chastotasida dizellarda benzinli dvigatellarga nisbatan Δr_a qiymati biroz kichikroq bo'ladi, sababi–karbyurator mavjud emasligi va kiritish tezligining ancha soddaligi tufayli gidravlik qarshilik biroz pasayadi.

Nadduvli dvigatel ishlaganda r_a qiymati r_K ga biroz yaqinlashadi (4.5, a,b,-rasm), lekin kiritish tizimida qarshiliklarning absolyut qiymatlari ortadi. Nadduvli to'rt taktli dvigatellar uchun $\Delta r_a = (0,03–0,10)r_K$ MPa.



4.5-rasm. Nadduvli to'rt taktli dvigatel gaz almashish jarayonlarining indikator diagrammasi:

a – $r_K/r_R > 1,0$ (r_R – chiqarish klapani ortidagi bosim);

b – $r_K/r_R < 1,0$.

Qoldiq gazlar koeffitsiyenti. *Qoldiq gazlar koeffitsiyenti* 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, $\gamma_r = G_r/G$ yangi zaryad. U ortishi bilan kiritish jarayonida dvigatel silindriga kiradigan yangi zaryad miqdori kamayadi.

To'rt taktli dvigatellar uchun qoldiq gazlar koeffitsiyenti: silindr produvkasi va dozaryadkani hisobga olganda

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \frac{\varphi_{\text{toz}} p_r}{\varepsilon \varphi_{\text{doz}} p_a - \varphi_{\text{toz}} p_r}; \quad (4.11)$$

produvka va dozaryadka hisobga olinmaganda ($\varphi_{\text{toz}} = \varphi_{\text{doz}} = 1$)

$$\gamma_r = \frac{T_k + \Delta T}{T_r} \frac{p_r}{\varepsilon p_a - p_r}, \quad (4.12)$$

bu yerda ε – siqish darajasi; φ_{toz} – tozalash koeffitsiyenti.

To'rt taktli dvigatellarda γ_r qiymati siqish darajasiga, kiritish oxirida ishchi jism parametrlariga, aylanishlar chastotasi va boshqa omillarga bog'liq. Siqish darajasi ε va qoldiq gazlar harorati T_r ortganda γ_r miqdori kamayadi, qoldiq gazlar bosimi p_r va aylanishlar chastotasi n ortganda – kattalashadi.

γ_r qiymati quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

nadduvsiz benzinli va gazli

dvigatellarda.....0,04–0,10;

nadduvsiz dizellarda.....0,02–0,05.

Nadduvda qoldiq gazlar koeffitsiyenti kichiklashadi.

Kiritish oxirida harorat

Silindrga kirgan yangi zaryad dvigatel detallaridan qiziydi (ΔT) va bundan tashqari issiqlikning sezilarli miqdorini qaynoq qoldiq gazlardan oladi. 1% qoldiq gazlar yangi zaryadni taxminan 8° ga qizitadi deb qabul qilish mumkin, u holda kiritish

oxirida gazlar harorati

$$T_a \approx T_0 + \Delta T + 8\gamma_r.$$

Kiritish oxiridagi harorat qoldiq gazlarning solishtirma miqdoriga bog'liq; ular ko'payishi bilan yangi zaryad ko'proq qiziydi. Shu sababli siqish darajasining kattaligi va qoldiq gazlarning kamligi bilan dizellarda kiritish oxiridagi harorat 75 °C dan deyarli ortmaydi.

Benzinli dvigatellarda darajasi to'sig'i to'liq ochiq bo'lganda kiritish oxiridagi harorat 75–125 °C oralig'ida bo'ladi. Drossel-langanda qoldiq gazlar miqdori deyarli o'zgarmaydi, silindrga kirayotgan yangi zaryad miqdori esa keskin kamayadi, natijada kiritish oxiridagi harorat ko'tariladi.

Kiritish oxiridagi harorat (T_a K da) yetarli darajadagi aniqlikda kiritish chizig'i bo'ylab r nuqtadan a nuqttagacha (4.5-rasm) tuzilgan issiqlik balansi tenglamasi asosida aniqlanishi mumkin:

$$M_1(mc_p)_{t_0}^k(T_k + \Delta T) + M_r(mc_p)_{t_0}^r T_r = (M_1 + M_r)(mc_p)_{t_0}^a T_a, \quad (4.13)$$

bu yerda $M_1(mc_p)_{t_0}^k(T_k + \Delta T)$ – zaryadning devorlardan qizishi hisobiga olingan holda yangi zaryad keltirgan issiqlik miqdori; $M_r(mc_p)_{t_0}^r T_r$ – qoldiq gazlardagi issiqlik miqdori; $(M_1 + M_r)(mc_p)_{t_0}^a T_a$ – ishchi aralashmadagi issiqlik miqdori.

(4.13) – tenglamada $(mc_p)_{t_0}^k = (mc_p)_{t_0}^r = (mc_p)_{t_0}^a$ deb qabul qilamiz, u holda:

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r). \quad (4.14)$$

T_a qiymati asosan ishchi jism harorati, qoldiq gazlar koef-fitsiyenti, yangi zaryad qizishi darajasi va kam darajada qoldiq gazlar haroratiga bog'liq.

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

benzinli dvigatellarda.....	320–370 K;
dizellarda.....	310–350 K;
nadduvli to'rt taktli dvigatellarda.....	320–400 K.

To'lish koeffitsiyenti

To'lish koeffitsiyentining ta'rif. Silindrga kiritish jarayonida qancha ko'p yangi zaryad kirsa, bir siklda olingan ish shunchalik katta bo'ladi. Turli dvigatellarda silindrlarga kirgan yangi zaryad miqdori har xil bo'ladi, chunki bu miqdor asosan ishchi hajm bilan aniqlanadi; shuning uchun ishchi hajm katta bo'lgan dvigatellarga doim ko'p yangi zaryad kiradi. Shu sababli silindrga kiradigan yangi zaryad miqdori gaz almashinish jarayonlari takomilligining mezoni bo'lmaydi, chunki u silindr o'lchamlariga kiritish truboprovodidagi havo (yoki aralashma) parametrlariga bog'liq.

Turli dvigatellar silindrlarining miqdoriy to'lishini nisbiy birliklarda, masalan foizlarda qiyoslash qulay. *To'lish koeffitsiyenti* deb silindrga amalda kirgan yangi zaryad miqdori G_h ning nazariy sharoitlarda (silindrdagi harorat va bosim atrof-muhit harorati va bosimiga tenglashgan) V_h ishchi hajmni to'ldirishi mumkin bo'lgan nazariy zaryad miqdori G_0 ga bo'lgan nisbatga aytiladi:

$$\eta_v = G_x / G_0 = M_x / M_0 = G_x / (\rho_K V_h). \quad (4.15)$$

Cheklangan hajmdagi gaz uchun Klayperon tenglamasidan $p_K V_h = G_x R T_K$ dan

$$G_x = p_K V_h / (R T_K) = \rho_K V_h \quad (4.16)$$

u holda (4.15) $\eta_v = G_x / (\rho_K V_h)$ ko'rinishga ega bo'ladi.

Gaz holati tenglamasini $p_K V_h = M_x R_\mu T_K$ (kilomollarda) ko'rinishida yozamiz, u holda:

$$M_x = p_K V_h / (R_\mu T_K) = \rho_K \mu V_h, \quad (4.17)$$

bu yerda $R_\mu = 8,3144 \text{ kDj/(kmol}\cdot\text{K)}$ – gazning molyar (universal) doimiysi.

Gaz almashinish jarayonini muvozanatlangan (равновесный) deb qarab, *zaryadning nazariy miqdori* haqida tushuncha hosil qilish mumkin. Agar porshenning tezligi cheksiz kichik, silindr devorlari esa mukammal issiqlik izolyatsiyasiga ega bo'lsa, to'lishda silindrda bosim kollektoridagi bosimga teng, zaryad devoridan qizimaydi va u qoldiq gazlar bilan aralashmasa, uning harorati kiritish klapanlari ortidagi harorat T_k ga teng bo'ladi. Muvozanatlangan chiqarish jarayonining oxirida (to'rt taktli dvigatellarda yu.ch.h. da) silindrda bosim chiqarish truboprovodidagi bosimga, nadduvsiz porshenli dvigatellarda esa atmosfera bosimida yonish kamerasi hajmi V_s ga teng hajmni egallaydi.

Porshenli dvigatel to'lish koeffitsiyenti nazariy zaryad miqdorini atmosfera bosimi va haroratida hisoblab aniqlanadi va (4.15) ifoda quyidagi ko'rinishda yoziladi.

$$\eta_V = G_x / (\rho_{\text{atm}} V_h) = M_x / (\mu p_{\text{atm}} V_h). \quad (4.18)$$

Haqiqiy zaryad massasi odatda nazariy massadan kichik, to'lish koeffitsiyenti esa birdan kichik bo'ladi. Lekin ma'lum sharoitlarda to'lish koeffitsiyenti birdan katta bo'lishi mumkin.

Haqiqiy yo'nalish jarayonida silindrga kirgan yangi zaryad miqdorini belgilovchi asosiy omillarni qayd qilamiz.

Kiritish oxirida (q.ch.h. da) silindrda bosim r_a , odatda, kiritish kanali va kiritish klapani tirqishidagi gidravlik qarshiliklar tufayli kiritish truboprovodidagi bosim r_k dan kichik bo'ladi.

Kiritish oxirida silindrda yangi zaryad harorati gaz devorlaridan qizish hisobiga kiritish truboprovodidagi harorat T_k dan yuqori bo'ladi.

Qoldiq gazlar hajmi ko'p hollarda (4.16) formula bo'yicha nazariy zaryad massasi hisoblanganda qabul qilingan hajmdan,

ya'ni yonish kamerasi hajmidan, katta bo'ladi.

To'lish koeffitsiyenti quyidagi hollarda:

– silindr produvka qilinganda - qoldiq gazlar hajmi (to'rt taktli dvigatelda) yonish kamerasi hajmidan kichik bo'lganda;

– kiritish (va chiqrish) truboprovodidagi to'liq hodisalari natijasida kiritish oxirida silindrdagi bosim kiritish truboprovo-
didagi o'rtacha bosimdan yuqori bo'lganda birdan katta bo'lishi
mumkin.

To'lish koeffitsiyentini hisoblash

Dozaryadka oxiri (siqish boshlanishi)da silindrdagi ishchi jism M_1 kmol yangi zaryad va M_r kmol qoldiq gazlar aralashmasidan tarkib topadi:

$$M'_a = M_1 + M_r = M_1 \left(1 + \frac{M_r}{M_1} \right) = M_1 (1 + \gamma_r)$$

Q.ch.h. da silindrdagi gazlar parametrlari r_a va T_a ma'lum deb, Klayperon-Mendeleyev tenglamasidan q.ch.h. da silindrning V_a hajmidagi gazlar aralashmasi miqdorini aniqlaymiz:

$$p_a V_a = M_a R_\mu T_a.$$

U holda:

$$M_1 = \frac{M_a}{1 + \gamma_r} = \frac{p_a V_a}{R_\mu T_a (1 + \gamma_r)}. \quad (4.19)$$

$$V_a / V_h = V_a / (V_a - V_c) = 1 / (1 - V_c / V_a) = 1 / (1 - 1/\varepsilon) = \varepsilon / (\varepsilon - 1)$$

ifodani hisobga olib, (4.19) va (4.17) ifodalarni (4.15) ga qo'yib to'lish koeffitsiyentini olamiz.

$$\eta_v = [\varepsilon / (\varepsilon - 1)] p_a T_K / [p_K T_a (1 + \gamma_r)]. \quad (4.20)$$

Ba'zi algebraik o'zgarishlarni bajarib, (4.20) ifodani tahlil uchun qulay ko'rinishga keltiramiz:

$$\eta_v = \frac{T_K}{T_K + \Delta T} \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{1}{p_K} (\varepsilon p_a - p_r). \quad (4.21)$$

To'rt taktli dvigatellar uchun silindr produvkasi va dozar-yadkani hisobga olinganda, bu ifoda quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi.

$$\eta_v = \frac{T_K}{T_K + \Delta T} \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{1}{p_K} (\varphi_{\text{doz}} \varepsilon p_a - \varphi_{\text{toz}} p_r). \quad (4.22)$$

To'lish koeffitsiyentining qiymati asosan dvigatel taktiga, uning tezyurligiga va gaz taqsimlash tizimining takomillashganligiga bog'liq.

(4.21) va (4.22) ifodalardan shuni xulosa qilish mumkin: to'lish koeffitsiyenti kiritish oxiridagi bosim kattalashganda ortadi va chiqish bosimi ishchi aralashma harorati ko'tarilganda pasayadi.

Turli avtomobil va traktor dvigatellari to'liq yukda ishlaganda to'lish koeffitsiyenti η_v ning qiymatlari quyidagi oraliqlarda bo'ladi:

elektron purkagichli 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

Dvigatel sinovida to'lish koeffitsiyentini aniqlash

Porshenli to'rt taktli dvigatelda produvka bo'lmaydi, shuning uchun bir siklda silindrga kirgan havo (yoki aralashma) yangi zaryad miqdoriga teng bo'ladi va uning miqdorini dvigateldagi havo sarfini va tirsakli val aylanishlar chastotasi n (ayl/ min)ni o'lchab aniqlash mumkin. Havoning massaviy sarfi G_k (kg/s)ni sikllar chastotasi f_{sikl} (s^{-1}) va dvigateldagi silindrlar soni i ga bo'lib, yangi zaryad massasi aniqlanadi:

$$f_{\text{sikl}} = n / (60\tau / 2), \quad (4.23)$$

τ – bir sikldagi taktlar soni.

U holda

$$G_{\text{sikl}} = 30G_{\kappa}\tau / in. \quad (4.24)$$

(4.24) va (4.16) ifodani (4.15) ga qo'yib quyidagi ifodani olamiz

$$\eta_V = 30G_{\kappa}\tau / (\rho_{\kappa}V_h i n) \quad \text{ёки} \quad \eta_V = 30G_{\kappa}\tau / (\rho_0 i V_h n), \quad (4.25)$$

bu yerda G_{κ} – dvigateldagi havo sarfi, kg/s; V_h – ishchi hajm, m^3 .

To'lish koeffitsiyentini aniqlash uchun kiritish kollektoridagi havo (yoki aralashma) ning bosimi r_k va harorati T_k larni (kombinatsiyalashgan dvigatel sinalayotganda) yoki binodagi havoning bosimi va haroratini (porshenli dvigatel sinalayotganda) o'lchash zarur.

4.2.5. Konstruktiv va ekspluatatsion omillarning silindr to'lishiga ta'siri

Kech kiritishda dozaryadka va qaytib chiqish

Asosiy kiritishda silindrga kirgan yangi zaryad miqdori

$$G_{\text{asosiy}} = [p_a V_h / (RT_a)] \delta.$$

Porshen q.ch.h. ga kelganida gaz (aralashma yoki havo) kiritish truboprovodida hali harakatini davom ettirayotgan bo'ladi. Bu gaz ma'lum inertsiyaga ega bo'ladi, bu inertsiyadan q.ch.h. dan keyin silindrga qo'shimcha gaz kiritish maqsadida foydalanish mumkin. Shu sababli hamma ichki yonuv dvigatellarida kiritish klapani yonilishni q.ch.h. dan keyinga kechiktirib, kiritish jarayonini cho'zishadi. Aylanishlar soni katta bo'lganda bu davrda silindrga yangi zaryad kirishda davom etadi, kichik aylanishlar sonida esa gaz oqimining inertsiyasi kam bo'ladi va natijada qo'shimcha kirish o'miga silindrga kirgan gazning qaytib chiqishi kuzatiladi, kichik aylanishlar sonida silindrning to'lishi yomonlashadi.

To'liq sikl davomida dvigatel silindriga kiradigan yangi zaryad miqdori

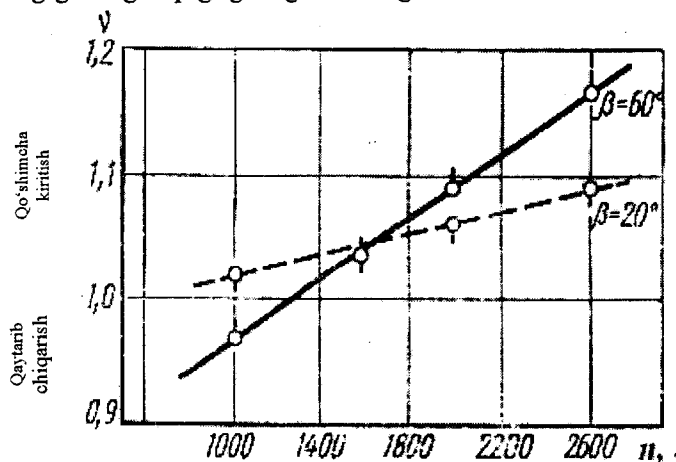
$$G_{\text{sikl}} = \varphi_{\text{doz}} G_{\text{asosiy}}$$

yoki

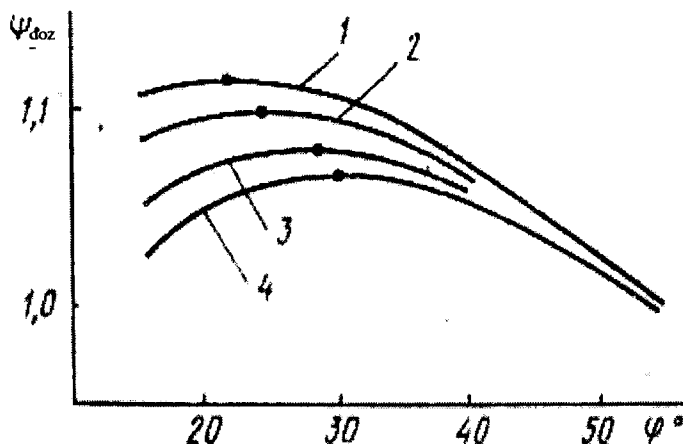
$$G_{\text{sikl}} = [r_a V_h \delta / (RT_a)] \varphi_{\text{doz}}.$$

Dozaryadka koeffitsiyenti φ_{doz} truboprovod o'lchamlariga, kiritish tirqishlarining o'lchamlari hamda bu tirqishning ochilish va yopilish onlariga bog'liq. Muayyan gaz taqsimlash fazasi va kiritish tizimiga ega bo'lgan berilgan dvigatel uchun dozaryadka koeffitsiyenti o'zgaras bo'lmaydi, chunki u tirsakli val aylanishlar chastotasi bilan belgilanadigan kiritish truboprovodidagi gazlarning tezligiga bog'liq. Kiritish klapani berkitish burchagi ortganda katta tezliklarda silindr dozaryadkasi ko'payadi, kichik aylanishlar sonida esa dozaryadka kamayadi, qaytib chiqish esa ko'payadi (4.6-rasm).

4.7-rasmda valning har xil aylanishlar chastotasida dozaryadka koeffitsiyenti φ_{doz} ning kiritish klapani berkilishining burchagiga bog'liqligi grafigi keltirilgan.



4.6-rasm. Kiritish tirqishi berkilishining $\beta=20$ va 60° burchaklarida dozaryadka koeffitsiyenti φ_{doz} .



4.7-rasm. Valning har xil aylanishlar chastotasida φ_{doz} ning kiritish klapani berkilishi burchagiga bog'liqligi:

1 – $n=1400$ ayl/min; 2 – $n=1600$ ayl/min; 3 – $n=1/800$ ayl/min;

4 – $n=2000$ ayl/min.

Valning har xil aylanishlar sonida bir siklda silindrning to'lishi

Yuqorida qayd etilganidek, bir siklda silindrga kiradigan yangi zaryad miqdori G_{siki} quyidagi tavsifiy tenglama yordamida aniqlanishi mumkin

$$G_{siki} = [r_a V_h / (RT_a)] \delta \varphi_{doz}. \quad (4.26)$$

Dvigatel to'liq yukda valning har xil aylanishlar sonida ishlaganida bir siklda silindrga kiradigan yangi zaryad miqdori o'zgarmas bo'lib qolmaydi. Aylanishlar soni ortganda kiritish kollektoridagi gaz oqimi tezligi ortadi, ya'ni kiritish tezligining gidravlik qarshiligi ko'payadi, natijada kiritish bosimi r_a pasayadi, ya'ni dvigatelning siklaviy to'lishi kamayadi. Agar kiritish klapani q.ch.h. da yopiladi deb faraz qilinsa, ya'ni to'lish koeffi-

tsiyenti birga teng deb qabul qilinsa, dvigatelning siklaviy to'lishi 1-chiziq bilan belgilanadi (4.8,a-rasm). Lekin kiritish klapani doim q.ch.h. dan $40-60^\circ$ o'tgandan keyin berqilishini hisobga olsak, bu kech kiritishda kichik aylanishlar sonida qaytib chiqish, katta aylanishlar sonida esa dozaryadka bo'ladi (4.8,a-rasm, 2-chiziq).

Shunday qilib, kiritish klapanining kechroq berqilishi katta aylanishlar sonida siklaviy to'lishni sezilarli darajada yaxshilaydi, kichik aylanishlar sonida esa yomonlashtiradi.

Valning har xil aylanishlar sonida vaqt birligida dvigatelning miqdoriy to'lishi

To'rt taktli dvigatelning vaqt birligida miqdoriy to'lishi (kg/min), ya'ni minutda to'lishi $G_{\min}$, valning minutiga n aylanishlar sonida, berilgan vaqt oralig'ida bajarilgan amaldagi siklaviy to'lish G_{sikl} lar summasiga teng bo'ladi:

$$G_{\min} = G_{\text{sikl}}(n/2)10^{-6},$$

bu yerda 10^{-6} – mg dan kg ga o'tish koeffitsiyenti.

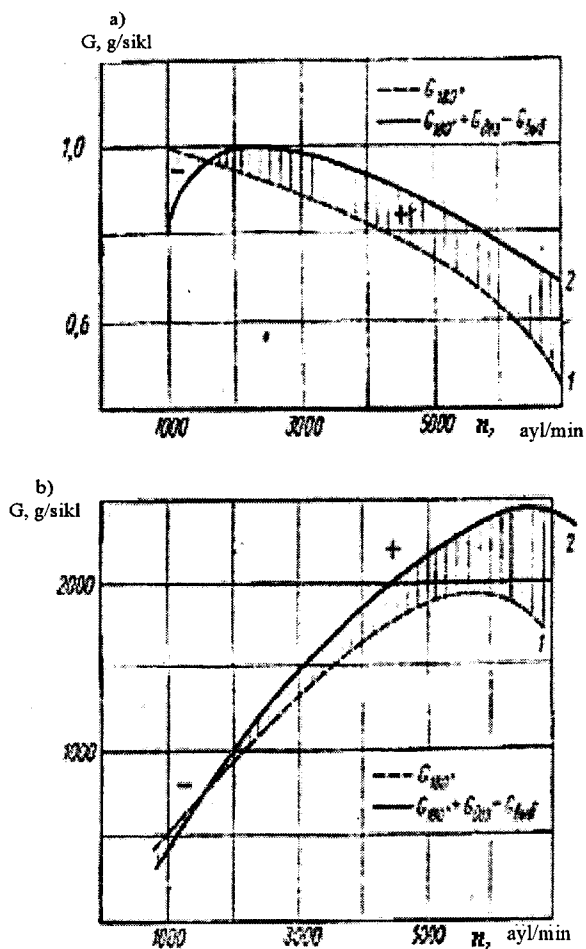
Silindrlarning bir soatda to'lishi (kg/soat)

$$G_{\text{soat}} = 60G_{\min} = 30G_{\text{sikl}} \cdot n \cdot 10^{-6}$$

Bu ifodaga (4.26) – formuladagi G_{sikl} qiymatini qo'yib, quyidagini olamiz (kg/soat)

$$G_{\text{soat}} = 30 [P_a V_h \delta / (RT_a)] \rho_{\text{doz}} \cdot n \cdot 10^{-6} \quad (4.27)$$

To'liq yukda ishlayotgan dvigatelning valning har xil aylanishlar sonida bir siklda va bir minutda to'lish grafiklari 4.8,a,b-rasmda keltirilgan.

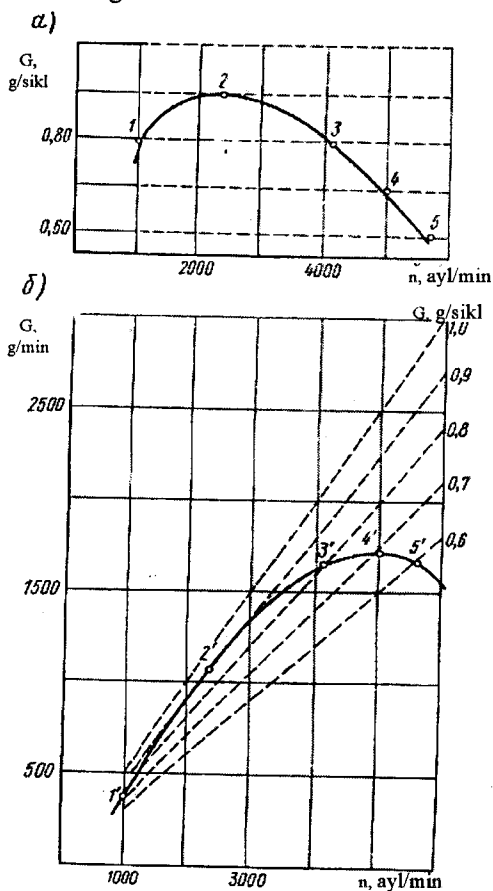


4.8-rasm. Kiritish klapani q.ch.h. da (chiziq-1) va q.ch.h. dan 50° o'tgandan keyin (chiziq-2) berkilganda dvigatelning siklaviy to'lishi (a) va bir minutda miqdoriy to'lishi (b).

Agar valning har xil aylanishlar sonida dvigatelning siklaviy to'lishi o'zgarmas, masalan, 1 g/sikl bo'lib qolsa va gorizontall to'g'ri chiziq bilan ifodalansa (4.9-rasm), u holda bunga mos keladigan minutli to'lish koordinata boshidan chiqqan 1 g/sikl

ogʻgan toʻgʻri chiziqli (4.9,b-rasm) tasvirlanar edi.

Agar siklaviy toʻlish valning har xil aylanishlar sonida oʻzgarmas, lekin $1,0 \text{ g/sikl}$ emas, balki $0,9$; $0,8$; $0,7$ va $0,6 \text{ g/sikl}$ larni tashkil qilsa (4.9, a-rasmda gorizontali shtrixli toʻgʻri chiziqlar bilan tasvirlangan), siklaviy toʻlishlarining bu qiymatlariga 4.9,b-rasmda $0,9$; $0,8$; $0,7$; $0,6$ shtrixli ogʻgan toʻgʻri chiziqlar bilan koʻrsatilgan minutli toʻlishlar mos kelar edi.



4.9-rasm. Dvigatelning siklaviy (a) va vaqt birligida massaviy (b) toʻlishi.

Demak, kichik aylanishlar sonida siklaviy to'lish katta emas (49, a-rasm, 1-nuqta), lekin aylanishlar soni kattalashib borgani sari G_{sikl} dastlab ortib borib, maksimumga erishadi (dozaryadka hisobiga) (2-nuqta), so'ngra esa kamayib boradi (kiritish tizimining gidravlik qarshiligining ortib borishi hisobiga (3, 4 va 5-nuqtalar).

Aylanishlar soni ortganda vaqt birligidagi sikllar soni ortadi, natijada siklaviy to'lishi kamayishiga qaramasdan, dvigatelning vaqt birligida to'lishi ortib boradi va 4' nuqtada maksimumga erishadi. Bundan keyin shu siklaviy to'lish darajada intensiv kamayadiki, sikllar sonining ortib borishi buni qoplay olmaydi va vaqt birligida massaviy to'lish kamayib boradi (4', 5' nuqtalar).

Demak, aylanishlar sonining cheklagichsiz ishlayotgan har bir dvigatelda valning shunday aylanishlar chastotasi mavjudki, unda vaqt birligida silindrga kiradigan yangi zaryad miqdori maksimal qiymatga erishadi.

Turli omillarning to'lish ko'effitsiyentiga ta'siri

Istalgan ichki yonuv dvigatelini konstruksiyalashda to'lish ko'effitsiyentining maksimal qiymati olishga intilish zarur, chunki dvigatel quvvati va tejamkorligi silindrlarga kiradigan yangi zaryad miqdoriga bog'liq.

To'lish ko'effitsiyentining kattaligiga ta'sir qiluvchi omillar:

- kiritish va chiqarish oxiridagi bosim;
- tirsakli valning aylanishlar chastotasi;
- dvigatel yuki;
- zaryad qizishi;
- qoldiq gazlar ko'effitsiyenti;
- yonilg'i va ta'minlash tuzish;
- atmosfera sharoitlari;
- gaz taqsimlash fazalari;
- dvigatel nadduvi;
- dvigatel kiritish va chiqarish traktlarining konstruksiyasi.

Kiritish oxiridagi bosim r_a – to'lish ko'effitsiyentiga ta'sir

qiluvchi asosiy parametrdir. Qolgan bir xil sharoitlarda r_a ning 0,01 MPa ga ko'tarilishi to'lish koeffitsiyentining 15–18% ga ortishiga sabab bo'ladi. Qoldiq gazlar bosimi r_g ning shunchaga ko'tarilishi η_v qiymatining atigi 15–20% ga kamaytiradi. Shuning uchun hamma loyihalanayotgan dvigatellar uchun kiritish oxiridagi bosim r_a ni ko'tarishga harakat qilishadi.

Kiritish oxiridagi bosim kiritish tizimining gidravlik qarshiligi (u o'z navbatida yangi zaryad tezligining kvadratiga va kiritish tezligining qarshilik koeffitsiyentiga proporsional), kiritish klapani berqilishining kechikish fazasiga va turboprovodlarga bosim tebranishiga bog'liq. Kiritish oxiridagi bosim r_a ni oshirish uchun gaz taqsimlanishining optimal fazalari o'rnatiladi, kiritish turboprovodlari va klapanlari o'tish kesimlarining yuzalarini kattalashtiriladi; truboprovodlar mumkin qadar kalta, keskin qayilishlarsiz (katta radiusda) va ichki sirti silliq qilib tayyorlanadi; kiritish klapanlari va ularning o'rindiqlari silliq (oqib o'tadigan) shaklda tayyorlanadi. Ba'zan o'tish kesimini kattalashtirish maqsadida ikkita (yoki undan ko'p) kiritish klapani o'rnatiladi.

Chiqarish oxiridagi bosim r_g ning to'lish koeffitsiyenti η_v ga ta'siri Ra ta'siriga qaraganda ancha kam, lekin siqish kamerasi prodovka qilinganda hamda kiritish va chiqarish tizimlarida pulsatsiya hodisalaridan foydalanilganda η_v qiymatining sezilarli darajada oshirilishiga erishish mumkin.

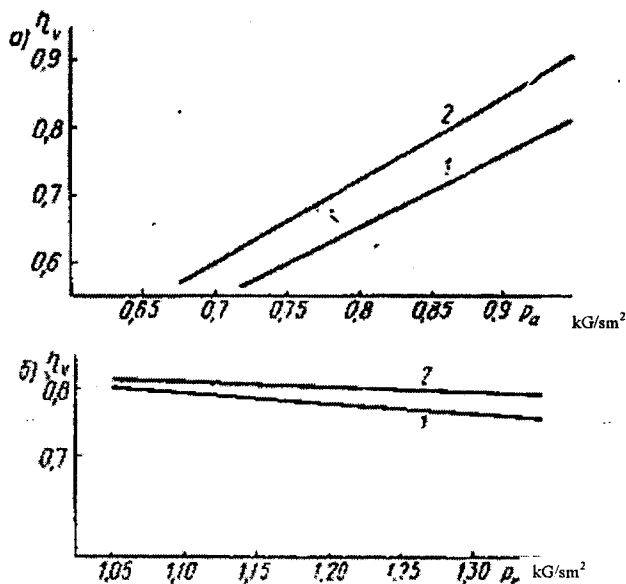
Chiqarish oxiridagi bosim r_g ning pasayishi qoldiq gazlar koeffitsiyentining kamayishiga, demak, η_v qiymatining ortishiga olib keladi. Shuning uchun chiqarish traktiga, kiritish traktiga qo'yiladigan talablarga o'xshash talablar qo'yiladi.

4.10-rasmda benzinli (1-chiziq) va dizel (2-chiziq) dvigatellari uchun to'lish koeffitsiyenti η_v ning r_a (4.10,a-rasm) va r_g (4.10,b-rasm)larga hisobiy bog'liqligi tasvirlangan.

Keltirilgan grafiklardan ko'rinadiki, kiritish bosimi r_a chiqarish bosimi r_g ga nisbatan η_v qiymatiga kuchli ta'sir qiladi. Shu sababli ko'p dvigatellarda kiritish traktining o'tish kesimi chiqarish traktinikiga nisbatan katta bo'ladi. Dizellarda, benzinli dvigatellarga nisbatan kiritish oxirida gazlar harorati pastroq

bo'lishi hamda qoldiq gazlar kamroq qolishi sababli, η_v qiymati kattaroq bo'ladi.

Dvigatel yukining to'lish koeffitsiyentiga ta'siri benzinli va dizel dvigatellarida har xil bo'ladi. Miqdoriy sozlanishga ega bo'lgan benzinli dvigatellarda yuk drossel to'sig'ining ochilishiga mos ravishda o'zgaradi. Yuk ko'payganda dvigatel silindrlariga kirayotgan yonuvchi aralashma miqdorini ko'paytirish, ya'ni drossel to'sig'ini kattaroq ochish lozim bo'ladi. Yuk ko'payganda esa drossel to'sig'ining ochilishi kamaytiriladi. Demak, yuk ko'payganda to'lish koeffitsiyenti ma'lum chegaragacha ortadi, yuk kamayganda esa η_v kamayadi (4,11, a-rasm).

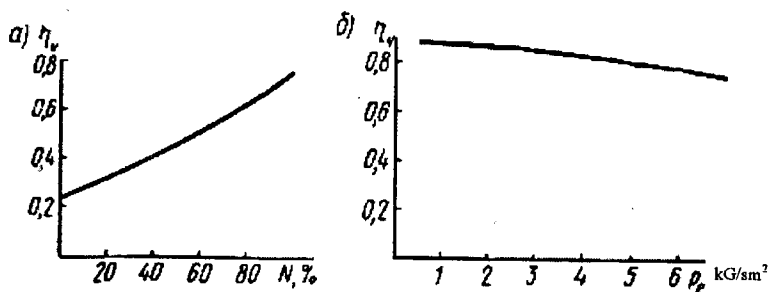


4.10-rasm. To'lish koeffitsiyentining p_a (a) va p_g (b) larga hisobiy bog'liqligi.

Sifatiiy sozlashga ega bo'lgan dizellarda yuk siklida silindrlarga kiradigan (purkaladigan) yonilg'i miqdori hisobiga o'zgaradi, bunda havo miqdori deyarli o'zgarmas bo'lib qoladi. Yuk o'rtacha effektiv bosim p_e ko'payganda dvigatelning issiqlik rejimi

ko'tariladi, natijada to'lish koeffitsiyenti biroz pasayadi (4.11,b-rasm).

Zaryad qizishi yangi zaryad haroratiga nisbatan ancha yuqori haroratga ega bo'lgan truboprovodlar, silindr va porshen devorlaridan sodir bo'ladi. Qiziganda zaryad zichligi va natijada η_v qiymati kamayadi. Zaryad qizishi valning aylanishlar chastotasi, yukga, sovitish tizimi va dvigatelning konstruktiv xususiyatlariga bog'liq.



4.11-rasm. Benzinli (a) va dizel (b) dvigatellarning to'lishiga yukning ta'siri.

Benzinli dvigatellarda yangi zaryad qizdirilishi lozim, chunki bunda kiritish trakti bo'yicha aralashma harakatlenganda yonilg'ining bug'lanishi yaxshilanadi. Shuning uchun benzinli dvigatellarda kiritish truboprovodi ishlangan gazlar yoki sovituvchi suyuqlik issiqligi hisobiga doim sun'iy ravishda qizdiriladi. Lekin darajasi shunday tanlanadiki, η_v sezilarli darajada pasaymasin, ya'ni dvigatelning quvvat va iqtisodiy ko'rsatkichlari yomonlashmasin.

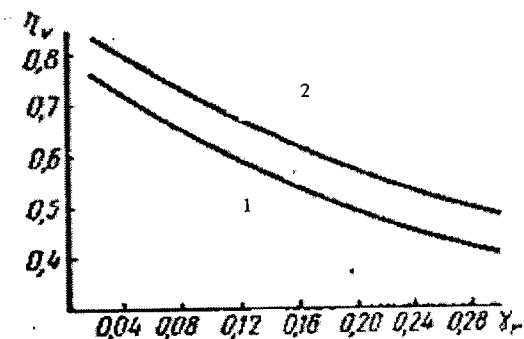
Dizellarda detallar qizishining harorati benzin dvigatellari-nikiga qaraganda pastroq bo'ladi, chunki dizellar kambag'al aralashmada ishlaydi; bundan tashqari dizellarda yangi zaryad sun'iy ravishda qizdirilmaydi. Shuning uchun dizellarda yangi zaryad benzinli dvigatellardagiga nisbatan kamroq qiziydi. Natijada dizellarda η_v qiymati kattaroq bo'ladi.

Dvigatel nadduv bilan ishlaganda yangi zaryadning qizishi

kompressordan chiqishdagi havo haroratiga, agar bu havo oraliqda sovutilsa, sovutgichdan chiqishdagi haroratga bog'liq. Bu harorat qanchalik yuqori bo'lsa yangi zaryad silindrda shunchalik kam qiziydi.

Qoldiq gazlar ko'effitsiyenti to'lish ko'effitsiyenti qiymatiga sezirarli darajada ta'sir qiladi. 4.12-rasmda benzinli (1-chiziq) ($\epsilon=8$; $r_a=0,8$; $r_0=1,03$; $T_0=288$ K; $\Delta T=30$ K; $T_g=1000$ K) va dizel (2-chiziq) ($\epsilon=15$; $r_a=0,9$; $r_0=1,03$; $T_0=288$ K; $\Delta T=20$ K; $T_g=800$ K) dvigatellari uchun to'lish ko'effitsiyenti η_v ning qoldiq gazlar ko'effitsiyenti γ_g bog'liqligining hisobiy grafigi keltirilgan. Chizmadan ko'rinadiki, γ_g 0,02 dan 0,20 gacha ko'payganda to'lish ko'effitsiyenti benzinli dvigatellarda 35% ga, dizellarda esa 31% ga pasayadi.

Benzinli dvigatellarda yukni kamaytirish uchun drossel to'sig'i berkitiladi, bu'ning natijasida kiritish tizimining aerodinamik qarshiligi ko'payadi, bu to'lish ko'effitsiyentining kamayishiga olib keladi. Buning oqibatida qoldiq gazlarning samaradorligi kamayadi, yonish tezligi sekinlashadi va issiqlik yo'qotilishi ko'payadi. Bu dvigatel tejamkorligining keskin yomonlashishiga olib keladi.

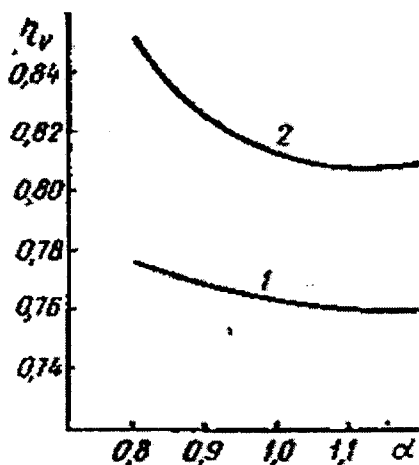


4.12-rasm. Benzinli va dizel dvigatellarida to'lish ko'effitsiyentining qoldiq gazlar ko'effitsiyentiga bog'liqligi.

Yonilg'i va ta'minlash tizimi faqat benzinli dvigatellarning to'lish ko'effitsiyentiga ta'sir qiladi, chunki bu dvigatellarda to'lish

jarayonida yonilg'i bug'lanadi, buning natijasida yangi zaryad harorati pasayadi. Shuning uchun benzinli dvigatellarning to'lish koeffitsiyenti ham yonilg'i naviga (bug'lanish issiqligi har xil bo'lganligi uchun) va ham havo ortiqligi koeffitsiyenti bilan tavsiflanadigan yangi zaryad (aralashma) tarkibiga bog'liq.

4.13-rasmda dvigatel benzinda (1-chiziq) va spirta (2-chiziq) ishlaganda to'lish koeffitsiyentining α ga bog'liqlik grafiklari keltirilgan. Grafiklardan shu narsa ko'rinadiki, to'lish koeffitsiyenti dvigatel spirta ishlaganida, benzinda ishlaganiga nisbatan, katta bo'ladi, chunki spirtning bug'lanish koeffitsiyenti 875–910 kDj/kg, benzinniki esa faqat 275–305 kDj/kg. Aralashma kambag'allashganida yangi zaryad tarkibida yonilg'ining nisbiy miqdori kamayishi natijasida dvigatel ikkala yonilg'ida ishlaganida ham to'lish koeffitsiyenti kamayadi.



4.13-rasm. Dvigatel benzin va spirta ishlaganda to'lish koeffitsiyentining α ga bog'liqligi.

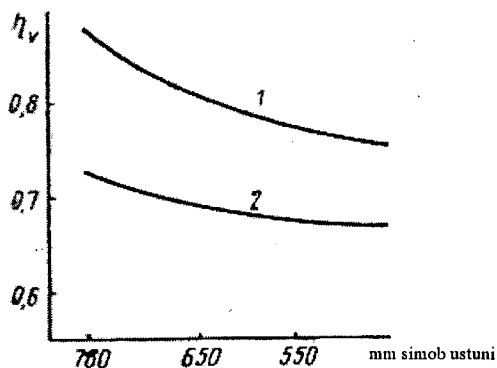
Yengil yonilg'i kiritish trakti yoki silindrga purkaladigan dvigatellarda, karbyuratorli dvigatellardagiga nisbatan, to'lish koeffitsiyenti katta bo'ladi. Drossel patrubkasi diffuzori kengayishi natijasida kiritish traktining qarshiligi kamayganligi tufayli to'lish koeffitsiyenti kattalashadi.

Atmosfera sharoitlari, ya'ni dvigatel silindrlariga kirayotgan havoning barometrik bosimi, harorati va nisbiy namligi, to'lish koeffitsiyenti qiymatiga, demak, dvigatelning quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlariga ta'sir qiladi.

Silindrga kirayotgan havo haroratining ko'tarilishi to'lish koeffitsiyentini pasaytiradi, natijada silindrga kiradigan zaryad miqdori kamayadi va dvigatel quvvati pasayadi. Benzinli dvigatellarda dvigatel tejamkorligi yomonlashadi va ishlangan gazlar tarkibida chala yonish mahsulotlari (CO) miqdori ortadi.

Barometrik bosim ham to'lish koeffitsiyentiga ta'sir qiladi: bosim pasayganda η_v kamayadi.

4.14-rasmda dizel (1-chiziq) va benzinli dvigatel (2-chiziq)lar to'lish koeffitsiyentlarining barometrik bosimga qarab o'zgarishi grafigi keltirilgan. Barometrik bosim pasayganda havo zichligi va massasi kamayadi, buning oqibatida yangi zaryad inertsiyasi kamayadi va to'lish koeffitsiyenti kichiklashadi.

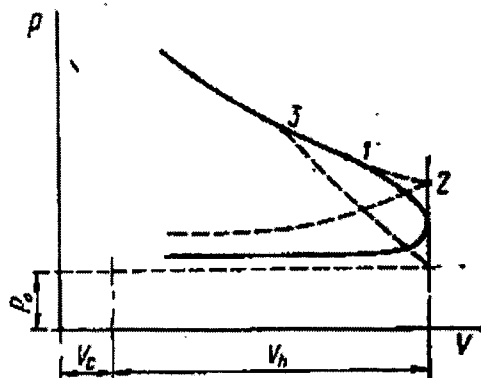


4.14-rasm. Barometrik bosimning dizel va benzinli dvigatel to'lish koeffitsiyentlariga ta'siri.

Harorat va bosim o'zgarmas bo'lganida havo namligi to'lish koeffitsiyentiga sezilarli ta'sir qilmaydi.

Gaz taqsimlash fazalari dvigatelning to'lish koeffitsiyentiga sezilarli ta'sir qiladi. Silindrlarni ishlangan gazlardan tozalanish darajasi va ularning yangi zaryad to'lishi gaz taqsimlash fazalarining to'g'ri tanlanganligiga bog'liq.

Tirsakli va burilishi burchaklarida ifodalanadigan, kiritish va chiqarish klapanlari ochilishi va yopilishining ilgariligi burchaklari eksperimental ma'lumotlar asosida tanlanadi. Silindrni ishlangan gazlardan yaxshiroq tozalash va ularni itarib chiqarish uchun sarflanadigan ishni kamaytirish uchun chiqarish klapanini 1 nuqtada (4,15-rasm) biroz ilgarilatib ochish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu holda indikator diagrammaning yuzasi klapan q.ch.h. da (2 nuqta) yoki haddan tashqari katta ilgarilik bilan (3 nuqta) ochilgandagiga qaraganda kattaroq bo'ladi.



4.15-rasm. Chiqarish klapani ochilish onining indikator diagramma yuzasiga ta'siri.

Chiqarish klapani porshen yu.ch.h. dan o'tganidan keyin yopiladi. Bunda klapaning vaqt-kesimi kattalashadi va chiqarish trakti bo'ylab harakatlanayotgan ishlangan gazlar inertsiyasidan foydalaniladi, bu silindr yaxshi tozalanishiga xizmat qiladi. Kiritish klapani porshen yu.ch.x. ga kelmasidan oldin ochiladi. Hamma tezyurar dvigatellarda kiritish va chiqarish klapanlarining gaz taqsimlash fazalari qoplashishadi. Klapanlar qoplashishi davrida ularning yuritish kesimlari juda kichik bo'ladi, shuning uchun ishlangan gazlarning kiritish truboprovodidagi bosimlar farqi kichik bo'ladi va u ishlangan gazlar inertsiyasini yengib, ularning harakat yo'nalishini o'zgartirishga qodir bo'lmaydi.

Kiritish va chiqarish klapanlarining ochilishi ilgariligi va yopilishining kechikish burchaklari dvigatel vallarining aylanish-

lar chastotasiga va traktlarning konstruksiyasiga qarab tajriba yo'li bilan o'rnatiladi.

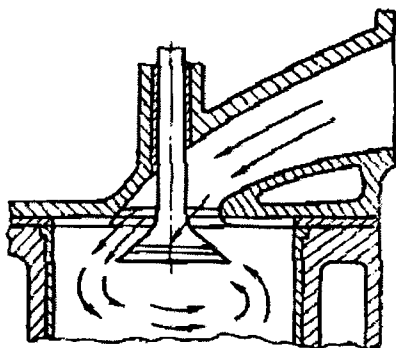
Gaz taqsimlash fazalarining qiymatlari nafaqat dvigatel ishinin tezlik rejimiga, balki klapanlar joylashishiga, kiritish va chiqarish traktlarining konstruksiyasiga va boshqalarga bog'liq.

Benzinli dvigatellarda gaz taqsimlash fazalari antide-tonatsion ko'rsatkichlarga ham ta'sir qiladi. Shu sababli to'liq yukda tanlangan gaz taqsimlash fazalari detonatsiya vujudga kelishi ehtimolini bartaraf qilish uchun dvigatel ishining boshqa rejimlarida ham tekshirilishi lozim.

Dvigatel nadduvi kiritishda zaryadning zichligi hisobiga to'liq koeffitsiyentining ortishini ta'minlaydi. Nadduv bilan ishlayotgan dizellarda kiritish va chiqarish klapanlarining qoplashishini nadduvsiz ishlayotgan dvigatellardagiga nisbatan kattaroq tanlashadi, bundan maqsad—yonish kamerasini produvka qilish va qizigan detallarni sovutishdir. Natijada qoldiq gazlar koeffitsiyenti kichiklashadi (ba'zan $\gamma_g=0$ gacha) va yangi zaryad qizish harorati ΔT pasayadi.

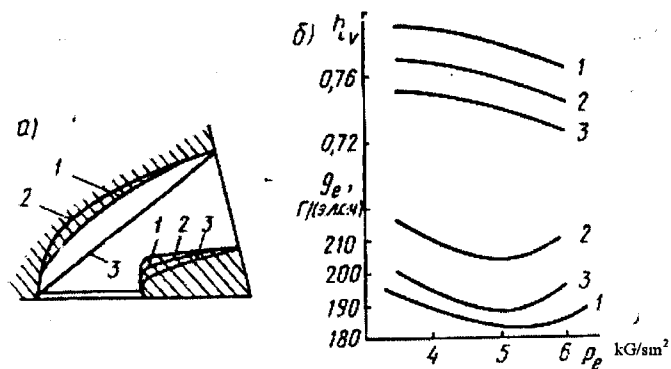
Dvigatel kiritish va chiqarish traktlarining konstruksiyasi to'liq koeffitsiyentining qiymatiga kuchli ta'sir qiladi.

Kiritish klapanlarining shakli nafaqat tulish koeffitsiyentini orttirish maqsadida, balki yangi zaryad dvigatel silindrida yo'nalgan harakatda bo'lishini ta'minlash nuqtai nazaridan ham tanlanadi. Zaryadning yo'nalgan harakati, ajratilgan kameralar va porshen tubida joylashgan kameralar yaxshi aralashma hosil bo'lishini va yonishning katta tezligini ta'minlaydi. Shuning uchun to'rt taktli dvigatellarning ko'pida kiritish patrubkalari silindrga nisbatan tangentsial yo'nalgan bo'ladi (4.16-rasm), bu kiritish jarayonida dvigatel silindrida zaryadning uyurma harakatlanishini ta'minlaydi.



4.16-rasm. Silindrdagi uyurma harakat hosil bo'lishi uchun tangensial kiritish kanali.

4.17,*a*-rasmida kiritish kanallarining sxemalari, 4.17,*b*-rasmida bu kanallar shakllarining har xil yukda dvigatelning to'lish koeffitsiyentiga ta'siri keltirilgan. Chizmadan ko'rinadiki 1 kanalda to'lish koeffitsiyenti eng katta, 2 kanalda esa kamroq, chunki kiritish trubkasi buralish radiusi kichiklashtirilgan. 3 kanalda esa to'lish koeffitsiyenti eng kichik, bunda kanal o'tish kesimi yuzasi kamayishi hisobiga kiritish tizimining qarshiligi ko'paygan.



4.17-rasm. Kiritish kanali shaklining to'lish koeffitsiyenti va yonilg'ining solishtirma sarfiga ta'siri.

Lekin 3 kanalda dvigatel silindrlari to'lishi yomonlashganligiga qaramasdan 2 kanalda nisbatan ishchi jarayonning effektiv ko'rsatkichi – yonilg'i tejamkorligi yaxshilangan; bunga silindrdagi gazning uyurma harakati kuchayishi hisobiga erishilgan.

Kiritish va chiqarish klapanlarining o'leamlari va konstruktiv bajarilishi ham to'lish koeffitsiyentiga ta'sir qiladi. Klapan diametri va ko'tarilishi balandligi ushbu dvigatel uchun maksimal ruxsat etilgan darajada bo'lishi kerak.

Oxirgi paytda tezyurar transport dvigatellarining ko'p qismi kalta yo'lli, ya'ni porshen yo'lining silindr diametriga nisbati S/D birga teng yoki birdan kichik, qilib tayyorlanmoqda. Bunda porshen yo'li qisqartirilib, silindr diametri kattalashtirilmogda. Bunda dvigatel ishchi hajmi saqlangani holda, porshenning o'rtacha tezligi birlamchi ruxsat etilgan qiymatga yetgunicha tirsakli val aylanishlar chastotasi orttirilishi hisobiga dvigatel quvvatini oshirish imkoniyati tug'iladi. Bu kiritish klapani diametrini kattalashtirish va silindrga kirishda yangi zaryad harakatining o'rtacha tezligini kamaytirish imkonini beradi. Shuning uchun kalta yo'lli dvigatellarda, oddiy dvigatellarga nisbatan to'lish koeffitsiyentining qiymati kattaroq bo'ladi.

4.3. Siqish jarayoni

4.3.1. Umumiy holatlar

Siqish jarayonida porshen q.ch.h. dan yu.ch.h. gacha siljiydi, bunda kiritishda silindrga kirgan gazlar hajmi kamayib boradi. Gazlarni siqib borayotgan porshenni siljitish uchun qanchadir miqdorda ish sarflanishi zarur, bu ish bajarilishi uchun quvvat shatun va tirsakli val orqali maxovik va boshqa silindrlardan keltiriladi. Porshen siljigani va siqilayotgan gazlar hajmi kamaygani sari, bu gazlarning bosimi va kamroq darajada harorati ko'tarilib boradi.

Ichki yonuv dvigatelining haqiqiy siklda siqish jarayoni:

- ishchi sikl harorat chegaralarini orttirish;
- yonuvchi aralashma alanganishi va yonishi uchun zarur

bo'lgan sharoitlarni yaratish uchun xizmat qiladi; bu sharoitlar issiqlikning foydali ishga effektiv aylantirilishini ta'minlaydi.

Dvigatelda aralashma hosil bo'lishi va yonilg'i alangalanishining qaysi usuli qo'llanilishiga qarab, siqish jarayoniga qo'yiladigan talablar har xil bo'ladi.

Aralashma tashqarida hosil bo'ladigan va tashqi manba (o't oldirish svechasi)dan o't oladigan dvigatellarda, silindrda yonilg'i-havo aralashmasi siqilayotganda, siqish jarayonida aralashmaning qo'shimcha aralashishi sodir bo'ladi, natijada butun hajm bo'yicha aralashma tarkibining bir xilligi ortadi. Bu yonish kamerasi bo'ylab alanga tarqalishini osonlashtiradi va tezlashtiradi. Dvigatel ishi ko'rsatkichlarini yaxshilash uchun siqish darajasini o'ttirishga intilish lozim. Lekin siqish darajasi shunday bo'lishi kerakki, siqish oxiridagi harorat va bosim vaqtdan oldin alanga paydo bo'lishi yoki detanatsion yonishga sabab bo'lmasin. Shuning uchun siqish darajasining yuqori chegarasi yonilg'i xossalari, yonuvchi aralashma tarkibi, issiqlik uzatish sharoitlari, yonish kamerasining konstruktiviyasiga va h.k.larga bog'liq.

Havoga purkalgan, siqish tufayli yuqori haroratgacha qizigan yonilg'i o'z-o'zidan alangalanadigan dvigatellarda siqish oxirida yonilg'i silindrga purkaladigan onda yonish kamerasida siqilgan havo oqimining turbulent harakati mavjud bo'lishi maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu purkalayotgan yonilg'ining havo zaryadida taqsimlanishini osonlashtiradi, demak, mavjud havodan yonish uchun foydalanishni yaxshilaydi. Lekin havoning yonish kamerasidagi harakati yonish kamerasining shakli va purkalayotgan yonilg'i fakeli yo'nalishiga mos tashkil qilinishi kerak.

Dizellar ishlashi uchun siqish oxiridagi harorat purkalgan yonilg'i o'z-o'zidan alangalanishi uchun yetarli bo'lishi zarur. Dvigatel ishlay oladigan minimal siqish darajasi shu talab bo'yicha aniqlanadi.

Lekin amalda siqish darajasi quyidagi sabablarga ko'ra ancha yuqori bo'lishi kerak:

- haroratning ortishi yonilg'i purkalishi boshlangan on va uning alangalanishi orasidagi davr – alanga tutilib qolishi davrini qisqartiradi, bu dvigatelning yumshoqroq ishlashini ta'minlaydi,

unda yonishda bosim keskin ortib ketmaydi;

- siqish oxiridagi yuqoriroq harorat oddiy sharoitlarda dvigatelning harorati past bo'lgan havo so'rilayotganda ham ishlashini hamda sovuq dvigatelning ishonchli o't olishini ta'minlaydi.

Shunday qilib, muayyan dvigatelning siqish darajasi ekspluatatsiya sharoitlariga va uning konstruktiv xususiyatlariga bog'liq. Atrof-muhitning past haroratlarida ishlaydigan dvigatellar, ajratilgan yonish kamerali dvigatellar va silindrlarning o'lchamlari kichik bo'lgan dvigatellarning siqish darajasi kattaroq bo'lishi kerak.

Har xil turdagi dvigatellar uchun siqish darajasi ϵ ning chegaralari:

Benzinli dvigatellar	7,5–11,0;
Nadduvsiz dizellar	14–24;
Nadduvli dizellar	12–17.

Ruxsat yetiladigan siqish darajasi benzinli dvigatellarda benzinning oktan soni (O.S.) bilan aniqlanadi:

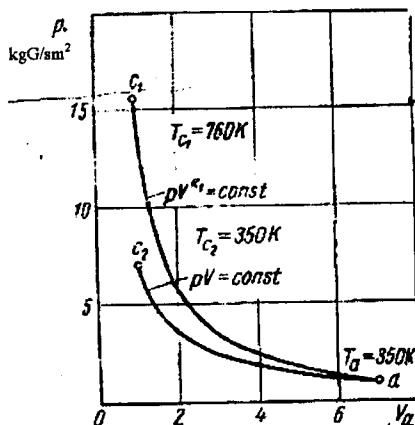
Oktan soni	73–76	77–80	81–90	91–100	100 dan katta
ϵ	6,5–7,0	7,1–7,5	7,6–8,5	8,6–9,5	12,5 gacha

Dizellarda siqish darajasi katta qiymatlarining cheklani-
shining sababi shundaki, u ortganda siqish oxiridagi bosim va mos
ravishda yonishning maksimal bosimi katta bo'lib ketadi. Natijada
krivoship-shatunli mexanizmga tushadigan yuk kattalashadi,
uning detallari va umuman dvigatel og'irlashib ketadi. Bundan
tashqari, porshenga ta'sir qilayotgan maksimal bosim ortganda,
dvigatelda ishqalanishni yengishga sarflanadigan quvvat ortadi.
Bu – ayniqsa nadduvli dvigatellarga taalluqlidir, ularda siqish
darajasi yonilg'ini ishonchli o't oldirish ta'minlaydigan darajada
minimal olinadi.

Shuni qayd qilamizki, siqish darajasi uning katta qiymatla-
rigacha ($\epsilon \geq 20$) orttirilganda issiqlikdan foydalanish juda kam
yaxshilanadi.

4.3.2. Siqish jarayonining borishi

Ikkita nazariy – izotermik va adiabatik siqish jarayonlarini ko'rib chiqamiz (4.18-rasm).



4.18-rasm. Siqishning adiabatik va izotermik grafiklari.

Porshen q.ch.h. dan yu.ch.h. ga siljishining boshidan oxirigacha silindr devorlari sovutilgan holdagina siqish jarayoni izotermik bo'lishi mumkin, chunki faqat shundagina siqilayotgan gazlar haroratini o'zgarmas holda saqlash mumkin. Adiabatik siqish (as_1) issiqlikni absolyut o'tkazmaydigan devorlar mavjud bo'lgandagina sodir bo'lishi mumkin.

Real dvigatel silindrida devorlar sovitilishi tufayli adiabatik siqilish mumkin emas. Shu tufayli haqiqiy siqilish jarayonida gazlar bosimi, adiabatik siqishga qaraganda, sekinroq ortadi va real dvigatelda siqilish chizig'i adiabata chizig'idan pastda joylashadi.

Siqilayotgan gazlardan silindr devoriga nisbatan ko'p bo'lmagan miqdorda issiqlik olib ketilishi tufayli ularning harorati ko'tarilib boradi, bosimi esa izotermik siqishdagiga nisbatan tezroq ortadi. Shuning uchun real dvigatelning siqish chizig'i izotermik siqish chizig'iga nisbatan yuqorida joylashadi.

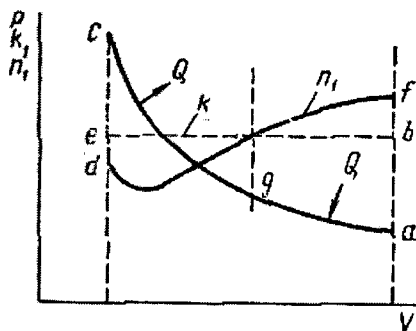
4.3.3. Siqish jarayonida issiqlik almashinuvi

Dvigatelning haqiqiy siklida siqish jarayoni ishchi jism va dvigatel detallari orasida issiqlik almashinuvi sharoitida boradi, shuning uchun adiabatik bo'lmaydi. Bu issiqlik almashinuvi murakkab tavsifga ega va uni termodinamik munosabatlar yordamida aniq ifodalash ancha qiyin. Hisoblarni soddalashtirish maqsadida siqish jarayoni politropik kechadi; bunda p_2 o'zgarmas o'rtacha politropa ko'rsatkichi deb qabul qilinadi. Bu holda o'zgarmas ko'rsatkich p_1 dagi siqish ishi o'zgaruvchi ko'rsatkichdagi ishga teng bo'lishi mumkin.

4.19-rasmda siqish (as), adiabata (vs) va siqishning haqiqiy politropasi (fd)larning o'zaro joylashishi ko'rsatilgan.

Siqish jarayonining har xil davrlarida issiqlik oqimining yo'nalishi bir tomonga bo'lmaydi. Siqishning boshlanish davrida silindrdagi gazning harorati uni o'rab turgan sirtlar (silindr gilzasi, kallak, porshen tubi, klapanlar kallaklari) haroratlaridan past bo'ladi. Shu sababli siqish yo'lining birinchi qismida (4.19-rasm, ad uchastka) siqilayotgan ishchi jism bu sirtlardan qo'shimcha qiziydi. Bu davrda tashqi ishning sarflanishi davomida tashqi muhitdan issiqlik qabul qilib turiladi, demak, siqish politropasi ko'rsatkichi p_1 adiabata ko'rsatkichi k dan katta bo'ladi. Siqish davomida ishchi jism harorati ortib borishi bilan, devorlardan qabul qilinayotgan issiqlik miqdori kamayib boradi, shu sababli politropa ko'rsatkichi uzluksiz pasayib boradi. Siqilayotgan gazning va yonish kamerasi ichki devorlarining o'rtacha haroratlari tenglashgan onda, issiqlik almashinuvi to'xtaydi, ya'ni bu onda siqish jarayoni adiabatik ($p_1 = k_1$) bo'ladi.

Siqilayotgan gaz haroratining yanada ortishi issiqlik oqimining yo'nalishini o'zgartiradi; issiqlik gazdan yonish kamerasi sirtiga berila boshlanadi (ds uchastka), bunda adiabata ko'rsatkichi siqish politropasi ko'rsatkichidan katta bo'ladi ($p_1 < k_1$) va silindrdagi gaz harorati ko'tarilib borishi natijasida bu farq ortib boradi.



4.19-rasm. Siqish (as), adiabata (vs) va siqishning haqiqiy politropasi (fd)larning o‘zaro joylashishi.

Yonish kamerasi sirtining mahalliy haroratlariga qarab ikkala hodisa: yuqoriroq haroratda qizigan detallardan ishchi jismga issiqlik berilishi va ishchi jismdan sovuqroq detallarga issiqlik olib ketilishi bir vaqtning o‘zida kechishi mumkin.

Siqish politropasi ko‘rsatkichi p_1 yu.ch.h. yaqinida ishchi jismning harorati yuqori bo‘lishiga qaramasdan, adiabata ko‘rsatkichi k_1 dan kichik bo‘lgani holda, biroz kattalashadi. Buni quyidagi bilan tushuntirish mumkin: siqish oxirida sovitish yuzasi kamayadi, ishchi jism yonish kamerasida yuqoriroq haroratga qizigan detallarga tegib turadi, natijada devorlarga issiqlik uzatilishi biroz kamayadi.

Demak, haqiqiy siklda ishchi jismning siqilishi – politropa ko‘rsatkichi o‘zgaruvchi bo‘lgan jarayondir. Amaliyotda politropaning o‘zgaruvchi ko‘rsatkichini qandaydir o‘rtacha ko‘rsatkich $p_1 = 1,32-1,39$ bilan almashtirishadi. Bu raqamlar siqishning to‘liq davrida ko‘p hollarda issiqlikning qandaydir miqdori uzatilishi (yo‘qotilishi)ni bildiradi. Lekin uzatiladigan issiqlikning umumiy miqdori juda kam, shuning uchun dvigatellardagi siqish jarayoni adiabatikka juda yaqin. Porsheni sovitilmaydigan dvigatellarda $p_1 \geq 1,4$ bo‘lishi ham mumkin.

Siqish politropasi ko‘rsatkichi p_1 ga ta’sir qiluvchi asosiy omillar:

- silindr sovitilishining intensivligi;

- silindr o'lchamlari;
- tirsakli val aylanishlar chastotasi;
- zaryad harakatining intensivligi.

Silindr sovitilishining ta'siri yaqqol ko'zga tashlanadi: silindr devorlarining harorati past bo'lganda siqilayotgan gazlardan issiqlikning olib ketilishi intensiv bo'ladi, ya'ni politropa ko'rsatkichi kichiklashadi. Masalan, suyuqlik bilan sovitiladigan dvigatellarda, havo bilan sovitiladigan dvigatellarga nisbatan, p_1 qiymati kichikroq bo'ladi.

Silindr o'lchamlari kichik bo'lgan dvigatellarda va ayniqsa, yonish kamerasi ajralgan dvigatellarda siqish politropasining o'rtacha ko'rsatkichi odatda biroz kichikroq bo'ladi, chunki ularda solishtirma sovitilish yuzasi – siqilayotgan gaz massasi birligiga mos keladigan yonish kamerasining sirti – nisbatan kattaroq bo'ladi.

Porshen halqalari va klapanlar nozichliklari orqali gazning oqib ketishi ham siqish politropasining ko'rsatkichiga ta'sir qiladi – p_1 qiymati pasayadi.

Tirsakli val aylanishlar chastotasi siqish vaqtida devorlarga uzatiladigan issiqlikning summar miqdoriga ta'sir qiladi. Jarayonning umumiy davomiyligi tirsakli val aylanishlar chastotasiga teskari proportsional, shuning uchun aylanishlar chastotasi ortganda siqish politropasining o'rtacha ko'rsatkichi p_1 ortadi.

Nadduvsiz dizellarda yukning siqish jarayoniga ta'siri sezilar-siz darajada. Politropa ko'rsatkichining siqish darajasiga bog'liqligi ham sezilarsiz.

Miqdoriy sozlanadigan (benzinli) dvigatellarda hamda nadduvli dizellarda yuk rejimi o'zgarganda zaryad zichligi o'zgaradi.

Zaryad zichligi ortishi bilan sovitiladigan solishtirma yuza kamayadi, natijada yuk ortganda siqish politropasi ko'rsatkichi ortadi va aksincha, yuk kamayganda uning qiymati kichiklashadi.

4.3.4. Siqish jarayonini hisoblash

Siqish jarayonining hisobi siqish politropasining o'rtacha ko'rsatkichi p_1 , siqish oxiridagi parametrlar (r_s va T_s) va siqish oxirida ishchi jismning issiqlik sig'imi $(mc_v)'_{t_0}^t$ ni (t_c – siqish oxirida aralashma harorati, °C) aniqlashga keltiriladi.

Siqish politropasi o'rtacha ko'rsatkichi p_1 qiymati dvigatel tirsakli vali aylanishlar chastotasi, siqish darajasi, silindr o'lchamlari, porshen va silindr materiallari, issiqlik almashinuvi va boshqa omillar bo'yicha tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha o'rnatiladi.

Siqish jarayoni yetarli darajada tez kechganligi (nominal rejimda 0,015–0,005 S) tufayli, siqish jarayonida ishchi jism va silindr devorlari orasidagi summar issiqlik almashinuvi juda kam bo'ladi, shu sababli p_1 qiymatini adiabataning o'rtacha ko'rsatkichi bo'yicha baholash mumkin.

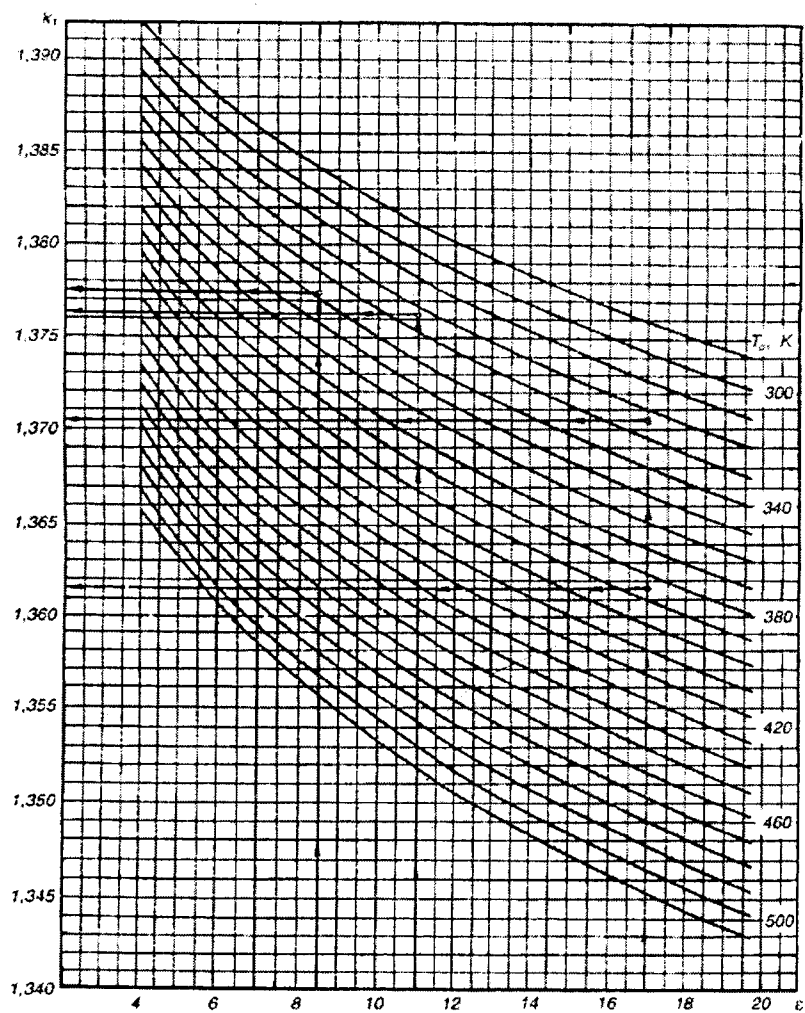
4.20-rasmda tasvirlangan nomogrammadan ε va T_a larning mos qiymatlari uchun k_1 qiymati aniqlanadi. Nomogramma k_1 ni T_a , T_s , ε va havoning issiqlik sig'imi $(mc_v)'_{t_a}^t$ lar bilan bog'lovchi ikkita tenglamani birgalikda echish natijasida qurilgan:

$$k_1 = 1 + (\lg T_c - \lg T_a) / \lg \varepsilon \quad (4.27)$$

$$k_1 = 1 + 8,315 / (mc_v)'_{t_a}^t \quad (4.28)$$

$$(mc_v)'_{t_a}^t = [(mc_v)'_{t_a}^t t_c - (mc_v)'_{t_0}^t t_a] / (t_c - t_a) \quad (4.29)$$

Agar (4.28) formulada havoning issiqlik sig'imi $(mc_v)'_{t_a}^t$ ishga aralashmaning issiqlik sig'imi $(mc_v)'_{t_a}^t$ bilan almashtirilsa, nomogramma aniqroq quriladi.



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

Siqish politropasi o'rtacha ko'rsatkichi p_1 ning qiymatlarini quyidagi oraliqlarda olish mumkin:

benzinli dvigatellar uchun $(k_1 - 0,00) \div (k_1 - 0,04)$;

dizellar uchun $(k_1 + 0,02) \div (k_1 - 0,02)$.

ε va T_a larning bir xil qiymatlarida benzinli dvigatellar uchun p_1 qiymati dizellarnikiga qaraganda odatda kichikroq bo'ladi, chunki yonilg'i-havo aralashmasi siqilganda yonilg'i bug'lanadi, bug'lanishda esa issiqlik yutiladi. Bundan tashqari, yonilg'i bug'larining mavjudligi aralashma issiqlik sig'imini orttiradi. Bu ikkala omil p_1 qiymatini pasaytiradi.

Politropa ko'rsatkichi p_1 qiymati o'rnatilgandan so'ng, siqish oxirida ishchi jism parametrlari holatning politropik o'zgarishlari tenglamalaridan aniqlanadi:

bunda siqish oxiridagi bosim

$$p_c = p_a \varepsilon^{\eta} \quad (4.30)$$

siqish oxiridagi harorat

$$T_c = T_a \varepsilon^{\eta-1} \quad (4.31)$$

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarida siqish oxirida bosim va harorat quyidagi oraliqlarda bo'ladi:

Elektron purkaladigan

dvigatellarda $r_s = 1,0-2,5$ MPa;

Karbyuratorli

dvigatellarda $r_s = 0,9-2,0$ MPa;

$T_s = 600-800$ K;

Nadduvsiz tezyurar

dizellarda $r_s = 3,5-5,50$ MPa;

$T_s = 700-900$ K;

Nadduvli va porsheni

sovitiladigan

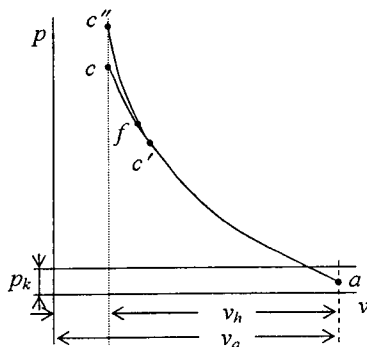
dizellarda $r_s = 5,5-9,0$ MPa

(va ko'proq)

$T_s = 700-1100$ K.

Siqish oxirida yangi zaryadning o'rtacha mol issiqlik sig'imi havo issiqlik sig'imiga teng qilib olinadi. 3.3-jadvaldan yoki 0-1500 °C haroratlar intervalida 3.4-jadvaldagi formuladan aniq-

Siqish oxirida qoldiq gazlarning o'rtacha mol issiqlik sig'imi $(mc_v'')_{t_0}^t$ [kJ/(kmol·grad)] benzin uchun 3.5-jadvaldan, dizel yonilg'isi uchun esa 3.6-jadvaldan bevosita aniqlanishi mumkin.

$$\begin{aligned} (mc_v'')_{t_0}^t = & \frac{1}{M_2} [M_{CO_2} (mc_{vCO_2}'')_{t_0}^t + M_{CO} (mc_{vCO}'')_{t_0}^t + M_{H_2O} (mc_{vH_2O}'')_{t_0}^t + \\ & + M_{H_2} (mc_{vH_2}'')_{t_0}^t + M_{N_2} (mc_{vN_2}'')_{t_0}^t + M_{O_2} (mc_{vO_2}'')_{t_0}^t] \end{aligned} \quad (4.32)$$
$$(mc_v')_{t_0}^{t_c} = \frac{1}{1 + \gamma_r} [(mc_v)_{t_0}^{t_c} + \gamma_r (mc_v'')_{t_0}^{t_c}] \quad (4.33)$$


Hisobdan va s nuqtaning parametrlari aniqlangandan so'ng yonish boshlanadigan onni hisobga olish maqsadida siqish chizig'i taqribiy to'g'rilanadi. 4.21-rasmda s' nuqtaning holati o't

oldirish (yonilg'i purkash) ilgariligi burchagi bilan aniqlanadi. Zamonaviy tezyurur dvigatellarda, ularning nominal ish rejimida o't oldirish ilgariligi burchagi 30–40° oraliqda, yonilg'i purkala boshlanishi ilgariligi burchagi esa – 15–25° oraliqda bo'ladi. Yonish chizig'ining (f nuqta) siqish chizig'idan ajralishi ishchi aralashmaning alangalanishi tutilib qolishi davri bilan aniqlanadi. Bunda siqish oxirida bosim taxminan $p_c = (1,15 \dots 1,25)$ gacha (s'' nuqta) ko'tariladi.

4.4. Yonish jarayoni

4.4.1. Yonuvchi aralashmalarni hosil qilish

Yonilg'i oksidlanishi reaksiyasining boshlanishi va rivojlanishi reagentlar yonilg'i va kislorod molekulari kontaktisiz mumkin emas. Bunday kontaktlarning zaruriy miqdori reagentlarni aralashtirish – *aralashma hosil qilish* yo'li bilan ta'minlanadi.

Yonilg'i yonishi to'liqligi va tezligi nafaqat aralashmadagi yonilg'i va havo miqdorlarining umumiy nisbati (havo ortiqligi koeffitsiyenti), balki aralashma bir jinsliligi, aralashma hosil bo'lishi tezligi, joy va vaqt kabi omillar bilan ham aniqlanadi.

Yonilg'ining har bir molekulasida yonida kislorod, azot va boshqa komponentlarning bir xil miqdori joylashgan aralashma bir jinsli deb ataladi. Turli agregat holatlarda, masalan, oksidlovchi gaz, yonilg'i esa tomchi yoki plyonka ko'rinishida bo'lgan komponentlardan tarkib topgan aralashma doim bir jinsli bo'lmaydi, uni ikki fazali yoki geterogen aralashma deyishadi. Faqat gomogen aralashmagina bir jinsli bo'lishi mumkin.

Zamonaviy dvigatellarda aralashma hosil bo'lishi jarayoni 0,0005–0,06 s ni tashkil qiladi. Komponentlar haroratini ko'tarish; oqimlarni alohida oqimchalarga bo'lib, aralashish yuzalarini orttirish; bir muhitdan ikkinchisiga nafaqat alohida molekular, balki komponentlarning ma'lum hajmlarining ham o'tishiga

yordam beruvchi turbulentli diffuziyani tashkil qilish yo'li bilan diffuzion jarayonlarni intensivlash mumkin.

Komponentlarning har xil agregat holatlari havo va engil bug'lanadigan suyuq yonilg'idan yonuvchi aralashma hosil qilishni qiyinlashtiradi. Aralashish diffuzion jarayonlaridan oldin yonilg'i bug'lanishi kerak.

Yonilg'i bug'lanishini tezlatish maqsadida karbyurator purkagichidan oqib chiqayotgan yonilg'i 100–300 mkm o'lchamli alohida tomchilarga purkaladi, natijada bug'lanish sirti yuzlab marta kattalashadi. Yonilg'i bug'langanda aralashmaning harorati pasayadi; bu yonilg'i to'yingan bug'larining bosimini pasaytiradi, natijada aralashmaning bir birlik hajmida bug'langan yonilg'i miqdori kamayadi. Bug'lanish tezligini sekinlatmaslik uchun aralashma shunday qizdiriladiki, aralashma forsunkadan silindrlarga borish yo'lida yonilg'ining 60–80% bug'lansin. Yonilg'ining qolgan qismi silindrlarga tomchi va plyonka ko'rinishida bug'-havo aralashmasi oqimi bilan kiradi. Bunda alohida silindrlarga suyuq fazada kiradigan yonilg'i miqdori har xil bo'ladi. Silindrlarda suyuq yonilg'i bug'lanishi uchun sharoitlar har xil bo'lishi mumkin; bu turli silindrlardagi aralashmalarning bir xil bo'lmasligini belgilaydi; turli silindrlardagi aralashmalar nafaqat bir jinsli emasligi darajasi, balki tarkibi bo'yicha ham farqlanadi. Ko'p silindrli dvigatellarda bu farq o'rtachadan 5–15% gacha yetishi mumkin.

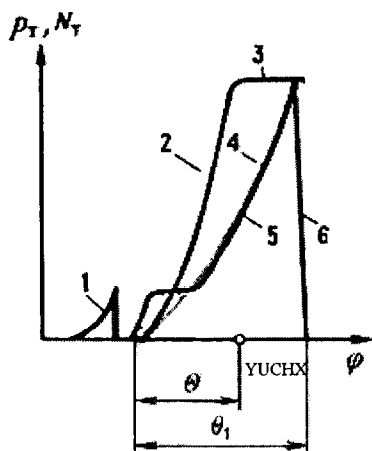
Yonilg'ini maydaroq purkash va dvigatelning kiritish tizimida ikki fazali aralashmani intensivroq qizdirish yo'li bilan alohida silindrlar bo'yicha aralashma tarkibining bir xil bo'lishini va aralashmaning bir jinsli bo'lishini yaxshiroq ta'minlash mumkin. Lekin karbyuratsiyalashda tomchi o'lchamlarini kichiklashtirish va ularni qizdirish silindrlar to'lishini kamaytiradi. Shuning uchun karbyuratsiyalash $T = 250\text{--}350\text{ K}$ haroratlarda va karbyurator diffuzorlarida havoning nisbatan kam tezliklarida (25–150 m/s) amalga oshiriladi.

Karbyuratsiyalash o'rniga yonilg'i forsunka orqali kiritish patrulkalariga (0,25–0,50 MPa bosim ostida) yoki bevosita silindrlarga (0,9–1,5 MPa bosim ostida) purkalganda aralashma hosil bo'lishini yanada yaxshilash mumkin. Yonilg'i purkalishi silindrlar to'lishini, purkalishni va silindrlar bo'yicha yonilg'ini dozalashni, dvigatel ish sharoiti bo'yicha yonilg'i uzatilishini sozlashni yaxshilaydi. Silindr ichida aralashmani hosil qilishdan foydalanish siqish darajasini orttirish imkonini beradi, chunki kiritish trubasida yonilg'i qizimaydi, yonilg'ining kech qizishi esa yonilg'i molekullari ortiqcha qizishining oldini oladi.

Yonilg'i bevosita silindrga purkalganda dvigatelni o't oldirish osonlashadi, yonilg'i sarfi 10% gacha kamayadi, quvvat 6–10% ga ortadi va ishlangan gazlar zaharliligi kamayadi.

Siqilgan zaryac' issiqligidan yonilg'i alangalanadigan dvigatellarda aralashma hosil bo'lishining xususiyatlari: yonilg'i yomon bug'lanadi, bug'lanishning sezilarli qismi vaqt bo'yicha yonish jarayoni bilan bir vaqtda davom etadi, yonish kamerasining hajmi bo'yicha yonilg'i notekis tarqaladi. Dizel yonilg'isining bug'lanishini tezlatish uchun uning purkalishi va tomchilarining qizishini ta'minlash zarur. Bu ko'p jihatdan yonilg'i purkala boshlanadigan onni, purkalish davomiyligini va purkalishda yonilg'i bosimini belgilaydi.

Zamonaviy dvigatellarda yonilg'i purkalishi ilgariligi burchagi θ (4.22-rasm) tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha yu.ch.h. gacha 10–30° ni, to'la quvvatga mos keladigan yonilg'i fazasi purkalishining davomiyligi $\theta_1=12-40^\circ$ ni tashkil qiladi. Purkalishning mayinligini ta'minlash uchun purkalish bosimi purkash boshlanishida ajratilgan yonish kameralari uchun kamida 7,5 MPa ni va ajratilmagan yonish kameralari uchun kamida 25 MPa ni tashkil qiladi va purkash davomida bosim mos ravishda 25–245 MPa gacha yetadi.



4.22-rasm. Yonilg'i purkalishi bosimi r_{yo} ning tirsakli val buralish burchagiga bog'liqligi:

- 1 – ikki fazali purkashda yonilg'ining birlamchi o't olish dozasini purkash;
- 2 va 4 – ortib borayotgan bosimda purkash; 3 – o'zgarmas bosimda purkash;
- 5 – bosqichli purkash; 6 – purkash oxiri.

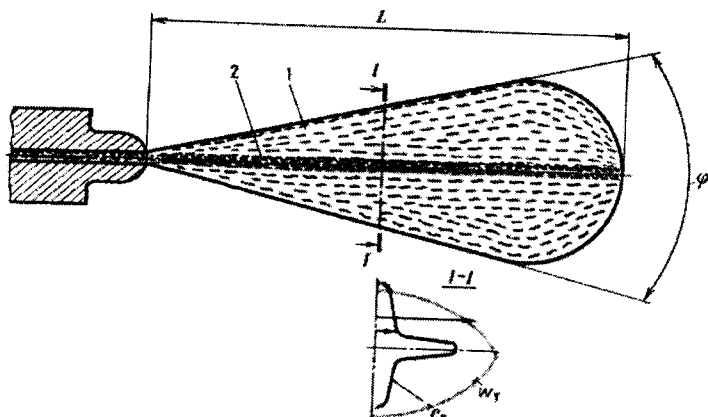
Yonilg'i purkovchi teshiklar kanallari bo'ylab oqqanda va bu teshiklar qirrasidan ajralganda oqimda to'liqin hosil bo'ladi; oqimdagi bosimning ko'ndalang va bo'ylama tebranishlari oqimni deformatsiyalaydi va ba'zi hollarda uni bo'laklarga parchalaydi. Oqim yonish kamerasidagi zich havo zaryadi bilan to'qnashganda oqimning notekis sirtidagi sirt tarangligi kuchlari bilan havo zaryadining aerodinamik kuchlari orasida o'zaro ta'sir boshlanadi. Oqim siljigani va havo zaryadidan qizigani sari bu kuchlarga oqimda hosil bo'layotgan bosim kuchlari qo'shilib boradi.

Bu kuchlar ta'sirida oqim shakli va kattaligi har xil bo'lgan alohida hajmlarga bo'linadi. Oqim parchalangani sari bu hajmlar sirtlaridagi aerodinamik kuchlarning nisbiy qiymatlari ortib boradi, qizigan sari esa sirt tarangligi kuchlari kamayadi. Alohida hajmlar siljigani sari ularning havoga nisbatan tezligi kamayishi natijasida, ularning sirtlaridagi aerodinamik kuchlar kamayadi; bu hajmlar sirt tarangligi kuchlari va atrofdagi bosim ta'sirida shar-

simon shaklni egallay boshlaydi. Tomchilar bug'lanish va davom etayotgan parchalanish natijasida kichiklashib boradi. Natijada boshida monolit bo'lgan oqim, parchalana borib, alohida tomchilar, tomchilar orasini to'ldiruvchi yonilg'i bug'lari va gazlardan tarkib topgan fakel hosil qiladi.

Purkalgan va bug'langan yonilg'i fakelining tuzilishi (4.23-rasm) purkash paytida uzluksiz o'zgarib boradi. Dastlab fakel uzunligi L ortib boradi; yonilg'i kontsentratsiyasi S_{y_0} fakel kesimlarida notekis bo'ladi (o'q bo'ylab fakel o'zagini tashkil qiluvchi oqimlar va tomchilar ko'rinishida asosiy massa joylashadi); o'qdan chetlashgan sari tomchi o'lchamlari va ularning tezligi w_{y_0} kamayadi, tomchilar va bug'lar soni esa ortib boradi; tomchilardan o'zak atrofida «fakel qobig'i» hosil bo'ladi. Birinchi tomchilar ortida gaz va bug'lar oqimi yo'ldoshi paydo bo'ladi, unda harorat tomchilar bug'lanishi tufayli pasayadi. Buning natijasida keyingi tomchilar sekinroq parchalanadi va bug'lanadi va fakelni uzaytirib, forsunkadan uzoqroqqa uchib boradi. Kichik boshlang'ich kinetik energiyaga va katta nisbiy sirtga ega bo'lgan mayda tomchilar tezroq tormozlanadi, natijada fakel bo'ylab tomchilar o'lchamlari bo'yicha separatsiyalanadi: yirik tomchilar mayda tomchilarga nisbatan uzoqroqqa uchib boradi.

Tomchilar siljigani sari ularning traektoriyasi o'qdan og'ib boradi, bunga fakel o'qidan tasodifiy yo'nalgan natijaviy aerodinamik kuchlar va fakel markaziy qismining massaviy zichlanishi natijasida hosil bo'ladigan itaruvchi kuchlar sabab bo'ladi. Natijada fakel kesimi ortib boradi, fakel Tani burchagi φ bilan tavsiflanadi. Fakelning ochilib borishi va hajmning ortib borishi jarayoniga aylanayotgan tomchilar periferiyadan ilib olayotgan havoning fakelga so'rib olinishi hamda tomchilar boshlang'ich o'lchamlari va massasining kamayishi sabab bo'ladi.



4.23-rasm. Purkalayotgan yonilg'i fakel tuzilishining sxemasi:
1-qobiq; 2-o'zak.

Yonilg'i hali fakel endi rivojlanayotgan paytda alanganishi mumkin; mahalliy issiqlik ajralib chiqishi natijasida harorati yuqori bo'lgan, yonish mahsulotlari bilan to'lgan, mahalliy bosimi ortayotgan zonalar hosil bo'lishi mumkin. Bu fakelning buzilishiga va qayta qurilishiga, tomchilar qizishi va bug'lanishining tezlanishiga olib keladi. Yonilg'i purkalishi to'xtagandan so'ng purkalayotgan teshik oldidagi bosim keskin kamayadi, fakel kattalashadi, uning kesimi esa kichiklashadi.

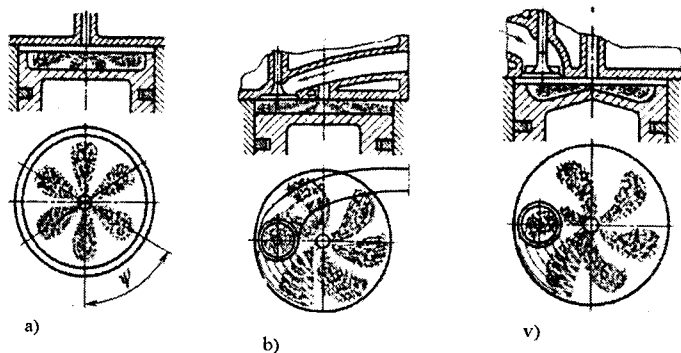
Yonilg'ining havo zaryadida taqsimlanishi yonilg'ini purkash, uning yoyilishi va bug'lanishi jarayonlaridan boshlanadi. Yonilg'i bug'larining havoga molekulyar diffuziyasi jarayoni tomchining zaryadi 600 m/s gacha bo'lgan tezlikda harakatlanishida tezlashadi, buning oqibatida tomchi sirtidan purkalib haydalayotgan bug'lar uning ortida shleyflar hosil qiladi; shleyflarning hajmi tomchi hajmidan yuz va ming martalab katta bo'ladi. Yonilg'i molekullari bu shleyflardan qo'shni havo hajmlariga diffuziylanib o'tadi.

Yonilg'i fakellari ichidagi turbulentslik va ular sonining ko'payishi diffuziya tezligini orttiradi. Bu hamda purkash jarayonida fakellar geometrik parametrlarining o'zgarishi yonilg'i tomchilarining yonish kamerasi hajmida tarqalishiga sabab bo'ladi.

Turbulentli diffuziya va havo zaryadiga intensiv uyurma harakat berishni tashkil qilish yo'li bilan yonilg'ining yonish kamerasi hajmi bo'ylab tekislikda tarqalishiga erishiladi.

Dizellarda aralashma hosil qilishning qayd qilingan prinsiplari konstruktiv shakllantirilganda, har xil sharoitlarda ishlaydigan, turli yonilg'ilardan foydalanadigan dvigatellarda zaruriy natijalarga erishish imkonini beradigan yonish kameralari ishlab chiqilgan.

Yonish kameralari ajratilmagan va ajratilganlarga bo'linadi. 4.24-rasmda ajratilmagan yonish kameralarining asosiy konstruktiv shakllari keltirilgan.



4.24-rasm. Ajratilmagan yonish kameralarining asosiy shakllari:

a – silindrsimon, porshen tubida joylashgan; *b* – tekis, ularda uyurma kiritish kanali yordamida hosil bo'ladi; *v* – toroidal, u yerda uyurma kiritish kanalidagi shirma yordamida hosil bo'ladi.

Bunday kameralarda aralashma hosil qilishning asosiy prinsipi purkalgan yonilg'ini yonish kamerasining butun hajmi bo'yicha taqsimlashga intilishdir. Bunday aralashma hosil qilish *hajmiy* deb ataladi. Buning uchun fakel shaklini yonish kamerasi shakliga muvofiqlashtirishga intilishadi, fakellar sonini ko'paytirishadi. Bunday kameralarda yonilg'i butun hajm bo'yicha notekis tarqaladi, shuning uchun bunday kameralardan foydalanilganda havo ortiqligi koeffitsiyentining katta qiymatlari ($\alpha=1,5-2,2$)ni qo'lla-

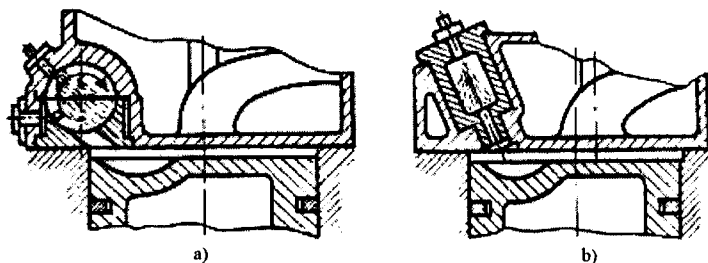
shadi, yonilg'ini purkash bosimi yuqori (20–245 MPa) bo'ladi.

Yonilg'i tomchilarining kamera bo'ylab taqsimlanishini yaxshilash uchun zaryadga silindr o'qi bo'ylab aylanma harakat beriladi, hosil bo'lgan oqim fakellarga perpendikulyar yo'nalishda harakat qiladi. Bunday uyurma harakat kiritish kanalining maxsus shakli (4.24,b-rasm) yoki kiritish klapanlari tarelkasidagi maxsus shirma yordamida hosil qilinadi. Gazning perpendikulyar oqimlari yonilg'ining fakellar orasidagi hajmda taqsimlanishiga xizmat qiladi (4.24,b,v-rasm).

Ajratilmagan yonish kameralari keng tarqalgan va silindr diametri $D \geq 100$ mm bo'lgan dvigatellarning hamma turlarida keng qo'llanadi. Ularning asosiy afzalliklari: konstruksiya soddaligi, siqish darajasi katta bo'lmagani ($\varepsilon=14-17$) holda dvigatellarning yuqori yonilg'i tejamkorligi, sovitish tizimi elementlarining yuqori kontaktligi va o't oldirish sifatining yaxshiligi.

Ajratilmagan yonish kameralarining asosiy kamchiliklari: dvigatel hisobiy rejimlarda ishlamaganida 1 yonilg'i shakli va o'lchamlarining yonish kamerasi shakli va o'lchamlariga muvofiqqligining buzilishi; havo ortiqqligi koeffitsiyentining katta qiymatlari; yonilg'ini purkash bosimining yuqoriligi. Bundan tashqari aralashma hosil bo'lishi shartining yonilg'i sifatiga bog'liqligi bunday dvigatellarda yonilg'ining har xil navlaridan foydalanish imkonini bermaydi.

Bu nuqtai nazardan ajratilgan yonish kameralari (4.25-rasm) o'zini yaxshi namoyon qildi. Ular ikki: porshen ustidagi va kallakda joylashgan hajmlardan iborat bo'lib, bu hajmlar o'zaro bir yoki bir nechta teshik (yoki tirqish) orqali tutashadi. Shu sababli siqish jarayonida yonish kamerasi kallakda joylashgan qismining to'lishi bosimlarning katta farqida amalga oshadi, bu esa u yerda intensiv turbulentlik hosil qiladi, natijada purkalayotgan yonilg'i yangi zaryad bilan yaxshi aralashadi; purkalayotgan yonilg'ining miqdori va massaviy tezligiga deyarli bog'liq bo'lmaydi.



4.25-rasm. Ajratilgan yonish kamalarining asosiy turlari:
a) uyurma kamerali; b) old kamerali.

Ajratilgan yonish kamalarining ikkinchi tavsifiy xususiyati shunda-ki, ular sirtining (kamida) bir qismi, ajratilmagan yonish kameralari sirtiga nisbatan, kamroq intensivlikda sovitiladi, natijada ularning harorati yuqoriroq (1050 K gacha) bo'ladi. Bu zaryad haroratini ko'taradi va yonilg'i bug'lanishini yaxshilaydi. Shu sababli ajratilgan kamerali dvigatellar yonilg'ining har xil navlarida, havo ortiqchilik ko'effitsiyentining kichik qiymatlarida va yonilg'i kam bosimda purkalganda ham yaxshi ishlaydi, dvigatellar ishash sharoitining o'zgarishiga kam ta'sirchan, yuklar va aylanishlar chastotalarining o'zgarishi keng diapazonlarida ishlash uchun yaxshi moslashgan.

Sharsimon, silindrsimon yoki bochkasimon shakldagi uyurma kameralar silindrlar bloki kallagida joylashadi va asosiy kamera bilan silindrsimon yoki oval shakldagi bitta-uchta kanal yoki bitta tirqish orqali tutashadi (4.25,a-rasm); ular yuqori haroratli o'rnatma (vstavka)da kamera doirasiga urinma qilib o'rnatiladi. Bu kamerada uyurma hosil qiladi. Yonilg'i, odatda, yuqori haroratli o'rnatma sirt yo'nalishida purkaladi. Purkalgan yonilg'i fakeli yonish kamerasi hajmi bo'yicha yaxshi taqsimlanadi, bu esa havo ortiqchilik ko'effitsiyentining kichik qiymatlari ($\alpha=1,15-1,4$) dan foydalanish imkonini beradi.

Ajratilgan uyurma kameraning hajmi to'liq hajmi V_s ning 40–60% ini tashkil qiladi; bu hajmni 30% gacha kamaytirish tendensiyasi kuzatiladi. Tutashtiruvchi teshiklarning summar

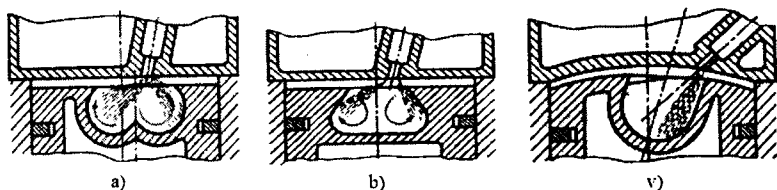
yuzasi porshen yuzasining 0,8–2,7% ni tashkil qiladi, bu 200 m/s gacha oqim tezligini olish imkonini beradi. Purkashning boshlang'ich bosimi 12–15 MPa dan katta emas. Lekin yonish kamerasining har xil qismlaridagi bosimlar farqining kattaligi hamda issiqlik uzatish yuzasining kattalashganligi tufayli bu dizellarda siqish darajasi 17 dan katta olinadi. Uyurma kameralar $D \leq 150$ mm bo'lgan dizellarda qo'llanadi.

Old kameralar (yoki forkameralar) silindrlar bloki kallagida joylashtiriladi va yonish kamerasining asosiy qismi bilan bir yoki bir nechta (sakkiztagacha) kanallar bilan tutashtiriladi; bu havonirg (nisbatan) unga katta bo'lmagan tezliklarida (320 m/s gacha) va old kameraning kichik o'lehamlarida u yerda intensiv tartibsiz uyurmalar hosil qiladi; bu uyurmalar fakelni buzib tashlaydi va yonilg'ini havo bilan aralashtirib yuboradi (4.25, b-rasm). Katta siqish darajalarida ($\epsilon = 19$ –22) va qizigan o'rnatma mavjudligida purkashning boshlang'ich bosimini 7,8–12,3 MPa gacha, havo ortiqligi koeffitsiyenti α ni esa 1,05–1,2 gacha kamaytirish imkonini beradi, old kameraning hajmi V_s hajmining 20–40% ni tashkil qiladi; tutashtiruvchi kanallarning summar kesim yuzasi porshen yuzasining 0,3–1,0% ni tashkil qiladi, bu siqish oxirida old kameradagi va porshen ustidagi hajmdagi bosimlarning maksimal farqlanishini (0,3–0,5 MPa) ta'minlaydi.

Old kameradan oqib chiqqan chala yonish mahsulotlari va yonilg'i bug'lari porshen ustki hajmidagi zaryad bilan intensiv aralashadi, bu yonishning etarli darajada to'liq bo'lishini ta'minlaydi. Old kameralar dvigatellarni, uyurma kameralilarga nisbatan ham, yonilg'i navi va ish rejimiga sezgirligini kamaytiradi; uyurma kameralarga nisbatan oqib o'tish yo'qotishlari va issiqlik almashinuvi yo'qotishlarining kamligi old kameralar silindrining diametri $D \leq 350$ mm gacha bo'lgan dvigatellarda qo'llash imkonini beradi.

Aralashma hosil bo'lishi jarayonini yaxshilash va ajratilgan yonish kameralarining kamchiliklarini kamaytirishga intilish «yarim ajralgan» yonish kameralarini yaratishga olib keldi (4.26-rasm); ular porshen tubida joylashadi. Dastlab porshenning chiqib turgan qismi bilan zaryadni porshendagi kameraga siqib chiqarish

va ish bilan aralashma hosil bo'lishini yaxshilamoqchi bo'lishdi. Lekin bu usul, S. Moyrer plenkali aralashma hosil qilishni ishlab chiqmagunicha, natija bermadi.



4.26-rasm. Yarim ajralgan yonish kameralarining asosiy shakllari:
a – torosimon (Tatra); *b* – konussimon (TSNIDI);
v – nosimmetrik (DSITTS).

Plyonkali aralashma hosil qilish uchun purkalayotgan yonilg'ı dozasining asosiy qismini (90–95% gacha) yonish kamerasi devoriga katta bo'lmagan burchak ostida berish zarur; bunda yonilg'ı devor bo'ylab yupqa qatlamda oqib tushishi, devor yonida esa zaryad harakatini shunday tashkil qilish lozimki, plyonkadan yonilg'ı bug'lari intensiv olib ketilsin, lekin plyonka buzilmasin. Bu yonilg'ı fakeli bo'ylab yo'nalgan, devor yonida tezligi taxminan 10–15 m/s bo'lgan uyurmada mumkin bo'ldi.

Plyonka qalinligi, plyonka ustidagi zaryad harakatining intensivligi va devor haroratining optimal mutanosibligi bug'lanishning optimal tezligini ta'minlaydi. Devorning harorati alohida ahamiyatga ega, chunki devor harorati yetarli darajada yuqori bo'lmasa plyonkaning qizishi ham yetarli bo'lmaydi; harorat haddan tashqari yuqori bo'lsa intensiv hosil bo'layotgan bug'lar plyonkani qizitayotgan sirtan ajratishadi va natijada issiqlik keltirilishining intensivligi kamayadi. Mavjud konstruksiyalarda $T_{\text{devor}} = 620\text{--}725\text{ K}$.

Alangalanish zaryad harorati devor haroratidan yuqori bo'lgan, fakeldan yonilg'ı bug'lanishi natijasida hosil bo'lgan aralashmada sodir bo'ladi.

Yarim ajralgan kameralarning porshen tubidagi hajmi to'liq hajm V_c ning 70–90% ni tashkil qiladi; yonish kamerasining

minimal kesimi porshen yuzasi F_p ning 36–75% iga teng; havo ortiqligi koeffitsiyenti $\alpha=1,3-1,6$; yonilg'i purkalishi boshlanishidagi bosim 15–17 MPa; soplodagi teshiklar soni $z=2-5$.

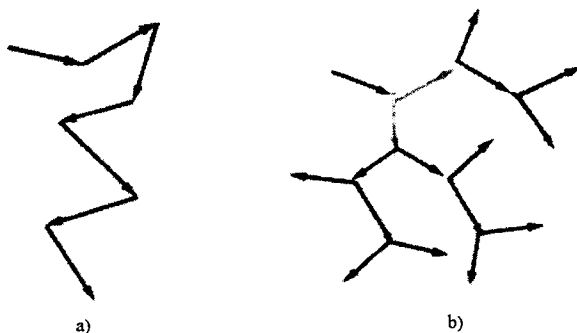
Plyonkali aralashma hosil qilish uchun yarim ajralgan kameralar eng qulay bo'lib chiqdi – ular ixcham (компактные), havo yonish kamerasiga siqib chiqarilayotganda hosil bo'ladigan uyurmalarini, silindr to'lishida hosil qilinadigan havoning aylanma harakati bilan uyg'unlashtirish imkonini beradi. Yonish kamerasi devorlari qalinligini o'zgartirib, zarurat tug'ilganda porshen sovutilishini ham sozlab, yonish kamerasi devorlari yuzasidagi haroratlar maydonini sozlash imkoni vujudga keldi; forunkalar va purkalgan yonilg'i fakellarning joylashishi ham qulay bo'lib chiqdi. Sof plyonkali aralashma hosil qilishning kamchiliklari namoyon bo'lganda (ishchi jarayonni takomillashtirish murakkabligi, dvigatellarni o't oldirish qiyinligi, ishlangan gazlar zaharliligining yuqoriligi, kam yuklarda ishlaganda tutash) bu afzalliklardan foydalanildi va hajmiy – plyonkali aralashma hosil qilishga o'tildi, bunda yonilg'ining 40–60% devorga beriladi hamda siqib chiqarish uyurmaları va zaryad aylanma harakatining urinma tashkil etuvchilaridan foydalanildi. Qolgan yonilg'i yonish kamerasidagi zaryad hajmiga berildi.

4.4.2. Alangalanish va yonish jarayonlari

Yonish boshlanishi uchun energiyaning birlamchi sarfi zarur, bu vazifani siqilgan zaryad issiqligi yoki elektr razryadi energiyasi bajaradi.

Oksidlanish jarayoni – bu elektronlarning oksidlanayotgan modda atom va ionlari orbitasidan oksidlovchi modda atom va ionlari orbitasiga o'tish jarayonidir. Elektronlarning bunday siljishi uchun energiya zarur, u molekulalarga reaksiya boshlanishida o'zaro urilishlardagi kinetik energiya ko'rinishida keltiriladi. O'zaro urilishlar soni va ularning energiyasi reagentlar konsentratsiyasiga va haroratga bog'liq va ular gomogenli va geterogenli aralashmalar uchun molekulyar fizika qonunlaridan aniqlanishi mumkin.

Sharoitga qarab reaksiya zonasida tarmoqlanmagan va tarmoqlangan zanjirli reaksiya rivojlanishi mumkin (4.27-rasm). Birinchi holda bitta aktiv markaz tugagunicha yoki mahalliy noqulay sharoitlar tufayli reaksiya uzilgunicha davom etadi.

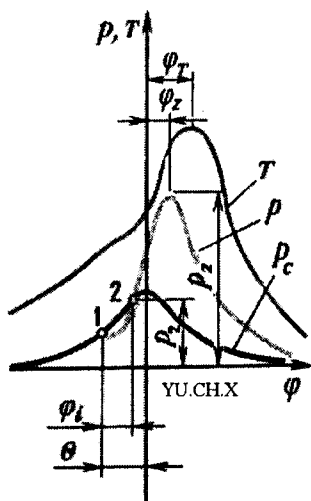


4.27-rasm. Oksidlanishning zanjirli reaksiyalari sxemasi:
a—tarmoqlanmagan; b—tarmoqlangan.

Ikkinchi holda reaksiya natijasida bitta aktiv markaz o'rnida ikkita yoki ko'proq yangi aktiv markazlar hosil bo'lishi mumkin; natijada reagentlar konsentratsiyasi kamayishiga qaramasdan oksidlanish reaksiyasi tezlashib boradi. Tarmoqlangan zanjirli reaksiyada yonish tezligi tezda cheksizgacha yetishi mumkin edi. Lekin bu sodir bo'lmaydi, chunki tarmoqlarning bir qismi uziladi (asosan yonish kamerasi devorlari yaqinida), aralashma sarf bo'lgani sari esa, reaksiyaga kirishadigan zarrachalar soni kamayib boradi. Maksimal qiymatga yetgandan so'ng, reaksiya tezligi kamaya boshlaydi.

Reaksiyaga yetarli darajada ko'p molekularlar kirishgandan so'ng, zaryad issiqligining devorlarga va yonilg'i bug'lanishiga uzatilishi ajralib chiqayotgan oksidlanish issiqligi bilan qoplanadi (issiqlik muvozanati oni) va yonish kamerasida kritik harorat T_{kr} yoki aralashmaning alangalanishi harorati o'rnatiladi; bundan keyin harorat va bosim tez ko'tarila boshlaydi. Agar indikator bosimi bilan oldin kameradagi bosim yonilg'i purkalmasdan, so'ngra esa yonilg'i purkalganda yozilsa, issiqlik muvozanati

Bosim yetarli darajada sezgir datchik bilan yozilganda ishini sezish mumkin-ki, yonilg' i purkalishi boshlangan 1-nuqta (4.28-rasm) dan keyin bosim chizig' i dastlab yonilg' i purkalmagandagi siqish chizig' idan pastroqda o' tadi, so' ngra 2-nuqtada siqish chizig' ini kesib o' tadi va tez ko' tarila boshlaydi. Purkash boshlanishida bosim chizig' ining pasayishini issiqlikning purkalgan yonilg' i tomchilarini qizitish va bug' latishga sarflanishi bilan tushuntirish mumkin. 1- va 2-nuqtalar orasida, yonish go' yo mavjud emas yoki yonilg' i berilishiga nisbatan kechikayotganda, oksidlanish jarayonlarining yashirin davri mavjudligini qayd etish mumkin. Bu davr *induksiya davri* yoki *yonilg' i alanganishining kechikishi davri* deyiladi va τ_i (sekundda) yoki φ_i (gradusda) bilan belgilanadi. Burchak φ_i yonilg' ining fizik-kimyoviy xossalariga va yonish kamerasida oksidlanish jarayonlarining rivojlanishi sharoitlariga bog' liq.



Eksperimentlar shuni ko'rsatadiki, τ_i davomiyligi va hosil bo'layotgan yonish o'choqlari soni yonilg'ining mayda purkali-

shiga ko'pda bog'liq emas, chunki yonilg'i juda qo'pol purkal-ganda ham alangalanish uchun yetarli miqdorda mayda tomchilar hosil bo'lar ekan. Yonilg'i purkalanishi ilgariligi burchagini katta-lashtirish yonilg'ining hamma navlari uchun alangalanishning tutilib turish davrini uzaytiradi, chunki yonilg'ining qizish va bug'lanish jarayonlari hamda kimyoviy reaksiyalarning tez-lashishi ancha past haroratlarda boshlanadi; turbulentlikning intensivlashishi haroratning pasayishi va yonish o'chog'i hosil bo'lishi mumkin bo'lgan joyda yonilg'i bug'lari kontsentratsiyasi kamayishi oqibatida τ davrni uzaytiradi.

Agar hosil bo'lgan yonish o'chog'ining hajmi yetarli darajada katta, uning mavjud vaqti o'rab turgan aralashma qatlamlarini qizitish va alangalatish uchun yetarli bo'lsa, yonish jarayoni tarqa-la boshlaydi va birmuncha vaqt τ (alangalanishning tutilib turish davri) o'tgandan keyin bosimlarning indikator diagrammasida bosim chizig'ining siqish bosimi chizig'idan ajralib chiqqanini (4.28-rasm, 2-nuqta) ko'rish mumkin. Agar yonish o'chog'i hajmi va uni razryad bilan qo'llab-quvvatlash davomiyligi yetarli bo'l-masa, o'chog' o'chadi va yonish rivojlanmaydi.

Alanganing tutilib turish davri yonilg'i naviga, aralashma tarkibiga, siqish oxirida aralashmaning harorati va bosimiga hamda elektr razryadi quvvatiga bog'liqligi tajribalarda aniqlangan. Agar yonilg'ining alangalanish harorati qanchalik past va uning termik stabilligi qanchalik kam bo'lsa, alanganing tutilib turish davri shunchalik qisqa bo'ladi; aralashma boyigani sari tutilib turish davri qisqarib boradi. Aralashma harorati va bosimining ortishi τ ni qisqartiradi; razryad quvvatining ortishi τ ni qisqartiradi.

Yuqori haroratli alangalanish elektr razryadidan o't oldiri-ladigan hamma dvigatellar uchun, hamda tarkibida ko'p aroma-tiklar bo'lgan yonilg'ilardan foydalaniladigan dizellar uchun xarakterlidir.

Majburan o't oldiriladigan dvigatellarda yonish

Uchqun ta'siri natijasida yonish o'chog'ining hosil bo'lishida uning hajmi yonish mahsulotlari bilan to'yinib boradi hamda yonmagan aralashma bilan hosil bo'lgan yonish mahsulotlari orasida ajratuvchi qatlam hosil bo'ladi. Bu qatlamga aralashma atrofidan diffuziya natijasida yonilg'i va oksidlovchining molekullari, yonish o'chog'i tarafidan esa – yonish mahsulotlari va issiqlik kirib keladi. Natijada alanganing laminar fronti hosil bo'ladi. Bu qatlamda harorat $T_{\text{aralashma}}$ dan T_{yonish} mahsulotlari gacha keskin o'zgaradi, bu diffuziya jarayonlarining tezlashishiga sabab bo'ladi. Alanga yonuvchi aralashma tarafiga w_n normal tezlikda siljiy boshlaydi. Normal tezlik w_n yonuvchi aralashma tarkibiga bog'liq. Benzin-havo aralashmalari uchun w_n maksimal qiymatga $\alpha = 0,85-0,95$ da erishadi.

Harorat va bosim ko'tarilganda alanganishning kontsentratsion chegaralari kengayadi, w_n tezlik ortadi; aralashmada qoldiq gazlar ko'payganda kontsentratsion chegaralar torayadi, w_n tezlik kamayadi.

Vujudga kelayotgan mayda masshtabli (mikroturbulentlik) va yirik masshtabli (makroturbulentlik) pulsatsiyalar yonish kamerasi bo'ylab alanga tarqalishini tezlatadi. Makroturbulentlikning vujudga kelishi kiritish va siqish jarayonlarida uyurma hosil bo'lishi bilan belgilanadi.

Mikroturbulentlik diffuziya intensivlashishi natijasida w_n ning ortishiga sabab bo'ladi; makroturbulentlik rivojlangani sari alanga fronti notekislashadi, so'ngra uziq-yuluqqa aylanadi; alanga frontining aralashma tarafga siljish tezligi 15–80 m/s gacha ortadi; u turbulentli tezlik w_t deb ataladi. Vaqt birligida yonayotgan aralashma miqdori ortadi. Issiqlik ortib chiqishi tezligi ortishi natijasida dvigatel silindridagi harorat va bosim ko'tarilishi tezlashadi (4.28-rasm).

Alanga yonish kamerasining butun hajmi bo'ylab tarqalgandan so'ng, reaksiyaga kirishayotgan aralashma miqdori kamayadi. Reaksiyalar tezligi ham pasayadi, chunki yonish zona-

sida yonilg'i va oksidlagich kontsentratsiyalari kamayadi, yonish mahsulotlarining kontsentratsiyasi esa ko'payadi. Porshenning φ_z burchakka mos holatida bosim maksimal qiymatga etib, pasaya boshlaydi, chunki porshen yu.ch.h. dan q.ch.h. tomon siljiy boshlaganda silindr hajmi ortib, yonish kamerasi devorlariga issiqlik yo'qotish ko'payib boradi.

Agar yonish kamerasida ko'p o'z-o'zidan alangalanish markazlari hosil bo'lsa, yonishda kuchli shovqin hosil bo'ladi.

Ba'zi sharoitlarda normal yonish jarayoni buzilishi mumkin, bu dvigatel quvvatiga, tejamkorligiga, shovqinga, ishlangan gazlar zaharliligiga, ishonchligiga hamda dvigatel xizmati muddati (resurs)ga ta'sir qilishi mumkin.

Yonishning buzilishlariga quyidagilar kiradi:

1. Aralashma haddan tashqari kambag'allashib ketishi, uchqun hosil bo'lmasligi yoki uchqun quvvatining kam bo'lishi natijasida ololmaydi yoki quvvatini oshira olmaydi.

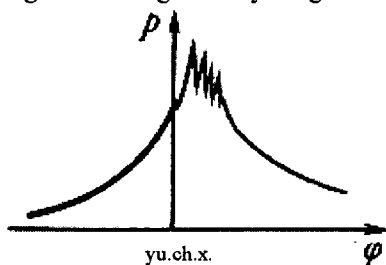
2. Kiritish tizimida o't olish asosan aralashma haddan tashqari kambag'allashib ketgani sababli yonishning kichik tezligi yoki kech o't olish hisobiga sodir bo'lishi mumkin; aralashma bu holda hatto chiqarish taktida ham yonishda davom etadi va gaz taqsimlash fazalari qoplashishi katta bo'lsa, kiritish tizimidagi aralashma yonib ketishi mumkin, bu karbyuratordan chiqayotgan o'q tovushidek tuyuladi.

3. Silindrdagi aralashmaning uchqun paydo bo'lishidan oldin o'z-o'zidan alangalanishi; bu yonish kamerasining mahalliy joylari (chiqarish klapanlari, svechalar, silindrlar kallagining ba'zi joylari) qizib ketganda yoki bu yuzalardagi so'xtalarning qizib ketishida (kalil o't olish) sodir bo'lishi mumkin; kalil o't olishning belgilari: porshen yu.ch.h. ga yaqinlashib qolganida bosim haddan tashqari ortib ketganligi tufayli dvigatel quvvatining pasayishi; dvigatelning qizib ketishi; bosim tez ko'tarilib ketishi natijasida bo'g'iqlik shovqinlarning paydo bo'lishi.

4. Detonatsiya – alohida sharoitlarda yonuvchi aralashmada rivojlanadigan murakkab kimyoviy – issiqlik jarayonidir; detonatsiyaning tashqi belgilari: dvigatel quvvati kamayadi, o'zi qiziydi, chiqarish tizimidan qora tutun chiqadi; qorong'ida porsheni yengil

qotishmalardan tayyorlangan dvigatellarning chiqaruvchi patrulkalaridan yashil rangli alanga chiqayotganini sezish mumkin; detonatsiya paytida yozilgan indikator diagrammada maksimal bosimlar zonasida bosimning o'tkir cho'qqilar ko'rinishida keskin tebranishi kuzatiladi (4.29-rasm).

Oktan soni kam bo'lgan yonilg'ilar, biroz boyigan ($\alpha \approx 0,9$) aralashma tarkibi, yuqori siqish darajasi, dvigatelga tushayotgan katta yuk, dvigatel vali aylanishlar chastotasining kamayishi, haddan tashqari katta o't oldirish ilgariligi burchagi, dvigatelga kirishda yuqori harorat va bosim, yonish kamerasi devorlarining qizib ketishi, silindr o'lchamlarining katta bo'lishi detonatsiyaning paydo bo'lishiga va uning kuchayishiga sabab bo'ladi.



4.29-rasm. Detonatsion yonishda bosim diagrammasi.

Detonatsion yonish o't oldirish svechasidan uzoqda joylashgan qizigan devorlar yaqinida vujudga keladi. Bunday joylarda aralashma normal yonish alangasining fronti yetib kelgunicha kuchli qizib ketadi va intensiv siqiladi, bu alangalanish oldi reaksiyalarining tez rivojlanishiga sabab bo'ladi.

Bunday jarayonlar natijasida aralashma o'z-o'zidan alangalanadi, jarayonlar o'z-o'zidan tezlashadi. Yonish portlash tavsifiga ega bo'ladi, mahalliy harorat keskin ortadi, bosimning zarbiy to'liqini hosil bo'ladi; kamerada to'liqin tarqalish tezligi 1000–2300 m/s gacha yetishi mumkin. Yonish kamerasi devorlariga urilib qaytib, zarbiy to'liqin yangi to'liqlarni va yangi alangalanish o'choqlarini hosil qiladi, ular dissotsiatsiyani kuchaytiradi, issiqikning katta qismi yutiladi.

Dissotsiatsiya mahsulotlari va yonilg'ining yonib ulgurmagan qismi kengayish jarayonida qisman yonadi, yonish effektivligi kam bo'ladi, dvigatel quvvati va tejamkorligi pasayadi. Zarbiy to'liqlar lokal va qisqa muddatli ta'sir qilib, fazalar ishini orttirmaydi, lekin devorlarga issiqlik uzatilishini, detallarga tushadigan mexanik va issiqlik zarbiy yuklarni keskin orttiradi.

Dvigatel detonatsiya bilan ishlashiga ruxsat etib bo'lmaydi, chunki dvigatel qizib ketadi, detallarga haddan tashqari katta yuklar tushadi, yonish kamerasining engil qotishmalardan tayyorlangan detallarining sirtlari intensiv erroziyalanadi (ishlangan gazlarning yashil rang bo'lishining sababi).

5. Chiqarish tizimida alangalanishlar, ular o'q tovushiga o'xshash shovqin hosil qiladi; bunday alangalanishlar silindrlarda alangalanish bo'lmagani tufayli u yerda to'planib qolgan yonuvchi aralashmaning yonishi yoki dvigatel yuki keskin ko'payganda qizigan detallardan uziladigan qurum natijasida hosil bo'ladi.

Dizellarda yonish

Dizellarda yonish kamerasida yonish o'choqlari hosil bo'lgandan keyin ularning atrofida alanga fronti shakllanadi; issiqlikning ajralib chiqishi va yonish mahsulotlarining kengayishi issiqlik to'liqining hosil bo'lishi va aralashmaning siqilishiga olib keladi. Bu alanga oldi reaksiyalarini va yonishning yangi o'choqlari hosil bo'lishini tezlashtiradi. O'choqlarda yonishga madad berish va tarkibi bir xil bo'lmagan aralashmada yangi o'choqlarning hosil bo'lishi oksidlanish kimyoviy reaksiyalarining tezligi bilan emas, balki yonuvchi tarkibli aralashmalar hosil bo'lishi tezligi bilan belgilanadi. Shu sababli 1000 K dan yuqori haroratlarda diffuzion jarayonlar va zaryadning uyurma harakati yonilg'i yonib tugashining tezligini belgilovchi omil bo'ladi.

Agar alangalanishning tutilib turish vaqtida ko'p yonilg'i purkalgan bo'lsa, yonishning ko'p o'choqlari paydo bo'ladi. Buning natijasida kimyoviy reaksiyalar va yangi aralashmalar hosil bo'lishi keskin tezlashadi; issiqlik ajralib chiqishi va bosim-

ning ortish tezligi haddan tashqari katta bo'lishi mumkin, bunda yonish «qattiq» deb tavsiflanadi.

Yonishning bundan keyingi rivojida yonish zonasiga yonilg'i bug'lari yoki kislorodning kelishi tezligi kamayadi, ba'zi zonarlarda aralashma yonilg'i yoki, aksincha, kislorodga kambag'alashib ketadi. Reaktsiya zonalarida yonish mahsulotlari konsentratsiyasining ortishi, bosim va haroratning pasayib borishi yonish tezligining pasayishiga, uning kengayish jarayonida davom etishiga, aralashma tarkibi yonuvchanlikni ta'minlaydigan zonada yonishning to'xtashiga olib keladi.

Dizellarda yonishning buzilishi tutun chiqishida yoki silindrlarda bosim haddan tashqari katta tezlikda ortishida (bunda shovqin hosil bo'ladi) namoyon bo'ladi. Yonilg'i uzatish tizimidagi nosozlik yoki havo ortiqligi koeffitsiyentining kamayishi bunga sabab bo'ladi.

Yonilg'i uzatilishi nosozligiga:

- kokslanish yoki yeyilish natijasida forsunkalardagi purkaydigan teshiklar o'lchamlari va shaklining o'zgarishi;
- forsunkalar ignalari yoki yonilg'i nasoslar klapanlari prujinalari elastikligini yo'qotishi;
- pretsizion juftliklar yeyilishi;
- forsunkalar va nasoslar ignalari va klapanlarining o'z qo'zg'aluvchanligini yo'qotishi sabab bo'lishi mumkin.

Bu effektlar natijasida yonilg'ini purkash yomonlashadi, fazalar o'zgaradi, purkash davomiyligi va yonilg'ining siklaviy uzatilishi buziladi, alanga hosil bo'lmaydigan hollar vujudga kelishi mumkin.

Siqish oxirida zaryad harorati va bosimining pasayishiga:

- havo filtrining ifloslanishi;
- klapanlarning kokslanishi;
- klapanlar va halqalar zichlikni ta'minlamasligi;
- gaz taqsimlash fazalarining o'zgarishi;
- nadduvli dvigatellarda gaz-havo traktida nozichliklar tufayli havo bilan ta'minlashning buzilishi sabab bo'lishi mumkin.

Yonilg'i va moylarning mos bo'lmagan navlaridan foydalanish

natijasida intensiv so'xta hosil bo'lishi, tutash, «qattiq» yonish ham yonish jarayonining buzilishiga sabab bo'lishi mumkin.

4.4.3. Yonish jarayonini tashkil qilish metodlari

Dvigatel quvvati, tejamkorligi va ishonchliligini belgilovchi yonish jarayonining asosiy parametrlari:

- bosim ortishining maksimal va o'rtacha tezliklari;
- maksimal bosim kattaligi va unga erishiladigan moment;
- kengayish jarayonida yonadigan yonilg'i miqdori.

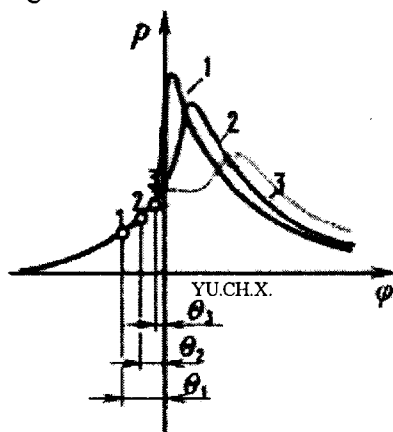
Ushbu parametrlarning zaruriy qiymatlari yonish jarayonini tashkil qilish bilan ta'minlanadi.

Uchqun bilan o't oldiriladigan dvigatellarda tanlangan yonilg'i navi va siqish darajasida yonish jarayoniga o't oldirish ilgariligi burchagi va aralashmaning yonish tezligini (vaqt birligida yonadigan aralashma miqdorini) o'zgartirish bilan yonish jarayoniga ta'sir qilish mumkin.

O't oldirish ilgariligi burchagi yonish jarayoniga kuchli ta'sir qiladi. O't oldirish ilgariligi burchagi θ_1 haddan tashqari katta bo'lganda yonish juda barvaqt boshlanadi, bunda porshen yu.ch.h. ga qarab siljishida katta qarshilikka uchraydi (4.30-rasm, 1-chiziq), bosimning ortish tezligi va maksimal qiymati haddan tashqari katta bo'ladi, gaz kuchlari ta'sirida dvigatel zo'riqadi, uning quvvati va tejamkorligi optimal qiymatlarga yetmaydi, detonatsiya vujudga kelishi mumkin. O't oldirish ilgariligi burchagi θ_3 haddan tashqari kichik (kech o't oldirish) bo'lganda yonishning rivoji kechikadi (3-chiziq), dvigatel quvvati kamayadi, tejamkorligi yomonlashadi, u qizib ketadi. Burchak θ_2 optimal bo'lganda bosimning ortish tezligi va maksimal qiymati normal bo'ladi (2-chiziq), dvigatel maksimal quvvat va tejamkorlikka erishadi. O't oldirish ilgariligi burchagining qiymati aralashma alangalanshining tutilib turishi davri va yonish vaqti bilan belgilanadi.

Aralashmaning yonish tezligi alanga fronti siljishining tezligi w_{y0} va uning yuzasi bilan aniqlanadi. Alanga fronti siljishining tezligini aralashma tarkibi bilan, alanga frontining kattaligini esa

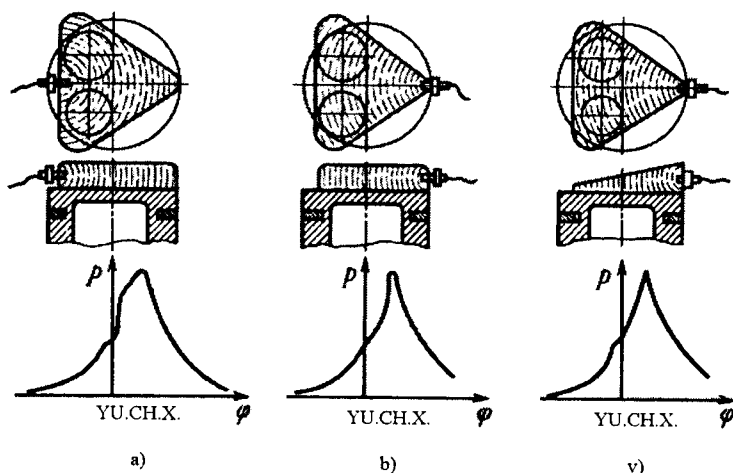
yonish kamerasining shakli bilan rostlash mumkin.



4.30-rasm. Yonilg'i o't oldirilishi yoki purkalishining har xil ilgariligi burchaklarida bosim diagrammalari.

Sxemasi 4.31,a-rasmda ko'rsatilgan yonish kamerasi uchun alanga fronti yuzasi front siljishining yuoshida tez ortib boradi va siljish oxirida bu yuza kamayib boradi. Natijada bunday kamerada yonish boshida bosim juda tez, yonish oxirida esa sekin ortib boradi. Yonishning to'liq davri uchun bosim ortishining o'rtacha tezligi katta bo'lmaydi, lekin dvigatel «qattiq» ishlaydi. 4.31,b-rasmda keltirilgan sxema bo'yicha bajarilgan yonish kamerasida svecha yonish kamerasining tor joyida joylashgan. Bunda yonish kamerasi bo'ylab tarqalgani sari alanga frontining yuzasi kattalashib boradi, kamerada harorat va bosim ko'tarilib borgani tufayli front tezligi ortib boradi; bosim ortishi tezligi muttasil kattalashib boradi va dvigatel ishi «qattiq» bo'ladi.

4.31,v-rasmda keltirilgan yonish kamerasida svechadan uzoqlashgan sari balandlik kamayib boradi, shuning uchun alanga frontining yuzasi kam o'zgaradi, alanga tarqalishi tezligi ortib borayotganda, yonish kamerasi hajmi kattalashib borishini hisobga olsak, bosim deyarli o'zgarmas, katta bo'lmagan tezlikda ortib borishini anglaymiz.



4.31-rasm. Alanga fronti yuzasini o'zgartirish yo'li bilan yonish tezligini rostlash imkonini beradigan yonish kameralari sxemalari.

Detonatsion yonish ehtimolini kamaytirish uchun oktan soni yuqori bo'lgan yonilg'idan foydalanish, porshen va kallaklarni tayyorlash uchun issiqlikni yaxshiroq o'tkazadigan materiallarni qo'llash va ularni intensiv sovitish, boyroq aralashmalardan foydalanish va alanga frontini turbulentlash orqali alanga fronti tarqalishi tezligini oshirish, elektr razryadini intensivlash va svechani chuqurlashtirib joylashtirish hisobiga elektrodlar zonasida uyurmalarini kamaytirish, ixchamroq kamerani tanlash, svechani kamera markazida joylashtirish, ikkita svecha o'rnatish lozim.

Dizellarda yonish jarayoniga yonish kamerasining turini, purkash ilgariligi burchagini, purkash bosimi o'zgarishi qonunini tanlash bilan ta'sir qilish mumkin.

4.4.4. Indikator diagramma bo'yicha yonish jarayonini tahlil qilish.

Dvigatellarda yonishning asosiy fazalari

Yonish jarayonlarining eksperimental tadqiqotlarida to'plan-gan katta tajriba indikator diagrammaning ko'rinishi bo'yicha yonish jarayonining takomilligi haqida xulosa chiqarish imkonini

beradi. Masalan, dvigatel maksimal quvvat va tejamkorlikka ega bo'lganida normal yonishda indikator diagramma qanday bo'lishi kerakligi ma'lum. Yonish jarayonini tahlil qilishda eksperimental indikator diagrammadan tashqari, gaz holati tenglamasi bo'yicha hisoblangan harorat chizig'i diagrammasidan ham foydalaniladi. Bosim va harorat egri chiziqlari tavsifi bo'yicha yonish asosiy fazalarining shartli chegaralarini belgilashadi va yonish jarayonining sifatini baholashadi.

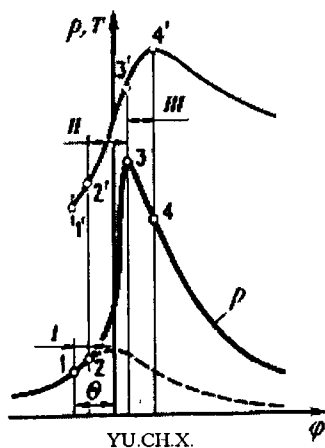
Majburan o't oldiriladigan dvigatellarda yonish fazalari

Birinchi faza I – elektr uchqunidan boshlang'ich alanga o'chog'ining hosil bo'lishi va alanga turbulent frontining rivojlanishi. Birinchi faza faza davomiyligini alangalanishning tutilib turish davomiyligi – svecha elektrodleri orasida uchqun paydo bo'lgan ondan (4.32-rasm, 1-nuqta) silindrda bosim keskin orta boshlashigacha (2-nuqta) bo'lgan davrga teng qilib olishadi; 2-nuqtada yonishdagi bosim chizig'i (uzluksiz chiziq) yonish bo'lmagandagi chiziq (shtrixli chiziq)dan ajralib ko'tarila boshlaydi.

Ikkinchi faza II – tez yonish fazasi – asosiy faza. Ikkinchi faza davomida alanga fronti yonish kamerasi hajmining ko'p qismiga tarqaladi va silindr devorlariga yetadi. Silindrda bosim maksimal qiymatga yetganida (3-nuqta) asosiy yonish tugaydi deb qabul qilishadi.

Uchinchi faza III – yonish tugashi. Uchinchi faza bosim maksimal qiymatga yetganda boshlanadi va yonilg'i yonib bo'lganda (4-nuqta) tugaydi deb hisoblashadi; kengayish jarayonining boshlanishida yonish biroz muddat davom etadi. Uchinchi fazada alanga fronti ortidagi va devor oldi qatlamdagi, porshen bilan silindr kallagi orasidagi tirqishdagi yonilg'ining chala yongan mahsulotlari yonib tugaydi.

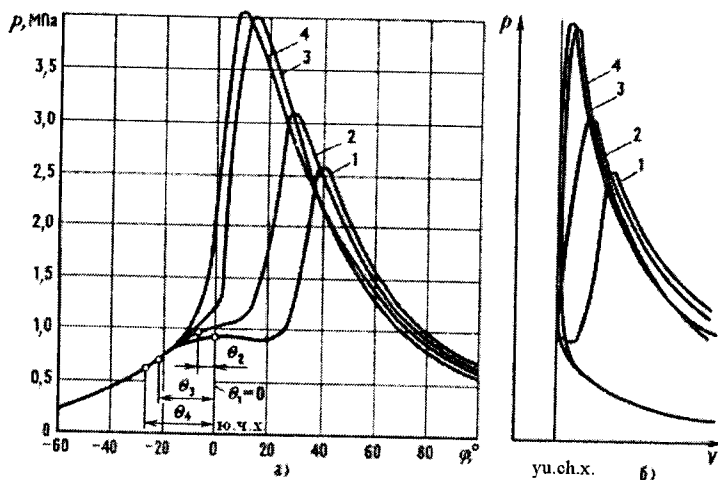
Yonilg'i yonishi tugashi belgilarining biri sifatida issiqlik ajralib chiqish tezligining devorlarga issiqlik yo'qotilishi tezligiga teng bo'lishi (jarayonning kvazi adiabatik nuqtasi) hisoblanadi.



4.32-rasm. Normal yonishda majburan o't oldiriladigan dvigatel silindridagi bosim va haroratning indikator diagrammasi.

Indikator diagramma bo'yicha yonish jarayonini tahlil qilish. Agar silindrdagi bosim tirsakli val yu.ch.h. dan $12-15^\circ$ burchakka burilganida maksimal qiymatga yetsa, bosimning tez orta boshlanishi esa tirsakli val yu.ch.h. ga $12-15^\circ$ yetmasidan boshlansa dvigatel eng katta quvvatga ega bo'ladi va yonilg'i sarfi eng kam bo'ladi. Alanga frontining tezligi val aylanishlar chastotasiga deyarli proporsional o'zgaradi, shuning uchun ikkinchi faza davomiyligi tirsakli val burilishi burchaklarida kam o'zgaradi. Lekin alanganing tutilib turishi davomiyligi va yonib tugash fazalari val aylanishlar chastotasi ortganda uzayadi. Shuning uchun jarayon normal kechishini ta'minlash va bosimning tez ortishi krivoshipning deyarli bir xil holatida (yu.ch.h. gacha $12-15^\circ$ da) boshlanishi uchun valning aylanishlar chastotasi ortganda o't oldirish ilgariligi burchagi kattalashtiriladi va aksincha, aylanishlar chastotasi kamayganda bu burchak kichiklashtiriladi.

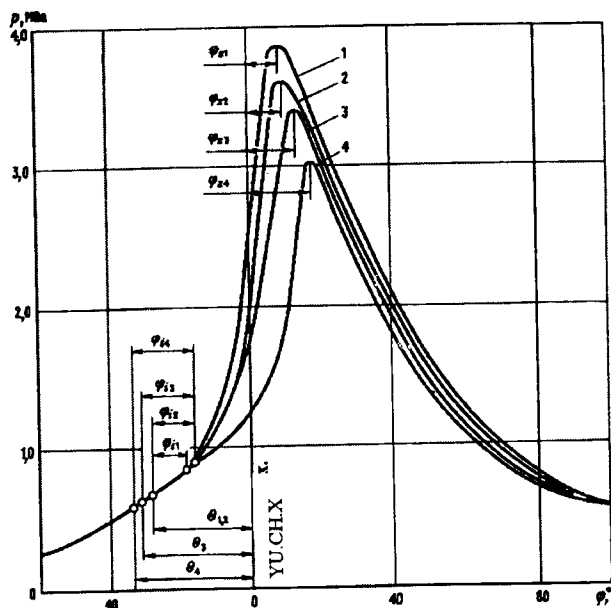
O't oldirish ilgariligi burchagining optimaldan istalgan tomonga og'ishi indikator diagramma ko'rinishini sezilarli darajada o'zgartiradi (4.33-rasm) – quvvat kamayadi, yonilg'i sarfi ortadi.



4.33-rasm. O't oldirish ilgariligi burchagi θ ning har xil qiymatlarida majburan o't oldiriladigan dvigatel indikator diagrammalarning fragmentlari:
 1 - $\theta_1 = 0^\circ$; 2 - $\theta_2 = 7^\circ$; 3 - $\theta_3 = 22^\circ$; 4 - $\theta_4 = 27^\circ$.

Indikator diagrammadan yonish jarayonining normaldan farqlanishini ko'rish mumkin. Detonatsion yonishda jarayon asosiy (ikkinchi) fazaning oxirida, kalil yonishda esa boshida buziladi. Ikkala holda ham dvigatel «qattiq» ishlaydi, dvigatel shovqini kuchayadi.

Boy aralashma ($\alpha = 0,8-0,9$) yonganida alanganing turbulent fronti eng katta tezlikda tarqaladi (4.34-rasm). Aralashma kambag'allashib borgan sari alanganishning tutilib turishi davomiyligi va yonib tugash fazalari cho'ziladi, shuning uchun quvvat va tejamkorlik bo'yicha optimal o't oldirish ilgariligi burchagi kattalashtiriladi. Dvigatel kambag'al aralashmada ishlaganida yonish davomiyligi sezilarli darajada uzayadi, maksimal bosim holati indikator diagrammada yu.ch.h. dan uzoqroqqa siljiydi. Aralashma kambag'allashganda asosan yonishda ajralib chiqadigan issiqlikning kamayishi hisobiga siklning maksimal bosimi pasayadi. Dvigatellarning o't oldirish tizimlari o't oldirish ilgariligini kamida ikkita parametr - aralashma tarkibi va tirsakli valning aylanishlar chastotasi bo'yicha avtomatik rostlovchi qurilmalar bilan jihozlanadi.



4.34-rasm. Turli tarkibli aralashmalarda ishlagan majburan o't oldiriladigan dvigatellarning indikator diagrammalari:

1 - $\alpha = 0,84$; 2 - $\alpha = 0,65$; 3 - $\alpha = 1,0$; 4 - $\alpha = 1,18$.

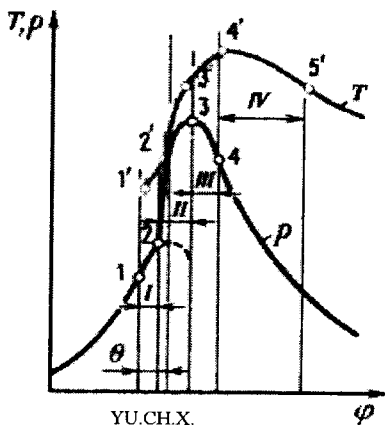
Dizellarda yonish fazalari. Indikator diagramma bo'yicha yonish jarayonini baholash

Dizellarda yonish jarayonini to'rtta: alangalanishning tutilib turish, tez yonish, o'zgarmas bosimda yonish va yonib tugash fazalariga bo'lish qabul qilingan.

Birinchi faza I – o'z-o'zidan alangalanishning tutilib turishi (4.35-rasm). Uning davomiyligini $r-\phi$ koordinatalardagi indikator diagrammadan yonilg'i purkalishi boshlanishidan (1-nuqta), yonilg'i purkalmagandagi siqishdagi bosim chizig'idan yonishdagi bosim chizig'i ajralib chiqadigan on (2-nuqta)gacha aniqlanadi.

Ikkinchi faza II – tez yonish fazasi. Ikkinchi fazada o'z-o'zidan alangalanishning tutilib turishi vaqtida purkalgan yonilg'ining

katta qismi, hamda ikkinchi fazada purkalayotgan yonilg'ining bir qismi yonadi. tutilib turish vaqtida purkalayotgan yonilg'i bug'lanib ulgurgan yonuvchi kontsentratsiyali aralashma hosil bo'lgan joylarda alanganing o'choqlari paydo bo'ladi va alanga yonish kamerasi hajmi bo'ylab tez tarqaladi. Yonilg'i purkalishi odatda, ikkinchi fazada tugaydi.



4.35-rasm. Normal yonishda dizel silindridagi bosim va haroratlar diagrammasi.

Uchinchi faza III – deyarli o'zgarmas yoki biroz pasayayotgan bosimda yonish. Uchinchi fazaning boshlanishi maksimal bosim holati (3-nuqta) bilan, oxiri esa – silindrdagi gazlar maksimal haroratining holati (4-nuqta) aniqlanadi.

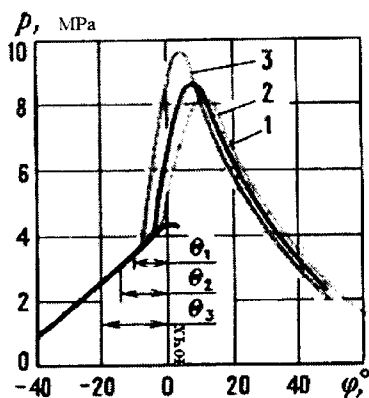
To'rtinchi faza IV – yonilg'i va chala yonish mahsulotlarining yonib tugashi. Yonib tugash fazasida yonuvchi aralashma nisbatan sekin hosil bo'ladi, chunki yonish kamerada foydalanilmasdan qolgan havoning miqdori kam bo'ladi. Bundan tashqari yonish zonalarida va ularning atrofida yonish mahsulotlari ko'p bo'ladi, natijada yonish tezligi pasayadi. Yonish 5-nuqtada tugaydi.

Indikator diagramma bo'yicha yonish jarayonini baholash. Dizellarda yonish jarayoni yuqori bosimda va havo ortiqligi koeffitsiyentining nisbatan katta qiymatlarida sodir bo'ladi. Bunday sharoitda yonish mahsulotlari amalda dissotsiatsiyalanmaydi.

Havoning ortiq bo'lishiga qaramasdan aylanishlar soni katta bo'lgan dizellarda yonilg'ining to'liq yonishiga erishish qiyin, ishlangan gazlar tarkibida, asosan qurum ko'rinishida, chala yonish mahsulotlari bo'ladi.

Yonilg'i purkalishi ilgariligi burchagini rostlab, quvvat va tejamlilik ko'rsatkichlari bo'yicha optimal ko'rsatkichlarni o'rnatish mumkin. Lekin ilgarilash burchagi kattalashgani sari silindrga yonilg'i taboro pastroq harorat va bosimda purkala boshlanadi, natijada o'z-o'zidan alangalanishning tutilib turishi cho'ziladi, demak, dinamiklik oshishi ham kuchayadi. Natijada siklning maksimal bosimi kattalashadi, silindrdagi bosim ko'tarilishi tezligi ortadi (4.36-rasm). Setan soni kichik bo'lgan yonilg'ida ishlaganda va siqish oxirida silindrdagi gazlar harorati nisbatan past bo'lganda o'z-o'zidan alangalanishning tutilib qolishining uzayishini faqat purkash ilgariligi burchagini kattalashtirish bilan qoplab bo'lmaydi.

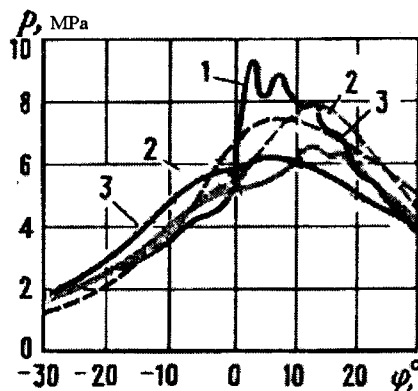
Val aylanishlar chastotasi ortishi bilan o'z-o'zidan alangalanishning tutilib turish davomiyligi (burchak graduslarida) kattalashadi, purkash ilgariligining optimal burchagi ham kattalashadi. Yer usti transportiga o'rnatiladigan ko'p dvigatellar yonilg'i purkalishi ilgariligi burchagini avtomatik rostlovchi qurilma bilan jihozlanadi.



4.36-rasm. Yonilg'i purkalishi ilgariligi burchagining dizel indikator diagrammasiga ta'siri:

1 – $\theta = 10^\circ$; 2 – $\theta = 15^\circ$; 3 – $\theta = 20^\circ$.

Plyonkali aralashma hosil bo'ladigan va yonish kamerasi ajratilgan dizellar «yumshoq» ishlaydi. Plyonkali aralashma hosil bo'ladigan dizellarda yonilg'i bug'lanish tezligi va aralashma hosil bo'lish tezligiga yonish kamerasi devorlarining harorati va zaryadning nisbiy tezligi ta'sir qiladi.



4.37-rasm. Yonish kamerasining dizel indikator diagrammasiga ta'siri:
1 – ajratilmagan kamerali; 2 – uyurma kamerali; 3 – old kamerali.

Ajratilgan yonish kameralarida jarayonning ikkinchi – tez yonish fazasida yonish tezligini cheklash, ya'ni bosim ortishini cheklashga quyidagicha erishiladi: alangalanish va yonishning boshi katta bo'lmagan hajmda – old kamera yoki uyurma kameralada havo yetishmasligi ($\alpha < 1,0$) sharoitida amalga oshiriladi. Yonish kamerasi ajratilgan dizellarda silindrda bosim ortishi tezligi va maksimal bosim sezilarli darajada past bo'ladi (4.37-rasm).

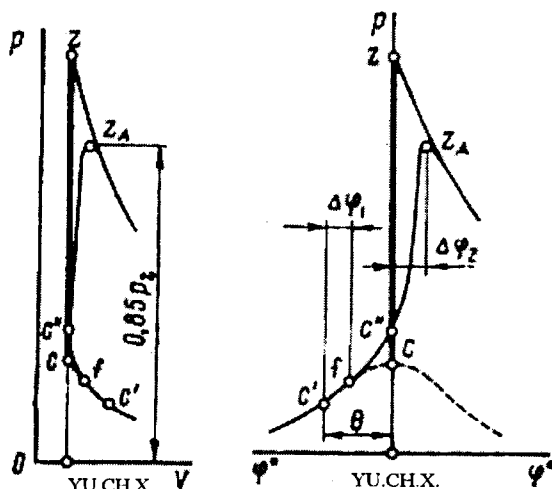
Nadduvli dvigatellarda nadduv bosimi qanchalik yuqori bo'lsa, siqish oxirida silindrdagi bosim va harorat shunchalik yuqori bo'ladi. O'z-o'zidan alangalanishning tutilib turishi qisqaradi va bosimning ortish tezligi sekinlashadi.

4.4.5. Yonish jarayonini hisoblash

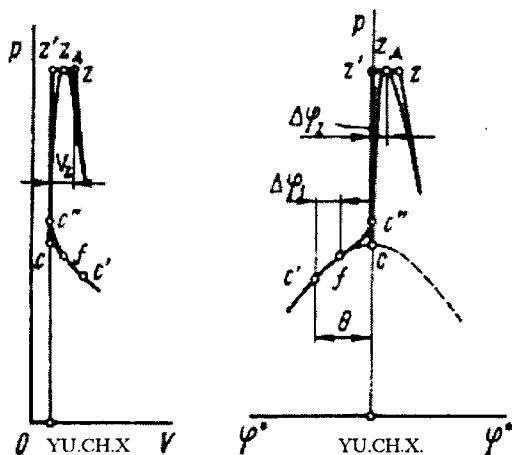
Yonish jarayoni – dvigatel ishchi siklining asosiy jarayoni bo‘lib, bu jarayonda ajralib chiqadigan issiqlik ishchi jism ichki energiyasining oshirishga, so‘ngra mexanik ishni bajarishga sarflanadi.

Majburan o‘t oldiriladigan dvigatelda yonilg‘i yonishi jarayonida bosimning o‘zgarishi 4.38-rasmda, dizeldagi esa 4.39-rasmda ko‘rsatilgan. Dvigatellar silindrida yonish jarayonida bosimning haqiqiy o‘zgarishini $c'fc''z_h$ chiziq sxematik ifodalaydi. Real dvigatellarda yonilg‘ining yonib tugashi z_h nuqtadan keyin ham davom etadi.

Yonish jarayoning borish xarakteriga turli omillar: kiritish va siqish jarayonlarining parametrlari, yonilg‘i purkalishi sifati, tirsakli val aylanishlar chastotasi va h.k.lar ta’sir qiladi. Yonish jarayoni parametrlarining qator omillarga bog‘liqligi, hamda motor yonilg‘isi yonish jarayonining fizik-kimyoviy mohiyati hozircha yetarli darajada to‘liq o‘rganilmagan.



4.38-rasm. Majburan o‘t oldiriladigan dvigatelda yonish jarayonida bosimning o‘zgarishi.



4.39-rasm. Dizelda yonish jarayonida bosimning o'zgarishi.

Avtomobil va traktor dvigatellarining termodinamik hisoblarini soddalashtirish maqsadida majburan o't oldiriladigan dvigatellarda yonish jarayoni $V=const$ da, ya'ni izoxora bo'yicha (4.38-rasm, cc'' to'g'ri chiziq), dizellarda esa – dastlab $V=const$ da va so'ngra $r=const$ da (4.39-rasm, $cc''z'$ va $z'z$ to'g'ri chiziqlar) sodir bo'ladi deb qabul qilinadi.

Yonish jarayoni hisobi maqsadi – asosiy yonish oxirida (z va z_h nuqtalar) gazlarning bosimi va haroratini, dizellarda esa V_z hajmini ham aniqlashdir.

Asosiy yonish oxirida gaz harorati T_z termodinamikaning birinchi qonuni asosida aniqlanadi, unga muvofiq

$$dQ = DU + dh$$

Avtomobil va traktor dvigatellariga qo'llaganda:

$$Nu - Q_{yo'q} = (U_z - U_c) + L_{cz} - \alpha \geq 1 \text{ da yonish,} \quad (4.34)$$

$$(Nu + \Delta Nu) - Q_{yo'q} = (U_z - U_c) + L_{cz} - \alpha < 1,0 \text{ da yonish,} \quad (4.35)$$

bu yerda Ni – yonilg'i yonishining quyi issiqligi, kDj; $Q_{yo'q}$ – issiqlik uzatilishi, kengayishda yonilg'ining yonib tugashi va

dissotsiatsiya oqibatida issiqlik yo'qotilishi, kDj; U_z – asosiy yonish oxirida gazlarning ichki energiyasi, kDj; U_c – siqish oxirida ishchi aralashmaning ichki energiyasi, kDj; L_{cz} – s nuqtadan z nuqttagacha gazlar kengayishida bajariladigan ishga sarflanadigan issiqlik (majburan o't oldiriladigan dvigatellarda $L_{cz}=0$), kDj.

cz uchastkadagi issiqlik balansini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$\xi_z Hu = (U_z - U_c) + L_{cz} \quad (4.36)$$

$$\xi_z (Hu - \Delta Hu) = (U_z - U_c) + L_{cz} \quad (4.37)$$

bu yerda $\xi_z = [(Hu - \Delta Hu) - Q_{uyk}] / (Hu - \Delta Hu)$ – asosiy yonish uchastkasi cz da issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti.

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

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining qiymati dvigatel konstruksiyasi, uning ish rejimi, sovitish tizimi, yonish kame-rasining shakli, aralashma hosil qilish usuli, havo ortiqligi koeffitsiyenti va tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog'liq bo'lib, eksperimental ma'lumotlar asosida qabul qilinadi.

Tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha dvigatel to'liq yukda ishlaganida ξ_z quyidagi oraliqlarda o'zgaradi:

Elektron purkagichli dvigatellarda 0,90–0,96;

Karbyuratorli dvigatellarda 0,80–0,95;

Yonish kamerasi ajratilmagan tez yurar

dizellarda 0,70–0,88;

Yonish kamerasi ajratilgan

dizellarda 0,65–0,80;

Gazli dvigatellarda 0,80...0,85.

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining kichik qiymatlari aralashma hosil bo'lishi takomillashgan, devorlarga issiqlik ko'p yo'qotiladigan dvigatellarga taalluqlidir. Gazlardan issiqlikni devorlarga yo'qotilishini kamaytirish, yonish kamerasining ratsional shaklini tanlash, yonilg'ining kengayish jarayonida yonishni

kamaytirish, ishchi aralashmaning tez yonishini ta'minlaydigan havo ortiqligi koeffitsiyentini tanlash hisobiga ξ_z qiymatini oshirish mumkin. Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentining qiymati dvigatel ishining yuk va tezlik rejimlariga ham bog'liq va odatda yuk va aylanishlar chastotasi pasayganda ξ_z kamayadi.

Avtomobil va traktor dvigatellari uchun yonishning hisobi tenglamalari issiqlik balansi tenglamalari (4.36) va (4.37)ni o'zgartirish yo'li bilan olinadi (4.38- va 4.39-rasmlar, *cz* uchastkasi).

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

$$\xi_z H_{\text{ishchi aral.}} + (mc_v')_{t_0}^c t_c = \mu (mc_v'')_{t_0}^z t_z \quad (4.38)$$

bu erda $N_{\text{ishchi aral.}}$ – ishchi aralashma yonishi issiqligi, (3.22) va (3.23) formulalardan topiladi; $(mc_v')_{t_0}^c t_c$ – siqish jarayonining oxirida ishchi aralashmaning o'rtacha mol issiqlik sig'imi, (4.23) formula bo'yicha aniqlanadi; $(mc_v'')_{t_0}^z t_z$ – yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'imi, (4.32) formuladan aniqlanadi.

Issiqlik dastlab $V=const$ da, $r=const$ da keltiriladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dvigatellar uchun yonish tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi:

$$\xi_z H_{\text{ishchi aral.}} + [(mc_v')_{t_0}^c + 8,315\lambda] t_c + 2270(\lambda - \mu) = \mu (mc_p'')_{t_0}^z t_z \quad (4.38)$$

bu yerda $\lambda = p_z/p_c$ – bosimning ortish darajasi; $2270 = 8,315 \cdot 273$.

Dizellar uchun bosimning ortish darajasi asosan silindrga berilayotgan yonilg'i miqdori, yonish kamerasining shakli va aralashma hosil qilish usuliga qarab, tajriba ma'lumotlari asosida o'rnatiladi. Bundan tashqari λ qiymatiga yonilg'i alangalanishining tutilib turish davri ham ta'sir qiladi, bu davr cho'zilganda bosimning ortish darajasi kattalashadi.

Tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha dvigatel to'liq yuk rejimida ishlaganda bosimning ortish darajasi quyidagi oraliqlarda bo'ladi:

Ajratilmagan yonish kamerali va hajmiy aralashma
 hosil bo'ladigan dizellar uchun..... $\lambda=1,6-2,5$

Uyurma kamerali va old kamerali dizellar hamda
 ajratilmagan kamerali va plyonkali aralashma hosil
 bo'ladigan dizellar uchun $\lambda = 1,6-2,5$

Nadduvli dizellar uchun λ qiymati asosiy yonish oxirida harorat va bosimning ruxsat etiladigan qiymatlari bilan belgilanadi.

(4.38) va (4.39) yonish tenglamalariga ikkita noma'lum qiymat: asosiy yonish oxiridagi harorat t_z va yonish mahsulotlarining hajm o'zgarmas bo'lgandagi issiqlik sig'imi $(mc_v)_{t_0}^t t_z$ yoki o'sha t_z haroratda o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi $(mc_p)_{t_0}^t t_z$

kiradi. Issiqlik sig'implari $(mc_v)_{t_0}^t t_z$ va $(mc_p)_{t_0}^t t_z$ qiymatlarini 3.3-jadvaldan topib, yonish tenglamalari t_z ga nisbatan ketma-ket yaqinlashish metodi bilan echiladi. Issiqlik sig'implari $(mc_v)_{t_0}^t t_z$ va $(mc_p)_{t_0}^t t_z$ larni aniqlash uchun taqribiy formulalardan (3.4-jadvalga qarang) foydalanilganda yonish tenglamalari ularga hamma ma'lum bo'lgan parametrlar qo'yilganidan hamda ba'zi o'zgarishlardan so'ng ikkinchi tartibli tenglama ko'rinishiga ega bo'ladi

$$At_z^2 + Bt_z - C = 0 \quad (4.40)$$

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

Bu tenglamadan

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

Yonish oxiridagi bosim p_z amalga oshirilayotgan sikl xarakteriga qarab aniqlanadi.

Issiqlik $V=const$ bo'lganda kiritiladigan dvigatellar uchun bosim (MPa)

$$p_z = p_c \mu T_z / T_c \quad (4.41)$$

bosimning ortish darajasi

$$\lambda = p_z / p_c \quad (4.42)$$

Benzinli dvigatellar uchun $\lambda = 3,2-4,2$, gazli dvigatellar uchun $\lambda=3-5$.

Issiqlik aralash $V=const$, so'ngra $r=const$ da kiritiladigan sikl bo'yicha ishlaydigan dvigatellar uchun

$$p_z = \lambda / p_c \quad (4.43)$$

dastlabki kengayish darajasi

$$\rho = \mu / (p_c / p_z) (T_z / T_c) = (\mu / \lambda) (T_z / T_c) \quad (4.44)$$

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

Dastlabki kengayish jarayonida porshen bo'shatadigan hajm:

$$V_z - V_c = V_c (\rho - 1) \quad (4.45)$$

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari to'liq yuk reji-mida ishlaganda yonish oxiridagi harorat va bosim qiymatlari:

Benzinli dvigatellar uchun $T_z = 2400-3100$ K

$r_z = 3,5-7,5$ MPa

$r_{zh} = 3,0-6,5$ MPa

Dizellar uchun $T_z = 1800-2300$ K

$r_z = r_{zh} = 5,0-12,0$ MPa

Gazli dvigatellar uchun $T_z = 2200-2500$ K

$r_z = 3,0-5,0$ MPa

$r_{zh} = 2,5-4,5$ MPa

Benzinli va gazli dvigatellarga nisbatan dizellarda yonish oxiridagi haroratning pastroq bo'lishining sabablari:

– havo ortiqligi koeffitsiyenti α ning qiymati katta, natijada havoni isitishga ko'proq issiqlik yo'qotiladi (sarflanadi);

– asosiy yonish uchastkasida issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ξ_z ning qiymati kichikroq;

– kengayishda yonish;

– dastlabki kengayishda ($z \neq$ uchatskasi) ish bajarilishiga is-siqlikdan qisman foydalanish.

4.4.6. Dvigatellarda yonilg'i yonganida zaharli moddalarning hosil bo'lishi

Iyodlarining ishlangan gazlari asosan karbonat angidrid va suv bug'idan tarkib topadi. Shu bilan birga yonish jarayonida dvigatellarda zararli moddalarning ikki turi: qisman parchalanish va chala yonish mahsulotlari hamda azot oksidlari hosil bo'ladi.

Ana'naviy uglevodorod yonilg'isi yonishida hosil bo'ladigan moddalar – yonilg'ining qisman oksidlanish va parchalanish mahsulotlari: uglerod oksidi, kimyoviy tarkibi va tuzilishi har xil bo'lgan uglevodorodlar va qurum zararli moddalarning birinchi turiga kiradi. Yonmagan yonilg'i bug'larini ham uglevodorod-larga kiritishadi; ularning ishlangan gazlar tarkibida bo'lishi yonilg'i oksidlanishi jarayoniga bevosita bog'liq emas.

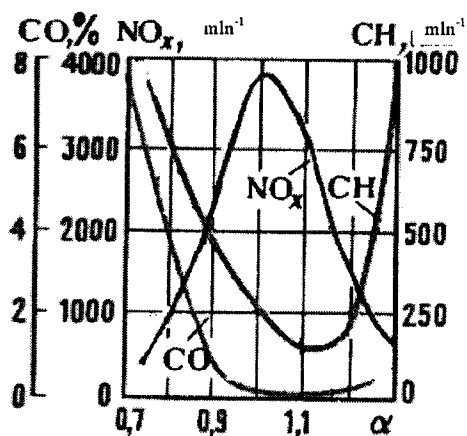
Azot oksidlari zaharli moddalarning ikkinchi turini tashkil qiladi; ular foydalanilayotgan yonilg'i turi va xossalriga bog'liq bo'lmagan holda yonish jarayonida hosil bo'ladi. Majburan o't oldiriladigan dvigatellar ishlangan gazlarining zaharliligi uch asosiy komponent bo'yicha ruxsat etiladigan chegaradan chiqadi, shu sababli bu dvigatellarda zaharli moddalar hosil bo'lishi qonuniyatlarini o'rganishga alohida e'tibor qaratiladi.

Uglerod oksidi

Majburan o't oldiriladigan dvigatellar boy aralashma ($\alpha < 1,0$)-da ishlaganda yonilg'i to'liq oksidlanishi uchun kislorod yetish-maganligi tufayli yonish mahsulotlari tarkibida uglerod oksidi kontsentratsiyasi katta qiymatlarga yetadi. Kambag'al aralashma ($\alpha > 1,0$) yonganida ham zanjirli reaksiyalarning oraliq mahsuloti sifatida uglerod oksidi hosil bo'ladi, lekin ularning katta qismi keyingi reaksiyalar natijasida (erkin kislorod mavjud bo'lsa) karbonat angidridga oksidlanadi.

Ishlangan gazlar tarkibidagi uglerod oksidi konsentratsiyasi asosan yonuvchi aralashmadagi o'rtacha havo ortiqligi koeffitsiyenti bilan aniqlanadi: dvigatel boy aralashmada ishlaganida u ko'p – 7% gacha (4.40-rasm) va kambag'al aralashmada ishlaganida u ko'p emas – 0,2–0,3% gacha bo'ladi. Haddan tashqari kambag'al aralashma quyi konsentratsiya chegarasi ($\alpha \approx 1,3$)ga yaqinlashganda nisbatan sekin yonadi, ishlangan gazlar tarkibida yonilg'ining chala oksidlangan mahsulotlari, jumladan uglerod oksidi, konsentratsiyasi ortadi.

Dizellarda boy aralashma zonalarida yonishda hosil bo'lgan uglerod oksidi kengayish jarayonida yonib ulguradi, chunki dizel silindrida doim ortiqcha kislorod bo'ladi. Dizellarning ishlangan gazlari tarkibida CO konsentratsiyasi ko'p emas – 0,2–0,3% oraliqda bo'ladi.



4.40-rasm. To'rt taktli karbyuratorli dvigatel ishlangan gazlari tarkibida zaharli moddalar konsentratsiyasi.

Uglevodorodlar

Uglevodorod birikmalari ishlangan gazlar tarkibida yonilg'ining chala oksidlanishi va parchalanishi mahsulotlari ko'rinishida va yonilg'i bug'i ko'rinishida dvigatelning hamma ish rejimlarida mavjud bo'ladi.

Majburan o't oldiriladigan dvigatellarda yonilg'ining chala yonishi yonuvchi aralashmaning devor oldidagi yupqa qatlamida sodir bo'ladi; u yerda yonish kamerasi devoriga issiqlik uzatilishi tufayli harorat sezilarli darajada past bo'ladi va natijada reaksiyalar tezligi yonilg'i to'liq oksidlanishi uchun yetarli bo'lmaydi.

Dvigatel o'rtacha yukda kambag'al aralashmada ($\alpha=1,1-1,2$) ishlaganida ishlangan gazlar tarkibida uglevodorodlar konsentratsiyasi minimal darajaga yetadi. Havo ortiqligi koeffitsiyentining taxminan ish qiymatlarida dvigatel eng yaxshi tejamkorlikka ega bo'ladi.

Aralashma tarkibining ($\alpha=1,1-1,2$ dan) ham kambag'al tarafga va ham boy tarafga o'zgarishi ishlangan gazlar tarkibiga uglevodorodlar konsentratsiyasining keskin ko'payishiga sabab bo'ladi. Dvigatel quyi konsentratsion chegaraga yaqin kambag'al aralashmada ishlaganida alohida silindrlardagi aralashmalarning tarkibi bir xil bo'lmasligi tufayli ba'zi silindrlardagi aralashma haddan tashqari kambag'al bo'lib qolishi mumkin. Bunday hollarda aralashma alangalanmaydi, natijada uglevodorodlar konsentratsiyasi keskin ko'payadi, chunki chiqarish kollektoriga yonmagan yonilg'i bug'lari o'tadi.

Dvigatel boy aralashmada ($\alpha<1,0$) ishlaganda uglevodorodlar konsentratsiyasi kislorod yetishmaganligi tufayli ko'payadi.

Dizellarda yonilg'ining qurum va uglevodorodlar (asosan metan va etilen) hosil qilib chala yonishi forsunkadan oqib chiqayotgan yonilg'i yomon purkalishi tufayli sodir bo'ladi.

Uglevodorodlar yonilg'i fakelining juda kambag'al aralashma zonasi bilan chegarasida ham hosil bo'ladi.

Dizellarning ishlangan gazlarida uglevodorodlar konsentratsiyasi ko'p emas va ular oddiy shahar ekspluatatsiya sharoitlari uchun me'yorlanmaydi.

Azot oksidlari

Azot – atmosfera sharoitlarida kimyoviy inert gaz, kislorod bilan yuqori harorat va bosimlarda reaksiyaga kirishadi, bunda asosan azot oksidi NO va kam miqdorda azot ikki oksidi NO₂ hosil bo‘ladi. Harorat 1500 K dan yuqoriroq bo‘lganda azot oksidlanishi boshlanadi, harorat 2300 K dan ortganida reaksiya juda tez (reaksiya vaqti 10^{-2} – 10^{-6} s) kechadi.

Dvigatel stexiometrikka yaqin aralashmada ($\alpha=1,0$ – $1,05$) ishlaganida ishlangan gazlarda azot oksidi kontsenratsiyasi maktunga yetadi; bunda yonish mahsulotlarida bog‘lanmagan kislorod konsentratsiyasi yetarli darajada yuqori (4.41-rasm), siklning maksimal harorati esa boy aralashmada ($\alpha=0,90$ – $0,95$) ishlagandagi absolyut maksimaldan atigi biroz pastroq bo‘ladi.

Dvigatel boy aralashmada ($\alpha<1,0$) ishlaganda azot oksidi (NO)ning biroz qismi azot (N₂) va kislorod (O₂) larga parchalanadi.

NO kontsenratsiyasi gazlar sovushi tezligiga bog‘liq.

Qurum kislorod yetishmagan muhitda yuqori harorat va bosimda yonilg‘i pirolizi natijasida hosil bo‘ladi. Bunday sharoit yonilg‘ining oxirgi portsiyalari purkalishida forsunka yaqinida yonilg‘i fakeli yadrosida kuzatiladi. Qurum bilan birga uglerod oksidi va uglevodorodlar ham hosil bo‘ladi. Qurum – boshlang‘ich diametri 0,45 mkm ga yaqin bo‘lgan qattiq sferasimon zarrachalardir. Zarrachalar o‘lchami bir necha mikron bo‘lgan strukturaviy birikmalar hosil qiladi.

4.4.7. Zaharli moddalar chiqishi va yonilg‘i sarfini kamaytirish maqsadida aralashma hosil qilish va yonish jarayonlarini takomillashtirish

Zaharli moddalar hosil bo‘lishi tabiati va mexanizmini o‘rganish zaharli moddalar chiqishini kamaytirish maqsadida yonish

jarayoniga ta'sir qilishining yo'li va printsiplarini asoslash imkonini beradi. Yonuvchi aralashmada kislorodning yetarli darajada ortiqcha bo'lishi va yonishning yuqori tezligi ishlangan gazlarda uglerod oksidi va uglevodorodlar konsentratsiyasining kam bo'lishini ta'minlovchi sharoit bo'ladi. Yonilg'i resursi cheklanganligi tufayli yonilg'i sarfini oshirmaydigan, bil'aks uni kamaytiradigan, ta'sir usullarini dolzarb deb hisoblash mumkin.

Majburan o't oldiriladigan dvigatellarda SO va SN konsentratsiyasi va yonilg'i sarfining kamayishini ta'minlovchi aralashma hosil bo'lishi va yonishga ta'sir qilishning quyidagi usullari qo'llaniladi:

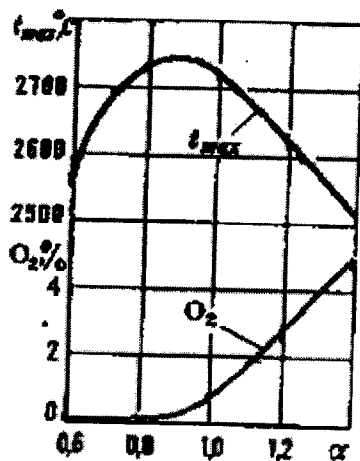
- yonish kamerasida aralashma turbulentligi intensivligini oshi-rishadi, dvigatel kambag'al aralashmada ishlaydigan zona'ri ken-gaytirish uchun elektr uchquni davomiyligi va quvvatini orttiri-ladi;

- dvigatelning hamma ish rejimlarida, jumladan barqaror bo'lmagan rejim va majburiy salt ishida, zarur bo'lgan tarkibli bir jinsli aralashma hosil bo'lishini ta'minlash uchun karbyuratorlarni takomillashtirish, yonilg'ini forsunka orqali purkash bilan yonilg'i purkalishi va uning bug'lanishini yaxshilashadi;

- kiritish truboprovodida aralashma turbulizatsiyasini va uning qizishi oshiriladi; bunda hamma silindrlarda aralashma tarkibi optimalga yaqin bo'lishiga imkon tug'iladi, alohida silindrlarda aralashma tarkibi bir xil bo'lishi yaxshilanadi;

- devorlar haroratini ko'tarishadi, yonish kamerasi sirtini kamaytirishadi; bundan maqsad – devor oldida alanga o'chadigan qatlamdagi aralashma hajmini kamaytirish va uglevodorodlar konsentratsiyasini pasaytirishdir.

Maksimal harorat dvigatel juda boy (4.41-rasm) yoki juda kambag'al ($\alpha > 1,3$) aralashmada ishlaganida hamda o't oldirish ilgariligi burchagi kamayganda pasayadi.



4.41-rasm. Majburan o't oldiriladigan to'rt taktli dvigatel silindrida gazlarning maksimal harorati va ishlangan gazlarda kislorod konsentratsiyasi.

Qurum

Aralashma kambag'allashganda azot oksidlari va uglerod oksidi konsentratsiyasi pasayadi, bunda uglevodorodlar konsentratsiyasi ko'paymaydi, yonish sarfi esa kamayadi, shu sababli bu usul dvigatellarda qo'llash uchun istiqbolli hisoblanadi.

Azot oksidlarining konsentratsiyasini kamaytirish uchun yonish kamerasida shunday sharoit yaratiladiki (gazlarning maksimal harorati pasaytiriladi va yonish mahsulotlarida bog'lanmagan kislorod konsentratsiyasi kamaytiriladi), unda azotning oksidlanish reaksiyalari tezligi kamayadi.

Mikroprotsessorlar bazasidagi o't oldirish ilgariligi burchagi va aralashma tarkibini rostlovchi elektron tizim atrof-muhit harorati, kiritish kollektoridagi gaz bosimi, sovutish tizimidagi suyuqlik harorati, tirsakli val aylanishlar chastotasi, drossel to'sig'ining holatini hisobga olgan holda, ularni optimallashtirish imkonini beradi.

Dizellarda zaharlilik va tutunni kamaytirish aralashma hosil qilish va yonish jarayonlariga ta'sir qilish yo'li bilan amalga oshiriladi. Amaldagi me'yoriy hujjatlarda faqat ishlangan gazlar tutunligi cheklangan, zaharlilik esa havo almashishi cheklangan ekspluatatsiya sharoitlari uchun me'yorlangan, bunda asosiy e'tibor azot oksidlari chiqishini kamaytirishga qaratilgan.

Yonilg'i purkalishini yaxshilash, aralashma hosil bo'lishi va yonishni takomillashtirish bilan tutun va azot oksidlari chiqishini kamaytirishga erishiladi. Tutunga qarshi prisadkalarni qo'llash, yonilg'ini bo'lib-bo'lib purkash va ishlangan gazlarni qisman (10–15%) sirkulyatsiya qilish istiqbolli hisoblanadi. Yonilg'i purkash ilgariligi burchagini biroz kamaytirish maqsadga muvofiq hisoblanadi.

Azot oksidlarining chiqishini kamaytirishning eng samarali yo'li bu yonilg'i alangalanishining tutilib turishi davrini qisqartirishdir, chunki bunda bosim ortishi tezligi ham yonish boshlanishida issiqlik ajralib chiqishi tezligi kamayadi, natijada gazlarning maksimal harorati pasayadi. Yonilg'i purkalishi ilgariligi burchagini kamaytirish ham azot oksidlari chiqishini kamaytiradi, lekin bu burchakni cheklangan miqdorda kamaytirish sarfi ortadi. Yonilg'i bo'lib-bo'lib purkalganda alanga tutilib turishi davomiyligi qisqaradi, buni azot oksidlari chiqishini va tutunni kamaytirishning istiqbolli usullaridan biri deb hisoblash mumkin.

Yonilg'i purkalishini yaxshilash uchun purkash bosimini o'ttirishadi, bunda tutun va yonilg'i sarfi kamayadi bu ayniqsa, valning kichik aylanishlar chastotasida kuchli seziladi.

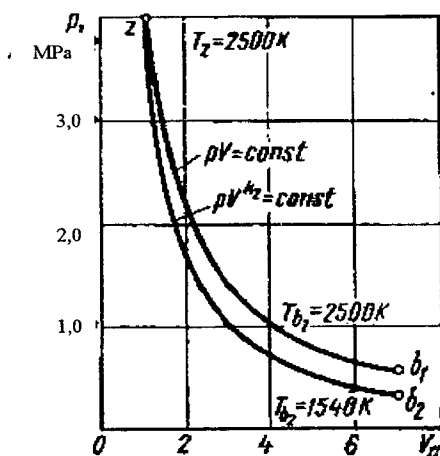
4.5. Kengayish jarayoni

4.5.1. Kengayish jarayoni termodinamikasi

Kengayish jarayonida harorati yuqori bo'lgan yonish mahsulotlarining ichki energiyasi mexanik ishga aylanadi. Ish bilan birga kengayish jarayonining boshlanishida yonish jarayonida tugal-

lanishga ulgurmagan oksidlanish reaksiyalari davom etadi. Kengayish jarayoni boshlanishida issiqlikning qo'shimcha ajralib chiqishi *yonib tugallanish* deyiladi.

Bosim pasayishi bilan bog'langan kengayishning ikkita termodinamik jarayonlari: izotermik – zb_1 va adiabatik – zb_2 (4.42-rasm) dvigatellardagi kengayish jarayoniga nazariy jihatdan eng yaqin bo'ladi.



4.42-rasm. Adiabatik va izotermik kengayish jarayonlari.

Izotermik kengayish faqat kengayayotgan gazga intensiv issiqlik kiritilishida, adiabatik kengayish esa faqat tashqi muhit bilan issiqlik almashinuvchi bo'lmagan holda bo'lishi mumkin.

Nazariy siklga nisbatan farqli ravishda haqiqiy kengayishda gaz va devorlar (silindr, kallak va porshen tubi) orasida intensiv issiqlik almashinuvi sodir bo'ladi, nozichliklar orqali gazning bir qismi oqib ketadi, yonib tugash va dissotsiatsiya mahsulotlari bir qismining qayta tiklanishi natijasida gazlarga issiqlik kiritiladi hamda kengayishda haroratning pasayishi oqibatida gazlarning issiqlik sig'imi kamayadi.

Kengayish jarayoni davomida issiqlik ham kiritiladi, ham

uzatiladi. Kiritilayotgan va uzatilayotgan issiqlik miqdorlari nisbati kengayish davomida o'zgarib boradi.

Gazdan devorlarga issiqlikning uzatilishi kengayish jarayoni-ning boshidan oxirigacha sodir bo'ladi, chunki kengayayotgan gazlarning harorati silindr devorlari, kallak va porshen tubi haroratlaridan ancha yuqori bo'ladi. Gazdan devorlarga issiqlik uzatilishi kengayish davomida o'zgarib boradi, chunki hajm kengaygani sari gazlar harorati pasayib, gazga tegib turadigan devorlar sirti esa ortib boradi.

Yonilg'i yonib tugashi va dissotsiatsiya mahsulotlari bir qismining qayta tiklanishi natijasida ajralib chiqadigan issiqlikning summa miqdori kengayish jarayonining har xil uchastkalarida har xil intensivlikda boradi. Kengayish jarayonining boshlanish qismida issiqlik eng intensiv ajralib chiqadi.

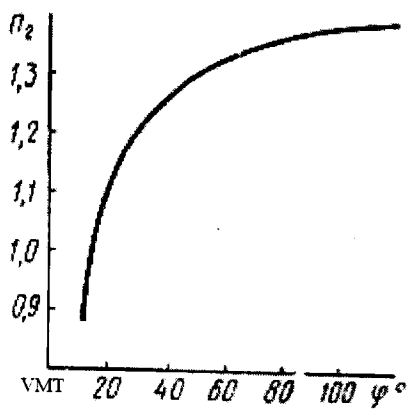
Silindrdagi nozichliklar orqali gazning oqib ketishi kengayish jarayonining boshlanishida, gazlarning bosimi katta bo'lgan paytda sodir bo'ladi.

Ko'rsatilgan omillar ta'siri natijasida *haqiqiy kengayish jarayoni* ko'rsatkichi o'zgaruvchi ($p_2 = 0,9-1,5$) bo'lgan politropa bo'yicha kechadi.

4.43-rasmda karbyuratorli dvigatelda kengayish politropasi ko'rsatkichi p_2 ning kengayish davomida o'zgarishi ko'rsatilgan.

Kengayish jarayonining boshlanishida yonilg'ining intensiv yonib tugashi oqibatida gazlarga kelayotgan issiqlik miqdori, devorlarga uzatilayotgan issiqlikdan ancha ko'p, shuning uchun bu paytda politropa ko'rsatkichi adiabat ko'rsatkichidan kichik bo'ladi. Kengayish davomida yonib tugash intensivligi kamayib, politropa ko'rsatkichi p_2 ortib boradi. Yonib tugashda ajralib chiqayotgan issiqlik devorlarga yo'qotilayotgan issiqlikka tenglashganda, $p_2 = k$ bo'ladi. Gazlarning bundan keyingi kengayishida devorlarga issiqlik yo'qotilishi ko'payib boradi, kengayish jarayoni oxirida esa $p_2 = 1,5-2,0$ gacha ortadi. Hisobni osonlashtirish maqsadida ko'rsatuvchisi o'zgaruvchi bo'lgan ken-

gayishning haqiqiy egri chizig'ini, siqish jarayonidagi kabi, o'zgaras ko'rsatkichli politropik egri chiziqli bilan almashtirishadi.



4.43-rasm. Karbyuratorli dvigatelda kengayish politropasi ko'rsatkichi p_2 ning val burilishi burchagi φ ga bog'liq holda o'zgarishi.

Kengayish politropasi o'rtacha ko'rsatkichi p_2 ning qiymati tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha o'rnatiladi. Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ortganda, porshen yo'li S ning silindr diametri D ga nisbati kattalashganda va sovitish intensivligi ko'payganda p_2 qiymati ortadi. Yuk ko'payganda va silindrning chiziqli o'lchamlari ($S/D = \text{const}$ da) kattalashganda kengayish politropasining o'rtacha qiymati p_2 kichiklashadi. Dvigatel tez yurarligi ortganda, odatda, p_2 kichiklashadi.

Tajribaviy ma'lumotlar bo'yicha kengayish politropasining o'rtacha qiymati p_2 adiabata ko'rsatkichi k_2 dan biroz, odatda, kichik tomonga, farqlanishini hisobga olsak, yangi loyihalalanayotgan dvigatellarni dastlabki hisoblashda p_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

$$k_2 = 1 + (\lg T_z - \lg T_b) / \lg \varepsilon \quad (4.46)$$

yoki dizellar uchun

$$k_2 = 1 + (\lg T_z - \lg T_b) / \lg \delta \quad (4.47)$$

va

$$k_2 = 1 + 8,315 / (mc_v'')_{t_b}^z t_z \quad (4.48)$$

bu yerda

$$(mc_v'')_{t_b}^z = \left[(mc_v'')_{t_0}^z t_z - (mc_v'')_{t_0}^b t_b \right] / (t_z - t_b) \quad (4.49)$$

Bu tenglamalarni k_2 va T_b qiymatlarini tanlash metodi bilan echish ancha murakkab, aniqlik darajasi ham har xil bo'ladi. (4.46) – (4.49) tenglamalar tizimi va yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'irlarini aniqlash uchun formulalar (3.4-jadvalga qarang) asosida k_2 ni aniqlash bo'yicha hisoblashni soddalashtirish uchun nomogrammlar (4.44- va 4.45-rasmlar) qurilgan.

Nomogrammlardan k_2 quyidagicha aniqlanadi: ε (yoki dizel uchun δ) va T_z qiymatlari bo'yicha $\alpha = 1,0$ dagi k_2 qiymati topiladi. Berilgan α dagi k_2 qiymatini aniqlash uchun topilgan nuqta gorizont bo'ylab $\alpha = 1,0$ vertikal chizig'i bilan kesishguncha ko'chiriladi, so'ngra yordamchi egri chiziq bilan kesishguncha suriladi. Hisoblanayotgan benzinli dvigatel va dizel uchun k_2 ni aniqlash 4.44- va 4.45-rasmlarda ko'rsatilgan.

Dvigatelning nominal ish rejimida kengayish politropasining o'rtacha qiymati p_2 :

Benzinli dvigatellar uchun	1,23–1,30
Dizellar uchun	1,18–1,28
Gazli dvigatellar uchun	1,25–1,35

4.5.2. Kengayish oxirida gazlar bosimi va harorati

Politropa tenglamasidan foydalanib, kengayish jarayoni *zb* oxiridagi bosim topiladi

$$p_b = p_z (V_z / V_b)^{\eta_2} = p_z / \delta^{\eta_2} \quad (4.50)$$

Ideal gazdagi politropa jarayoni uchun politropa va Klayperon tenglamalaridan kengayish oxiridagi haroratni aniqlash uchun tenglama hosil qilamiz

$$\frac{T_b}{T_z} = (V_z / V_b)^{\eta_2 - 1} \quad \text{ёки} \quad T_b = T_z / \delta^{\eta_2 - 1} \quad (4.51)$$

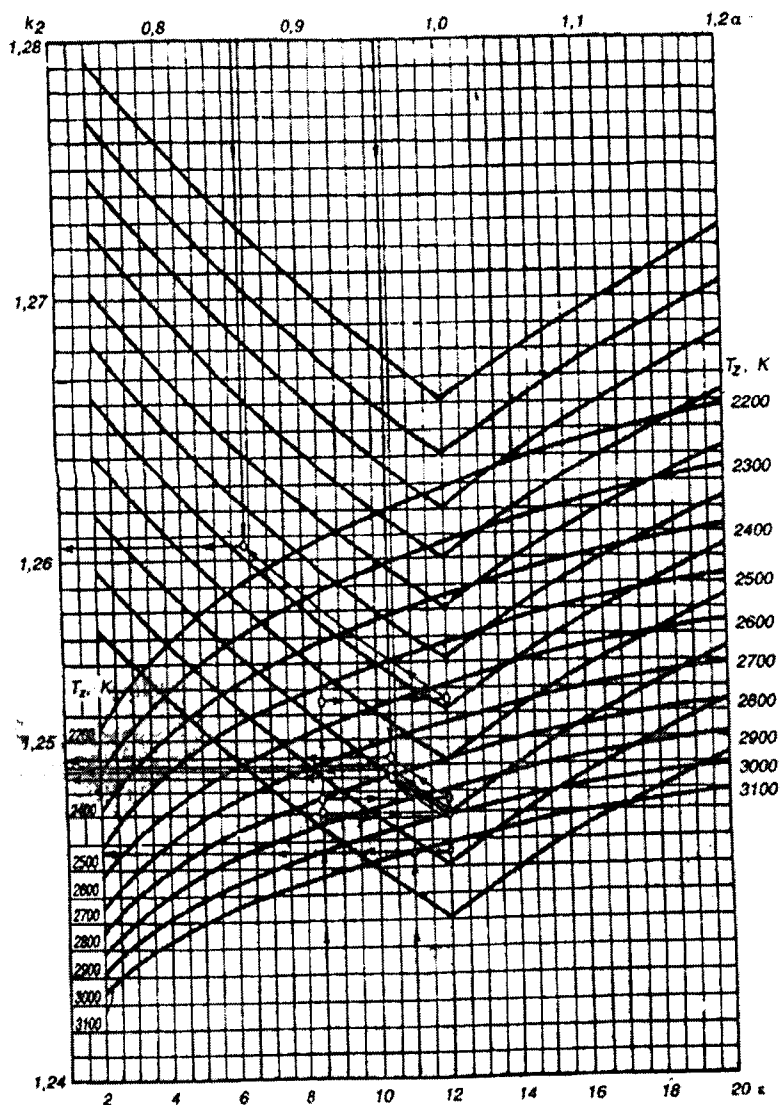
Keyingi kengayish koeffitsiyenti $\delta = V_b / V_z$ yonish jarayoni hisobi natijalari bo'yicha aniqlanadi, bunda $\varepsilon = \rho \delta$ tenglikdan foydalaniladi.

Majburan o't oldiriladigan dvigatel sikli hisoblanayotganda $V_b = V_z$ deb qabul qilinadi, u holda $\varepsilon = \delta$ va

$$p_b = p_z / \varepsilon^{\eta_2}, \quad T_b = T_z / \varepsilon^{\eta_2 - 1}$$

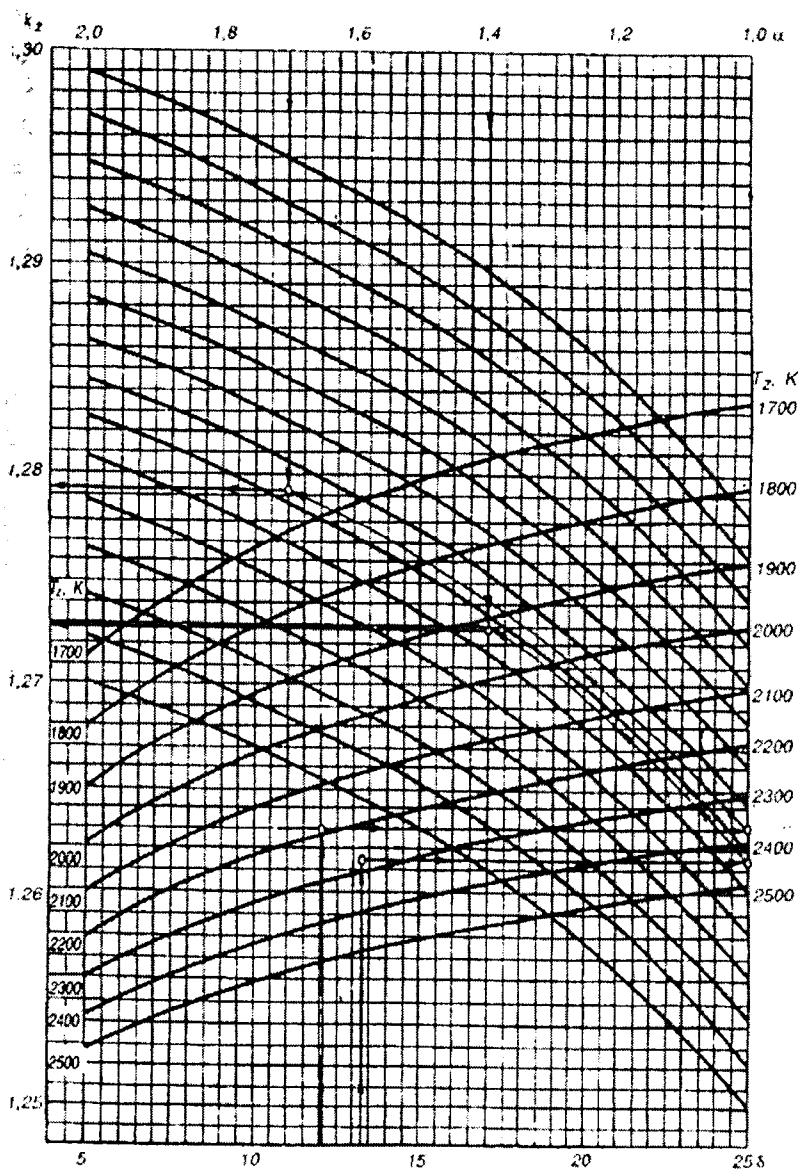
Nominal ish rejimida nadduvsiz avtomobil va traktor dvigatellari uchun bosim p_b va harorat T_b larning taxminiy qiymatlari:

Benzinli dvigatellar uchun	$p_b = 0,35\text{--}0,60 \text{ MPa}$ $T_b = 1200\text{--}1500 \text{ K}$
Dizellar uchun	$p_b = 0,25\text{--}0,50 \text{ MPa}$ $T_b = 1000\text{--}1200 \text{ K}$



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

- a) karbyuratorli dvigatel uchun k_2 qiymatini aniqlash to'rt rejim: $n_{\min}$, n_M , n_N va $n_{\max}$ uchun keltirilgan; b) yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun k_2 qiymatini aniqlash bir n_M rejim uchun keltirilgan.



4.45-rasm. Dizel uchun kengayish adiabatasi ko'rsatkichi k_2 ni aniqlash nomogrammasi.

4.6. Chiqarish jarayoni va ekspluatatsiyada dvigatellar zaharliligini kamaytirish metodlari

4.6.1. Chiqarish jarayoni

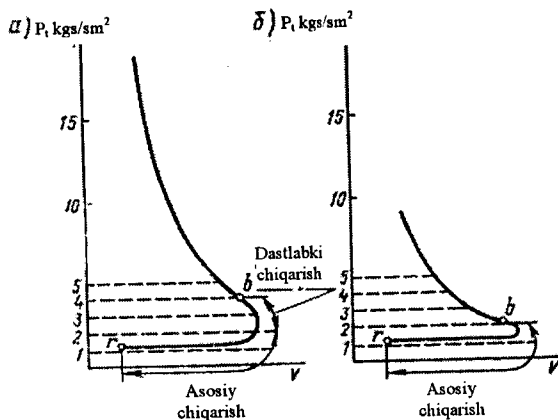
Chiqarish davrida ishlangan gazlar dvigatel silindridan tashqariga chiqarib yuboriladi.

To'rt taktli dvigatellarda chiqarish klapani porshen q.ch.h. ga tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha $40-80^\circ$ yetmasdan oldin ochiladi va porshen yu.ch.h. dan $20-40^\circ$ o'tgandan keyin berkiladi. Demak, chiqarish klapani ochiqqligi davomiyligi, ya'ni silindrlarni ishlangan gazlardan tozalash davomiyligi turli dvigatellarda 240 dan 300° gacha burchakni tashkil qiladi.

Chiqarish jarayonini (4.46-rasm) dastlabki chiqarish va asosiy chiqarishlarga bo'lish mumkin. Dastlabki chiqarish porshen pastga harakatlanayotganda, $40-80^\circ$ davomida, asosiy chiqarish esa porshen q.ch.h. dan chiqarish klapani yopilgunicha harakatlanganida, ya'ni tirsakli valning $200-220^\circ$ ga burilishi davomida sodir bo'ladi.

Dastlabki chiqarish. Dastlabki chiqarish paytida porshen q.ch.h.tomon harakatlanayotgan bo'ladi, shuning uchun u ishlangan gazlarni silindrdan haydab chiqara olmaydi. Lekin dastlabki chiqarish boshlanishida dvigatel to'liq yuk rejimida ishlayotganda silindrdagi bosim taxminan $0,4$ MPa ni tashkil qiladi. Shu sababli ishlangan gazlar o'zlarining bosimi ostida silindrdagi $400-500$ m/s ga yetadigan kritik tezlikda otilib chiqadi. Gazlarning bunday katta tezlikda chiqishi baland shovqin hosil qiladi, bu shovqinni pasaytirish uchun dvigatelga tovush so'ndirgich o'rnatiladi.

Porshen q.ch.h. ga kelganida silindrdagi gazlar bosimi va harorati pasayadi, ishlangan gazlarning oqib chiqish tezligi kamayib boradi.



4.46-rasm. Dvigatelning har xil yukida chiqarish jarayonining indikator diagrammalari: a – katta; b – kichik.

Asosiy chiqarish. Porshen q.ch.h. ga kelganida silindrdagi bosim taxminan 0,2 MPa gacha pasayadi. Asosiy chiqarishda ishlangan gazlarning oqib chiqishi kamayib boradi va chiqarish oxirida 60–100 m/s ni tashkil qiladi. Shuning uchun dastlabki chiqish va asosiy chiqishda silindrdan chiqadigan gazlar miqdori deyarli bir-biriga teng bo‘ladi.

Dastlabki chiqarish indikator diagrammaning foydali yuzasini biroz kamaytiradi, lekin porshen asosiy chiqarishda q.ch.h. dan yu.ch.h. ga harakatlanganida kam qarshilikka uchraydi, natijada, umuman olganda, indikator diagrammaning foydali yuzasi ko‘payadi.

Chiqarish klapanining biroz kech berkilishi silindrdan chiqib bo‘lgan gazlarning inertsiasidan silindrni ishlangan gazlardan yaxshiroq tozalash uchun foydalanish imkonini beradi. Bunga qaramasdan ishlangan gazlarning bir qismi silindrda yonish kamerasi hajmida qoladi.

Dvigatelni loyihalashda nasos yo‘qotishlari va qoldiq gazlar koeffitsiyenti ortib ketishining oldini olish maqsadida qoldiq gazlar bosimi p_r kichikroq bo‘lishiga intilishadi. Bundan tashqari p_r kattalashganda to‘lish koeffitsiyenti kichiklashadi, yonish jarayoni yomonlashadi, qoldiq gazlar harorati ko‘tariladi va miqdori ko‘payadi. Gazturbinali nadduvli dvigatelda chiqarish

oxirida bosimning katta bo'lishi, odatda, kiritishda bosim ortishi bilan kompensatsiyalanadi.

4.6.2. Eksploatatsiyada dvigatellar zaharliligini kamaytirish metodlari

Oxirgi yillarda avtomobil va traktor parkining tez rivojlanishi natijasida eksploatatsiya paytida dvigatellar zaharliligini kamaytirish muammosi paydo bo'ldi. Dvigatellarni eksploatatsiya qilish paytida atrof-muhitni ifloslantiruvchi asosiy manba – bu yonish mahsulotlari bo'lib, ularning asosiy komponentlari: uglerod oksidi (CO), azot oksidlari (NO_x) va uglevodorodlardir (C_nH_m). Bundan tashqari uglevodorodlar yonilg'i va moy bug'lari ko'rinishida baklar, yonilg'i nasoslari, karbyuratorlar va karterlardan atmosferaga o'tadi. Ba'zi ma'lumotlar bo'yicha bir avtomobil dvigateli yil davomida atmosferaga taxminan 600 kg uglerod oksidi va 40 kg azot oksidlarini chiqaradi.

Hozirgi paytda zaharlilikni kamaytirish muammosini ham dvigatelni loyihalovchilar ham undan foydalanuvchilar echishmoqda. Dvigatel konstruksiyasi nuqtai nazaridan bu muammo uch asosiy yo'nalish bo'yicha echilmoqda.

1. Yonish mahsulotlari, yonilg'i va moy bug'lari bilan birga atmosferaga chiqariladigan zaharli moddalarni kamaytirish maqsadida ichki yonuv dvigatellarining ishchi jarayonlarini takomillashtirish. Aralashma hosil qilish va yonish jarayonlariga ta'sir qiluvchi turli usullarni qo'llash: masalan, elektron boshqariladigan ta'minlash tizimlari, yonish kameralarini takomillashtirish; siqish darajasini va tirsakli val aylanishlar chastotasini kamaytirish hisobiga dvigatellarni deforsirovka qilish; karterni ventilyatsiya qilish; yonish mahsulotlari zaharliligi kam bo'lgan yonuvchi aralashmalarni tanlash va boshqa tadbirlarni qo'llash avtomobil va traktor dvigatellarini eksploatatsiya qilish jarayonida atmosfera ifloslanishini kamaytirish imkonini bermoqda.

2. Qo'shimcha qurilmalarni (neytralizatorlar, ushlab qolgichlar, dojigatellar va sh.k.) ishlab chiqish va ularni dvigatellarga o'rnatish yonish mahsulotlarini zaharli komponentlardan ma'lum miqdorda tozalash imkonini bermoqda.

3. Printsipial yangi dvigatellarni ishlab chiqish.

V BOB. DVIGATELNING INDIKATOR KO'RSATKICHLARI

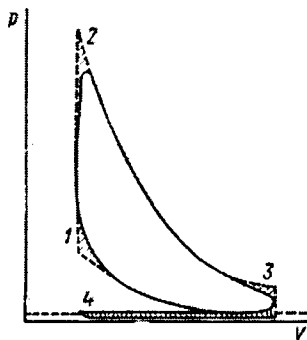
Indikator ko'rsatkichlar haqiqiy ishchi siklni tavsiflaydi. Ularga indikator ish L_i , o'rtacha indikator bosimi r_i , indikator quvvati N_i , indikator f.i.k. η_i va yonilg'ining solishtirma indikator sarfi g_i kiradi.

5.1. Indikator ish, o'rtacha indikator bosim va indikator quvvat

5.1.1. Indikator ish

Ishchi sikl bajarilishi natijasida yonilg'i yonganida ajralib chiqqan issiqlikning bir qismi foydali mexanik ishga aylanadi dvigatel silindrlarida gazlar (bosimi) bajariladigan bu ish-*indikator ishi* deb ataladi. Indikator ish ishlayotgan dvigateldan yozib olingan indikator diagrammaning ichki konturi yuzasi bo'yicha aniqlanadi.

Real indikator diagramma bo'lmagan holda u dvigatelning issiqlik hisobi ma'lumotlari bo'yicha qurilishi mumkin, lekin real va nazariy (hisobiy) indikator diagrammalar bir-biridan biroz farqlanadi (5.1-rasm).



5.1-rasm. Haqiqiy va hisobiy indikator diagrammalar.

Haqiqiy diagramma konturi ichidagi yuza G'_h nazariy diagramma yuzasi G'_{nazariy} dan 5–6% ga kichik bo'ladi. Buning sabablari: o't oldirilishi yoki yonilg'i purkalishi ilgariligi natijasida siqish chizig'i yonish chizig'iga silliq o'tadi, bunda yuzaning bir qismi (5.1-rasm, 1-yuza) yo'qotiladi; yonish bir onda tugamaganligi tufayli 2-yuza yo'qotiladi; chiqarish klapani porshen q.ch.h. ga yetib kelmasdan oldin ochilishi sababli 3-yuza yo'qotiladi.

Haqiqiy siklning hisobiy sikldan og'ishi tufayli nazariy indikator diagramma yuzasining kamayishi *diagramma to'liqligi koef-fitsiyenti* φ_u bilan baholanadi.

$$\varphi_u = G'_{\text{nazariy}} / G'_{\text{nazariy}}$$

Diagramma to'liqligi koefffitsiyenti φ_u qiymatlari 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

Bundan tashqari indikatorning bir qismi ΔL_i kiritish va chiqarish jarayonlarini amalga oshirishga, ya'ni gaz almashtirish jarayonlariga sarflanadi. ΔL_i yo'qotishlar kiritish va chiqarish chiziqlari orasida joylashgan indikator diagramma yuzasiga ekvivalent bo'ladi (5.1-rasm 4-yuza). Shunday qilib, indikator ish

$$\Delta L_i = \varphi_u L_{\text{sikl}} - \Delta L_i. \quad (5.1)$$

5.1.2. O'rtacha indikator bosim

Hisoblar qulay bo'lishi va turli dvigatellarni qiyoslash uchun indikator diagramma konturi ichidagi yuzani, o'sha asos (V_h)da qurilgan, yuzalari teng bo'lgan to'g'ri burchakli to'rtburchakka aylantirish mumkin. Bu qurilish 5.2- va 5.3-rasmlarda bajarilgan. Bu to'rtburchakning balandligi indikator diagrammaning o'rtacha balandligiga yoki o'rtacha nazariy indikator bosimiga teng bo'lib, R_i' orqali belgilanadi.

O'rtacha nazariy indikator bosim effektiv doimiy bosim

bo'lib, porshen yu.ch.h. dan q.ch.h. ga harakatlanganida unga shartli ravishda ta'sir qiladi deb qabul qilinadi.

O'rtacha nazariy indikator bosimi r_i' bir siklda bajarilgan nazariy indikator ish L_{sikl} ning ishchi hajm V_h ga nisbatiga teng bo'lib, bir birlik ishchi hajmdan olinadigan nazariy ishni ifodalaydi.

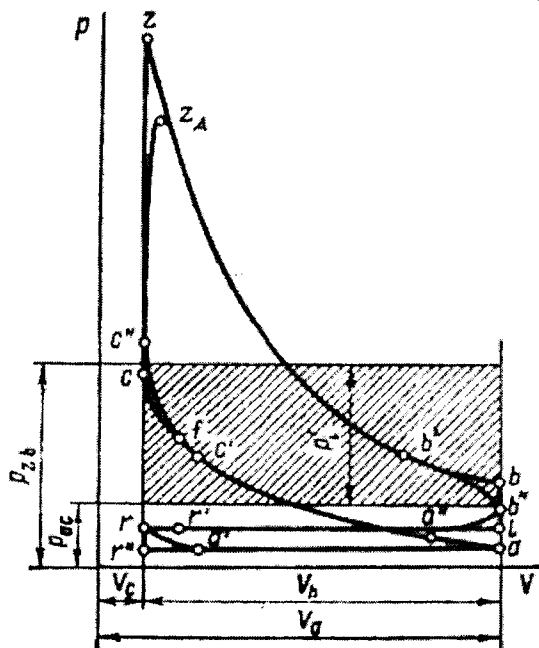
$$r_i' = L_{sikl} / V_h$$

Issiqlik $V = \text{const}$ da kiritiladigan sikl bo'yicha ishlayotgan dizellar uchun (5.2-rasm) nazariy o'rtacha indikator bosim

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (5.2)$$

Issiqlik aralash kiritiladigan sikl bo'yicha ishlayotgan dizellar uchun (5.3-rasm)

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) + \lambda(\rho + 1) \right] \quad (5.3)$$



5.2-rasm. Benzinli dvigatelning indikator diagrammasi.

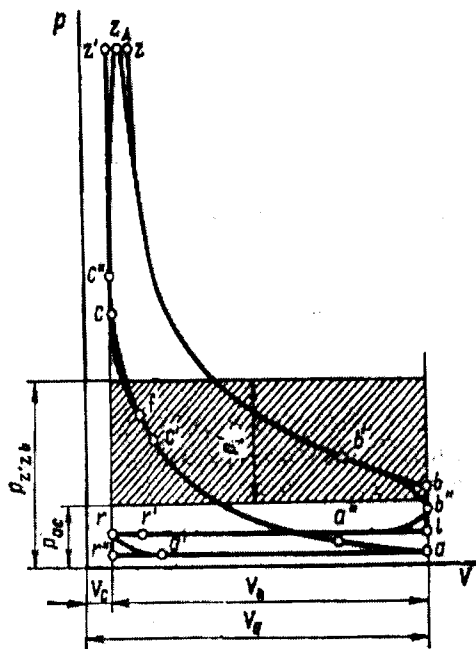
Haqiqiy siklning o'rtacha indikator bosimi r_i r_i' qiymatidan c , z , b nuqtalarda silliqilinishi hisobiga hisobiy diagramma kamayishiga proporsional qiymatga hamda nasos yo'qotishlari o'rtacha bosimi Δr_i ga kichik bo'ladi, ya'ni

$$r_i = \varphi_a r_i' - \Delta r_i \quad (5.4)$$

Kiritish va chiqarish jarayonlarida nasos yo'qotishlari o'rtacha bosimi

$$\Delta r_i = r_r - r_a \quad (5.5)$$

Nadduvsiz to'rt taktli dvigatellarda Δr_i qiymati musbat bo'ladi. Yuritmani haydagichli nadduvli dvigatellarda $r_a > r_g$ bo'lganida Δr_i qiymati manfiy bo'ladi. Gaz turbinali nadduvda r_a qiymati r_g qiymatidan ham katta va ham kichik bo'lishi, ya'ni Δr_i qiymati ham manfiy va ham musbat bo'lishi mumkin.



5.3-rasm. Dizelning indikator diagrammasi.

Nominal quvvat rejimlarida dvigatellar har xil turlari uchun r_i qiymati (MPa):

To'rt taktli benzinli dvigatellar uchun	0,6–1,4
Kuchaytirilgan to'rt taktli benzinli dvigatellar uchun	0,9–1,9
To'rt taktli nadduvsiz dizellar uchun	0,7–1,2
To'rt taktli nadduvli dizellar uchun	1,4–2,2

5.1.3. Indikator quvvat

Gazlar dvigatel silindrlari ichida vaqt birligida bajariladigan ish indikator quvvat deb ataladi. Odatda, u dvigatel sinovida olingan indikator diagrammaga ishlov berish yo'li bilan olinadi.

Gazlarning silindrda bir siklda bajariladigan ishi, N.M/sikl

$$L_i = r_i \cdot V_h \quad (5.6)$$

Dvigatel taktligining (bir siklda porshen yuradigan yo'llari soni) τ va bir liniyada valning aylanishlar sonini p bilan belgilab, bir silindrda bir minutda bajariladigan ishchi sikllar sonini aniqlaymiz, u $2p/\tau$, ga teng bo'ladi.

Agar valning aylanishlar chastotasi min^{-1} da berilgan bo'lsa: to'rt taktli dvigatellarning indikator quvvati (kVt)

$$N_i = r_i \cdot i \cdot V_h \cdot 2n / (60 \cdot \tau) = r_i \cdot (i \cdot V_h) n / 120, \quad (5.7)$$

Ikki taktli dvigatellarning quvvati (kVt)

$$N_i = r_i \cdot (i \cdot V_h) n / 60, \quad (5.7')$$

Bir silindrda indikator quvvati

$$N_{its} = r_i \cdot V_h \cdot n / (30 \cdot \tau). \quad (5.8)$$

Bu bog'lanishlarga muvofiq indikator quvvat o'rtacha indikator bosim, dvigatel ishchi hajmi (litraji) va tirsakli val aylanishlar chastotasiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

Turli dvigatellarni qiyoslash uchun *litrlı indikator quvvat*, ya'ni dvigatel ishchi hajmining bir metrdan olinadigan indikator quvvat tushunchasidan foydalaniladi.

5.2. Indikator f.i.k

Indikator ishining ushbu ishni olish uchun sarflangan issiqlikka nisbiy *indikator f.i.k.* deb ataladi.

1 kg yonilg'i uchun indikator f.i.k.

$$\eta_i = L_i / Hu, \quad (5.9)$$

bu erda L_i – indikator ishga ekvivalent issiqlik, mDj/kg;

Hu – yonilg'i yonishining quyi issiqligi, mDj/kg.

Indikator f.i.k. haqiqiy siklning tejamkorligini tavsiflaydi; siklning termik f.i.k. dan farqli ravishda indikator f.i.k. nafaqat issiqlik Q_2 ning sovuq manbaga uzatilishini, balki noto'liq yonish, dissotsiatsiya, nozichliklar orqali ishchi jismning oqib o'tishi, issiqlikning devorlariga uzatilishi va ishlangan gazlar bilan chiqib ketishini ham hisobga oladi.

Indikator f.i.k.ni mos termodinamik (nazorat) siklining termik f.i.k. bilan qiyoslash haqiqiy siklning takomillik darajasini baholash imkonini beradi. Buning uchun indikator va termik f.i.k. lari nisbatiga teng bo'lgan *nisbiy f.i.k.* η_g dan foydalaniladi.

$$\eta_g = \eta_i / \eta_t. \quad (5.10)$$

Nisbiy (haqiqiy) f.i.k. η_g qiymati 0,7–0,9 ni tashkil qiladi, bu haqiqiy takomillashtirish imkoniyatlari hali ko'pligini bildiradi.

Indikator f.i.k. *tenglamasini* *echamiz*. Agar (5.6) tenglamada V_h deganda shunday shartli ishchi hajm tushunilsaki, bu hajmda bir ishchi siklda yonilg'i birligini zaruriy havo miqdorida yoqish mumkin bo'lsin, u holda bu tenglama bir birlik yonilg'i yondirilganda olinadigan ishni ifodalaydi.

Bu hajmni xarakteristik tenglamadan topish mumkin

$$r_k \eta_v V_h = R_\mu M_1 T, \quad (5.11)$$

bu yerda R_μ – universal gaz doimiysi; η_v – kiritishda ishchi jism bosimi r_k va harorati T_k bo'lganda to'lish koeffitsiyenti

U holda (5.6) tenglamadan

$$L_i = M_1 R_\mu p_i T_k / (\eta_v p_k). \quad (5.12)$$

Bu ifodani (5.9) ga qo'yib, indikator f.i.k. tenglamasini hosil qilamiz

$$\eta_i = \frac{p_i R_\mu M_i T_k}{Hu p_k \eta_i} \quad (5.13)$$

yoki

$$\eta_i = p_i l_0 \alpha / Hu p_k \eta_i. \quad (5.13')$$

Gazli dvigatellarda N_i standart shartlardagi 1 m^3 yonilg'iga taalluqli bo'ladi, shuning uchun $M_i 1 \text{ m}^3$ yonilg'i bo'yicha olinadi, ya'ni

$$\eta_i = 371,2 \cdot 10^{-6} M_i T_k p_i / (Hu p_k \eta_i). \quad (5.14)$$

Nominal rejimda ishlayotgan zamonaviy avtomobil indikator f.i.k. qiymati:

Yonilg'i elektron purkaladigan dvigatellar

uchun 0,35–0,45

Korbyuratorli dvigatellar uchun 0,30–0,40

Dizellar uchun 0,40–0,50

Gazli dvigatellar uchun 0,28–0,35

5.3. Yonilg'i sarfi

1 siklda yonilg'i sarfi. Ichki yonuv dvigatellari ishlashi uchun ularning silindrlariga yonilg'i va havo kiritishi zarur. Har bir kiritishda silindrga kiradigan yangi zaryad miqdori

$$G_{\text{sikl}} = [p_k V_H / (R_\mu T_k)] \eta_v, \quad (5.15)$$

bunda yonilg'i miqdori $1/(l_0 \alpha)$ ga teng bo'lgan ulushni tashkil qiladi

U holda yonilg'ining bir sikldagi sarfi

$$G_{\text{yo.sikl}} = G_{\text{sikl}} / (l_0 \alpha) = [p_k V_H / (R_\mu T_k)] (\eta_v / l_0) (1/\alpha). \quad (5.16)$$

Yonilg'ining 1 soatdagi sarfi. Yonilg'ining 1 soatdagi sarfi $G_{\text{yo.s}}$ ni aniqlash uchun yonilg'ining bir sikldagi sarfini bir soatdagi sikllar soniga ko'paytirish kerak.

To'rt taktli dvigatel uchun (kg/soat)

$$G_{\text{yo.s}} = G_{\text{yo.sikl}} (p/2) 60 = 30 G_{\text{yo.sikl}} p. \quad (5.17)$$

Yonilg'ining solishtirma indikator sarfi

Haqiqiy sikllarning tejamkorligini ko'rsatuvchi ikkinchi ko'rsatkich – bu yonilg'ining solishtirma indikator sarfidir; u yonilg'i bir soatda sarfining indikator quvvatga bo'lgan nisbatga

teng:

suyuq yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun $[g/(kVt \cdot soat)]$

$$g_i = G_{yo.c} \cdot 1000 / N_i \quad (5.18)$$

gaz yonilg'isida ishlaydigan dvigatellar uchun $[m^3/(kVt \cdot soat)]$

$$v_i = V_r / N_i$$

Indikator f.i.k. va yonilg'ining solishtirma indikator sarfi orasidagi bog'lanishni aniqlaymiz, buning uchun bir soatdagi indikator ish tenglamasini (5.9) va issiqlikning bir soatdagi sarfini quyidagi ko'rinishda yozamiz

$$\eta_i = \frac{N_i \cdot 3600}{Hu G_{\epsilon.c.} \cdot 1000} = \frac{3600}{(Hu G_{\epsilon.c.} \cdot 1000 / N_i)}, \quad (5.19)$$

ya'ni

$$\eta_i = 3600 / (Hu \cdot g_i)$$

yoki

$$g_i = 3600 / (\eta_i \cdot Hu). \quad (5.20)$$

(5.20) ga η_i ning (5.13) dagi ifodasini qo'yib, quyidagini hosil qilamiz $[g/(kVt \cdot soat)]$

$$g_i = \frac{3600 \cdot p_k \cdot \eta_v}{p_i R_{\mu} M_1 T_k}$$

yoki

$$g_i = \frac{3600 \cdot p_k \cdot \eta_v}{p_i l_0 \alpha}. \quad (5.21)$$

Gaz dvigatellari uchun (5.19) va (5.20) tenglamalarga g_i o'rniga v_i ($m^3/(kVt \cdot soat)$) ni qo'yamiz; u holda (5.21) tenglama quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:

$$v_i = 3,6 / (\eta_i \cdot Hu')$$

yoki

$$v_i = \frac{3600 \cdot 22,4 p_k \cdot \eta_v}{p_i R_{\mu} M_1 T_k}$$

yoki

$$v_i = \frac{9700 p_k \cdot \eta_v}{p_i M_1 T_k}. \quad (5.22)$$

Turli gazsimon yonilg'ilarning yonish issiqligi bir-biridan kuchli farqlanadi; bu dvigatel turli yonilg'ilarda ishlaganida

ularning ishchi sikllari tejamkorligi v_i bo'yicha taqqoslash imkonini bermaydi. Ularning tejamkorligini *issiqlikning solishtirma sarfi* g_i [mDj/(kVt.soat)] bo'yicha taqqoslash ancha qulay bo'ladi.

Bir birlik quvvat ishlab chiqarishga sarflanadigan issiqlikning solishtirma sarfi

$$g_i = v_i Hu' = 9700 \eta_v p_k Hu' / (M_1' T_k p_i). \quad (5.23)$$

Dvigatelning nominal ish rejimida yonilg'ining solishtirma indikator sarfi:

yonilg'i elektron purkaladigan dvigatellar

uchun $g_i = 180-230 \text{ g/kVt}$

karbyuratorli dvigatellar

uchun $g_i = 210-275 \text{ g/(kVt.soat)}$

dizellar uchun $g_i = 170-210 \text{ g/(kVt.soat)}$

gazli dvigatellar uchun $g_i = 10,5-13,5 \text{ MDj/(kVt.soat)}$

5.4. Turli omillarning indikator ko'rsatkichlarga ta'siri

(5.13) va (5.14) tenglamalarni p_i ga nisbatan echamiz:

$$p_i = \frac{1}{R_\mu} \frac{Hu}{M_1} \eta_v \eta_i \frac{p_k}{T_k}, \quad (5.24)$$

$$p_i = \frac{1}{R_\mu} \frac{Hu'}{M_1'} \eta_v \eta_i \frac{p_k}{T_k}. \quad (5.25)$$

(5.24) va (5.25) tenglamalardan shu narsa ko'rinadiki, siklda foydalaniladigan issiqlik yonuvchi aralashmaning yonish issiqligi va uning miqdori bilan, bularning o'zi esa o'z navbatida η_v va p_k/T_k nisbatga proporsional bo'lgan yonuvchi aralashma hajmi va zichligi bilan aniqlanadi. Issiqlikdan foydalanish sifati indikator f.i.k. bilan aniqlanadi.

5.4.1. Konstruktiv va rostlovchi omillarning ta'siri

Siqish darajasi. (2.5) tenglamaga muvofiq siqish darajasi ε ning ortishi bilan hamma termodinamik (nazariy) sikllarning termik f.i.k. η_i va o'rtacha bosimi p_i ortadi. (5.10) nisbatdan η_g o'zgarmas bo'lganda η_T ortishi bilan indikator f.i.k. η_i ham ortadi. Lekin ε ning haddan tashqari katta qiymatlarida devorlarga issiqlik uzatilishi (yo'qotilishi) va ishchi jism nozichliklardan oqib ketishining ko'payishi hamda yonish jarayonining buzilishi natijasida η_g amalda pasayishi mumkin.

Silindr o'lchamlari. S/D nisbiy o'zgarmas bo'lganda silindr diametri D ning kattalashishi gaz taqsimlash klapanlarining burchak-kesimini orttirish va silindrning yangi zaryad bilan to'lishini yaxshilash imkonini beradi, lekin bunda majburan o't oldiriladigan dvigatellarda distansiyaning vujudga kelishi imkoniyati ortadi, natijada siqish darajasini kamaytirish yoki ikkita svecha o'rnatish yoki oktan soni kattaroq bo'lgan yonilg'idan foydalanish zarurati tug'iladi.

Dizellarda silindr diametri D ning 300 mm gacha kattalashirilishi yonilg'i uzatilishini va ajralmagan yonish kameralarida aralashma hosil bo'lishini soddalashtiradi, lekin fakellar uzoqroqqa yetib borishi uchun purkash bosimni orttirish, fakellar sonini ko'paytirish va uyurma intensivligini orttirish zaruratini tug'diradi. S/D ning optimal nisbatida silindr diametri kattalashganda gazlardan issiqlik oladigan nisbiy sirt kamayadi, natijada indikator f.i.k. ortadi.

Konstruksion materiallar. Majburan o't oldiriladigan porshenlar va silindrlar kallagini cho'yan o'rniga yengil, issiqlikni yaxshi o'tkazadigan materiallardan tayyorlash, bu detallar sirtidagi haroratni pasaytirish imkonini beradi.

Bu detonatsiya vujudga kelish ehtimolini kamaytiradi va siqish darajasini 0,5–1,2 birlikka orttirish imkonini beradi, bunda zaryad qizishi pasayishi bilan birga to'lish koeffitsiyenti η_v ni orttirish imkonini beradi, natijada η_i va p_i ortadi.

Dizellarda esa, aksincha, cho'yan va po'latlarni qo'llash maqsadga muvofiq, chunki bunda o'z-o'zidan alangalanishning tutilib

turish davri qisqaradi, devorlarga issiqlik yo'qotilishi kamayadi, yonish yumshoq va o'z vaqtida bo'ladi, η_i ning ortishi esa, devor ko'proq qizishi hisobiga to'lish koeffitsiyentining biroz kamayishi ta'sirini qoplaydi. Shu sababli alyumin qotishmasi o'rniga cho'yan va po'latlardan foydalanish p_i ni 0,05–0,12 MPa oshirish imkonini beradi.

Lekin dizellarda porshen, kallak, klapanlar sirtlarining issiqlikni kamroq o'tkazadigan keramik qoplamalar bilan qoplash ularning tejamkorligini 1–2% ga kamaytirishi mumkin. Tarkibida sirkoniy, seziy va kremniy bo'lgan keramika yorish reaksiyasiga sekinlatuvchi kattalik ta'sir o'tkazsa kerak.

Sovitish intensivligi. Uchqun bilan o't oldiriladigan dvigatellarda sovitish intensivligi kuchaytirilganda η_v ning ortishi o'rtaacha indikator bosimi p_i ni orttirish imkonini beradi; kattaroq siqish darajasidan foydalanish, aralashma hosil qilish va yonish jarayonlarining biroz sekinlashishiga qaramasdan, indikator f.i.k. η_i ni orttirish imkonini beradi.

Dizellarda sovitish intensivligini oshirish ko'pda maqsadga muvofiq emas, chunki bu yonilg'i bug'lanishi, aralashma hosil bo'lishi va yonishni sezilarli darajada sekinlashtiradi, natijada η_v pasayish va yonish qattiqligining ortishiga olib kelishi mumkin. Shu sababli kam forsirovka qilingan dizellarda havo bilan sovitish (intensivligi kam) keng qo'llaniladi.

To'ldirish koeffitsiyenti. (5.13) va (5.14) formulalarga muvofiq η_v ortishi bilan η_i kamayishi kerak. Lekin η_v ning ortishi hisobiy siklga keltiriladigan issiqlik miqdorini ko'paytirish imkonini beradi va (5.24), (5.25) formulalarga muvofiq (5.13) va (5.14) formulalarga kiruvchi p_i miqdorini orttiradi. Shu sababli η_v ning ortishi indikator f.i.k. ni kamaytirmaydi.

Yonish kamerasing shakli. Yonish kamerasing shakli aralashma hosil qilish va yonish sifatiga, issiqlik almashinadigan yuza va gidravlik qarshiliklar qiymatiga ta'sir qiladi. Elektr uchquni yordamida o't oldiriladigan dvigatellarda ixcham yonish kameralarida p_i va η_i qiymatlari katta bo'ladi, chunki ixcham yonish kameralari kattaroq siqish darajasidan foydalanish va natijada siqish, yonish, kengayishi jarayonlarida issiqlik yo'qoti-

lishini kamaytirish imkonini beradi.

Ishchi aralashmani turbilizatsiya qiluvchi turli konstruktsiyalar (old kamera, siqib chiqargich) quvvat to'liq bo'lmagan rejimlarda η_i ni oshirish imkonini beradi, lekin, odatda ular gidravlik qarshilikni ko'paytiradi, yonish kamerasining ixchamligi yo'qoladi, to'liq quvvatlar rejimida p_i va η_i qiymatlari pasayadi.

Dizellarda yonish kamerasining shakli va turi havo ortiqligi koeffitsiyentining o'rtacha qiymatini, yonish kamerasi devorlariga issiqlik yo'qotilishini belgilaydi hamda havo sarfi ko'pligi, klapanlar atrofida gaz oqimining deformatsiyalanishi tufayli gaz taqsimlash klapan organlaridagi gidravlik qarshiliklarga kuchliroq ta'sir qiladi.

Yonilg'ini uzatish qonuniyati. Uchqun bilan o't oldiriladigan dvigatellarda o't oldiriladigan onda engil bug'lanadigan yoki gazsimon yonilg'ining uzatilishi tugagan, aralashma esa yetarli darajada bir jismli bo'ladi. Shuning uchun yonilg'ining uzatilishi p_i va η_i ga amalda ta'sir qilmaydi.

Dizellarda aralashma hosil bo'lishi va yonish yonilg'i uzatilishi jarayoni bilan qoplashishadi. Yonilg'i nasosi kulachogi profili yoki forsunkalar ochilishi qonuniyati bilan purkash mayinligiga va yonilg'i uzatilishining oniy tezligiga ta'sir qilish, ya'ni yonish jarayonida bosimning ortishi, maksimal bosim va unga erishiladigan on, ya'ni λ , ρ va δ kabi parametrlarga ta'sir qilishi mumkin. Shu sababli yonilg'i uzatilishi qonuniyati bilan o'rtacha indikator bosim p_i va indikator f.i.k. η_i larga ta'sir qilishi mumkin: purkash boshlanishda yonilg'i uzatish tezligi katta bo'lganda η_i , bosimning ortish tezligi va p_z kattalashadi; yonilg'ining siklaviy uzatilishini ko'paytirib p_i ni, p_z va bosim ortishi tezligining ruxsat etilgan qiymatlari chegarasida orttirish mumkin.

Aralashma tarkibi. (5.13) va (5.14) formulalarga M_1 kiradi, u esa o'z navbatida α ga bog'liq. Formal nuqtai nazardan α ortishi bilan η_i ham ortib borishi kerak. Amalda esa uchqun yordamida o't oldiriladigan dvigatellarda $\alpha=1,05-1,15$ gacha η_i ortib boradi. Agar α qiymati yanada ortib borsa, yonish tezligi sekinlashadi, yonish kechroq tugaydi, devorlarga issiqlik uzatilishi (yo'qo-

tilishi) ko'payadi.

Dizellarda aralashma yonish tezligining α ga bog'liqligi kamroq namoyon bo'ladi, chunki ularda aralashma tarkibi yonish kamerasining hajmi va vaqt bo'yicha bir xil bo'lmaydi. Shuning uchun dizellarda η_i ajratilmagan yonish kameralarida $\alpha=2,8-3,5$ gacha, ajratilgan yonish kameralarida esa $\alpha=5-6$ gacha ortib boradi.

(5.24) va (5.25) formulalarga muvofiq p_i ning α ga bog'liqligi M_1 va η_i qiymatlari bilan aniqlanadi. Agar yonilg'i hajmining M_1 ga ta'sirini hisobga olmasak, hamma dvigatellar uchun (5.24) va (5.25) formulalarni quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

$$p_i \approx \frac{1}{R_\mu} \frac{Hu}{L_0} \eta_v \frac{\eta_i}{\alpha} \frac{p_k}{T_k}; \quad (5.26)$$

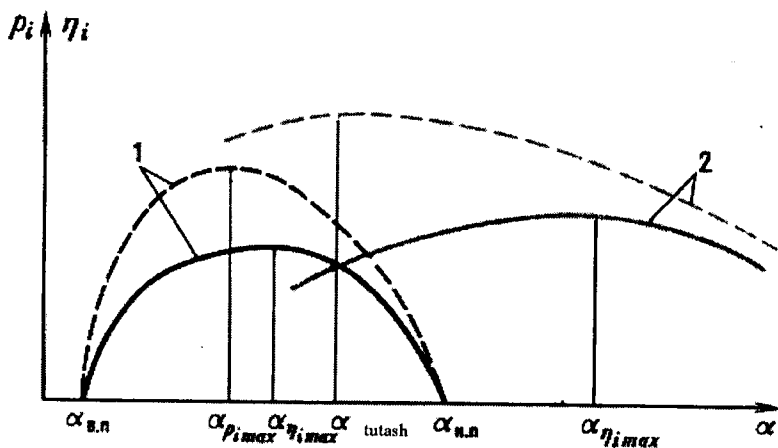
$$p_i \approx \frac{1}{R_\mu} \frac{Hu'}{L_0} \eta_v \frac{\eta_i}{\alpha} \frac{p_k}{T_k}. \quad (5.27)$$

Bu tenglamalardan shu ko'rindiki, qolgan ko'paytuvchilar bil xil bo'lganda, η_i/α ning maksimal qiymatida $p_{i\max}$ ga erishiladi.

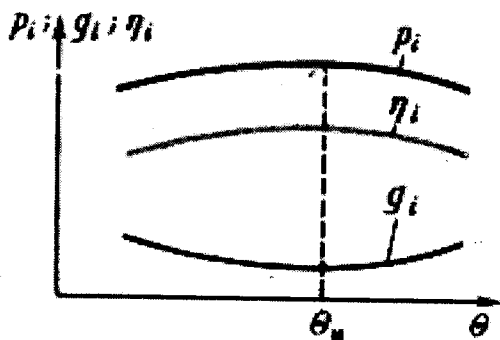
Uchqun bilan o't oldiriladigan dvigatellarda issiqlik ajralib chiqish tezligi maksimal ($\alpha < \alpha_{\eta i\max}$) bo'lganda, ya'ni $\alpha_{p_{i\max}}$ da (η_i/α)_{max} bo'ladi (5.4-rasm). Dizellarda (η_i/α)_{max} ga $1 < \alpha < \alpha_{tutash}$ da erishiladi. Dvigatelning tutab ishlashi ruxsat etilmaganligi sababli, dizellarda maksimal bosimga $p_{i\max}$ $\alpha < \alpha_{\eta i\max}$ da erishiladi.

O't oldirish va yonilg'i purkalish ilgariligi burchaklari. Ilgarilik burchagi θ_0 optimal bo'lganda p_i va η_i qiymatlari maksimal bo'ladi (5.5-rasm). θ o'zgarganda (5.13), (5.14), (5.24) va (5.25) tenglamalarga kiruvchi parametrlardan faqat T_k va η_v (qizishning o'zgarishi natijasida) biroz o'zgaradi, shuning uchun p_i va η_i ekvivalent chiziqlar bo'yicha o'zgaradi.

Dvigatelning har xil ish rejimlari uchun burchak θ_0 ning qiymatlari har xil bo'ladi. Dvigatelga tushayotgan yuk ortganda aralashma alangalanishining tutilib turish davri qisqaradi va alanga foniy tarqalish tezligi ortadi, chunki bunda yangi zaryad ko'proq qiziydi va uchqun yordamida o't oldiriladigan dvigatellarda qoldiq gazlar miqdori kamayadi, shuning uchun θ_0 ham kamayadi (5.6 a-rasm).

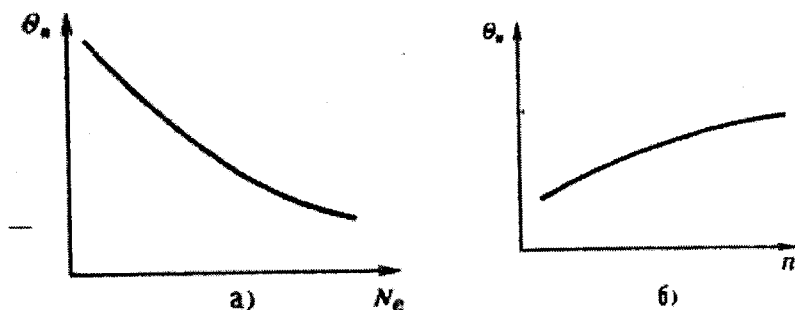


5.4-rasm. Indikator f.i.k. η_i va o'rtacha indikator bosim p_i ning havo ortiqqligi koeffitsiyenti α ga bog'liqligi.



5.5-rasm. Qolgan shartlar bil xil bo'lganda indikator ko'rsatkichlarining θ ga bog'liqligi.

Tirsakli valning aylanishlar chastotasi ortganda siqish poltropasi ko'rsatkichi n_i ortishi tufayli zaryad harorati ko'tariladi, qoldiq gazlar harorati va yonish kamerasidagi uyurmalar intensivligi ortadi. Natijada alangalanish tutilib turish davri va yonilg'i yonishining asosiy davri vaqt bo'yicha qisqaradi, lekin tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha cho'ziladi. (5.6,b-rasm).



5.6-rasm. O't oldirish va yonilg'i purkalishning optimal burchaklari θ_0 ning N_e va p ga bog'liqligi.

5.4.2. Ekspluatatsion omillarning ta'siri

Kiritish va chiqarishdagi shartlar. (5.4) va (5.5) tenglamalarga muvofiq kiritish oxiridagi bosim r_a o'rtacha indikator bosim r_i ga bevosita ta'sir qiladi. Bu silindrlarga kiritishdagi yo'qotishlarni kamaytirish va nadduvni qo'llash cho'yan bilan dvigatelni takomillashtirish imkonini beradi. (5.26) va (5.27) tenglamalardan shu narsa ko'rinadiki, r_i nafaqat r_k ga, balki kiritishda ishchi jism zichligini belgilovchi r_k/T_k nisbatiga ham bog'liq.

Elektr uchqunidan o't oldiriladigan dvigatellarda T_k va r_k ning ortishi hali yonmagan aralashmada alanga oldi kimyoviy jarayonlarini tezlashtiradi, bu esa detanotsiya vujudga kelish ehtimolini orttiradi. Shuning uchun bu dvigatellarda nadduvning qo'llanilishi yonilg'ining oktan soni bilan cheklanadi.

Dizellarda r_k va T_k larning ortishi η_i va p_i larning ortishiga sabab bo'ladi. Nadduvda nadduv havosining sovutilishi p_i ning yuqori bosimlarida yonilg'ining o'z-o'zidan alangalanishini cheklamaydi, chunki yonish kamerasi devorlarining harorati havoning zaruriy qizishini ta'minlaydi. Nadduvda dvigatel ishchanlik qobiliyatini saqlab qolish maqsadida r_k ortishi bilan α ni ham orttirishadi, bu ham η_i ning qo'shimcha ortishiga sabab bo'ladi.

Chiqishda qarshilikning ortishi (shovqin so'ndirgich, ishlangan gazlar neytralizatorlari, turbokompressorlar qo'llanilishi) to'lish koeffitsiyentini kamaytiradi, gaz almashinuviga yo'qotishlarni ko'paytiradi va silindrdagi qoldiq gazlar miqdorini orttiradi. Shuning uchun chiqishdagi qarshilik ortganda doim η_i va p_i kamayadi.

Yuk. Uchqun bilan o't oldiriladigan dvigatellarda aralashma tarkibini o'zgartirish yo'li bilan quvvatni rostdlash imkoniyati bir jism aralashmalarining alangalanishi chegaralari bilan cheklanadi. Shu sababli bu dvigatellarda quvvatni rostdlash bir siklda yoqiladigan aralashma miqdorini o'zgartirish bilan amalga oshiriladi; rostdlash kiritish tizimida o'rnatiladigan drossel to'sig'i yordamida bajariladi.

Dizellarda dvigatel yukini oshirish uchun yonilg'ining siklaviy uzatilishi ko'paytiriladi, ya'ni havo ortiqcligi koeffitsiyenti kamaytiriladi.

Tirsakli valning aylanishlar chastotasi. Elekt uchquni bilan o't oldiriladigan dvigatellarda indikator f.i.k. drossel to'sig'i to'liq ochiq bo'lganda p 0,6–0,8 n_N gacha ortganida ko'payadi; buning sababi: aralashma hosil bo'lishi yaxshilanadi, devorlarga issiqlik yo'qotilishi kamayadi, α ortadi. Aylanishlar soni ortishda davom etganda yonishga vaqt yetishmasligi natijasida indikator f.i.k. pasaya boshlaydi. O'rtacha indikator bosimi esa to'lish koeffitsiyenti va indikator f.i.k. ortishi tufayli p ning kattaroq qiymatlariga ortib boradi.

Dizellarda p ortganda hamma sanab o'tilgan omillar benzinli dvigateldagi kabi ta'sir qiladi.

VI BOB. DVIGATEL ISHINING EFFEKTIV KO'RSATKICHLARI

6.1. Effektiv quvvat va mexanik yo'qotishlar

Dvigatel silindrlarida hosil bo'ladigan indikator quvvatning bir qismi dvigatelning o'zi ishlashi uchun sarflanadi va bu quvvatdan foydalanib bo'lmaydi. Bu quvvat *mexanik yo'qotishlar quvvati* deyiladi.

Mexanik yo'qotishlar quvvati quyidagilardan tarkib topadi:

- dvigatel harakatlanuvchi detallari orasidagi ishqalanishni engishga sarflanadigan quvvat N_{ishq} (masalan, porshen va porshen halqalarining silindr devorlariga ishqalanishi; podshipniklardagi ishqalanish, gaz taqsimlash mexanizmidagi ishqalanish va sh.k.);

- harakatlanayotgan detallar va havo yoki gazlar orasidagi ishqalanishni engishga sarflanadigan quvvat N_d (masalan, shatunlar harakati, maxovik aylanishi, turbina va kompressorlar aylanishi, karterda moyni sachratish);

- dvigatel agregatlari va qurilmalari: yonilg'i, moy va suv nasoslari, ventilyator, generator va sh.k. larni harakatga keltirish uchun sarflanadigan quvvat N_a ;

- silindrlarni qoldiq gazlardan tozalash va yangi zaryad bilan to'ldirishga sarflanadigan quvvat (nasos yo'qotishlar) $N_{n.y.}$

Dvigatelning iste'molchiga beradigan *effektiv* (foydali) quvvati N_e indikator quvvatdan mexanik yo'qotishlar quvvaticha kam bo'ladi.

Agar dvigateldagi hamma yo'qotishlarga mos quvvatni N_m bilan belgilasak, u holda dvigatelning effektiv quvvati

$$N_e = N_i - N_m \quad (6.1)$$

bu yerda

$$N_m = N_{\text{ishk}} + N_d + N_a + N_{n.y.} \quad (6.2)$$

Valning aylanishlar chastotasining dvigateldagi alohida

yo'qotishlarning qiymatiga ta'sirini bartaraf etish uchun *ishqalanishning o'rtacha bosimi* ifodasidan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi. Uning qiymati ishqalanish ishining 1 m^3 silindrnining ishchi hajmi V_h nisbatiga teng bo'ladi.

U holda mexanik yo'qotishlarning o'rtacha bosimi, MPa

$$P_m = p_{\text{ishk}} + p_o + p_a + p_{n.y.} \quad (6.3)$$

va

$$p_i - p_m = p_e \quad (6.4)$$

bu yerda p_e – *o'rtacha effektiv bosim*.

O'rtacha effektiv bosim – bu dvigatel foydali ishining silindrlarning ishchi hajmiga bo'lgan nisbatiga aytiladi.

O'rtacha indikator bosim va indikator quvvat o'zaro qanday bog'langan bo'lsa [(5.7) va (5.8) formulalarga qarang], dvigatellarning o'rtacha effektiv bosimi va effektiv quvvati ham o'zaro shunday bog'lanadi:

$$N_e = p_e i V_h n / 30 \tau \quad (6.5)$$

Demak,

$$p_e = 30 \tau N_e / (i V_h n) \quad (6.6)$$

$$p_m = 30 \tau N_m / (i V_h n) \quad (6.7)$$

Mexanik yo'qotishlar tufayli dvigatel quvvatining kamayishini mexanik f.i.k. η_m dvigatel effektiv quvvatining indikator quvvatiga bo'lgan nisbatiga teng:

$$\eta_m = N_e / N_i = p_e / p_i \quad (6.8)$$

(6.8) ifodada N_e ni $(N_i - N_m)$ bilan yoki p_e ni $(p_i - p_m)$ bilan almashtirib, mexanik f.i.k. formulasini olamiz:

$$\eta_m = 1 - N_m / N_i = 1 - p_m / p_i \quad (6.9)$$

O'zgaruvchi yukda va o'zgarmas aylanishlar chastotasida ishlaganda, bu majburan o't oldiriladigan dvigatellarda drossel to'sig'ini ochish yoki yopish bilan (miqdoriy rostlash), dizellarda esa yonilg'i nasosi reykasini surish bilan (sifatiy rostlash) amalga oshiriladi, mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi benzinli dvigatellarda siklning o'rtacha bosimi o'zgarishi natijasida o'zgaradi, dizellarda esa deyarli o'zgarmaydi. (6.9) tenglamadan

shu narsa ko‘rinadiki, indikator bosim r_i kamayganda o‘rtacha effektiv bosim r_e pasayadi, dvigatel salt ishida esa, ya‘ni $r_i = r_m$ bo‘lganda, r_e nolga teng bo‘ladi, indikator quvvatning hammasi mexanik qarshiliklarni yengishga sarflanadi.

Dvigatel har xil aylanishlar chastotasi va o‘zgarmas o‘rtacha indikator bosim r_i da ishlaganda mexanik yo‘qotishlarning o‘rtacha bosimi r_m dvigateldagi ishqalanish ishi, nasos va boshqa yo‘qotishlar o‘rtacha bosimi o‘zgarishi oqibatida o‘zgaradi. Valning aylanishlar chastotasi ortganda mexanik f.i.k. η_m kamayadi (6.8-formula).

(6.2) tenglamadagi har bir tashkil etuvchini alohida aniqlash qiyin. Shuning uchun mexanik yo‘qotishlar ikki qiymat: ishqalanish ishi (bunga nasos yo‘qotishlaridan tashqari hamma yo‘qotishlarni kiritishadi) va nasos yo‘qotishlaridan tarkib topadi deb hisoblashadi, ya‘ni

$$R_m = r_{\text{ishq}} + r_{n.\text{yo'q.}} \quad (6.10)$$

Mexanik yo‘qotishlar o‘rtacha bosimini porshen o‘rtacha tezligi $v_{p.o'r.}$ ga bog‘liq holda quyidagi ko‘rinishdagi empirik formulalar bo‘yicha aniqlashadi:

$$R_m = A + V v_{p.o'r.} \quad (6.11)$$

A va V koeffitsiyentlarning qiymatlari eksperimental o‘rnatiladi.

Har xil turdagi dvigatellardagi mexanik yo‘qotishlar o‘rtacha bosimi R_m (MPa) qiymatini aniqlash uchun formulalar:

silindrlar soni oltitagacha va $S/D > 1$ bo‘lgan benzinli dvigatellar uchun

$$R_m = 0,049 + 0,0152 v_{p.o'r.} \quad (6.12)$$

$S/D < 1$ bo‘lgan sakkiz silindrli dvigatellar uchun

$$R_m = 0,039 + 0,0122 v_{p.o'r.} \quad (6.13)$$

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

$$R_m = 0,034 + 0,0113 v_{p.o'r.} \quad (6.14)$$

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

$$R_m = 0,024 + 0,0053 v_{p.o'r.} \quad (6.15)$$

ajratilmagan kamerali to‘rt taktli dizellar uchun

$$R_m = 0,089 + 0,0118 v_{p.o'r}; \quad (6.16)$$

old kamerali dizellar uchun

$$R_m = 0,103 + 0,0153 v_{p.o'r}; \quad (6.17)$$

uyurma kamerali dizellar uchun

$$R_m = 0,089 + 0,0135 v_{p.o'r}. \quad (6.18)$$

Nadduv qo'llanilganda harakatlanuvchi detallarga tushadigan yuk ortishi natijasida ishqalanish ishi ko'payadi. Nadduvli tez yurar dizellar ishlaganda ishqalanish o'rtacha bosimining tashqi tezlik xarakteristika bo'ylab o'zgarishini quyidagi nisbatdan aniqlash mumkin:

$$R_{ishq} = R_{ishq, nom} (p/p_{nom})^a (P_k/P_{k, nom})^v,$$

bu yerda $R_{ishq, nom}$ va $P_{k, nom}$ – dvigatel nominal aylanishlar chastotasida ishlaganida mos ravishda ishqalanishning o'rtacha bosimi va bosim ortishi koeffitsiyenti; a va v – eksperimental ko'rsatkichlar: $a \approx 1,3-1,4$ va $v \approx 0,1$.

O'rtacha effektiv bosim (6.4) formula bo'yicha hisoblanadi.

Dvigatel nominal rejimda ishlaganida o'rtacha effektiv bosim r_e (MPa) qiymatlari:

To'rt taktli karbyuratorli dvigatellar uchun	0,6–1,1
To'rt taktli forsirovka qilingan karbyuratorli dvigatellar elektron purkagichli dvigatellar uchun	1,3 gacha
Naddusiz to'rt taktli dizellar uchun	0,65–0,85
Nadduvli to'rt taktli dizellar uchun	2,0 gacha
Ikki taktli naddusiz tezyurar dizellar uchun	0,4–0,75
Ikki taktli nadduvli dizellar uchun	0,8–1,3
Gazli dvigatellar uchun	0,5–0,75

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

$$\eta_m = r_e / r_i = 1 - r_m / r_i. \quad (6.19)$$

Dvigateldagi yo'qotishlar ortishi bilan η_m kamayadi. Benzinli dvigatelda yuk kamayganda gaz almashinuviga nisbiy yo'qotishlar ortishi tufayli r_m ortadi, ya'ni η_m kamayadi. Dvigatel salt ishida $r_i = r_m$ va $\eta_m = 0$.

Nominal rejimda ishlayotgan har xil turdagi dvigatellarning mexanik f.i.k.:

Benzinli dvigatellar uchun	0,75–0,92
Nadduvsiz to'rt taktli dizellar uchun	0,70–0,82
Nadduvli to'rt taktli dizellar uchun	0,80–0,92
Ikki taktli tezyurar dizellar uchun	0,70–0,85
Gazli dvigatellar uchun	0,75–0,85

Effektiv quvvat. Dvigatel validan vaqt birligida olinadigan foydali ish *effektiv quvvat* deyiladi, uning qiymati (kVt) indikator quvvatdan mexanik f.i.k. orqali aniqlanishi mumkin:

$$N_e = N_i \eta_m = p_e V_h \text{in} / (30 \tau) \quad (6.20)$$

bu yerda R_e – MPa da; V_h – litrda; p – min^{-1} da ifodalangan.

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

$$N_e = \frac{V_h \text{in}}{30 \tau} \frac{Hu}{\alpha l_0} \rho_k \eta_v \eta_i \eta_m \quad (6.21)$$

bu yerda V_h – litrda; p – min^{-1} da; Hu = MDj/kg da; ρ_k = kg/m^3 da ifodalangan.

(6.21) formulaning tahlili shuni ko'rsatadiki, dvigatelning effektiv quvvati quyidagilar hisobiga orttirilishi mumkin:

- silindrlar sonini ko'paytirish;
- dvigatel tirsakli vali aylanishlar chastotasini orttirish;
- yonilg'i yonishining quyi issiqligini orttirish;
- zaryad zichligini va to'lish koeffitsiyentini oshirish (masalan, Nadduvni qo'llash; gaz almashinuvini tashkil qilishni takomillash-tirish; kiritish va chiqarishda qarshiliklarni kamaytirish; dozaryad-kani ko'paytirish maqsadida inertsiya nadduvni qo'llash va sh.k.);
- indikator f.i.k. ni oshirish (yonish jarayonini takomillash-tirish va siqish hamda kengayish jarayonlarida issiqlik yo'qotilishini kamaytirish hisobiga);
- dvigatel mexanik f.i.k. ni oshirish (masalan, yuqori sifatli moylardan foydalanish; tutash yuzalarni kamaytirish; nasos yo'qotishlarni qisqartirish va sh.k. lar hisobiga).

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

Effektiv f.i.k. η_e va yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi g_e – dvigatel ishi tejamkorligining ko'rsatkichlaridir.

Dvigatel validagi foydali ishga ekvivalent issiqlik miqdori L_u ning dvigatelga yonilg'i bilan kiritilgan issiqlikning umumiy miqdori Hu ga nisbati *effektiv f.i.k.* deb ataladi:

$$\eta_e = L_e / Hu \quad (6.22)$$

$$L_e = p_e V_h = p_i V_h \eta_m \text{ bo'lganligi uchun (5.9) formulaga binoan}$$

$$\eta_e = (V_h p_i / Hu) \eta_m = \eta_i \eta_m \quad (6.23)$$

(6.23) formulaga (5.13) va (5.14) ifodalarni qo'yib, quyidagilarni olamiz:

suyuq yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun

$$\eta_e = \frac{p_i \eta_m R_\mu M_1 T_k}{Hu \rho_k \eta_v} = \frac{p_e R_\mu M_1 T_k}{Hu \rho_k \eta_v} \quad (6.24)$$

gazli dvigatellar uchun

$$\eta_e = 371,2 \cdot 10^{-6} \frac{M_1 T_k p_i \eta_m}{Hu' \rho_k \eta_v} = 371,2 \cdot 10^{-6} \frac{M_1 T_k p_e}{Hu' \rho_k \eta_v} \quad (6.25)$$

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

O'rtacha effektiv bosim r_e bilan tavsiflanadigan dvigatel yukli va tirsakli val aylanishlar chastotasi o'zgarganda η_i va η_m , demak η_e ham o'zgaradi. Aylanishlar chastotasi o'zgaras bo'lganda effektiv bosim r_e ortishi bilan mexanik f.i.k. η_m ortadi, indikator f.i.k. η_i esa biroz pasayadi, shu sababli effektiv f.i.k. η_e dvigatelning nominal yuk zonasida maksimal qiymatga erishadi. Yuk (o'rtacha effektiv bosim r_e) kamayganda effektiv f.i.k. η_e kamayadi va $r_e = 0$ (salt ishi)da $\eta_e = 0$ bo'ladi. valning ma'lum aylanishlar chastotasida η_i maksimal qiymatga erishadi, η_m esa p

ortishi bilan uzluksiz kamayib boradi, bularga mos ravishda η_e dastlab ortadi, so'ngra esa kamayib boradi.

Nominal ish rejimida 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 benzinli dvigatellarga nisbatan effektiv f.i.k. yuqori bo'lishining asosiy sababi shundaki, ularda havo ortiqligi koeffitsiyentining qiymati katta, ya'ni yonilg'i to'liqroq yonadi. Yengil yonilg'i purkaladigan dvigatellarda bu kamchilik deyarli yo'q.

Yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi g_e [g/kVt·soat] yoki v_e [m³/(kVt·soat)] yonilg'i bir soatda sarfining effektiv quvvatga nisbatiga teng. U quyidagi ifodadan aniqlanishi mumkin:

$$\eta_e = \frac{L_e}{Hu} = \frac{3600}{Hu g_e} = \frac{3600}{Hu' v_e} \quad (6.26)$$

U holda suyuq yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun

$$g_e = \frac{3600}{Hu \eta_e} = \frac{3600}{R_\mu M_1 p_i \eta_m T_k} = \frac{3600}{R_\mu M_1 p_e T_k} \quad (6.27)$$

gazsimon yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun

$$g_e = \frac{3600}{Hu' \eta_e} = \frac{3600 \cdot 22,4 p_k \eta_v}{R_\mu M_1' p_i \eta_m T_k} = \frac{3600 \cdot 22,4 p_k \eta_v}{R_\mu M_1' p_e T_k} \quad (6.28)$$

Yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi g_e yoki v_e effektiv f.i.k. η_e ga teskari proporsional qiymat bo'lib, valning aylanishlar chastotasi o'zgaras bo'lganda, η_e maksimal qiymatga erishganda minimal bo'ladi. o'rtacha effektiv bosim r_e kamayganda yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi g_e yoki v_e ortadi va $r_e = 0$ bo'lganda cheksizga teng bo'ladi.

Yuk nominal bo'lganda yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi g_e quyidagi qiymatlarga ega bo'ladi:

Yonilg'i elektron purkaladigan dvigatellar

uchun 200–290 g/(kVt·soat)

Karbyuratorli dvigatellar uchun 230–310 g/(kVt·soat)

Ajratilmagan kamerali dizellar

uchun 200–235 g/(kVt·soat)

Old kamerali va uyurma kamerali dizellar

uchun 220–260 g/(kVt·soat)

Gaz yonilg'isining yonish issiqligi keng oraliqda o'zgarishi tufayli, gazli dvigatellar uchun issiqlikning solishtirma effektiv sarfi [mDj/(kVt·soat)] ko'rsatkichidan foydalaniladi.

$$g_e = v_e H u' = 9700 p_k \eta_v H u' / (p_e M_1 T_k) \quad (6.29)$$

Zamonaviy gazli dvigatellarda $q_e = 12\text{--}17$ mDj/(kVt·soat).

Yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi g_e yoki v_e ni aniqlash uchun dvigatel sinovida yonilg'ining 1 soatdagi sarfi G_{yo} (kg/soat) yoki V_{yo} (m³/soat) hamda dvigatelning effektiv quvvati N_e (kVt) o'lchanadi.

U holda,

$$g_e = G_{yo} / M_e \quad \text{yoki} \quad v_e = V_{yo} / N_e \quad (6.30)$$

6.3. Dvigatel silindrining asosiy o'lchamlari

Agar dvigatelning effektiv quvvati, nominal aylanishlar chastotasi berilgan va S/D nisbati tanlangan bo'lsa, dvigatelning asosiy konstruktiv parametrlari (silindr diametri va porshen yo'li) quyidagicha aniqlanadi.

Effektiv quvvat, tirsakli valning aylanishlar chastotasi va o'rtacha effektiv bosim bo'yicha dvigatel litraji (l) aniqlanadi

$$V_n = 30 \tau N_e / (p_e n) \quad (6.31)$$

bu yerda N_e – kVt da; r_e – MPa da va p – min⁻¹ da ifodalangan.

Bir silindrning ishchi hajmi (l)

$$V_h = V_l / i \quad (6.32)$$

Silindr diametri (mm)

$$D = 100 \sqrt[3]{\frac{4V_h}{(\pi S/D)}} \quad (6.33)$$

Porshen yo'li (mm)

$$S = D \cdot \frac{S}{D} \quad (6.34)$$

D va S larning olingan qiymatlari oxiri nol yoki besh bilan tugagan butun sonlargacha yiriklashtiriladi. Qabul qilingan D va S qiymatlari bo'yicha dvigatelning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari aniqlanadi:

dvigatel litraji (l)

$$V_n = \pi D^2 S i / (4 \cdot 10^6) \quad (6.35)$$

effektiv quvvat (kVt)

$$N_e = p_e V_n / (30 \tau) \quad (6.36)$$

effektiv burovchi moment (N·m)

$$M_e = (3 \cdot 10^4 / \pi) (N_e / n) \quad (6.37)$$

yonilg'ining bir soatdagi sarfi (kg/soat)

$$G_{yo} = N_e g_e \quad (6.38)$$

porshenning o'rtacha tezligi (m/s)

$$v_{p.ur.} = S n / (3 \cdot 10^4) \quad (6.39)$$

6.4. Dvigatel kuchlanganligi ko'rsatkichlari

Dvigatelning issiqlik va dinamik kuchlanganligini, ishchi hajmdan foydalanishni baholash va turli dvigatellarni qiyoslash uchun litrli va porshenli quvvat kabi ko'rsatkichlardan foydalanishadi.

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.

Dvigatel litrli quvvati N_{el} (kVt/l) deb nominal quvvatning ishchi hajm (litraj)ga bo'lgan nisbatga aytiladi.

Ta'rifga muvofiq

$$N_{el} = N_e / (i V_h) = p_e n / (30 \tau), \quad (6.40)$$

ya'ni dvigatelning litrli quvvati o'rtacha effektiv bosim, taktililik va valning aylanishlar chastotasiga bog'liq.

Agar (6.40) ifodaga $r_e = p_i \eta_m$ ni qo'ysak, u holda (5.24) va (5.25) ifodalardan foydalanib, suyuq yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun

$$N_{el} = \frac{1}{30R_{\mu}} \frac{Hu p_k n}{M_1 T_k \tau} \eta_i \eta_v \eta_m \quad (6.41)$$

va gazli dvigatellar uchun

$$N_{el} = \frac{1}{30R_{\mu}} \frac{Hu' p_k n}{M_1' T_k \tau} \eta_i \eta_v \eta_m \quad (6.42)$$

ifodalarni olamiz.

(6.41) va (6.42) formulalarning tahlili ishchi jarayon alohida parametrlarining litrli quvvatga ta'sirini aniqlash va shu bilan dvigatelning berilgan geometrik o'lchamlarida eng katta quvvatni olish uchun dvigatelni forsirovka qilish (kuchaytirish) yo'llarini belgilash imkonini beradi.

Dvigatelning **porshenli quvvati** N_{ep} (kVt/dm² yoki kVt/sm²) deb nominal quvvatning dvigatel porshenlarining summar yuzasiga bo'lgan nisbatiga aytiladi.

Ta'rifga muvofiq

$$N_{ep} = N_e / \left(i \frac{\pi D^2}{4} \right) = p_e S n / (30 \tau) \quad (6.43)$$

bu yerda D va S – mos ravishda porshen diametric va yo'li (dm).

(6.43) ifodaga porshen o'rtacha tezligini qo'yib, quyidagini olamiz

$$N_{ep} = 10 p_e v_{p.ur.} / \tau \quad (6.44)$$

(6.44) ifodadan shu narsa ko'rinadiki, dvigatelning porshenli quvvati o'rtacha effektiv bosim, porshen o'rtacha tezligi bilan ifodalanadigan dvigatel tez yurarligi va taktlilikka bog'liq.

Agar (6.43) ifodaga r_e uchun formulani qo'ysak, dvigatel porshenli quvvatining ishchi jarayon parametrlariga bog'liqligini tavsiflovchi ifodani olamiz:

suyuq yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun

$$N_{ep} = \frac{1}{30R_{\mu}} \frac{Hu}{M_1} \frac{1}{\tau} \frac{p_k}{T_k} \eta_i \eta_v \eta_m n S \quad (6.45)$$

va gazli dvigatellar uchun

$$N_{ep} = \frac{1}{30R_{\mu}} \frac{Hu'}{M_1'} \frac{1}{\tau} \frac{p_k}{T_k} \eta_i \eta_v \eta_m n S \quad (6.46)$$

Suyuq yonilg'ida ishlaydigan dvigatellar uchun $M_1 = \alpha L_o$ deb qabul qilib va (6.41), (6.45) ifodalarda $p_k/T_k = \rho_k R$ va $L_o = l_o R/R_{\mu} = l_o / 28,95$ almashinishlarni bajarib, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$N_{el} = \frac{1}{30} \frac{Hu}{l_o} \frac{1}{\tau} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \eta_m \rho_k n \quad (6.47)$$

$$N_e = \frac{1}{30} \frac{Hu}{l_o} \frac{1}{\tau} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \eta_m \rho_k n S \quad (6.48)$$

VII BOB. DVIGATELNING ISSIQLIK HISOBI VA ISSIQLIK BALANSI

7.1. Boshlang'ich parametrlarni tanlash

Issiqlik hisobi yangi loyihalalayotgan dvigatelning asosiy parametrlarini analitik usulda yetarli darajadagi aniqlikda aniqlash hamda real ishlayotgan dvigatelning haqiqiy sikli takomillashganlik darajasini tekshirish imkonini beradi.

Quvvat va tirsakli valning aylanishlar chastotasi. Dvigatel hisoblanayotganda nominal quvvat odatda beriladi yoki uni tortuv hisobi yordamida aniqlanadi.

Avtomobil va traktor dvigatellarida *nominal quvvat* tirsakli valning nominal aylanishlar chastotasidagi maksimal quvvatga teng bo'ladi. Nominal quvvatni tanlash dvigatel vazifasi (yengil yoki yuk avtomobili, traktor uchun), uning turi (benzinli-karbyuratorli yoki yengil yonilg'i purkaladigan, gazli, dizel), ekspluatatsiya sharoitlari va h.k. lar bilan aniqlanadi. Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarining quvvati keng oraliqda (15–500 kVt) o'zgaradi.

Dvigatelning boshqa ahamiyatli parametri – *tirsakli valning aylanishlar chastotasidir*, u dvigatel turini va uning dinamik sifatlarini tavsiflaydi. Tirsakli val aylanishlar chastotasini oshirish dvigatel asosiy o'lchamlarini va gabaritini ixchamlashtirish, uning massasini kamaytirish imkonini beradi. Lekin aylanishlar chastotasi ortishi bilan inertsiya kuchlari kattalashadi, silindr to'lishi yomonlashadi, yonish mahsulotlarining zaharliligi ortadi, dvigatel detallari va uzellarining yeyilishi tezlashadi va uning xizmat muddati qisqaradi.

Hozirgi paytda yengil avtomobillar tirsakli vallarining nominal aylanishlar chastotasi $4000\text{--}7000\text{ min}^{-1}$ oralig'ida va faqat ba'zi seriyali modellarniki 7000 min^{-1} dan ortadi. Yuk avtomobillariga o'rnatiladigan dizellar tirsakli vallarining aylanishlar chastotasi

2000–4000 min^{-1} , traktor dizellariniki esa 1700–2500 min^{-1} oralig'ida joylashgan.

Silindrlar soni va joylashishi. Silindrlar soni va ularning joylashishi quvvat, dinamik va konstruktiv omillarga bog'liq. Yevropada asosan, to'rt va olti silindrli dvigatellar, Amerikada esa sakkiz silindrli dvigatellar keng tarqalgan. Traktor dvigatellari odatda, to'rt silindrli, kam hollarda olti silindrli va juda kam hollarda o'n ikki silindrli bo'ladi.

Silindrlar soni ortganda dvigatelni aylanishlar chastotasi bo'yicha forsirovka qilish (kuchaytirish) imkoniyati ortadi, o't oldirish sifatleri yaxshilanadi va muvozanatlash osonlashadi. Lekin bunda mexanik yo'qotishlar ko'payadi va tejamkorlik ko'rsatkichlari yomonlashadi.

Silindrlar sonini tanlash asosan dvigatel litrajiga bog'liq. To'rt silindrli benzinli dvigatelning litraji V_1 odatda, 0,7–2,2 l va faqat ba'zi modellarniki $V_1 > 2,2$ bo'ladi. To'rt silindrli dizellarning litraji sezilarli darajada katta va o'rtacha 4...8 l oralig'ida bo'ladi. Olti silindrli benzinli dvigatellarning litraji $V_1 \approx 2,0$ –5,6 l, dizellarniki esa 20 litrgacha bo'ladi.

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarining *silindrlari qator, V-simon yoki opozitiv* (qarama-qarshi) joylashadi. To'rt silindrli qatorli dvigatellar eng ko'p tarqalgan, ularni ekspluatatsiya qilish oson va ishlab chiqarish arzon. Oxirgi yillarda avto-traktorsozlikda silindrlari V-simon joylashgan dvigatellar tobora ko'proq qo'llanmoqda. Qatorli dvigatellarga nisbatan ularning mexanik f.i.k. yuqori, gabariti ixcham, solishtirma-massaviy ko'rsatkichlari yaxshi. V-simon dvigatellarning yuqori biktirligi tirsakli val aylanishlar chastotasini oshirish imkonini beradi.

Silindr o'lchamlari va porshen tezligi. *Silindr o'lchamlari* – silindr diametri va porshen yo'li – dvigatelning asosiy konstruktiv parametrlaridir. Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellari silindrlining diametri D (mm) 60–150 mm oralig'ida va asosan dvigatel turi va vazifasiga bog'liq:

Yengil avtomobillarning benzinli dvigatellari
uchun 60–100
Yuk avtomobillari benzinli dvigatellari

uchun	70–110
Traktor dizellari uchun	70–150
Avtomobil dizellari uchun	80–130

Porshen yo'li bevosita *porshen tezligi* bilan bog'langan bo'lib, u odatda S/D nisbat bilan tavsiflanadi. S/D nisbat bo'yicha qisqa yo'lli ($S/D < 1$) va uzun yo'lli ($S/D > 1$) dvigatellarni farqlashadi. Qisqa yo'lli dvigatellarga o'tilganda dvigatel balandligi va uning massasi kamayadi, indikator f.i.k. va to'lish koeffitsiyenti ortadi, porshen tezligi va detallar yeyilishi kamayadi. Lekin S/D nisbat kamayganda porshenga gazlar bosimi ortadi, aralashma hosil bo'lishi sharoitlari yomonlashadi va dvigatelning gabarit uzunligi ortadi.

Zamonaviy benzinli dvigatellarda odatda $S/D = 0,8–1,1$, avtomobil dizellarida bu nisbat birga yaqin ($S/D = 0,9–1,2$) bo'ladi. Dizellarning ko'pida $S/D > 1$ bo'ladi. Traktor dizellari uchun $S/D = 1,1–1,3$.

Porshen tezligi $v_{p.o.r.}$ dvigatel tez yurarligi mezonini hisoblanadi. Porshen tezligi $v_{p.o.r.}$ bo'yicha dvigatellarni sekin yurar ($v_{p.o.r.} < 6,5$ m/s) va tez yurar ($v_{p.o.r.} > 6,5$ m/s)larga ajratiladi. Hamma avtomobil dvigatellari va deyarli hamma traktor dvigatellari tez yurar hisoblanadi, chunki ularda $v_{p.o.r.} > 6,5$ m/s bo'ladi.

Porshen tezligi ortishi bilan dvigateldagi mexanik yo'qotishlar ko'payadi, detallarning issiqlik kuchlanganligi ortadi, dvigatelning xizmat muddati qisqaradi. Shu sababli porshen o'rtacha tezligini orttirish detallar xizmat muddatini uzaytirish, sifatliroq materiallarni qo'llash va foydalaniladigan moy sifatini yaxshilash masalalariga bog'liq.

Zamonaviy avtomobil va traktor dvigatellarida porshen tezligi $v_{p.o.r.}$ (m/s):

Engil avtomobillarning benzinli dvigatellari uchun	12–20
Yuk avtomobillari benzinli dvigatellari uchun	9–16
Avtomobil gazli dvigatellar uchun	7–14
Traktor dizellari uchun	6–11

Siqish darajasi. *Siqish darajasi* – dvigatelning asosiy xarakteristikalaridan biridir. U birinchi navbatda aralashma hosil

qilish usuli va yonilg'i turi bo'yicha tanlanadi. Bundan tashqari siqish darajasini tanlashda nadduv mavjudligi yoki mavjud emasligi, dvigatel tez yurarligi. Sovitish tizimi va boshqa omillar ham hisobga olinadi.

Benzinli dvigatellar uchun siqish darajasini tanlash birinchi navbatda yonilg'ining detonatsion chidamliligi bilan aniqlanadi. Yonilg'ining muayyan navida siqish darajasini quyidagilar hisobiga oshirish mumkin:

- yonish kamerasining ratsional shaklini tanlash va svechani ratsional joylashtirish (svechani yonish kamerasi devorlaridan teng uzoqlikda joylashtirish);

- silindr o'lchamlarini ixchamlashtirish (silindr diametrini kamaytirish alanga yo'lining qisqartirishi va sovitiladigan nisbiy yuzaning kattalashishi hisobiga ε ni orttirish imkonini beradi);

- tirsakli val aylanishlar chastotasini orttirish (p ortganda ε ni asosan yonish tezligining ortishi hisobiga orttirish mumkin);

- porshen va silindrlar kallagi materialini tanlash (cho'yan o'rniiga alyumin qotishmasidan tayyorlangan porshenni qo'llash siqish darajasini 0,4–0,7 birlikka, silindrlar kallagini alyumin qotishmasidan tayyorlash esa ε ni yana 0,5–0,6 birlikka oshirish imkonini beradi);

- sovitish tizimini tanlash (suyuqlik bilan sovitish tizimi havo bilan sovitiladigan tizimga nisbatan kattaroq siqish darajasini qo'llash imkonini beradi);

- kambag'allashtirilgan ($\alpha > 0,9$) yonuvchi aralashma qo'llash.

Zamonaviy benzinli dvigatellarda siqish darajasi $\varepsilon = 7-12$. siqish darajasini 12 dan orttirish aralashmaning o'z-o'zidan alanganish imkoniyati va detonatsiyaning vujudga kelishi imkoniyati bilan cheklanadi. Bundan tashqari siqish darajasining 12 dan ortishida indikator f.i.k. ning ortishi deyarli sezilmaydi.

Dizellarda siqish darajasi siqish jarayonining oxirida purkalgan yonilg'ining o'z-o'zidan alanganishi uchun zarur bo'lgan haroratni ta'minlashi kerak. Nadduvsiz dvigatellarda siqish darajasi 14 dan, nadduvli dizellarda esa 14 dan kam bo'lmaydi.

Dizellarda siqish darajasi birinchi navbatda yonish kamera-sining shakli va aralashma hosil qilish usuli bo'yicha tanlanadi. Ushbu parametrlarga bog'liq holda dizellarning siqish darajasi quyidagi oraliqlarda bo'ladi:

hajmiy aralashma hosil bo'ladigan, yonish kamerasi	
ajratilmagan dizellar uchun	16 – 23
uyurma kamerali dizellar uchun	16 – 21
old kamerali dizellar uchun	17 – 22
turbonadduvli dizellar uchun	
va undan yuqori.	20 – 25

7.2. Karbyuratorli dvigatel va yonilg'i taqsimlanib purkaladigan dvigatel issiqlik hisobi

Yengil avtomobillar uchun mo'ljallangan to'rt taktli karbyu-ratorli dvigatel va yonilg'i taqsimlanib purkaladigan, ta'minlash va o't oldirish tizimlari elektron boshqariladigan dvigatel hisob-lansin. Karbyuratorli dvigatelning effektiv quvvati tirsakli valning $p=5600 \text{ min}^{-1}$ aylanishlar chastotasida $N_e = 60 \text{ kVt}$, yonilg'i purkaladigan dvigatelniki esa $p=7000 \text{ min}^{-1}$ da $N_e = 110 \text{ kVt}$.

Dvigatellar to'rt silindrli $i=4$, silindrlar qatorli joylashgan. Sovitish tizimi – suyuqli, yopiq turda. Siqish darajasi karbyu-ratorli dvigatel uchun $\varepsilon = 8,5$ va yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $\varepsilon = 11$.

7.2.1. Issiqlik hisobi

Bir necha tezlik rejimlari uchun issiqlik hisobi bajarilayot-ganda odatda 3–4 asosiy rejimlar tanlanadi.

Benzinli dvigatel uchun bunday rejimlar:

- 1) dvigatelning minimal barqaror ishini ta'minlovchi minimal aylanishlar chastotasi rejimi $n_{\min} = 600\text{--}1000 \text{ min}^{-1}$;
- 2) $n_M = (0,4\text{--}0,6) n_N$ da maksimal burovchi moment rejimi;
- 3) n_N da maksimal (nominal) quvvat rejimi;
- 4) $n_{\max} = (1,05\text{--}1,20) n_N$ da avtomobil maksimal tezlikda harakatlanish rejimi.

Issiqlik hisobini berilgan topshiriq ($n_N=5600 \text{ min}^{-1}$ va $n_N=7000 \text{ min}^{-1}$) va tavsiyalarni inobatga olgan holda quyidagi rejimlar uchun bajaramiz:

karbyuratorli dvigatel uchun $p = 1000, 3200, 5600$ va 6000 min^{-1} ;

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p = 900, 4000, 7000$ va 8000 min^{-1} .

Yonilg'i. Berilgan siqish darajalari $\varepsilon = 8,5$ va $\varepsilon = 11$ larga mos ravishda benzinning Premium-95 va AI-98 markalarini tanlaymiz.

Benzinning o'rtacha elementar tarkibi va molekulyar massasi $S = 0,855$; $N = 0,145$ va $t_{yo} = 115 \text{ kg/kmol}$.

Yonilg'ining quyi yonish issiqligi

$$\begin{aligned} Hu &= 33,91S + 125,60N - 10,89(O - S) - 2,51(9N + W) = \\ &= 33,91 \cdot 0,855 + 125,60 \cdot 0,145 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,145 = 43,93 \text{ MDj/kg} = \\ &= 43930 \text{ kDj/kg}. \end{aligned}$$

Ishchi jism parametrlari.

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

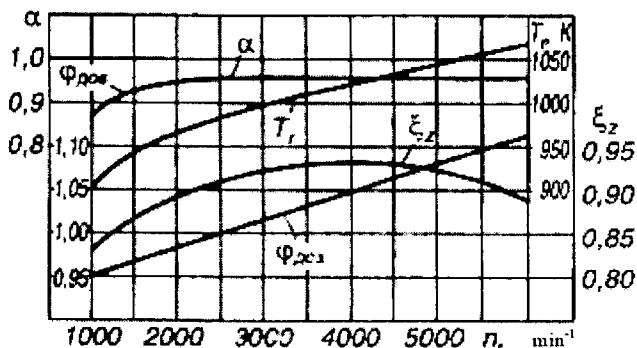
$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,855}{12} + \frac{0,145}{4} \right) = 0,516 \frac{\text{kg havo}}{\text{kg yonilg'i}};$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} \cdot 0,855 + 8 \cdot 0,145 \right) = 14,957 \frac{\text{kg havo}}{\text{kg yonilg'i}}.$$

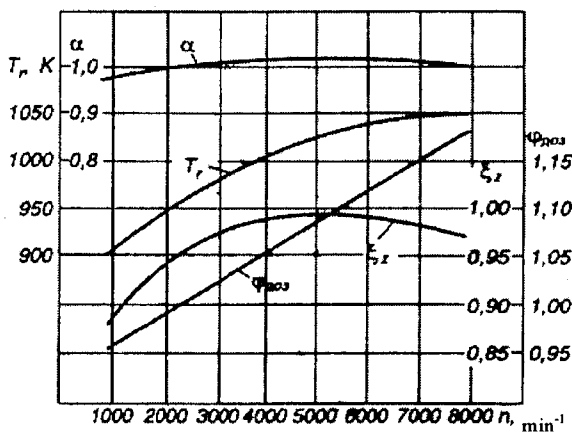
Havo ortiqligi koeffitsiyenti quyidagi mulohazalar asosida tanlanadi. Zamonaviy dvigatellarda tezlik xarakteristikasi bo'yicha aralashmaning deyarli ideal tarkibini olishni ta'minlovchi ko'p kamerali karbyuratorlar o'rnatiladi. Hisoblanayotgan dvigatel uchun boyituvchi tizimli va salt isli tizimli ikki kamerali karbyuratorni qo'llash mos rostlanganda aralashmaning ham quvvatli va ham tejamli tarkibini olish imkonini beradi. Yetarli darajada tejamli va yonish mahsulotlarining zaharliligi kam bo'lgan dvigatelni olishga intilish, bunga $\alpha \approx 0,95-0,98$ da

erishiladi, asosiy rejimlarda $\alpha = 0,96$ va aylanishlarning minimal chastotasi rejimida $\alpha = 0,86$ ni tanlash imkonini beradi (7.1-rasm).

Yonilg'i purkaladigan va elektron boshqariladigan dvigatellar aralashmaning yanada tejamliroq tarkibini va yonish mahsulotlarining yanada kamroq zaharliligini ta'minlashi mumkin. Bu asosiy rejimlarda $\alpha=1,0$, aylanishlarning minimal chastotasi rejimida $\alpha = 0,96$ va maksimal tezlikda harakatlanish rejimida $\alpha = 0,98$ ni qabul qilish imkonini beradi (7.2-rasm).



7.1-rasm. Karbyuratorli dvigatelning issiqlik hisobini bajarish uchun boshlang'ich parametrlar.



7.2-rasm. Yonilg'i purkaladigan dvigatelning issiqlik hisobini bajarish uchun boshlang'ich parametrlar.

Bevosita raqamli hisobni faqat maksimal quvvat rejimi uchun olib boramiz, boshqa rejimlar uchun esa hisoblanadigan parametrlarning natijaviy qiymatlarini jadval shaklida keltiramiz.

Yonuvchi aralashma miqdori $M_1 = \alpha L_0 + 1/m$:

karbyuratorli dvigatel uchun;

$$M_1 = 0,96 \cdot 0,516 + 1/115 = 0,5041 \frac{\text{kmol yon. aral.}}{\text{kg yonilg'i}};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$M_1 = 1,0 \cdot 0,516 + 1/115 = 0,5247 \frac{\text{kmol yon. aral.}}{\text{kg yonilg'i}}.$$

$k = 0,5$ va qabul qilingan tezlik rejimlarida yonish mahsulotlari alohida komponentlarining miqdori:

karbyuratorli dvigatel uchun

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} + 2 \frac{1-\alpha}{1+k} 0,208 L_0 = \frac{0,855}{12} - 2 \frac{1-0,96}{1+0,5} 0,208 \cdot 0,516 = 0,0655 \frac{\text{kmol CO}_2}{\text{kg yonilg'i}};$$

$$M_{CO} = 2 \frac{1-0,96}{1+0,5} 0,208 \cdot 0,516 = 0,0057 \frac{\text{kmol CO}}{\text{kg yonilg'i}};$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2k \frac{1-\alpha}{1+k} 0,208 L_0 = \frac{145}{2} -$$

$$- 2 \cdot 0,5 \frac{1-0,96}{1+0,5} 0,208 \cdot 0,516 = 0,0029 \frac{\text{kmol H}_2\text{O}}{\text{kg yonilg'i}};$$

$$M_{H_2} = 2k \frac{1-\alpha}{1+k} 0,208 L_0 = 2 \cdot 0,5 \frac{1-0,96}{1+0,5} 0,208 \cdot 0,516 = 0,0029 \frac{\text{kmol H}_2}{\text{kg yonilg'i}};$$

$$M_{N_2} = 0,792 \alpha L_0 = 0,792 \cdot 0,96 \cdot 0,516 = 0,3923 \frac{\text{kmol N}_2}{\text{kg yonilg'i}};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun:

$$M_{CO_2} = \frac{0,855}{12} = 0,0712; \quad M_{CO} = 0; \quad M_{H_2O} = \frac{H}{2} = \frac{0,145}{2} = 0,0725 \frac{\text{kmol H}_2\text{O}}{\text{kg yonilg'i}};$$

$$M_{H_2} = 0; \quad M_{N_2} = 0,792 \cdot 1 \cdot 0,516 = 0,4087 \frac{\text{kmol N}_2}{\text{kg yonilg'i}}.$$

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdori:

karbyuratorli dvigatel uchun

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{CO_2} + M_{CO} + M_{H_2O} + M_{H_2} + M_{N_2} = \\ &= 0,0655 + 0,0057 + 0,0696 + 0,0029 + 0,3923 = 0,5360 \frac{\text{kmol yon. maxs.}}{\text{kg yonilg'i}} \end{aligned}$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$M_2 = 0,0712 + 0,0725 + 0,792 \cdot 1 \cdot 0,516 = 0,5524 \frac{\text{kmol yon. maxs.}}{\text{kg yonilg'i}}$$

Atrof-muhit parametrlari va qoldiq gazlar

Nadduvsiz dvigatellar ishida atrof-muhit harorati va bosimi $T_k = T_0 = 272 \text{ K}$ va $p_k = p_0 = 0,1 \text{ MPa}$.

Qoldiq gazlar harorati. Siqish darajasining doimiy $\varepsilon=8,5$ va $\varepsilon=11$ qiymatlarida qoldiq gazlar harorati $\alpha = \text{const}$ bo'lganda val aylanishlar chastotasi ortishi bilan deyarli chiziqli ortadi, lekin aralashma boyiganda kamayadi. Belgilangan n va α qiymatlari bo'yicha T_r qiymatlarini karbyuratorli dvigatelning hisoblanayotgan rejimlari uchun 7.1-rasm, yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun 7.2-rasm bo'yicha qabul qilish mumkin. Nominal rejimlarda karbyuratorli dvigatel uchun $T_r = 1060 \text{ K}$ va yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $T_r = 1040 \text{ K}$ qabul qilamiz.

7.1-jadval

Parametrlar	Ishchi jism							
	Karbyuratorli dvigatel				Yonilg'i purkaladigan dvigatel			
n	1000	3200	5600	6000	900	4000	7000	80000
α	0,86	0,96	0,96	0,96	0,96	1,0	1,0	0,98
M_1	0,4525	0,5041	0,5041	0,5041	0,5041	0,5247	0,5247	0,5144
MCO_2	0,0512	0,0655	0,0655	0,0655	0,0655	0,0712	0,0712	0,0683
MCO	0,0200	0,0057	0,0057	0,0057	0,0057	0	0	0,0029
MH_2O	0,0625	0,0696	0,0696	0,0696	0,0696	0,0725	0,0725	0,0711
MH_2	0,0100	0,0029	0,0029	0,0029	0,0029	0	0	0,0014
MN_2	0,3515	0,3923	0,3923	0,3923	0,3923	0,4087	0,4087	0,4005
M_2	0,4952	0,5360	0,5360	0,5360	0,5360	0,5524	0,5524	0,5412

Hisoblanayotgan dvigatellarning chiqarish traktlarini konstruktiv shakllantirishda qarshiliklari kamaytirish va gaz taqsimlash fazalarini kengaytirish hisobiga qoldiq gazlar bosimi p_r ni valning nominal aylanishlar chastotasi rejimida:

$$\text{karbyuratorli dvigatel uchun } p_{rN} = 1,18p_0 = 1,18 \cdot 0,1 = 0,118$$

MPa;

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_{rN} = 0,110$ MPa deb qabul qilamiz.

U holda dvigatel ishining boshqa rejimlari uchun qoldiq gazlar bosimini quyidagi formula bo'yicha hisoblash mumkin:

$$p_r = p_0(1,035 + A_p \cdot 10^{-8} \cdot n^2) \quad (7.1)$$

bu yerda $A_p = (p_{rN} - p_0 \cdot 1,035) \cdot 10^{-8} / (n_N^2 p_0)$.

$$n_N = 5600 \text{ min}^{-1} \text{ da}$$

$$A_p = (0,118 - 0,1 \cdot 1,035) \cdot 10^{-8} / (5600^2 \cdot 0,1) = 0,4624.$$

$$n_N = 7000 \text{ min}^{-1} \text{ da}$$

$$A_p = (0,110 - 0,1 \cdot 1,035) \cdot 10^{-8} / (7000^2 \cdot 0,1) = 0,1327.$$

Kiritish jarayoni. Yangi zaryad qizishi harorati. Nominal tezlik rejimlarida dvigatellarning yangi zaryad bilan yaxshi to'li-shini ta'minlash maqsadida karbyuratorli dvigatel uchun $\Delta T_N = 8^\circ\text{C}$ va yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $\Delta T_N = 6^\circ\text{C}$ qabul qili-shadi.

U holda qolgan rejimlar uchun ΔT qiymatlari quyidagi for-mula bo'yicha hisoblanadi:

$$\Delta T = A_T(110 - 0,0125n) \quad (7.2)$$

bu yerda $A_T = \Delta T_N / (110 - 0,0125n_N)$.

Kirishda zaryad zichligi

$$\rho_0 = p_0 \cdot 10^6 / (R_x T_0) = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 293) = 1,189 \text{ kg/m}^3$$

bu yerda $R_x = 287 \text{ Dj/(kg} \cdot \text{grad)}$ – havo uchun solishtirma gaz doimiysi.

Kiritishda bosim yo'qotilishi. tezlik rejimlariga mos ravishda ($p = 5600 \text{ min}^{-1}$ va $p = 7000 \text{ min}^{-1}$) va kiritish tizimi ichki sirtlariga sifatli ishlov berilishini hisobga olib, quyidagilarni qabul qilish mumkin:

karbyuratorli dvigatel uchun $\beta^2 + \xi_{kir} = 2,8$ va $W_{kir} = 95 \text{ m/s}$;

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun (unda karbyurator bo'l-maganligi tufayli kirishdagi qarshilik kichikroq bo'ladi) $\beta^2 + \xi_{kir} = 2,5$ va $W_{kir} = 95 \text{ m/s}$.

U holda Δr_a dvigatelning hamma tezlik rejimlari uchun ushbu formula bo'yicha hisoblanadi:

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{kir}) A_n^2 n^2 \rho_k 10^{-6} / 2 \quad (7.3)$$

bu, $A_p = W_{kir} / n_N$.

Karbyuratorli dvigatel kirishida $p = 5600 \text{ min}^{-1}$, $A_p = 95/5600 = 0,01696 \text{ MPa}$ bo'lganda bosim yo'qotilishi

$$\Delta p_a = 2,8 \cdot 0,01696^2 \cdot 5600^2 \cdot 1,189 \cdot 10^{-6} / 2 = 0,0150 \text{ MPa}$$

Yonilg'i purkaladigan dvigatel kirishida $p = 7000 \text{ min}^{-1}$, $A_p = 95/7000 = 0,01357 \text{ MPa}$ bo'lganda bosim yo'qotilishi

$$\Delta p_a = 2,5 \cdot 0,01357^2 \cdot 7000^2 \cdot 1,189 \cdot 10^{-6} / 2 = 0,0134 \text{ MPa}$$

Kiritish oxirida bosim:

$p = 5600 \text{ min}^{-1}$ da karbyuratorli dvigatelda

$$p_a = p_0 - \Delta p_a = 0,1 - 0,0150 = 0,0850 \text{ MPa}$$

$p = 7000 \text{ min}^{-1}$ da yonilg'i purkaladigan dvigatelda

$$p_a = p_0 - \Delta p_a = 0,1 - 0,0134 = 0,0866 \text{ MPa}$$

Qoldiq gazlar koefitsiyenti. Nadduvsiz karbyuratorli dvigatel uchun γ_r ni aniqlashda tozalash koefitsiyenti $\varphi_{oz}=1$, nominal tezlik rejimida esa dozaryadka koefitsiyentini $\varphi_{doz}=1,10$ deb qabul qilishadi, bunga kiritish klapani yopilishi kechikishi burchagini $30-60^\circ$ oralig'ida tanlanganda erishish mumkin. Bunda minimal tezlik rejimi ($p = 1000 \text{ min}^{-1}$)da qayta chiqarish 5% oralig'ida, ya'ni $\varphi_{doz}=0,95$ bo'ladi. Qolgan rejimlarda φ_{doz} qiymatlarini, φ_{doz} tezlik rejimiga chiziqli bog'langan (7.1-rasmga qarang) deb qabul qilib, aniqlash mumkin.

U holda $p = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} \frac{\varphi_{oz} p_r}{\varepsilon \varphi_{doz} p_a - \varphi_{oz} p_r} = \frac{293 + 8}{1060} \frac{0,118}{8,5 \cdot 1,1 \cdot 0,085 - 0,118} = 0,0495$$

Yonilg'i purkaladigan va elektron boshqariladigan dvigatel uchun nominal aylanishlar chastotasi n_N da φ_{doz} , n_{min} da esa $\varphi_{doz}=0,96$ deb qabul qilish mumkin. Qolgan hisoblanayotgan rejimlar uchun φ_{doz} 7.2-rasmdan aniqlanadi.

U holda $p = 7000 \text{ min}^{-1}$ da

$$\gamma_r = \frac{293 + 6}{1040} \frac{0,1100}{(11 \cdot 1,145 \cdot 0,0866 - 0,1100)} = 0,0325$$

Kiritish oxirida harorat:
karbyuratorli dvigatelda

$$T_a = (T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r) = (293 + 8 + 0,0495 \cdot 1060) / (1 + 0,0495) = 337 \text{ K}$$

yonilg'i purkaladigan dvigatelda

$$T_a = (293 + 6 + 0,0325 \cdot 1040) / (1 + 0,0235) = 322 \text{ K.}$$

7.2-jadval

Parametr-lar	Kiritish va gaz almashinish jarayoni							
	Karbyuratorli dvigatel				Yonilg'i purkaladigan dvigatel			
n	1000	3200	5600	6000	900	4000	7000	8000
α	0,86	0,96	0,96	0,96	0,96	1,0	1,0	0,98
T_r	900	1000	1060	1070	900	1000	1040	1045
p_r	0,1040	0,1082	0,1180	0,1201	0,1036	0,1056	0,1100	0,1120
ΔT	19,5	14,0	8,0	7,0	26,3	16,0	6,0	2,7
Δp_a	0,0005	0,0049	0,0150	0,0172	0,0002	0,0044	0,0134	0,0175
p_a	0,0995	0,0951	0,0850	0,0828	0,0998	0,0956	0,0866	0,0825
φ_{doz}	0,950	1,025	1,100	1,110	0,960	1,055	1,145	1,176
γ_r	0,0516	0,0461	0,0495	0,0509	0,0387	0,0325	0,0325	0,0332
T_a	341	338	337	337	341	331	322	320
η_v	0,8744	0,9167	0,8784	0,8609	0,8720	0,9519	0,9610	0,9465

To'lish koeffitsiyenti:

karbyuratorli dvigatel uchun

$$\eta_v = \frac{T_0}{T_0 + \Delta T} \cdot \frac{1}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{1}{p_0} (\varphi_{\text{doz}} \varepsilon p_a - \varphi_{\text{oz}} p_r) =$$

$$= \frac{293}{293 + 8} \cdot \frac{1}{8,5 - 1} \cdot \frac{1}{0,1} (1,1 \cdot 8,5 \cdot 0,085 - 1 \cdot 0,118) = 0,8784$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$\eta_v = \frac{293}{293 + 6} \cdot \frac{1}{11 - 1} \cdot \frac{1}{0,1} (1,145 \cdot 11 \cdot 0,0866 - 1 \cdot 0,11) = 0,9610$$

Siqish jarayoni. Siqish adiabatasi o'rtacha ko'rsatkichi k_1 ($\varepsilon=8,5$ va $\varepsilon=11$ hamda T_a ning hisoblab aniqlangan qiymatlarida) nomogramma bo'yicha topiladi (4.20-rasmga qarang), siqish politropasining o'rtacha ko'rsatkichi p_1 esa k_1 dan biroz kichikroq olinadi. Valning aylanishlar chastotasi kamayganda gazlardan silindr devorlariga issiqlik uzatilishi ko'payadi, shu sababli bunda p_1 k_1 ga nisbatan sezilarliroq darajada kamayadi:

karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$, $T_a = 337 \text{ K}$ va $\varepsilon = 8,5$ da siqish adiabatasi ko'rsatkichi $k_1 = 1,3772$ (4.20-rasm);
 yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$, $T_a = 322 \text{ K}$ va $\varepsilon = 11$ da siqish adiabatasi ko'rsatkichi $k_1 = 1,3763$.

Siqish oxirida bosim:

karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1} = 0,085 \cdot 8,5^{1,377} = 1,6184 \text{ MPa}$$

bu erda $p_1 = 1,377$ $k_1 = 1,3775$ dan biroz kichikroq olingan;
 yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$ da

$$p_c = 0,0866 \cdot 11^{1,376} = 2,3468 \text{ MPa}$$

bu erda $p_1 = 1,376$ qabul qilindi.

Siqish oxirida harorat:

karbyuratorli dvigatel uchun

$$T_c = T_a \varepsilon^{n_1-1} = 337 \cdot 8,5^{1,377-1} = 755 \text{ K};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $T_c = 322 \cdot 11^{1,376-1} = 793 \text{ K}$.

Siqish oxirida o'rtacha mol issiqlik sig'imi:

a) yangi zaryad (havo)niki – $(mc_v)_{t_0}^c = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} t_c$, bu
 yerda $t_c = T_c - 273 \text{ } ^\circ\text{C}$;

karbyuratorli dvigatel uchun

$$(mc_v)_{t_0}^c = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot 482 = 21,872 \text{ kDj/(kmol} \cdot \text{grad)};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$(mc_v)_{t_0}^c = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot 520 = 21,972 \text{ kDj/(kmol} \cdot \text{grad)};$$

b) qoldiq gazlarniki $(mc_v)_{t_0}^c$ – 3.5-jadvaldan interpolyatsiya
 metodi bilan aniqlanadi:

karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$, $\alpha = 0,96$ va
 $t_c = 482 \text{ } ^\circ\text{S}$ da

$$(mc_v)_{t_0}^{400} = 23,586 + (23,712 - 23,586) \frac{0,01}{0,05} = 23,611$$

bu erda 23,586 va 23,712 – 400 $^\circ\text{S}$ da mos ravishda $\alpha = 0,95$ va
 $\alpha = 1,00$ da 3.5-jadvaldan olingan yonish mahsulotlari issiqlik
 sig'imining qiymatlari;

$$(mc_v'')_{t_0}^{500} = 24,014 + (24,150 - 24,014) \frac{0,01}{0,05} = 24,041$$

bu erda 24,014 va 24,150 – 500 °S da mosravishda $\alpha=0,95$ va $\alpha=1,00$ da 3.5-jadvaldan olingan yonish mahsulotlari issiqlik sig'iminin qiyamatlari.

Yonish mahsulotlarining $t_c=482$ °S da va $\alpha=0,96$ dagi issiqlik sig'imi

$$(mc_v')_{t_0}^c = 23,611 + (24,041 - 23,611) \frac{82}{100} = 23,964 \text{ kDj}/(\text{kmol} \cdot \text{grad})$$

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$, $\alpha=1,0$ va $t_c=520$ °S da yonish mahsulotlarining issiqlik sig'imi

$$(mc_v')_{t_0}^c = 24,150 + (24,586 - 24,150) \frac{20}{100} = 24,237 \text{ kDj}/(\text{kmol} \cdot \text{grad})$$

$$v) \text{ ishchi aralashmaniki } (mc_v')_{t_0}^c = \frac{1}{1 + \gamma_r} [(mc_v)_{t_0}^c + \gamma_r (mc_v'')_{t_0}^c]:$$

karbyuratorli dvigatel uchun

$$(mc_v')_{t_0}^c = \frac{1}{1 + 0,0495} [21,872 + 0,0495 \cdot 23,964] = 21,971 \text{ kDj}/(\text{kmol} \cdot \text{grad})$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$(mc_v')_{t_0}^c = \frac{1}{1 + 0,0325} [21,972 + 0,0325 \cdot 24,237] = 22,044 \text{ kDj}/(\text{kmol} \cdot \text{grad})$$

7.3-jadval

Parametrlar	Siqish jarayoni							
	Karbyuratorli dvigatel				Yonilg'i purkaladigan dvigatel			
n	1000	3200	5600	6000	900	4000	7000	8000
k_1	1,3768	1,3774	1,3775	1,3775	1,3738	1,3752	1,3763	1,3766
n_1	1,3700	1,3760	1,3770	1,3770	1,3670	1,3750	1,3760	1,3760
p_c	1,8666	1,8072	1,6184	1,5765	2,6447	2,5844	2,3468	2,2357
T_c	753	756	755	755	822	813	793	788
t_c	480	483	482	482	549	540	520	515
$(mc_v)_{t_0}^c$	21,866	21,874	21,872	21,872	22,048	22,025	21,972	21,959
$(mc_v')_{t_0}^c$	23,658	23,968	23,964	23,964	21,212	24,324	24,237	24,146
$(mc_v'')_{t_0}^c$	21,954	21,966	21,971	21,973	22,129	22,097	22,043	22,029

Yonish jarayoni. Yo n u v c h i a r a l a s h m a $\mu_0 = M_2 / M_1$ va ishchi aralashma $\mu = (\mu_0 + \gamma_r) / (1 + \gamma_r)$ molekula o'zgarishi koeffitsientlari:

karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$\mu_0 = 0,5360 / 0,5041 = 1,0633$$

va

$$\mu = (1,0633 + 0,0495) / (1 + 0,0495) = 1,0603$$

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$ da

$$\mu_0 = 0,5524 / 0,5247 = 1,0528$$

va

$$\mu = (1,0528 + 0,0325) / (1 + 0,0325) = 1,0511$$

Kimyoviy noto'liq yonish natijasida yo'qotiladigan issiqlik miqdori va ishchi aralashmaning yonish issiqligi

$$\Delta Hu = 119950(1 - \alpha)L_0 \quad \text{va} \quad Hu_{\text{ishchi aral.}} = \frac{Hu - \Delta Hu}{M_1(1 + \gamma_r)}$$

Karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$\Delta Hu = 119950(1 - 0,96) \cdot 0,516 = 2476 \text{ kDj/kg}$$

$$Hu_{\text{ishchi aral.}} = \frac{43930 - 2476}{0,5041(1 + 0,0495)} = 78355 \text{ kDj/kmol ishchi aral.}$$

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$ da

$$\Delta Hu = 119950(1 - 1) = 0$$

$$Hu_{\text{ishchi aral.}} = \frac{43930}{0,5247(1 + 0,0325)} = 81089 \text{ kDj/kmol ishchi aral.}$$

Yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'imi

$$(mc_v)_{t_0}^z = \frac{1}{M_2} \left[M_{CO_2} (mc_{vCO_2}^z)_{t_0}^z + M_{CO} (mc_{vCO}^z)_{t_0}^z + M_{H_2O} (mc_{vH_2O}^z)_{t_0}^z + M_{H_2} (mc_{vH_2}^z)_{t_0}^z + M_{N_2} (mc_{vN_2}^z)_{t_0}^z \right]$$

1501 dan 2800°C gacha bo'lgan haroratlar intervalida 3.3-jadvalda keltirilgan empirik formulalar bo'yicha hisoblanadi.

Karbyuratorli dvigatel uchun

$$\begin{aligned}
 (mc_v)_{t_0}^t &= (1/0,536) \cdot [0,0655 \cdot (39,123 + 0,003349t_z) + \\
 &+ 0,0057 \cdot (22,49 + 0,00143t_z) + 0,0696 \cdot (26,67 + 0,004438t_z) + \\
 &+ 0,0029 \cdot (19,678 + 0,001758t_z) + 0,3923 \cdot (21,951 + 0,001457t_z)] = \\
 &= 24,656 + 0,002077t_z \text{ kDj/(kmol} \cdot \text{grad)}
 \end{aligned}$$

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$\begin{aligned}
 (mc_v)_{t_0}^t &= (1/0,5524) \cdot [0,0712 \cdot (39,123 + 0,003349t_z) + \\
 &+ 0,0725 \cdot (26,67 + 0,004338t_z) + 0,4087 \cdot (21,951 + 0,001457t_z)] = \\
 &= 24,784 + 0,002091t_z \text{ kDj/(kmol} \cdot \text{grad)}
 \end{aligned}$$

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti ξ_z aralashmani hosil qilish va yonilg'i yonish jarayonlarini tashkil qilishning takomilligiga bog'liq. Silindr devorlariga issiqlik uzatilishi (yo'qotilishi) va silindr bilan porshen orasidagi tirqishdan gazlar oqib ketishi kamayganda ξ_z ortadi. Tezlik rejimi kattalashganda ξ_z kamayadi. Dvigatel issiqlik hisobini bajarishda ξ_z qiymati tajribaviy ma'lumotlardan olinadi. 5.1- va 5.2-rasmlarda ξ_z ning dvigatel tezlik rejimidan etarli darajada real bog'liqligi grafiklari keltirilgan. 5.1- va 5.2-rasmlarga muvofiq karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da issiqlikdan foydalanish koeffitsiyenti $\xi_z = 0,91$, yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun esa $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$ da $\xi_z = 0,986$ qabul qilamiz. Hamma hisobiy rejimlar uchun ham ξ_z qiymatlarini shu rasmlardan aniqlaymiz.

Asosiy yonish jarayoni oxirida harorat

$$\xi_z Hu_{\text{ishchi aral.}} + (mc_v)_{t_0}^t t_c = \mu (mc_v)_{t_0}^t t_z;$$

Karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$0,91 \cdot 78355 + 21,971 \cdot 482 = 1,0603 \cdot (24,656 + 0,002077t_z) \cdot t_z,$$

yoki

$$0,002202t_z^2 + 26,143t_z - 81893 = 0,$$

bu yerdan,

$$t_z = (-26,143 + \sqrt{26,143^2 + 4 \cdot 0,002202 \cdot 81893}) / (2 \cdot 0,002202) = 2575 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_z = t_z + 273 = 2575 + 273 = 2848 \text{ K}$$

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$ da

$$0,986 \cdot 81089 + 22,043 \cdot 520 = 1,0511 \cdot (24,784 + 0,002091 t_z) t_z,$$

yoki

$$0,002198 t_z^2 + 26,0505 t_z - 91416 = 0,$$

bu yerdan,

$$t_z = \left(-26,0505 + \sqrt{26,0505^2 + 4 \cdot 0,002198 \cdot 91416} \right) / (2 \cdot 0,0022198) = 2832 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_z = t_z + 273 = 2832 + 273 = 3105 \text{ K}.$$

Yonishning nazariy maksimal bosimi:

karbyuratorli dvigatel uchun

$$p_z = p_c \cdot \mu \cdot T_z / T_c = 1,6184 \cdot 1,0603 \cdot 2848 / 755 = 6,4730 \text{ MPa};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$p_z = 2,3468 \cdot 1,0511 \cdot 3105 / 793 = 9,6585 \text{ MPa}.$$

Yonishning haqiqiy maksimal bosimi:

karbyuratorli dvigatel uchun

$$p_{zh} = 0,85 \cdot p_z = 0,85 \cdot 6,473 = 5,5021 \text{ MPa};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$p_{zh} = 0,85 \cdot 9,6585 = 8,2097 \text{ MPa}.$$

Bosimning ortish darajasi:

karbyuratorli dvigatel uchun

$$\lambda = p_z / p_s = 6,4730 / 1,6184 = 4,000;$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$\lambda = 9,6585 / 2,3468 = 4,116.$$

Kengayish va chiqarish jarayonlari. Kengayish adiabatasi-ning o'rtacha ko'rsatkichi k_2 α va T_z larning mos qiymatlari uchun berilgan ε bo'yicha nomogrammadan (4.44-rasmga qarang) aniqlanadi, kengayish politropasi o'rtacha ko'rsatkichi p_2 esa adiabatasi o'rtacha ko'rsatkichining qiymati bo'yicha baholanadi:

karbyuratorli dvigatel uchun $\varepsilon=8,5$, $\alpha=0,96$ va $T_z=2848 \text{ K}$ da $k_2=1,2518$, qabul qilamiz $p_2=1,251$. Nomogrammada $\varepsilon=8,5$, $\alpha=0,86$ va $T_z=2537 \text{ K}$ da $k_2=1,2605$ ni topish ham ko'rsatilgan;

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $\varepsilon=11$, $\alpha=1,0$ va $T_z=3105 \text{ K}$ da $k_2=1,2489$ aniqlangan va $p_2=1,248$ qabul qilingan.

Kengayish jarayonining oxirida bosim va harorat

$$p_e = p_z / \varepsilon^{n_2} \quad \text{ba} \quad T_e = T_z / \varepsilon^{n_2-1}$$

karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$p_e = 6,4730 / 8,5^{1,251} = 0,4452 \text{ MPa} \quad \text{ba} \quad T_e = 2848 / 8,5^{1,251-1} = 1665 \text{ K}$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$p_e = 9,6585 / 11^{1,248} = 0,4845 \text{ MPa} \quad \text{ba} \quad T_e = 3105 / 11^{1,248-1} = 1713 \text{ K}$$

Qoldiq gazlar haroratining dastlabki qabul qilingan qiymatini tekshirish:

7.4-jadval

Parametrlar	Yonish jarayoni			
	Karbyuratorli dvigatel			
n	1000	3200	5600	6000
μ_0	1,0944	1,0633	1,0633	1,0633
μ	1,0898	1,0605	1,0603	1,0602
ΔHu	8665	2476	2476	2476
$H_{ish.aral.}$	74110	78610	78355	78251
$(mc_v)_{t_0}^{t_z}$	24,298+ 0,002033 t_z	24,656+ 0,02077 t_z	24,656+ 0,02077 t_z	24,656+ 0,02077 t_z
ξ_z	0,82	0,92	0,91	0,89
$t_z, ^\circ\text{C}$	2264	2602	2575	2530
T_z, K	2537	2875	2848	2803
r_z	6,8537	7,2884	6,4730	6,2052
r_{zh}	5,8256	6,1951	5,5021	5,5744
λ	3,672	4,033	4,000	3,936
Yonilg'i purkaladigan dvigatel				
n	900	4000	7000	8000
μ_0	1,0633	1,0528	1,0528	1,0579
μ	1,0609	1,0511	1,0511	1,0560
ΔHu	2476	0	0	1238
$H_{ish.aral.}$	79170	81089	81089	80327
$(mc_v)_{t_0}^{t_z}$	24,656+ 0,002077 t_z	24,784+0,002091 t_z		24,720+ 0,002085 t_z
ξ_z	0,88	0,988	0,986	0,97
$t_z, ^\circ\text{C}$	2571	2849	2832	2772
T_z, K	2844	3122	31,05	3045
r_z	9,7075	10,4315	9,6585	9,1230
r_{zh}	8,2514	8,8668	8,2097	7,7546
λ	3,671	4,036	4,116	4,081

$$T_r = T_s / \sqrt[3]{p_s / p_r}$$

karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$T_r = \frac{1665}{\sqrt[3]{0,4452/0,118}} = 1070 \text{ K},$$

$$\Delta T_r = 100 \frac{(1070 - 1060)}{1060} = +0,9\%;$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$ da

$$T_r = \frac{1713}{\sqrt[3]{0,4845/0,110}} = 1045 \text{ K},$$

$$\Delta T_r = 100 \frac{(1045 - 1040)}{1040} = +0,5\%,$$

bu yerda ΔT_r – hisob xatoligi.

Qoldiq gazlar harorati hamma tezlik rejimlari uchun yetarli darajada to'g'ri tanlangan, chunki ko'p hollarda xatolik 1% dan ortmaydi, faqat aylanishlarning minimal chastotasi rejimlarida xatolik 1,66 va 3,44% ni tashkil qiladi.

7.5-jadval

Parametr-lar	Kengayish va chiqarish jarayonlari							
	Karbyuratorli dvigatel				Yonilg'i purkaladigan dvigatel			
p	1000	3200	5600	6000	900	4000	7000	8000
k_2	1,2605	1,2515	1,2518	1,2522	1,2525	1,2484	1,2489	1,2513
p_2	1,2600	1,2510	1,2510	1,2520	1,2520	1,2480	1,2480	1,2510
r_v	0,4622	0,5013	0,4452	0,4259	0,4823	0,5232	0,4845	0,4543
T_v	1455	1680	1665	1634	1554	1723	1713	1668
T_r	885	1008	1070	1072	931	1011	1045	1049
ΔT_r , %	-1,66	+0,80	+0,94	+0,18	+3,44	-1,10	-0,48	-0,10

Ishchi siklning indikator parametrlari. Nazariy o'rtacha indikator bosim

$$p_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right];$$

karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$p_i' = \frac{1,6184}{8,5 - 1} \left[\frac{4,000}{1,251 - 1} \left(1 - \frac{1}{8,5^{1,251 - 1}} \right) - \frac{1}{1,377 - 1} \left(1 - \frac{1}{8,5^{1,377 - 1}} \right) \right] = 1,1120 \text{ MPa}$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$p_i' = \frac{2,3468}{11 - 1} \left[\frac{4,116}{1,248 - 1} \left(1 - \frac{1}{11^{1,248 - 1}} \right) - \frac{1}{1,376 - 1} \left(1 - \frac{1}{11^{1,376 - 1}} \right) \right] = 1,3753 \text{ MPa.}$$

O'rtacha indikator bosim $p_i = \varphi_u p_i'$

karbyuratorli dvigatel uchun $p_i = 0,96 \cdot 1,1120 = 1,0675 \text{ MPa}$;

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$p_i = 0,98 \cdot 1,3753 = 1,3478 \text{ MPa}$.

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

$$\eta_i = p_i l_0 \alpha / (Hu \rho_0 \eta_v) \quad \text{va} \quad g_i = 3600 / (Hu \eta_i)$$

karbyuratorli dvigatel uchun $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da

$$\eta_i = 1,0675 \cdot 14,957 \cdot 0,96 / (43,93 \cdot 1,189 \cdot 0,8794) = 0,3341;$$

$$g_i = 3600 / (43,93 \cdot 0,3341) = 245 \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$ da

$$\eta_i = 1,3478 \cdot 14,957 \cdot 1,0 / (43,93 \cdot 1,189 \cdot 0,9610) = 0,4016;$$

$$g_i = 3600 / (43,93 \cdot 0,4016) = 204 \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)}.$$

Dvigatelning effektiv ko'rsatkichlari. Silindrlar soni oltitaga-gacha va $S/D \leq 1$ bo'lgan benzinli dvigatellar uchun mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi

$$r_m = 0,034 + 0,0113 v_{p.o'r.}$$

Karbyuratorli dvigatel uchun, porshen yo'li S ni 78 mm ga teng deb qabul qilib, $p_N = 5600 \text{ min}^{-1}$ da porshen o'rtacha tezligini topamiz

$$v_{p.o'r} = S n_N / (10^4 \cdot 3) = 78 \cdot 5600 / (10^4 \cdot 3) = 14,56 \text{ m/s}$$

U holda,

$$r_m = 0,034 + 0,0113 \cdot 14,56 = 0,1985 \text{ MPa.}$$

Yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun, porshen yo'li S ni 77 mm ga teng deb qabul qilib, $p_N = 7000 \text{ min}^{-1}$ da porshen o'rtacha tezligini topamiz

$$v_{p.o'r} = 77 \cdot 7000 / (10^4 \cdot 3) = 17,967 \text{ m/s.}$$

Mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimini elektron purkagichli yuqori forsirovka qilingan dvigatellar uchun mo'ljallangan formula bo'yicha topamiz

$$r_m = 0,024 + 0,0053 v_{p.o'r} = 0,024 + 0,0053 \cdot 17,967 = 0,1192 \text{ MPa.}$$

O'rtacha effektiv bosim va mexanik f.i.k.

$$r_e = p_i - p_m \quad \text{va} \quad \eta_m = r_e / p_i;$$

karbyuratorli dvigatel uchun

$$r_e = 1,0675 - 0,1985 = 0,8690 \text{ MPa}$$

$$\text{va} \quad \eta_m = 0,869 / 1,0675 = 0,8141;$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$r_e = 1,3478 - 0,1192 = 1,2286 \text{ MPa} \quad \text{va} \quad \eta_m = 1,2286 / 1,3478 = 0,9116.$$

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

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m \quad \text{va} \quad g_e = 3600 / (Hu \cdot \eta_e);$$

karbyuratorli dvigatel uchun

$$\eta_e = 0,3341 \cdot 0,8141 = 0,2720$$

$$\text{va} \quad g_e = 3600 / (43,93 \cdot 0,272) = 301 \text{ g/(kVt}\cdot\text{soat)};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$\eta_e = 0,4016 \cdot 0,9116 = 0,3661$$

$$\text{va} \quad g_e = 3600 / (43,93 \cdot 0,3661) = 224 \text{ g/(kVt}\cdot\text{soat)}.$$

Silindr va dvigatelning asosiy parametrlari. Litraj:
karbyuratorli dvigatelniki

$V_1 = 30 \tau N_e / (p_e n) = 30 \cdot 4 \cdot 60 / (0,869 \cdot 5600) = 1,47951;$
Yonilg'i purkaladigan dvigatelniki

$$V_1 = 30 \cdot 4 \cdot 110 / (1,2286 \cdot 7000) = 1,53481.$$

Bir silindrning ishchi hajmi:
karbyuratorli dvigatelniki

$$V_h = V_1 / i = 1,4795 / 4 = 0,3699 \text{ l};$$

Yonilg'i purkaladigan dvigatelniki

$$V_h = 1,5348 / 4 = 0,3837 \text{ l}.$$

Silindr diametri. Porshen yo'li karbyuratorli dvigatel uchun $S=78 \text{ mm}$ va yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun esa $S=77 \text{ mm}$ tanlanganligi tufayli silindr diametri:
karbyuratorli dvigatel uchun

$$D = 2 \cdot 10^3 \sqrt{V_h / (\pi S)} = 2 \cdot 10^3 \sqrt{0,3699 / (3,14 \cdot 78)} = 77,72 \text{ mm};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$D = 2 \cdot 10^3 \sqrt{0,3837 / (3,14 \cdot 77)} = 79,65 \text{ mm}.$$

Karbyuratorli dvigatel uchun $D=78 \text{ mm}$ va $S=78 \text{ mm}$ va yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $D=80 \text{ mm}$ va $S=77 \text{ mm}$ qabul qilamiz.

D va S ning qabul qilingan qiymatlari bo'yicha dvigatel-larning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari:

porshen yuzasi $F_p = \pi D^2 / (4 \cdot 100) \text{ (sm}^2\text{)};$

7.6-jadval

Parametrlar	Dvigatelning indikator va effektiv ko'rsatkichlari									
	Karbyuratorli dvigatel					Yonilg'i purkaladigan dvigatel				
	1000	3200	5600	6000	900	4000	7000	8000		
n	1,1317	1,2546	1,1120	1,0600	1,3255	1,4768	1,3753	1,2906		
p_i	1,0864	1,2044	1,0675	1,0176	1,2990	1,4473	1,3478	1,2648		
η_i	0,3060	0,3612	0,3341	0,3249	0,4095	0,4354	0,4016	0,3750		
g_i	268	227	245	252	200	188	204	219		
$v_{p.o.r}$	2,60	8,32	14,56	15,60	2,310	10,267	17,967	20,533		
r_m	0,0634	0,1280	0,1985	0,2103	0,0362	0,0784	0,1192	0,1328		
R_e	1,0230	1,0764	0,8690	0,8073	1,2628	1,3689	1,2286	1,1320		
η_m	0,9416	0,8937	0,8141	0,7933	0,9721	0,9458	0,9116	0,8956		
η_e	0,2881	0,3228	0,2720	0,2577	0,3981	0,4118	0,3661	0,3359		
g_e	284	254	301	318	206	199	224	244		

dvigatel litraji $V_1 = \pi D^2 S i / (4 \cdot 10^6)$ (l);

dvigatel effektiv quvvati $N_e = p_e V_1 n / (30 \tau)$ (kVt);

dvigatel litrli quvvati $N_l = N_e / V_1$ (kVt/l);

burovchi moment $M_e = \frac{3 \cdot 10^4 \cdot N_e}{\pi \cdot n}$ (H·m);

yonilg'ining 1 soatdagi sarfi $G_{yo} = N_e \cdot g_e \cdot 10^{-3}$ (kg/soat).

7.7-jadval

Para- metrlar	Dvigatellarning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari							
	Karbyuratorli dvigatel				Yonilg'i purkaladigan dvigatel			
p, min^{-1}	1000	3200	5600	6000	900	4000	7000	8000
F_p, sm^2	47,76				50,24			
V_b, l	1,49				1,547			
$N_b, \text{kVt/l}$	40,55				71,67			
N_e, kVt	12,70	42,77	60,42	60,14	14,65	70,59	110,87	116,83
$M_e, \text{N·m}$	121,3	127,3	103,1	95,8	155,4	168,5	151,2	139,5
$G_{yo}, \text{kg/soat}$	3,607	10,864	18,186	19,125	3,018	14,047	24,835	26,170

7.3. Karbyuratorli dvigatel va yonilg'i taqsimlanib purkaladigan dvigatel issiqlik balansi

Nominal tezlik rejimida dvigatelga kiritilgan issiqlikning umumiy miqdori:

$$Q_{yo,soat} = H u G_{yo,soat} / 3,6;$$

karbyuratorli dvigatel (hamma ma'lumotlar issiqlik hisobidan olingan)

$$Q_{yo,soat} = 43930 \cdot 18,186 / 3,6 = 221920 \text{ J/s};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel

$$Q_{yo,soat} = 43930 \cdot 24,835 / 3,6 = 303056 \text{ J/s}.$$

Bir sekundda effektiv ishga ekvivalent issiqlik:

$$Q_e = 1000 \cdot N_e;$$

karbyuratorli dvigatelda

$$Q_e = 1000 \cdot 60,42 = 60420 \text{ J/s};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatelda

$$Q_e = 1000 \cdot 110,87 = 110870 \text{ J/s}.$$

Sovituvchi muhitga uzatiluvchi issiqlik:

$$Q_{\text{sov}} = c i D^{1+2m} n^m (Hu + \Delta Hu) / (\alpha Hu),$$

bu yerda $s=0,45-0,53$ – to'rt taktli dvigatellar uchun proporsionallik koeffitsiyenti (hisoblarda $s=0,5$ qabul qilinadi);

i – silindrlar soni;

D – silindr diametri, sm;

p – tirsakli valning aylanishlar chastotasi, min^{-1} ;

$t = 0,5-0,7$ – to'rt taktli dvigatellar uchun daraja ko'rsatkichi;

hisobda karbyuratorli dvigatel uchun $p = 1000 \text{ min}^{-1}$ da $t=1,6$, qolgan hamma tezlik rejimlari uchun $t=0,65$ qabul qilingan; yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun $p = 900 \text{ min}^{-1}$ da $t=0,58$, $p = 4000 \text{ min}^{-1}$ da $t=0,64$, $p = 7000 \text{ min}^{-1}$ da $t=0,66$ va $p = 8000 \text{ min}^{-1}$ da $t=0,65$ qabul qilingan;

karbyuratorli dvigatelda

$$Q_{\text{sov}} = 0,5 \cdot 4 \cdot 7,8^{1+2 \cdot 0,65} \cdot 5600^{0,65} (43930 - 2476) / (0,96 \cdot 43930) = 60510 \text{ J/s};$$

yonilg'i purkaladigan dvigatelda

$$Q_{\text{sov}} = 0,5 \cdot 4 \cdot 8,0^{1+2 \cdot 0,66} \cdot 7000^{0,66} (43930 - 0) / (1 \cdot 43930) = 85894 \text{ J/s}.$$

Ishlangan gazlar bilan olib ketilgan issiqlik:

$$Q_r = (G_{y_0} / 3,6) \{ M_2 [(mc_v)_{t_0}^{t_r} + 8,315] t_r - M_1 [(mc_v)_{t_0}^{20} + 8,315] t_0 \},$$

karbyuratorli dvigatelda

$$Q_r = (18,186 / 3,6)$$

$$\{ 0,536 [25,300 + 8,315] \cdot 797 - 0,504 [20,775 + 8,315] \cdot 20 \} = 71060 \text{ J/s};$$

bu yerda $(mc_v)_{t_0}^{t_r} = 25,300 \text{ kDj/(k mol} \cdot \text{grad)}$ – ishlangan gazlar issiqlik sig'imi (3.5-jadvaldan $\alpha=0,96$ va $t_r=T_r-273=1070-273=797^\circ\text{S}$ da interpolyatsiya usuli bilan aniqlangan);

$(mc_v)_{t_0}^{20} = 20,775 \text{ kDj/(k mol} \cdot \text{grad)}$ – yangi zaryad issiqlik sig'imi (3.3-jadvaldan havo uchun $t_0=T_0-273=293-273=20^\circ\text{S}$ da interpolyatsiya usuli bilan aniqlangan);

yonilg'i purkaladigan dvigatelda

$$Q_r = (24,835/3,6) \\ \{0,5524 [25,323 + 8,315] \cdot 772 - 0,5247 [20,775 + 8,315] \cdot 20\} = \\ = 96861 \text{ J/s,}$$

bu yerda $(mc_v)''_0 = 25,323 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{grad)}$ – ishlangan gazlar issiqlik sig‘imi (3.5-jadvaldan $\alpha=1,0$ va $t_r=T_r-273=1045-273=772^\circ\text{C}$ da interpolatsiya usuli bilan aniqlangan);

Yonilg‘i kimyoviy noto‘liq yonishi tufayli yo‘qotilgan issiqlik:

$$Q_{n,yo} = \Delta H_u G_{n,yo} / 3,6;$$

karbyuratorli dvigatelda

$$Q_{n,yo} = 2476 \cdot 18,186 / 3,6 = 12510 \text{ J/s;}$$

yonilg‘i purkaladigan dvigatelda

$$Q_{n,yo} = 0, \text{ chunki } \alpha=1 \text{ da } \Delta H_u=0.$$

Hisobga olinmagan issiqlik yo‘qotishlari:

$$Q_{kol} = Q_{yo,soat} - (Q_c + Q_r + Q_{sov.} + Q_{n,yo})$$

karbyuratorli dvigatelda

$$Q_{kol} = 221920 - (60420 + 60510 + 71060 + 12510) = 17420 \text{ J/s;}$$

yonilg‘i purkaladigan dvigatelda

$$Q_{kol} = 303056 - (110870 + 85894 + 96861 + 0) = 9431 \text{ J/s.}$$

Issiqlik balansini tashkil qiluvchilarning absolyut qiymatlarini bilish issiqlikning dvigatelda taqsimlanishini miqdoriy baholash imkonini beradi. Agar issiqlikning turli dvigatellarida taqsimlanishini qiyoslash zarur bo‘lsa yoki muayyan dvigatelda issiqlikdan foydalanish darajasini baholash lozim bo‘lsa, u holda issiqlik balansining tashkil etuvchilarini nisbiy kattaliklarda, masalan, yonilg‘idan kiritilgan umumiy issiqlikka nisbatan foizda ifodalash qulayroq bo‘ladi:

$$q_{yo,s} = q_c + q_r + q_{sov.} + q_{n,yo} + q_{kol} = 100\%.$$

Issiqlik balansini tashkil qiluvchilarning qiymatlari doimiy bo‘lmaydi, balki dvigatel ishlaganida yuk, tezyurarlik va boshqa omillarga bog‘liq holda o‘zgarib turadi.

Silindrga yonilg‘i bilan kiritiladigan issiqlik, uning foydali ishga aylanishi jarayonida taqsimlanishining xarakterini issiqlik balansining egri chiziqlari ko‘rinishida tasvirlash ko‘rgazmali

bo'radi (7.3- va 7.4-rasmlar). Grafik bog'lanishlar har bir tashkil etuvchini aylanishlar chastotasi, yuk, aralashma tarkibi va h.k. larga bog'liq holda aniqlash asosida tuziladi. Issiqlik balansini qurish uchun ma'lumotlarni maxsus sinovlar o'tkazib yoki avval o'tkazilgan eksperimentlar natijalaridan foydalanib qurish mumkin. Issiqlik balansi dvigatel issiqlik hisobining natijalari bo'yicha qurilishi mumkin.

Karbyuratorli dvigatel va yonilg'i purkaladigan dvigatel issiqlik balansining tashkil etuvchilari 7.8- va 7.9-jadvallarda hamda 7.3- 7.4-rasmlarda keltirilgan.

7.8-jadval

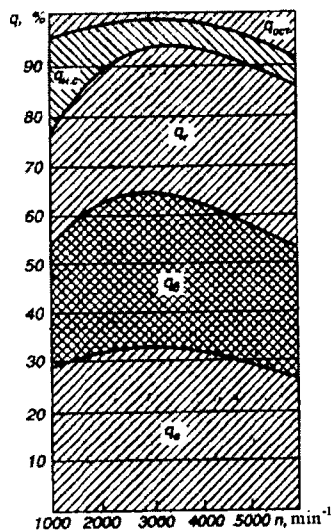
Karbyuratorli dvigatel								
Issiqlik balansining tashkil etuvchilari	Tirsakli val aylanishlar chastotasi, min ⁻¹							
	1000		3200		5600		6000	
	Q , Dj/s	q , %	Q , Dj/s	q , %	Q , Dj/s	q , %	Q , Dj/s	q , %
Effektiv ishga ekvivalent issiqlik	12700	28,9	42770	32,3	60420	27,2	60140	25,8
Sovitutvchi muhitga uzatiladigan issiqlik	10810	24,6	42050	31,7	60510	27,3	63280	27,1
Ishlangan gazlar bilan olib ketiladigan issiqlik	9610	21,8	38770	29,3	41060	32,0	74940	32,1
Yonish kimyoviy noto'liqligi tufayli yo'qotiladigan issiqlik	8680	19,7	7470	5,6	12510	5,7	13150	5,6
Hisobga olinmagan issiqlik yo'qotishlari	2220	5,0	1510	1,1	17420	7,8	21870	9,4
Yonilg'i bilan dvigatelga kiritilgan umumiy issiqlik	44020	100	132570	100	221920	100	233380	100

7.9-jadval

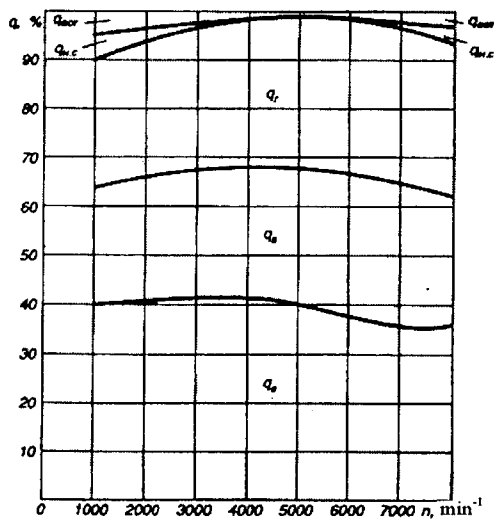
Yonilg'i purkaladigan dvigatel								
Issiqlik balan-sining tashkil etuvchilari	Tirsakli val aylanishlar chastotasi, min ⁻¹							
	900		4000		7000		8000	
	Q , Dj/s	q , %	Q , Dj/s	q , %	Q , Dj/s	q , %	Q , Dj/s	q , %
Effektiv ishga ekvivalent issiqlik	14650	39,8	70590	41,2	110870	36,6	116830	36,6
Sovituvchi muhitga uzatiladigan issiqlik	9072	24,6	46281	27,0	85894	28,3	82253	25,8
Ishlangan gazlar bilan olib ketiladigan issiqlik	9521	25,4	52187	30,4	96861	32,0	100562	31,5
Yonish kimyoviy noto'liqligi tufayli yo'qotiladigan issiqlik	2076	5,6	0	0	0	0	9000	2,8
Hisobga olinmagan issiqlik yo'qotishlari	1509	4,1	2354	1,4	9431	3,1	10702	3,3
Yonilg'i bilan dvigatelga kiritilgan umumiy issiqlik	36828	100	171412	100	303056	100	319347	100

Keltirilgan rasm va jadvallardan shu narsa ko'rinadiki, yonilg'i issiqligining asosiy qismi effektiv ishga va sovituvchi muhitni isitishga sarflanadi hamda ishlangan gazlar bilan yo'qotiladi.

Sovituvchi muhit bilan olib ketiladigan issiqlik miqdoriga birnecha ekspluatatsion va konstruktiv omillar ta'sir qiladi. Tirsakli val aylanishlar chastotasi ortishi, sovitkich harorati ko'tarilishi va havo ortiqqligi koeffitsiyentining ortishi bilan Q_{sov} qiymati kamayadi, sovituvchi yuza o'lchamlari va porshen yo'lining silindr diametriga nisbati kattalashganda esa Q_{sov} ko'payadi. Sovitkichga uzatiladigan issiqlikning asosiy qismini (60–65% gacha) silindr va yonish kamerasi devorlari yonish va kengayish jarayonlari paytida, qolgan qismini esa chiqarish davomida qabul qiladi.



7.3-rasm. Karbyuratorli dvigatel issiqlik balansi tashkil etuvchilarining tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog‘liqligi



7.4-rasm. Yonilg‘ purkaladigan dvigatel issiqlik balansi tashkil etuvchilarining tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog‘liqligi.

Sovutkich bilan olib ketiladigan issiqlik ulushi kamayganida, chiquvchi gazlar bilan olib ketiladigan issiqlik ulushi ko'payadi. Gaz turbinali nadduvli dvigatellarda issiqlikning bunday qayta taqsimlanishi chiquvchi gazlar energiyasining ortishiga, ya'ni gaz turbinasida bajariladigan ishning ko'payishiga sabab bo'ladi. bunday printsip kombinatsiyalashgan dvigatellarda qo'llaniladi.

7.4. Dizelning issiqlik hisobi va issiqlik balansi

Yuk avtomobili uchun mo'ljallangan to'rt taktli dizelning hisobi bajarilsin. Dizel sakkiz silindrli ($i=8$), yonish kamerasi ajratilmagan, hajmiy aralashmali, maksimal quvvatda aylanishlar chastotasi $n_N = 2600 \text{ min}^{-1}$ va siqish darajasi $\varepsilon=17$.

Hisob ikki variant uchun bajarilsin:

- a) effektiv quvvati $N_e=170 \text{ kVt}$ bo'lgan nadduvsiz dizel;
- b) dizel turbonadduvli $p_k=0,17 \text{ MPa}$ (korpusi sovutiladigan va lopatali diffuzorli markazdan qochma kompressor va turbina oldidagi bosim o'zgarmas bo'lgan radial turbina).

7.4.1. Issiqlik hisobi

Yonilg'i. GOST 305-82 ga muvofiq hisoblanayotgan dvigatel uchun dizel yonilg'isini tanlaymiz (yozda ishlashi uchun – L markali va qishda ishlashi uchun – Z markani tanlaymiz). Yonilg'ining tsetan soni 45 dan kam emas.

Dizel yonilg'isining o'rtacha elementar tarkibi

$$S = 0,870; \quad N = 0,126; \quad O = 0,004.$$

Yonilg'i yonishining quyi issiqligi

$$\begin{aligned} Hu &= 33,91S + 125,60N - 10,89(O - S) - 2,51(9N - W) = \\ &= 33,91 \cdot 0,87 + 125,60 \cdot 0,126 - 10,89 \cdot 0,004 - 2,51 \cdot 9 \cdot 0,126 = \\ &= 42,44 \text{ MDj/kg} = 42440 \text{ kDj/kg}. \end{aligned}$$

Ishchi jism parametrlari. 1 kg yonilg'i yonishi uchun havoning zaruriy miqdori

$$L_0 = \frac{1}{0,208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{0,87}{12} + \frac{0,126}{4} - \frac{0,004}{32} \right) = 0,500 \frac{\text{kmol havo}}{\text{kg yonilg'i}};$$

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right) = \frac{1}{0,208} \left(\frac{8}{12} 0,87 + 8 \cdot 0,126 - 0,004 \right) = 14,452 \frac{\text{kmol havo}}{\text{kg yonilg'i}}.$$

Havo ortiqligi koeffitsiyenti. Havo ortiqligi koeffitsiyenti α ni ma'lum chegaragacha kamaytirish dvigatel litrli quvvatini oshiradi va oqibatda silindr o'lchamlarini kichiklashtirish imkonini beradi, lekin bunda dvigatelning, ayniqsa porshen guruhi detallarining, issiqlik kuchlanganligi ortadi, ishlangan gazlar tutunligi ko'payadi. Nadduvsiz, hajmiy aralashmani zamonaviy dizellarning eng yaxshi namunalari nominal rejimda qizib ketmasdan $\alpha=1,4-1,5$ da barqaror ishlaydi; nadduvli dvigatellarda esa $\alpha=1,6-1,8$. ushbu qayd etilganlarga asoslanib quyidagilarni qabul qilamiz: nadduvsiz dizel uchun – $\alpha=1,4$ va nadduvli dizel – $\alpha=1,7$.

Yangi zaryad miqdori:

$\alpha=1,4$ da $M_1 = \alpha L_0 = 1,4 \cdot 0,5 = 0,7$ kmol yangi zar./kg yonilg'i;

$\alpha=1,7$ da $M_1 = \alpha L_0 = 1,7 \cdot 0,5 = 0,85$ kmol yangi zar./kg yonilg'i.

Yonish mahsulotlari alohida komponentlarining miqdori:

$M_{CO_2} = C / 12 = 0,87 / 12 = 0,0725$ kmol SO_2 /kg yonilg'i;

$M_{H_2O} = H / 2 = 0,126 / 2 = 0,063$ kmol N_2O /kg yonilg'i.

$\alpha=1,4$ da:

$M_{O_2} = 0,208(\alpha - 1)L_0 = 0,208(1,4 - 1)0,5 = 0,0416$ kmol O_2 /kg yonilg'i;

$M_{N_2} = 0,792 \alpha L_0 = 0,208 \cdot 1,4 \cdot 0,5 = 0,5544$ kmol N_2 /kg yonilg'i;

$\alpha=1,7$ da:

$M_{O_2} = 0,208(\alpha - 1)L_0 = 0,208(1,7 - 1)0,5 = 0,0728$ kmol O_2 /kg yonilg'i;

$M_{N_2} = 0,792 \alpha L_0 = 0,208 \cdot 1,7 \cdot 0,5 = 0,6732$ kmol N_2 /kg yonilg'i.

Yonish mahsulotlarining umumiy miqdori

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2}$$

$\alpha=1,4$ da:

$M_2 = 0,0725 + 0,063 + 0,0416 + 0,5544 = 0,7315$ kmol yon. mahs./kg yonilg'i;

$\alpha=1,7$ da:

$M_2 = 0,0725 + 0,063 + 0,0728 + 0,6732 = 0,8815$ kmol yon. mahs./kg
yonilg'i.

Atrof-muhit parametrlari va qoldiq gazlar. Atmosfera sharoitlari:

$$r_0 = 0,1 \text{ MPa}; \quad T_0 = 293 \text{ K.}$$

Atrof-muhit bosimi:

nadduvsiz dizellar uchun $r_k = r_0 = 0,1 \text{ MPa}$;

nadduvli dizellar uchun $r_k = 0,17 \text{ MPa}$ – topshiriqqa muvofiq.

Atrof-muhit harorati:

nadduvsiz dizel uchun

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

nadduvli dizel uchun

$$T_k = T_0 (p_k / p_0)^{(n_k-1)/n_k} = 293(0,17/0,1)^{(1,65-1)/1,65} = 361 \text{ K.}$$

bu yerda n_k – siqish politropasi ko'rsatkichi (korpusi sovitiladigan markazdan qochma haydagich (nagnetatel) uchun uchun $n_k = 1,65$).

Qoldiq gazlar harorati va bosim. Nadduvsiz dizelning yetarli darajada siqish darajasi qoldiq gazlar harorati va bosimini pasaytiradi, tirsakli val aylanishlar chastotasining ortishi T_r va p_r qiymatlarini biroz oshiradi. Nadduvda dvigatelning harorat rejimi ko'tariladi, natijada T_r va p_r qiymatlari ortadi. Shuning uchun quyidagilarni qabul qilamiz:

nadduvsiz dizel uchun

$$T_r = 750 \text{ K}, p_r = 1,05 \cdot p_0 = 1,05 \cdot 0,1 = 0,105 \text{ MPa};$$

nadduvli dizel uchun

$$T_r = 800 \text{ K}, p_r = 0,95 \cdot p_k = 0,95 \cdot 0,17 = 0,162 \text{ MPa.}$$

Kiritish jarayoni. Yangi zaryadning qizish harorati. Ko'ri-
layotgan dvigatel yangi zaryadni qizdiruvchi maxsus qurilmaga
ega emas. Nadduvsiz dizelda yangi zaryadning tabiiy qizishi
 $\approx 15-20^\circ\text{C}$ ga etishi mumkin, nadduvli dizelda esa dvigatel
detallari harorati va nadduv havosi harorati orasidagi farq kam
bo'ladi, shu sababli bu havo kamroq qiziydi. Shuning uchun:
nadduvsiz dizel uchun $\Delta T = 20^\circ\text{C}$, nadduvli dizel uchun $\Delta T = 10^\circ\text{C}$
qabul qilamiz.

Kirishda zaryad zichligi

$$\rho_k = \rho_k \cdot 10^6 / (\rho_n \cdot T_k);$$

nadduvsiz dizel uchun $\rho_k = 0,1 \cdot 10^6 / (287 \cdot 293) = 1,189 \text{ kg/m}^3$;

nadduvli dizel uchun $\rho_k = 0,17 \cdot 10^6 / (287 \cdot 3914) = 1,641 \text{ kg/m}^3$.

Dvigatelga kiritishda bosim yo 'qotilishi:

nadduvsiz dizelda

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{kir}) w_{kir}^2 \cdot \rho_k \cdot 10^{-6} / 2 = 2,7 \cdot 70^2 \cdot 1,189 \cdot 10^{-6} / 2 = 0,008 \text{ MPa};$$

nadduvli dizelda

$$\Delta p_a = 2,7 \cdot 70^2 \cdot 1,641 \cdot 10^{-6} / 2 = 0,011 \text{ MPa},$$

bu yerda $(\beta^2 + \xi_{kir}) = 2,7$ va $w_{kir} = 70 \text{ m/s}$ dvigatellarning tezlik rejimlari va nadduvsiz va nadduvli dvigatellarning kiritish tizimida gidravlik qarshiliklarning katta emasligini hisobga olgan holda qabul qilingan.

Kiritish oxirida bosim

$$p_a = p_k - \Delta p_a;$$

nadduvsiz dizelda $r_a = 0,1 - 0,08 = 0,092 \text{ MPa}$;

nadduvli dizelda $r_a = 0,17 - 0,011 = 0,159 \text{ MPa}$.

Qoldiq gazlar koeffitsiyenti

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

nadduvsiz dizelda

$$\gamma_r = \frac{293 + 20}{750} \frac{0,105}{17 \cdot 0,092 - 0,105} = 0,030;$$

nadduvli dizelda

$$\gamma_r = \frac{361 + 10}{800} \frac{0,162}{17 \cdot 0,159 - 0,162} = 0,030.$$

Kiritish oxirida harorat

$$T_a = (T_k + \Delta T + \gamma_r T_r) / (1 + \gamma_r);$$

nadduvsiz dizelda $T_a = (293 + 20 + 0,03 \cdot 750) / (1 + 0,03) = 326 \text{ K}$;

nadduvli dizelda $T_a = (361 + 10 + 0,03 \cdot 800) / (1 + 0,03) = 384 \text{ K}$.

To'lish koeffitsiyenti

$$\eta_v = T_k (\varepsilon \cdot p_a - p_r) / [(T_k + \Delta T)(\varepsilon - 1)p_k];$$

nadduvsiz dizelda

$$\eta_v = 293(17 \cdot 0,092 - 0,105) / [(293 + 20)(17 - 1) \cdot 0,1] = 0,854;$$

nadduvli dizelda

$$\eta_v = 361(17 \cdot 0,159 - 0,162) / [(361 + 10)(17 - 1) \cdot 0,17] = 0,909.$$

Siqish jarayoni. Siqish adiabatasi va politropasining o'rtacha ko'rsatkichlari. Dizel nominal rejimda ishlaganida yetarli darajada aniqlikda siqish politropasi ko'rsatkichini adiabatada ko'rsatkichiga taxminan teng deb qabul qilish mumkin; u nomogramma bo'yicha aniqlanadi (4.20-rasmga qarang):

nadduvsiz dizel uchun $\varepsilon=17$ va $T_a=326$ K da $p_1 \approx k_1=1,370$;

nadduvli dizel uchun $\varepsilon=17$ va $T_a=384$ K da $k_1=1,3615$,
 $p_2 \approx 1,362$.

Siqish oxirida bosim va harorat

$$p_c = p_a \varepsilon^{\eta_v} \text{ va } T_c = T_a \varepsilon^{\eta_v - 1};$$

nadduvsiz dizelda

$$r_s = 0,159 \cdot 17^{1,37} = 4,462 \text{ MPa}, T_s = 326 \cdot 17^{1,37-1} = 930 \text{ K};$$

nadduvli dizelda

$$r_s = 0,159 \cdot 17^{1,362} = 7,538 \text{ MPa}, T_s = 384 \cdot 17^{1,362-1} = 1071 \text{ K}.$$

Siqish oxirida o'rtacha mol issiqlik sig'imi:

$$a) \text{ havoniki } (mc_v)_{t_0}^c = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} t_c;$$

nadduvsiz dizelda

$$(mc_v)_{t_0}^c = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot 657 = 22,333 \text{ kDj/(kmol} \cdot \text{grad)};$$

nadduvli dizelda

$$(mc_v)_{t_0}^c = 20,6 + 2,638 \cdot 10^{-3} \cdot 798 = 22,705 \text{ kDj/(kmol} \cdot \text{grad)};$$

b) qoldiq gazlarniki (3.6-jadvaldan interpolatsiya metodi bo'yicha aniqlanadi):

nadduvsiz dizelda $\alpha=1,4$ va $t_c=657$ °C da

$$(mc_v)_{t_0}^c = 24,168 \text{ kDj/(kmol} \cdot \text{grad)};$$

nadduvli dizelda $\alpha=1,7$ va $t_c=798$ °C da

$$(mc_v)_{t_0}^c = 24,386 \text{ kDj/(kmol} \cdot \text{grad)};$$

v) ishchi aralashmaniki

$$(mc_v)_{t_0}^c = [1/(1 + \gamma_r)] [(mc_v)_{t_0}^c + \gamma_r (mc_v)_{t_0}^c];$$

nadduvsiz dizelda

$$(mc_v)_{t_0}^t = [1/(1+0,03)] [22,333 + 0,03 \cdot 24,168] = 22,386$$

$$\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{grad});$$

nadduvli dizelda

$$(mc_v)_{t_0}^t = [1/(1+0,03)] [22,705 + 0,03 \cdot 24,386] = 22,754$$

$$\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{grad});$$

Yonish jarayoni. Yangi aralashmaning molekulyar o'zgarish koeffitsiyenti:

$$\text{nadduvsiz dizelda } \mu_0 = M_2/M_1 = 0,7315/0,7 = 1,045;$$

$$\text{nadduvli dizelda } \mu_0 = M_2/M_1 = 0,8815/0,85 = 1,045.$$

Ishchi aralashmaning molekulyar o'zgarish koeffitsiyenti:

nadduvsiz dizelda

$$\mu = (\mu_0 + \gamma_r)/(1 + \gamma_r) = (1,045 + 0,03)/(1 + 0,03) = 1,044;$$

nadduvli dizelda

$$\mu = (\mu_0 + \gamma_r)/(1 + \gamma_r) = (1,037 + 0,03)/(1 + 0,03) = 1,036.$$

Ishchi aralashmaning yonish issiqligi:

nadduvsiz dizelda

$$N_{\text{ish. aral.}} = Hu[M_1(I + \gamma_r)] = 42400/[0,7(1 + 0,03)] = 58860$$

$$\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{grad});$$

nadduvli dizelda

$$N_{\text{ish. aral.}} = Hu[M_1(I + \gamma_r)] = 42400/[0,85(1 + 0,03)] = 48480$$

$$\text{kJ}/(\text{kmol} \cdot \text{grad}).$$

Yonish mahsulotlarining o'rtacha mol issiqlik sig'imi:

$$(mc_v)_{t_0}^t = (1/M_2) [M_{CO_2} (mc_{CO_2}^*)_{t_0}^{t_z} + M_{H_2O} (mc_{H_2O}^*)_{t_0}^{t_z} + M_{O_2} (mc_{O_2}^*)_{t_0}^{t_z} + \\ + M_{N_2} (mc_{N_2}^*)_{t_0}^{t_z}]; \quad (mc_p^*)_{t_0}^{t_z} = (mc_v^*)_{t_0}^{t_z} + 8,315;$$

nadduvsiz dizelda

$$(mc_v^*)_{t_0}^{t_z} = (1/0,7315) [0,0725 (39,123 + 0,003349 t_z) + \\ + 0,063 (26,67 + 0,004438 t_z) + 0,0416 (23,723 + 0,00155 t_z) + \\ + 0,5544 (21,951 + 0,001457 t_z)] = 24,160 + 0,00191 t_z;$$

$$(mc_p^*)_{t_0}^{t_z} = 24,160 + 0,00191 t_z + 8,315 = 32,475 + 0,00191 t_z;$$

nadduvli dizelda

$$\begin{aligned}
 (mc_v')_{t_0}^{t_z} &= (1/0,8815)[0,0725(39,123 + 0,003349 t_z) + \\
 &+ 0,063(26,67 + 0,004438 t_z) + 0,0728(23,723 + 0,00155 t_z) + \\
 &+ 0,6732(21,951 + 0,001457 t_z)] = 23,847 + 0,00183 t_z; \\
 (mc_p'')_{t_0}^{t_z} &= 23,847 + 0,00183 t_z + 8,315 = 32,162 + 0,00183 t_z.
 \end{aligned}$$

Issiqlikdan foydalanish koeffitsiyentini yonish kamerasi ajratilmagan, hajmiy aralashma hosil bo'lishi yaxshi tashkil qilingan zamonaviy nadduvsiz dizellar uchun $\xi_z=0,82$, nadduvli dizelda esa detallarning issiqlikdan kuchlanganligi ortishi va yonish jarayonining kechishi uchun qulay sharoitlar yaratilishi tufayli $\xi_z=0,86$ qabul qilish mumkin.

Dizelda bosimning ortish darajasi asosan yonilg'ining siklaviy uzatilishiga bog'liq. Krivoship-shatunli mexanizm detallariga gazdan ta'sir qiladigan yuklarni kamaytirish nuqtai nazaridan yonishning maksimal bosimi 11–12 MPa dan ortiq bo'lmasligi maqsadga muvofiq bo'ladi. Shularni hisobga olib nadduvsiz dizel uchun $\lambda=2,0$ va nadduvli dizel uchun $\lambda=1,5$ qabul qilamiz.

Asosiy yonish jarayoni oxirida harorat

$$\xi_z H_{\text{ish. avat.}} + [(mc_v')_{t_0}^{t_z} + 8,315 \lambda] t_z + 2270(\lambda - \mu) = \mu (mc_p'')_{t_0}^{t_z} t_z \therefore$$

nadduvsiz dizelda

$$\begin{aligned}
 0,82 \cdot 58860 + [22,386 + 8,315 \cdot 2] \cdot 657 + 2270(2,0 - 1,044) = \\
 = 1,044(32,475 + 0,00191 t_z) t_z
 \end{aligned}$$

yoki

$$0,001994 t_z^2 + 33,904 t_z - 76069 = 0,$$

u yerdan

$$t_z = \frac{-33,904 + \sqrt{33,904^2 + 4 \cdot 0,001994 + 76069}}{2 \cdot 0,001994} = 2007 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_z = t_z + 273 = 2007 + 273 = 2280 \text{ K};$$

nadduvli dizelda

$$\begin{aligned}
 0,86 \cdot 48480 + [22,754 + 8,315 \cdot 1,5] \cdot 798 + 2270(1,5 - 1,036) = \\
 = 1,036(32,162 + 0,00183 t_z) t_z
 \end{aligned}$$

yoki

$$0,001896 t_z^2 + 33,320 t_z - 70860 = 0,$$

u yerdan

$$t_z = \frac{-33,32 + \sqrt{33,32^2 + 4 \cdot 0,001896 + 70860}}{2 \cdot 0,001896} = 1919 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_z = t_z + 273 = 1919 + 273 = 2192 \text{ K.}$$

Yonishning maksimal bosimi:

nadduvsiz dizelda $p_z = \lambda p_s = 2,0 \cdot 4,462 = 8,924 \text{ MPa}$;

nadduvli dizelda $p_z = \lambda p_s = 1,5 \cdot 7,538 = 11,307 \text{ MPa}$.

Dastlabki kengayish darajasi

nadduvsiz dizelda $\rho = \mu T_z / (\lambda T_s) = 1,044 \cdot 2280 / (2,0 \cdot 930) = 1,28$;

nadduvli dizelda $\rho = \mu T_z / (\lambda T_s) = 1,036 \cdot 2192 / (1,5 \cdot 1071) = 1,41$.

Kengayish jarayoni. Keyingi kengayish darajasi:

nadduvsiz dizelda $\delta = \rho = 17/1,28 = 13,28$;

nadduvli dizelda $\delta = \rho = 17/1,41 = 12,06$.

Kengayish adiabatasi va politropasining o'rtacha ko'rsatkichlar dizellarda quyidagicha tanlanadi. Dvigatelning nominal ish rejimida kengayish politropasining ko'rsatkichi silindr o'lchamlarining yetarli darajada kattaligini hisobga olib, kengayish adiabatasi ko'rsatkichidan biroz kichikroq tanlanadi; adiabata ko'rsatkichi esa nomogrammadan (4.45-rasmga qarang) aniqlanadi.

Kengayish politropasining ko'rsatkichi:

nadduvsiz dizelda $\delta = 13,28$, $T_z = 2280 \text{ K}$ va $\alpha = 1,4$ da $k_2 = 1,2728$, kengayish politropasi ko'rsatkichini $p_2 = 1,260$ qabul qilamiz;

nadduvli dizelda $\delta = 12,06$, $T_z = 2192 \text{ K}$ va $\alpha = 1,7$ da $k_2 = 1,2792$, $p_2 = 1,267$ deb qabul qilamiz.

Kengayish oxirida bosim va harorat:

nadduvsiz dizelda

$$p_e = p_z / \delta^{n_2} = 8,924 / 13,28^{1,26} = 0,342 \text{ MPa};$$

$$T_e = T_z / \delta^{n_2-1} = 2280 / 13,28^{1,26-1} = 1164 \text{ K};$$

nadduvli dizelda $p_e = p_z / \delta^{n_2} = 11,307 / 12,06^{1,267} = 0,482 \text{ MPa}$;

$$T_e = T_z / \delta^{n_2-1} = 2192 / 12,06^{1,267-1} = 1129 \text{ K.}$$

Qoldiq gazlarning ilgari qabul qilingan haroratini tekshirish:
nadduvsiz dizelda

$$T_r = T_e / \sqrt[3]{p_e / p_r} = 1164 / \sqrt[3]{0,343 / 0,105} = 784 \text{ K};$$

$$\Delta = 100(784 - 750) / 784 = 4,3\%, \text{ bu ruxsat etiladi,}$$

nadduvli dizelda

$$T_r = T_e / \sqrt[3]{p_e / p_r} = 1129 / \sqrt[3]{0,482 / 0,162} = 786 \text{ K};$$

$$\Delta = 100(786 - 750) / 786 = 1,8\%, \text{ bu ruxsat etiladi.}$$

Ishchi siklning indikator parametrlari. Nazariy o'rtacha indikator bosim

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right];$$

nadduvsiz dizelda

$$p_i' = \frac{4,462}{17 - 1} \left[2(1,28 - 1) + \frac{2 \cdot 1,28}{1,26 - 1} \left(1 - \frac{1}{13,28^{1,26 - 1}} \right) - \frac{1}{1,37 - 1} \left(1 - \frac{1}{17^{1,37 - 1}} \right) \right] = 1,011 \text{ MPa};$$

nadduvli dizelda

$$p_i' = \frac{7,538}{17 - 1} \left[1,5(1,41 - 1) + \frac{1,5 \cdot 1,41}{1,267 - 1} \left(1 - \frac{1}{12,06^{1,267 - 1}} \right) - \frac{1}{1,362 - 1} \left(1 - \frac{1}{17^{1,362 - 1}} \right) \right] = 1,266 \text{ MPa.}$$

O'rtacha indikator bosim

nadduvsiz dizelda $p_i = \varphi_u p_i' = 0,95 \cdot 1,011 = 0,960 \text{ MPa}$, bu yerda diagramma to'liqligi koeffitsiyenti $\varphi_u = 0,95$ qabul qilingan;

nadduvli dizelda $p_i = \varphi_u p_i' = 0,95 \cdot 1,266 = 1,203 \text{ MPa}$.

Indikator f.i.k. dizellar uchun

$$\eta_i = p_i l_0 \alpha / (Hu \rho_k \eta_v)$$

nadduvsiz dizelda

$$\eta_i = 0,96 \cdot 14,452 \cdot 1,4 / (42,44 \cdot 1,189 \cdot 0,854) = 0,450;$$

nadduvli dizelda

$$\eta_i = 1,203 \cdot 14,452 \cdot 1,7 / (42,44 \cdot 1,641 \cdot 0,909) = 0,467.$$

Yonilg'ining indikator solishtirma sarfi:

nadduvsiz dizelda

$$g_i = 3600 / (Hu \eta_i) = 3600 / (42,44 \cdot 0,45) = 189 \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)};$$

nadduvli dizelda

$$g_i = 3600 / (Hu \eta_i) = 3600 / (42,44 \cdot 0,467) = 182 \text{ g/(kVt} \cdot \text{soat)}.$$

Dvigatelnining effektiv ko'rsatkichlari. Mexanik yo'qotishlarning o'rtacha bosimi

$r_m = 0,089 + 0,0118 v_{p.o'r} = 0,089 + 0,0118 \cdot 10,2 = 0,212 \text{ MPa}$,
 bu yerda porshenning o'rtacha tezligi $v_{p.o'r} = 10,2 \text{ m/s}$ qabul qilingan.

O'rtacha effektiv bosim va mexanik f.i.k.:

nadduvsiz dizelda $r_e = r_i - r_m = 0,960 - 0,212 = 0,748 \text{ MPa}$;

$\eta_m = r_e / r_m = 0,748 / 0,96 = 0,779$;

nadduvli dizelda $r_e = r_i - r_m = 1,203 - 0,212 = 0,991 \text{ MPa}$;

$\eta_m = r_e / r_m = 0,991 / 1,203 = 0,824$.

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

nadduvsiz dizelda $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,45 \cdot 0,779 = 0,351$;

$g_e = 3600 / (Hu \cdot \eta_e) = 3600 / (42,44 \cdot 0,351) = 242 \text{ g/(kVt}\cdot\text{soat)}$;

nadduvli dizelda $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = 0,467 \cdot 0,824 = 0,385$;

$g_e = 3600 / (Hu \cdot \eta_e) = 3600 / (42,44 \cdot 0,385) = 220 \text{ g/(kVt}\cdot\text{soat)}$.

Silindr va dvigatelnining asosiy parametrlari. Dvigatel litraji

$$V_l = 30 \tau N_e / (p_e n) = 30 \cdot 4 \cdot 170 / (0,748 \cdot 2600) = 10,49 \text{ l.}$$

Silindrning ishchi hajmi

$$V_h = V_l / i = 10,49 / 8 = 1,311 \text{ l.}$$

Dizel silindri diametri va porshen yo'li, odatda, porshen yo'lining silindr diametriga nisbati $S/D \geq 1$ da tanlanadi. Dizelda S/D nisbatning kamaytirilishi, karbyuratorli dvigatellardagi kabi, porshen tezligini kamaytiradi va η_m ni oshiradi. Shuning uchun $S/D=1$ ni qabul qilish maqsadga muvofiq bo'ladi:

$$D = 100^3 \sqrt{V_h / (\pi S / D)} = 100^3 \sqrt{4 \cdot 1,311 / (3,14 \cdot 1)} = 118,7 \text{ mm.}$$

qabul qilamiz $D=S=120 \text{ mm}$.

D va S ning qabul qilingan qiymatlari bo'yicha dvigatellarning asosiy parametrlari va ko'rsatkichlari aniqlanadi:

$$V_l = \pi D^2 S i / (4 \cdot 10^6) = 3,14 \cdot 120^2 \cdot 8 / (4 \cdot 10^6) = 10,852 \text{ l;}$$

$$V_l = \pi D^2 / 4 = 3,14 \cdot 120^2 / 4 = 11300 \text{ mm}^2 = 113 \text{ sm}^2;$$

$$v_{p.o'r} = S n / (3 \cdot 10^4) = 120 \cdot 2600 / (3 \cdot 10^4) = 10,4 \text{ v/c,}$$

$v_{p.o'r} = 10,4 \text{ m/s}$ dastlab qabul qilingan $v_{p.o'r} = 10,2 \text{ m/s}$ qiymatga yetarli darajada yaqin, xatolik 2% dan kichik.

Dvigatelning asosiy effektiv ko'rsatkichlari:

nadduvsiz dizel uchun

$$N_e = p_e V_1 n / (30 \tau) = 0,748 \cdot 10,852 \cdot 2600 / (30 \cdot 4) = 175,9 \text{ kVt};$$

$$M_e = 3 \cdot 10^4 \cdot N_e / (\pi n) = 30 \cdot 10^4 \cdot 175,9 / (3,14 \cdot 2600) = 646,4 \text{ n} \cdot \text{m};$$

$$G_{\text{yo. soat}} = N_e \cdot g_e = 175,9 \cdot 0,242 = 42,57 \text{ kg/soat};$$

$$N_1 = N_e / V_1 = 175,9 / 10,852 = 16,21 \text{ kVt/dm}^3;$$

nadduvsiz dizel uchun

$$N_e = p_e V_1 n / (30 \tau) = 0,991 \cdot 10,852 \cdot 2600 / (30 \cdot 4) = 233,0 \text{ kVt};$$

$$M_e = 3 \cdot 10^4 \cdot N_e / (\pi n) = 30 \cdot 10^4 \cdot 233,0 / (3,14 \cdot 2600) = 856,2 \text{ n} \cdot \text{m};$$

$$G_{\text{yo. soat}} = N_e \cdot g_e = 233,0 \cdot 0,220 = 51,26 \text{ kg/soat};$$

$$N_1 = N_e / V_1 = 233,0 / 10,852 = 21,47 \text{ kVt/dm}^3.$$

7.4.2. Dizelning issiqlik balansi

Yonilg'i bilan dvigatelga kiritilgan issiqlikning umumiy miqdori:

nadduvsiz dizelda

$$Q_{\text{yo}} = H_u G_{\text{yo}} / 3,6 = 42400 \cdot 42,57 / 3,6 = 501850 \text{ Dj/s};$$

nadduvli dizelda

$$Q_{\text{yo}} = H_u G_{\text{yo}} / 3,6 = 42400 \cdot 51,26 / 3,6 = 604300 \text{ Dj/s}.$$

1 sekunda bajarilgan effektiv ishga ekvivalent issiqlik:

nadduvsiz dizelda

$$Q_e = 1000 N_e = 1000 \cdot 175,9 = 175900 \text{ Dj/s};$$

nadduvli dizelda

$$Q_e = 1000 N_e = 1000 \cdot 233,0 = 233000 \text{ Dj/s}.$$

Sovituvchi muhitga uzatiladigan issiqlik:

nadduvsiz dizelda

$$Q_s = ciD^{1+2m} n^m (1/\alpha) = 0,48 \cdot 8 \cdot 12,0^{1+2 \cdot 0,67} \cdot 2600^{0,67} (1/1,4) = 178460 \text{ Dj/s};$$

nadduvli dizelda

$$Q_s = ciD^{1+2m} n^m (1/\alpha) = 0,53 \cdot 8 \cdot 12,0^{1+2 \cdot 0,68} \cdot 2600^{0,68} (1/1,7) = 184520 \text{ Dj/s}.$$

bu yerda s – proporsionallik koeffitsiyenti (to‘rt taktli dvigatellar uchun $s=0,45-0,53$); i – silindrlar soni; D – silindr diametri, sm; t – daraja ko‘rsatkichi (to‘rt taktli dvigatellar uchun $t=0,6-0,7$); p – tirsakli valning aylanishlar chastotasi, min^{-1} .

Ishlangan gazlar bilan olib ketiladigan issiqlik (nadduvli dizelda ishlangan gazlar issiqligining bir qismi gazli turbinada foydalaniladi)

$$Q_r = (G_g / 3,6) [M_2 (mc_p'')_{t_0}^r t_r - M_1 (mc_p)_{t_0}^k t_k];$$

nadduvsiz dizelda

$$Q_g = (42,57 / 3,6) [0,7315 \cdot 31,892 \cdot 511 - 0,7 \cdot 29,09 \cdot 20] = 136150 \text{ Dj/s};$$

bu yerda

$$(mc_p'')_{t_0}^r = (mc_v'')_{t_0}^r + 8,315 = 23,577 + 8,315 = 31,892$$

Dj/(kmol)·grad;

$$(mc_v'')_{t_0}^r = 23,577 - 3,6\text{-jadvaldan } \alpha=1,4 \text{ va } t_r=T_r-273=784-273=511 \text{ } ^\circ\text{S};$$

$$(mc_p)_{t_0}^k = (mc_v)_{t_0}^k + 8,315 = 20,775 + 8,315 = 29,090$$

Dj/(kmol)·grad;

$$(mc_v)_{t_0}^k = 20,775 - 3,6\text{-jadvaldan } t_k=T_k-273=293-273=20^\circ\text{C da}$$

«Havo» grafigidan aniqlangan;

nadduvli dizelda

$$Q_g = (51,26 / 3,6) [0,8815 \cdot 31,605 \cdot 513 - 0,85 \cdot 29,144 \cdot 88] = 164770$$

Dj/s

bu yerda

$$(mc_p'')_{t_0}^r = (mc_v'')_{t_0}^r + 8,315 = 23,290 + 8,315 = 31,605$$

Dj/(kmol)·grad;

$$(mc_v'')_{t_0}^r = 23,290 - 3,6\text{-jadvaldan } \alpha=1,7 \text{ va } t_r=T_r-273=786-273=513 \text{ } ^\circ\text{C da interpolyatsiya metodi bilan aniqlangan};$$

$$(mc_p)_{t_0}^k = (mc_v)_{t_0}^k + 8,315 = 20,829 + 8,315 = 29,144$$

Dj/(kmol)·grad;

$$(mc_v)_{t_0}^k = 20,829 - 3,3\text{-jadvaldan } t_k=T_k-273=361-273=88 \text{ } ^\circ\text{C da}$$

«Havo» grafigidan aniqlangan;

Hisobga olinmagan issiqlik yo'qotishlar

$$Q_{qol} = Q_{yo} - (Q_e + Q_s + Q_g);$$

nadduvsiz dizelda

$$Q_{qol} = 501850 - (175900 + 178460 + 136450) = 11340 \text{ Dj/s};$$

nadduvli dizelda

$$Q_{qol} = 604300 - (233000 + 184520 + 164770) = 22010 \text{ Dj/s}.$$

Issiqlik balansining tashkil etuvchilari 7.10-jadvalda keltirilgan.

7.10-jadval

Issiqlik balansining tashkil etuvchilari	Nadduvsiz dizel		Nadduvli dizel	
	Q, Dj/s	q, %	Q, Dj/s	q, %
Effektiv ishga ekvivalent issiqlik	175900	35,1	233000	38,6
Sovituvchi muhitga uzatiladigan issiqlik	178460	35,6	184520	30,5
Ishlangan gazlar bilan olib ketiladigan issiqlik	136150	27,1	164770	27,3
Hisobga olinmagan issiqlik yo'qotishlar	11340	2,2	22010	3,6
Dvigatelga yonilg'i bilan kiritilgan issiqlikning umumiy miqdori	501850	100,0	604300	100,0

VIII BOB. ICHKI YONUV DVIGATELLARINING XARAKTERISTIKALARI

8.1. Ijodlarining ish rejimlari

Ijodlari sanoat, qurilish, qishloq xo'jaligi va transportning turli jabhalarida qo'llaniladi. Bu issiqlik dvigatellari ishlab chiqaradigan energiyadan iste'mol qilinayotgan quvvatning o'zgarish tavsifi turli bo'lgan iste'molchilar foydalanishadi, iste'mol qilinayotgan quvvat o'zgarishining tavsifi esa issiqlik dvigateli vazifasi bilan belgilanadi. Statsionar ichki yonuv dvigatellari tashqi yukning istalgan o'zgarishida qat'iy muayyan aylanishlar chastotasida ishlaydi. Statsionar dvigatellardan farqli ravishda avtomobil va qisman traktor dvigatellari yuk va valning aylanishlar chastotasi keng diapazonda o'zgaradigan ekspluatatsiya sharoitlarida ishlashadi. Bu o'zgarishlar diapazoni dvigatel ishlashining ruxsat etiladigan sharoitlari bilan belgilanadi va turli omillar: dvigatel detallarining issiqlik va mexanik kuchlanganligi, ishchi jarayonning kechish sharoitlari va boshqalar bilan cheklanishi mumkin. Minimal ruxsat etiladigan tezlik rejimi dvigatel barqaror ishlashi shartlari bilan belgilanadi.

Dvigatelning 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.

Dvigatel va uning holatini baholash uchun

rejim n , N_e , p_e , η_v , $G_{yo.sikl}$ va boshqa;

rostlovchi α , $\varphi_{o.o.i.b.}$, $\varphi_{yo.p.i.b.}$, $\varphi_{yo.p.}$, p_k va boshqa parametrlardan foydalanishadi.

Iyod ko'rsatkichlarining, qolgan parametrlari o'zgarmas bo'lganda, bir yoki bir necha parametrlarga bog'liqligining grafik ifodasi *dvigatel xarakteristikasi* deyiladi. Iyod xarakteristikalari bo'yicha uning ekspluatatsion sifatlari, ishchi jarayon va kons-

truksiyasining takomilligi darajasi, rostlanishlarning to'g'riligi hamda dvigatelning u yoki bu vazifaga mosligi baholanadi.

Dvigatel xarakteristikalarini dvigatelning barqaror ish rejimlarida aniqlanadi. Barqaror rejim dvigatel quvvati N_e va iste'molchi (qarshilik) quvvati N_q bilan tavsiflanadi, ya'ni

$$N_e - N_q = 0; \quad \frac{dN_e}{dt} = \frac{dN_q}{dt} = 0.$$

Dvigatel salt ishi rejimi indikator quvvati N_e va mexanik yo'qotishlar quvvati N_m tengligi $N_i = N_m$ bilan tavsiflanadi.

Dvigatel xarakteristikalarini maxsus stendlarda rejimlarning hamma diapazonlarida eksperimental aniqlanadi. Bunday stendlar *tormoz stendlari* deb ataladi. Ular dvigatel asosiy ko'rsatkichlari va ish rejimining parametrlarini o'lchash vositalari bilan jihozlangan bo'lishi kerak. Stend sinovlari metodlari standartlashtirilgan.

Avtomobil va traktor dvigatellari uchun yuk va tirsakli valning aylanishlar chastotasi har xil bo'lganda effektiv quvvatning qiymatlari katta ahamiyatga ega. Bunda har bir aylanishlar chastotasi uchun maksimal effektiv quvvat alohida ahamiyatga ega, chunki ular qolgan sharoitlar bir xil bo'lganda avtomobil yoki traktorning dinamik sifatlarini belgilaydi. Yuk to'liq bo'lganda effektiv quvvatlarga mos yonilg'ining bir soatdagi yoki solish-tirma sarflari dvigatelning iqtisodiy ko'rsatkichlarini aniqlaydi.

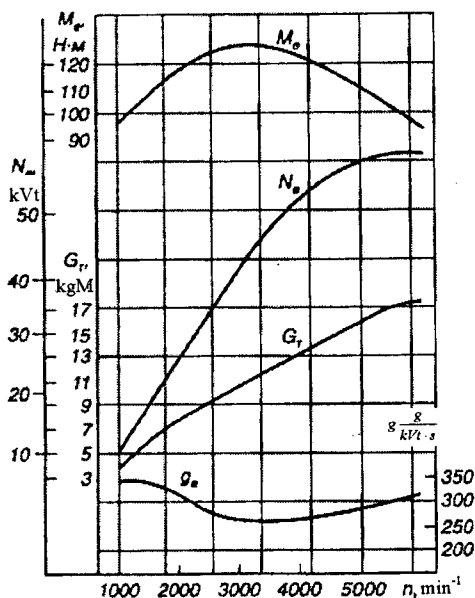
Shunday qilib, avtomobil va traktor uchun effektiv quvvatning eng katta qiymatlari va ularga mos dvigatelning to'liq yuki va har xil aylanishlar chastotasidagi yonilg'i sarfi eng ahamiyatli ko'rsatkichlardir.

8.2. Tezlik xarakteristikalarini

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. Yer usti transporti tizimlari uchun tezlik xarakteristikasi asosiy xarakteristika hisoblanadi. Tezlik xarakteristikasi quvvat, burovchi moment, yonilg'i

sarfi va boshqa parametrlarning o'zgarishini tirsakli val aylanishlar chastotasi bo'yicha o'zgarishini ko'rsatadi. Yonilg'i uzatuvini boshqaruvchi organ holatiga qarab tashqi va qisman tezlik xarakteristikalarini farqlashadi.

Drossel to'sig'i ochilganda (benzinli dvigatel) yoki yonilg'i nasosi reykasining nominal quvvatga mos holatida (dizel) olingan tezlik xarakteristikasi – *tashqi tezlik xarakteristikasi* deyiladi. Tashqi tezlik xarakteristikasi dvigatel to'liq yukda ishlaganida uning quvvat, tejamkorlik, dinamik va ekspluatatsion ko'rsatkichlarini tahlil qilish va baholash imkonini beradi.

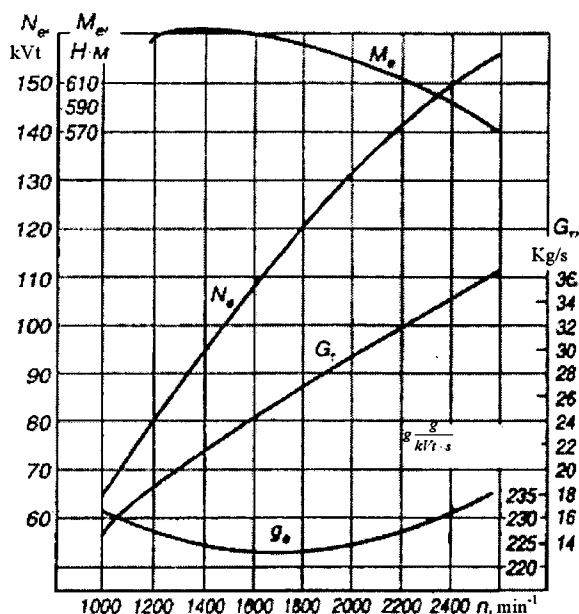


8.1-rasm. Karbyuratorli dvigatelning tezlik xarakteristikasi.

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. Bunday xarakteristikalaridan yuk qisman bo'lganda dvigatel ishiga qator omillarning (o't oldirish ilgariligi burchagi, yonilg'i purkash ilgariligi burchagi va

uning davomiyligi, aralashma tarkibi, minimal barqaror aylanishlar chastotasi va sh. k.lar) ta'sirini o'rganishda foydalanishadi; bu xarakteristikalar dvigatelning quvvat va tejamkorlik ko'rsatkichlarini yaxshilash yo'lini belgilash imkonini beradi.

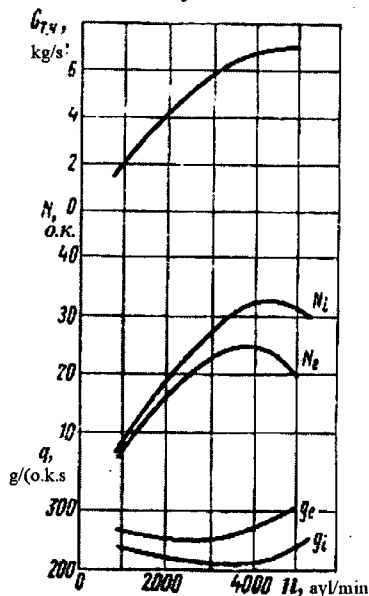
8.1-rasmda benzinli dvigatelning, 8.2-rasmda esa dizelning tashqi tezlik xarakteristikalari keltirilgan. Tashqi tezlik xarakteristikasi dvigatel ish rejimlari maydonining yuqori chegarasini ifodalaydi.



8.2-rasm. Dizelning tezlik xarakteristikasi.

Benzinli dvigatellarning tashqi tezlik xarakteristikalari. Dvigatel tashqi tezlik xarakteristikasi bilan belgilanadigan quvvat egri chizig'i o'zgarishining tavsifi yuk to'liq bo'lgandan valning har xil aylanishlar chastotasida indikator quvvat va mexanik yo'qotishlar quvvati hamda yonilg'ining bir soatdagi sarfi o'zgarishlariga bog'liq.

To'liq yukda ishlayotgan dvigatel yonilg'isining bir soatdagi sarfi $G_{yo.soat}$, indikator w_i va effektiv w_e quvvatlari hamda ularga mos yonilg'ining solishtirma sarflari g_i va g_e larni ifodalovchi egri chiziqlar 8.3-rasmda keltirilgan. Indikator quvvat w_i maksimal qiymatga taxminan 4500 min^{-1} aylanishlar chastotasida erishadi.



8.3-rasm. Karbyuratorli dvigatelning tashqi tezlik xarakteristikasi.

Indikator quvvatdan effektiv quvvatga o'tish uchun mexanik yo'qotishlarni hisobga olish lozim, ular esa aylanishlar chastotasi ortishi bilan ko'payib boradi. Mexanik yo'qotishlar mavjudligi tufayli effektiv quvvat indikator quvvatdan kam, yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi esa mos indikator sarfdan ko'p bo'ladi. effektiv quvvat N_e maksimal qiymatga yetgandagi aylanishlar chastotasi *nominal* n_e deb ataladi. Bu aylanishlar chastotasi indikator quvvat maksimal qiymatga erishadigan aylanishlar chastotasidan taxminan 20% kichikroq bo'ladi, chunki katta aylanishlar chastotasida mexanik yo'qotishlar sezilarli darajada ortib ketadi.

Bu dvigatelda yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi 250–280 g/(e·kVt·soat) oralig'ida o'zgaradi. Nominal aylanishlar chastotasining taxminan yarmiga teng bo'lgan o'rtacha aylanishlar chastotasida yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi g_e eng kam bo'ladi. Kichik aylanishlar chastotasida yonilg'ining solishtirma (indikator va effektiv) sarfining ortishiga sabab – yonilg'ining sekin yonishi va devorlarga issiqlik uzatilishi (yo'qotilishi)ning ortishida, katta aylanishlar chastotasida ularning ortishi esa asosan nasos va mexanik yo'qotishlari hisobiga bo'ladi. shu sababli katta aylanishlar chastotasida solishtirma effektiv sarf indikator sarfga nisbatan tezroq ortadi.

Dvigatelning qisman tezlik xarakteristikalar

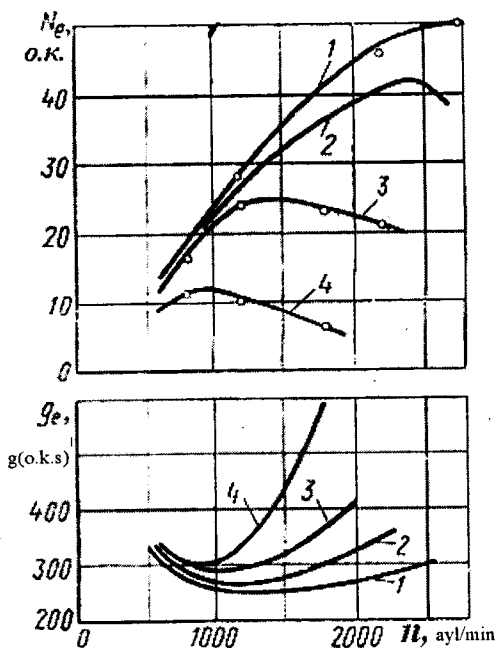
Har bir qisman tezlik xarakteristika ma'lum yukga, ya'ni drossel to'sig'i yoki nasos reykasining muayyan holatiga mos keladi, natijada bu xarakteristikalar soni istalgancha, tashqi tezlik xarakteristikasi esa faqat bitta bo'ladi. Benzinli dvigatellar drossel to'lig'icha ochiq bo'lmagan holda ishlaganda sikl bosimlari pasayadi, yonishda ajralib chiqadigan issiqlik kamayadi va yonish sekin boradi, nasos, issiqlik va mexanik yo'qotishlarning nisbiy miqdori ortadi va natijada tezlik xarakteristikalarining xarakteri o'zgaradi.

8.4-rasmda dvigatelning tashqi tezlik xarakteristikasi (1-chiziq) va uchta qisman tezlik xarakteristikalar (2, 3 va 4-chiziq), ya'ni drossel 100, 60, 40 va 20% ochiq bo'lganda effektiv quvvatlar va ularga mos yonilg'ining effektiv solishtirma sarflari keltirilgan. Drossel to'sig'i berkilib borgani sari sikl bosimlari pasayib va yuqorida qayd qilingan yo'qotishlarning nisbiy qiymatlari ortib boradi.

Shu sababli drossel to'sig'i berkilib borgani sari effektiv quvvatlarning maksimal qiymatlari kichik aylanishlar chastotasi tomon surilib boradi, yonilg'ining effektiv solishtirma sarfi esa tezroq ko'payib boradi.

Dizellar nominal aylanishlar chastotasi n_{pe2} ni belgilovchi regulyatorlar bilan ishlaydi, bu aylanishlar chastotasida effektiv

quvvat maksimal qiymatga erishadi. Yuk kamaygani sari dizel tobora kambag'alroq aralashmada ishlaydi, buning oqibatida silindrlardagi gazlarning haroratlari pasayadi, issiqlik yo'qotilishi kamayadi, nasos yo'qotishlar esa deyarli o'zgarmaydi. Lekin benzinli dvigatellardagiga nisbatan dizellardagi mexanik yo'qotishlarning nisbiy miqdori ortadi va natijada kichik yuklarda dizelning yonilg'i tejamkorligi biroz yomonlashadi.



8.4-rasm. Valning har xil aylanishlar chastotasida effektiv quvvatlar va ularga mos yonilg'ining effektiv solishtirma sarflari.

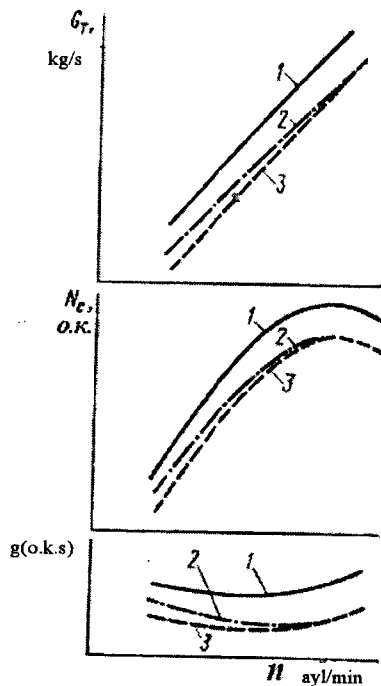
Dizellarning tashqi tezlik xarakteristikalari. Hozirgi paytda dizellar yuk avtomobillariga va avtobuslarga, ba'zi hollarda esa yengil avtomobillarga ham, o'rnatilmoqda. Dizellarda yonilg'i-ning solishtirma sarfi nominal rejimda benzinli dvigatellardagiga nisbatan 20–30% kam va yuk kamayganda bu sarf benzinli dvigatellardagi kabi keskin ortmaydi.

Traktor dizellarining ish rejimi avtomobil dizellarinikiga nisbatan ancha og'ir, chunki ular ishning ko'p vaqtida deyarli to'liq yuk ostida ishlaydi, bunda aylanishlar chastotasi nominalga yaqin bo'ladi.

Yuqorida qayd qilinganidek, dizellarda havo ortiqqligi koefitsiyenti katta bo'ladi, natijada ulardagi effektiv bosim benzinli dvigatellardagiga nisbatan kichik bo'ladi.

Dizellarda yonilg'i nasosi reykasining o'rnatilishi bo'yicha uch xil tezlik xarakteristikalari olinishi mumkin.

1. Chegaraviy (absolyut) tezlik xarakteristika. Valning har bir aylanishlar chastotasida yonilg'i nasosining reykasi eng katta effektiv quvvat olinishini ta'minlaydigan holatga o'rnatilganida bunday xarakteristika olinadi (8.5-rasm, 1-chiziqlar).



8.5-rasm. Dizelning tashqi tezlik xarakteristikalari.

Ekspluatatsiya sharoitida dizelning chegaraviy xarakteristika bo'yicha uzoq vaqt ishlashi ruxsat etilmaydi, chunki bunda yonish kamerasida so'xta qatlami hosil bo'ladi, dizel qizib ketadi va quyuq tutun chiqq boshlaydi.

Chegaraviy xarakteristikaning ahamiyati shundaki, u dizelning maksimal quvvat ko'rsatkichlarini aniqlash imkonini beradi.

2. Tutash chegarasi bo'yicha tezlik xarakteristika. Bu tezlik xarakteristikasi ham dizelni sinash yo'li bilan aniqlanadi; har bir aylanishlar chastotasi uchun yonilg'i nasos reykasi (maksimalga yaqin) shunday holatga o'rnatiladiki, unda chiquvchi gazlar biroz tutun hosil bo'ladi; bunda dizel oldingiga nisbatan sezilarli darajada tejamkor ishlaydi. Yonilg'ining bunday siklaviy sarfini korrektor ta'minlaydi; u yonilg'i sarfi 12–20% gacha kamayadi. Mos ravishda yonilg'ining 1 soatdagi va solishtirma sarflari va effektiv quvvat kamayadi (8.5-rasm, 2-chiziqlar), dizelda issiqlikdan foydalanish yaxshilanadi.

3. Tashqi ekspluatatsion tezlik xarakteristika. Bu xarakteristikani olish uchun dizel, regulyator bilan aniqlanadigan, nominal aylanishlar chastotasida sinaladi, yonilg'i nasosining reykasi esa chiquvchi gazlarda bilinar-bilinmas tutun hosil bo'ladigan holatga tutash chegarasi bo'yicha tezlik xarakteristikasi olingan holatga o'rnatiladi, shuning uchun nominal aylanishlar chastotasida ikkala xarakteristikada quvvat va unga mos yonilg'i sarflari bir-biriga teng bo'ladi.

Keyinchalik reykaning holati o'zgartirilmasdan dizel har xil aylanishlar chastotasida sinaladi. Bunda valning aylanishlar chastotasi kamaygani sari dizel silindrlariga kiradigan havo miqdori ko'payib boradi, aralashma yanada kambag'allashib boradi. Buning natijasida quvvat pasayadi, yonilg'ining 1 soatdagi va solishtirma sarflari kamayadi (8.5-rasm, 3-chiziqlar), bu esa dizel ekspluatatsiya sharoitida tejamliroq ishlashidan dalolat beradi.

8.3. Tezlik xarakteristikasini hisoblash

Dvigatelning bir ish rejimi – maksimal quvvat rejimi uchun bajarilgan issiqlik hisobi natijalari bo'yicha empirik bog'lanish-

lardan foydalanib yetarli darajada aniqlikda tashqi tezlik xarakteristikani qurish mumkin.

Tezlik xarakteristikasi:

a) benzinli dvigatellar uchun $n_{\min}=600-1000 \text{ min}^{-1}$ dan $n_{\max}=(1,05...1,20)n_N$ gacha;

b) dizellar uchun $n_{\min}=300-800 \text{ min}^{-1}$ dan $n_N(n_{\text{reg}})$ gacha oraliqda quriladi.

Tirsakli valning maksimal aylanishlar chastotasi ishchi jaryonning sifatli borishi sharoitlari, detallarining termik kuchlanganligi, inertsiya kuchlarning ruxsat etilgan qiymati va h.k.; minimal aylanishlar chastotasi esa – to‘liq yukda dvigatel barqaror ishlash sharoitlari bilan aniqlanadi.

Effektiv quvvat egri chizig‘ining hisobiy nuqtalari quyidagi empirik bog‘lanishlar bo‘yicha $500-1000 \text{ min}^{-1}$ oraliqda aniqlanadi:

benzinli dvigatellar uchun

$$N_{ex} = N_e \frac{n_x}{n_N} \left[1 + \frac{n_x}{n_N} - \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right]; \quad (8.1)$$

yonish kamerasi ajratilmagan dvigatellar uchun

$$N_{ex} = N_e \frac{n_x}{n_N} \left[0,87 + 1,13 \frac{n_x}{n_N} - \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right]; \quad (8.2)$$

old kamerali dizellar uchun

$$N_{ex} = \frac{n_x}{n_N} \left[0,6 + 1,4 \frac{n_x}{n_N} - \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right]; \quad (8.3)$$

uyurma kamerali dizellar uchun

$$N_{ex} = \frac{n_x}{n_N} \left[0,7 + 1,3 \frac{n_x}{n_N} - \left(\frac{n_x}{n_N} \right)^2 \right]. \quad (8.4)$$

(8.1)- (8.4) formulalarda:

N_e va n_N – nominal effektiv quvvat (kVt) va ushbu quvvatda tirsakli valning aylanishlar chastotasi (min^{-1});

N_{ex} va n_x – dvigatel tezlik xarakteristikasining muayyan

nuqtasida effektiv quvvat (kVt) va tirsakli valning aylanishlar chastotasi (min^{-1}).

Hisoblangan qiymatlar bo'yicha effektiv quvvat grafigi μ_N (kVt/mm) masshtabda quriladi.

Effektiv burovchi moment M_e (N·m) quyiladagi formula bo'yicha hisoblanadi

$$M_{ex} = 3 \cdot 10^4 N_{ex} / (\pi n_x). \quad (8.5)$$

μ_N [N·m/mm] masshtabda qurilgan burovchi moment grafigi μ_p [MPa/mm] masshtabda o'rtacha effektiv bosim r_e ni ham ifodalaydi.

$$\mu_p = \mu_m \pi \tau / (10^3 \cdot V_1). \quad (8.6)$$

O'rtacha effektiv bosim r_s (MPa) qiymatini M_{ex} egri chizig'idan yoki quyidagi ifodadan aniqlash mumkin

$$p_{ex} = N_{ex} 30 \tau / (V_1 \cdot n_x). \quad (8.7)$$

O'rtacha indikator bosim p_i (MPa)ni quyidagi formula bo'yicha hisoblashadi

$$p_{ix} = p_{ex} + p_{mx}, \quad (8.8)$$

bu yerda r_{mx} – mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi [MPa], dvigatel turi va konstruksiyasiga qarab (6.12) – (6.18) formulalar bo'yicha aniqlanadi.

μ_{p_i} masshtabida qurilgan o'rtacha indikator bosim grafigi μ_N [N·m/mm] masshtabida indikator burovchi momentni ham ifodalaydi:

$$\mu_m = \mu_p \cdot 10^3 \cdot V_1 / (\pi \tau). \quad (8.9)$$

Indikator burovchi moment qiymatlarini p_{ix} grafigi bo'yicha yoki quyidagi ifodadan aniqlash mumkin

$$M_{ix} = p_{ix} \cdot V_n \cdot 10^3 / (\pi \tau). \quad (8.10)$$

Yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi [g/(kVt·soat)]:
benzinli dvigatellar uchun

$$g_{ex} = g_{eN} [1,2 - 1,2 n_x / n_N + (n_x / n_N)^2]; \quad (8.11)$$

Ajratilmagan yonish kamerali dizellar uchun

$$g_{ex} = g_{eN} [1,55 - 1,55 n_x / n_N + (n_x / n_N)^2], \quad (8.12)$$

bu yerda g_{eN} – nominal quvvatda yonilg‘ining solishtirma effektiv sarfi, g/(kVt·soat).

Yonilg‘ining 1 soatdagi sarfi, kg/soat

$$G_{ex} = g_{ex} N_{ex} \cdot 10^{-3}. \quad (8.13)$$

To‘lish koeffitsiyentini aniqlash uchun α ning aylanishlar chastotasi bo‘yicha o‘zgarish qonunini berish lozim. Benzinli dvigatellar uchun minimal tezlik rejimidan boshqa hamma tezlik rejimlari uchun yetarli darajada aniqlikda α ni o‘zgarmas deb qabul qilish mumkin. Minimal aylanishlar rejimida $p_1 = p_{\min}$ aralashma nominal aylanishlar chastotasidagiga nisbatan boyroq, ya‘ni $\alpha_{n_{\min}} < \alpha_{n_N}$ olish lozim.

Dizellar tezlik xarakteristika bo‘yicha ishlaganda aylanishlar chastotasi ortganda α ning qiymati biroz kattalashadi. Yonilg‘i bevosita purkaladigan to‘rt taktli dizel uchun $\alpha_{n_{\min}} = (0,7 - 0,8) \alpha_{n_N}$ qabul qilish mumkin.

Qabul qilingan α ning o‘zgarish qonunida to‘lish koeffitsiyenti

$$\eta_{V_x} = p_{ex} \cdot l_0 \cdot \alpha_x \cdot g_{ex} / (3600 \cdot \rho_x). \quad (8.14)$$

Tezlik xarakteristikasidan *moslanuvchanlik koeffitsiyenti* K aniqlanadi; u maksimal burovchi moment $M_{e\max}$ ning nominal quvvatdagi burovchi moment M_{eN} ga nisbatiga teng:

$$K = M_{e\max} / M_{eN}. \quad (8.15)$$

Bu koeffitsiyent tashqi yuk o‘zgarishiga dvigatel moslashuvchanligini baholash uchun xizmat qiladi va dvigatelning qisqa muddatli ortiqcha yuklarni engib o‘tishi qobiliyatini tavsiflaydi. Benzinli dvigatellar uchun $K=1,20-1,35$; dizellarda burovchi moment grafigi ancha yotiq bo‘ladi va moslanuvchanlik koeffitsiyenti $K=1,05-1,20$ oraliqda bo‘ladi.

8.3.1. Benzinli dvigatellar tashqi tezlik xarakteristikalarini hisoblash

To'rt tezlik rejimida benzinli dvigatellar uchun bajarilgan issiqlik hisoblari (7.2 ga qarang) asosida olingan tashqi tezlik xarakteristikalari (8.6- va 8.7-rasmlar) qurish uchun zarur bo'lgan parametrlarning qiymatlari 8.1-jadvalda keltirilgan.

8.1-jadval

Tirsakli val aylanishlar chastotasi, min^{-1}	Tashqi tezlik xarakteristika parametrlari					
	N_{e_s} kVT	g_{e_s} g/(kVt-soat)	M_{e_s} N·m	$G_{y_{e_s}}$ kg/soat	η_v	α
Karbyuratorli dvigatel						
1000	12,70	284	121,3	3,607	0,8744	0,86
3200	42,77	264	127,7	10,864	0,9167	0,96
5600	60,42	301	103,1	18,186	0,8784	0,96
6000	60,14	318	95,8	19,125	0,8609	0,96
Yonilg'i purkaladigan dvigatel						
900	14,65	206	155,4	3,018	0,8720	0,96
4000	70,59	199	168,5	14,047	0,9519	1,00
7000	110,87	224	151,2	24,835	0,9610	1,00
8000	110,83	244	139,5	26,170	0,9465	0,98

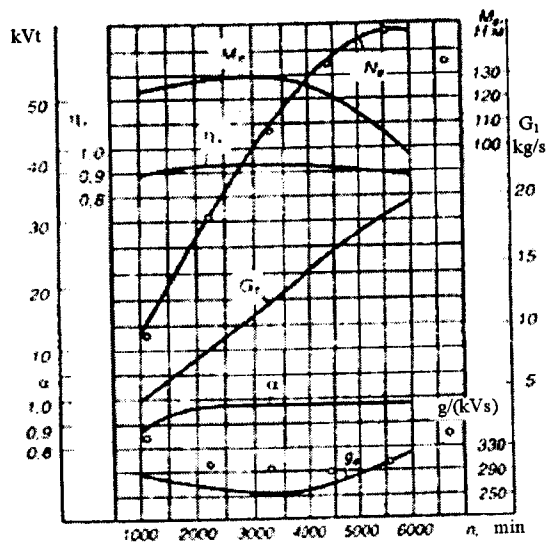
Tezlik xarakteristikalari bo'yicha moslashuvchanlik koeffitsiyenti:

karbyuratorli dvigatel uchun

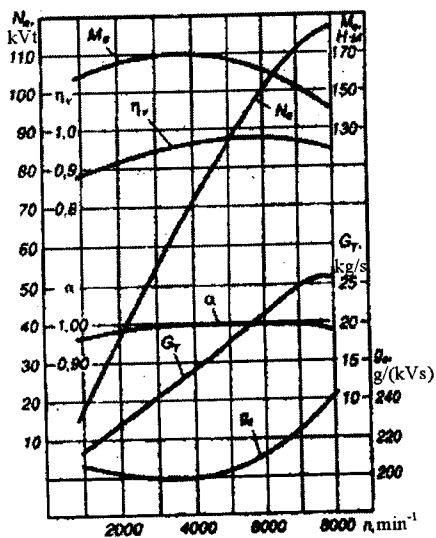
$$K = M_{e_{\max}} / M_{e_N} = 128 / 103 = 1,24;$$

yonilg'i purkaladigan dvigatel uchun

$$K = M_{e_{\max}} / M_{e_N} = 168,5 / 151,2 = 1,114.$$



8.6-rasm. Karbyuratorli dvigatelning tashqi tezlik xarakteristikasini qurish.



8.7-rasm. Yonilg'i purkaladigan dvigatelning tashqi tezlik xarakteristikasini qurish.

8.3.2. Dizel tashqi tezlik xarakteristikasini hisoblash

Nominal quvvat rejimi uchun o'tkazilgan issiqlik hisobi asosida dizelning tashqi tezlik xarakteristikasini hisoblash va qurish uchun zarur bo'lgan quyidagi parametrlar olingan:

a) nadduvsiz dizel uchun – effektiv quvvat $N_e=175,9$ kVt; maksimal quvvatda tirsakli valning aylanishlar chastotasi $n_N=2600$ min⁻¹; dvigatel taktligi $\tau=4$; litraj $V_1=10,852$ l; porshen yo'li $S=120$ mm; 1 kg yonilg'i yonishi uchun zarur bo'lgan havoning nazariy miqdori $l_0=14,452$ kg havo/kg yonilg'i; kirishda zaryad zichligi $\rho_k=1,189$ kg/m³; havo ortiqqligi ko'effitsiyenti $\alpha_N=1,4$; yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi $g_{eN}=242$ g/(kVt·soat);

b) nadduvli dizel uchun – effektiv quvvat $N_e=233,0$ kVt; maksimal quvvatda tirsakli valning aylanishlar chastotasi $n_N=2600$ min⁻¹; dvigatel taktligi $\tau=4$; litraj $V_1=10,852$ l; porshen yo'li $S=120$ mm; 1 kg yonilg'i yonishi uchun zarur bo'lgan havoning nazariy miqdori $l_0=14,452$ kg havo/kg yonilg'i; kirishda zaryad zichligi $\rho_k=1,641$ kg/m³; havo ortiqqligi ko'effitsiyenti $\alpha_N=1,7$; yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi $g_{eN}=220$ g/(kVt·soat).

Tezlik xarakteristikasining hisobiy nuqtalari. Qabul qilamiz: $n_{\min}=600$ min⁻¹; $n_{xi}=1000, 1500, 2000, 2500$ min⁻¹ va $n_N=2600$ min⁻¹.

Hamma hisobiy ma'lumotlar 8.2-jadvalga yoziladi.

Hisobiy nuqtalarda quvvat, kVt:

$$N_{e_x} = (N_e n_x / n_N) [0,87 + 1,13 n_x / n_N - (n_x / n_N)^2];$$

nadduvsiz dizel uchun

$$N_{e_x} = (175,9 n_x / 2600) [0,87 + 1,13 n_x / 2600 - (n_x / 2600)^2];$$

nadduvli dizel uchun

$$N_{e_x} = (233,0 n_x / 2600) [0,87 + 1,13 n_x / 2600 - (n_x / 2600)^2].$$

Effektiv burovchi moment, N·m

$$M_{e_x} = N_{e_x} \cdot 3 \cdot 10^4 / (\pi n_x) = 9554 N_{e_x} / n_x.$$

O'rtacha effektiv bosim, MPa

$$p_{e_x} = N_{e_x} 30 \tau / (V_n n_x) = 30 \cdot 4 N_{e_x} / (10,852 n_x) = 11,058 N_{e_x} / n_x.$$

Havo ortiqqligi ko'effitsiyenti. Quyidagicha qabul qilamiz:

nadduvsiz dizel uchun $\alpha_{n_{\min}} = 0,86 \cdot \alpha_N = 0,86 \cdot 1,4 \approx 1,2$;

nadduvli dizel uchun $\alpha_{n_{\min}} = 0,74 \cdot \alpha_N = 0,74 \cdot 1,7 \approx 1,25$.

To'g'ri chiziq bilan $\alpha_{n_{\min}}$ va α_N nuqtalarni birlashtirib (8.8, *a*, *b*-rasm) nadduvsiz va nadduvli dizellarning hamma hisobiy nuqtalari uchun α_x qiymatlarini topamiz.

To'lish koeffitsiyenti

$$\eta_{V_x} = p_{ex} l_0 \alpha_x g_{ex} / (3600 \rho_k),$$

nadduvsiz dizel uchun $\eta_{V_x} = 14,452 p_{ex} \alpha_x g_{ex} / (3600 \cdot 1,189)$;

nadduvli dizel uchun $\eta_{V_x} = 14,452 p_{ex} \alpha_x g_{ex} / (3600 \cdot 1,641)$

8.2-jadvalda keltirilgan hisobiy ma'lumotlar bo'yicha nadduvsiz (8.8, *a*-rasm) va nadduvli (8.8, *b*-rasm) dizellar uchun tashqi tezlik xarakteristikalarini quramiz.

Porshenning o'rtacha tezligi, m/s

$$v_{p.o'r.} = S n_x / 3 \cdot 10^4 = 120 \cdot n_x / 30000 = 0,004 n_x.$$

Mexanik yo'qotishlar o'rtacha bosimi, MPa

$$r_{mx} = 0,089 + 0,0118 v_{p.o'r.}$$

O'rtacha indikator bosim, MPa

$$R_{ix} = r_{ex} + r_{mx}.$$

Indikator burovchi moment, N·m

$$M_{ix} = p_{ix} V_{\pi} \cdot 10^3 / (\pi \tau) = 10,852 \cdot 10^3 p_{ix} / (3,14 \cdot 4) = 864 p_{ix}.$$

Yonilg'ining solishtirma effektiv sarfi, g/(kVt·soat)

$$g_{ex} = g_{eN} [1,55 - 1,55 n_x / n_N + (n_x / n_N)^2]:$$

nadduvsiz dizel uchun

$$g_{ex} = 242 [1,55 - 1,55 n_x / n_N + (n_x / n_N)^2];$$

nadduvli dizel uchun

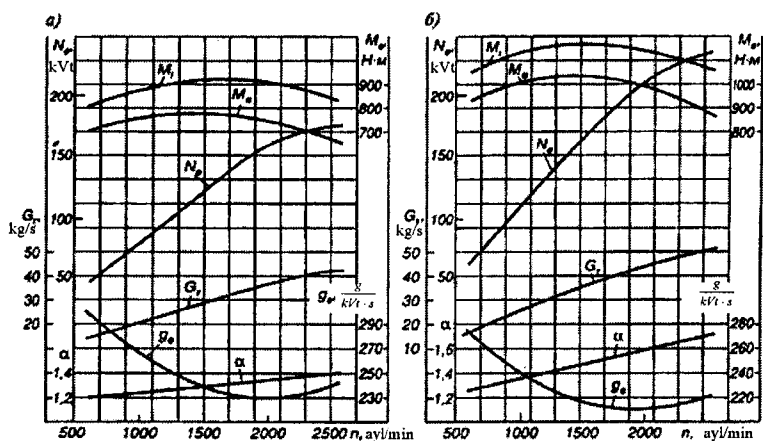
$$g_{ex} = 220 [1,55 - 1,55 n_x / n_N + (n_x / n_N)^2].$$

Yonilg'ining 1 soatdagi sarfi, kg/soat

$$G_{yo. soat} = 10^{-3} g_{ex} N_{ex}.$$

8.2-jadval

Tirsakli val aylanishlar chastotasi, min ⁻¹	Tashqi tezlik xarakteristika parametrlari										
	N_{ex}	M_{ex}	p_{ex}	$v_{p.o'r.x}$	P_{max}	p_{ix}	M_{ix}	g_{ex}	G_{yox}	d_x	η_{Kx}
Nadduvsiiz dizel											
600	43,7	696	0,805	2,4	0,117	0,922	797	301	13,15	1,20	0,983
1000	78,3	748	0,867	4,0	0,136	1,003	867	267	20,91	1,24	0,970
1500	120,7	769	0,890	6,0	0,160	1,050	907	239	28,85	1,29	0,927
2000	155,3	742	0,859	8,0	0,183	1,042	900	230	35,72	1,34	0,895
2500	174,5	669	0,772	10,0	0,207	0,979	846	238	41,53	1,39	0,863
2600	175,9	646	0,748	10,4	0,212	0,960	826	242	42,57	1,40	0,854
Nadduvli dizel											
600	57,9	922	1,067	2,4	0,117	1,184	1023	274	15,86	1,25	0,895
1000	103,6	990	1,146	4,0	0,136	1,282	1108	242	25,07	1,34	0,910
1500	159,8	1018	1,178	6,0	0,160	1,338	1156	217	34,68	1,46	0,914
2000	205,6	982	1,137	8,0	0,183	1,320	1140	209	42,92	1,57	0,914
2500	231,2	884	1,023	10,0	0,207	1,230	1063	217	50,17	1,68	0,914
2600	233,0	856	0,991	10,4	0,212	1,203	1039	220	51,26	1,70	0,909



8.8-rasm. Dizelning tashqi tezlik xarakteristikalari:
a–nadduvsiz dizel; b–nadduvli dizel.

Moslanuvchanlik koeffitsiyenti:

nadduvsiz dizel uchun $K = M_{e_{\max}} / M_{e_N} = 769 / 646 = 1,19$,

nadduvli dizel uchun $K = M_{e_{\max}} / M_{e_N} = 1018 / 856 = 1,19$,

bu yerda $M_{e_{\max}}$ tezlik xarakteristikalaridan topilgan.

8.4. Dizellarning regulyator xarakteristikalari

Traktorlarni qishloq xo‘jaligida yoki transportda eskpluatsiya qilish sharoitlarida ishlov berilayotgan yerning bir jinsli emasligi yoki yo‘l qoplamalarining har xilligi va h.k.lar tufayli ularning dvigatellariga tushayotgan yuk keng diapazonda o‘zgaradi. Yonilg‘i uzatilishini boshqaruvchi richag yoki pedalning o‘zgarmas holatida tashqi yukning o‘zgarishi traktor harakati tezligini o‘zgartiradi. Bunday sharoitlarda tashqi yuk o‘zgarganda o‘zgarmas tezlikni saqlab qolish uchun dizel quvvatini mos ravishda o‘zgartirish zarur, bunga purkalayotgan dizel yonilg‘i-sining miqdorini o‘zgartirib erishish mumkin.

Shunday qilib, dizel quvvati rostlanib, u tashqi yukga mos-

lashtirilishi uchun yonilg'ining siklaviy uzatilishini avtomatik ravishda o'zgartirib turish zarur, buning uchun ta'minlash tizimiga regulyator kiritishadi.

Dvigatellarda tirsakli val aylanishlar chastotasi avtomatik regulyatorlarining har xil turlari o'rnatiladi. Maksimal (chegaraviy) aylanishlar chastotasini cheklash talab qilinganda bir rejimli regulyator qo'llaniladi. Hamma rejimli regulyatorlar dvigatel vali aylanish ishchi chastotalari o'zgarishining hamma diapazoni avtomatik rostlanishi talab qilinganda o'rnatiladi.

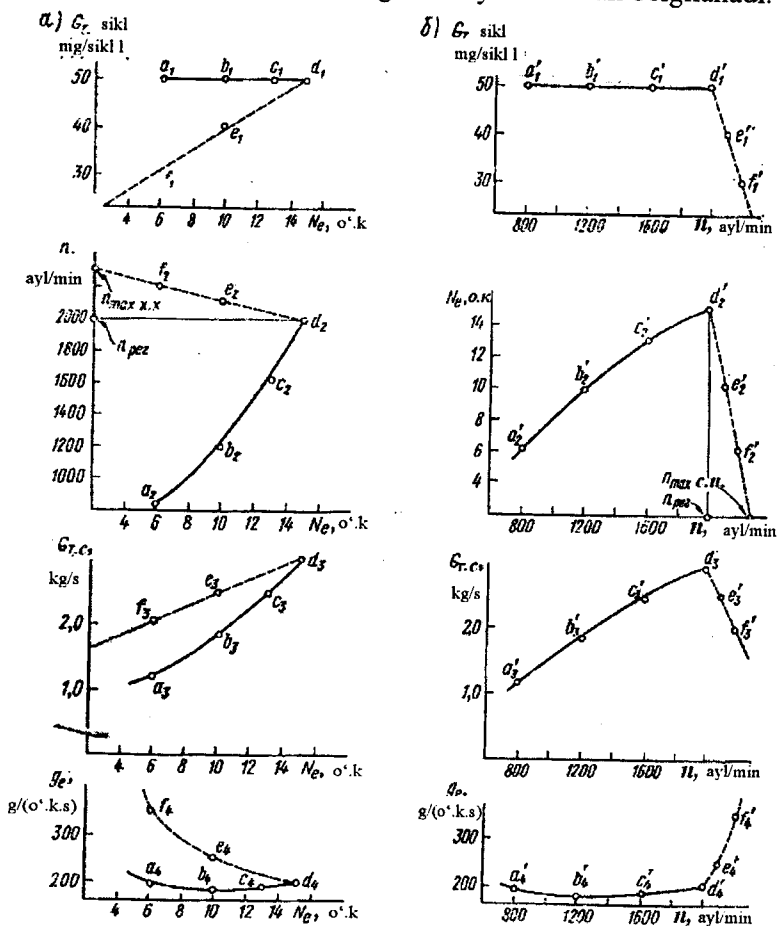
Dizelning regulyator bilan ishlashini tavsiflovchi parametrlarni baholash uchun *regulyator xarakteristikadan* foydalanishadi. Bu xarakteristika regulyator yonilg'i uzatish organiga ta'sir qilganda aylanishlar chastotasi, 1 soatdagi va solishtirma yonilg'i sarflari va boshqa parametrlarning effektiv quvvatga bog'liqligini aniqlaydi.

Regulyator xarakteristikani dizelni laboratoriyada sinab olishadi. Standartga muvofiq regulyator xarakteristika regulyatorni boshqaruvchi organning o'zgarmas holatida, yuk salt ishidan to'liq bo'lgunicha asta-sekin o'rttirilib regulyator belgilagan maksimaldan to' dizel burovchi momenti maksimumga erishgunicha kamaygunicha olinadi. Demak, tashqi yuk ko'payganda dizel quvvatining ortishi yonilg'i siklaviy uzatilishining avtomatik o'rttirilishi hisobiga amalga oshishi kerak.

Dizelning regulyator xarakteristikasi 8.9, *a*-rasmda, uning regulyator bilan ishlagandagi tashqi tezlik xarakteristikasi esa 8.9, *b*-rasmda keltirilgan. Ikkala xarakteristikada nuqtalar bir xil belgilangan, faqat tezlik xarakteristikadagi nuqtalar (') belgiga ega. Salt ishiga yaqin bo'lgan kam yuklarda yonilg'ining siklaviy uzatilishi minimalga yaqin (masalan, 30 mg/(sikl.l) – 8.9, *a*-rasmda f_1 nuqta) bo'ladi. Bu rejimda dizelning quvvati kam bo'ladi, regulyator cheklaydigan aylanishlar chastotasi esa maksimalga yaqin bo'ladi (f_2 nuqta). Bularga mos ravishda yonilg'i-ning 1 soatdagi sarfi kam (f_3 nuqta), solishtirma sarfi esa maksi-

mumga yetadi (f_4 nuqta).

Tashqi yuk ortganda regulyator yonilg'ining siklaviy uzatishini avtomatik tarzda ko'paytiradi (masalan, 40 va 50 mg/(sikl·l) gacha – e_1 va d_1 nuqtalar), natijada yonilg'ining 1 soatdagi sarfi ortadi (e_3 va d_3 nuqtalar). Bu rejimlarda quvvat ortadi, aylanishlar chastotasi esa biroz pasayadi (e_2 va d_2 nuqtalar), ularga mos yonilg'ining solishtirma sarfi esa kamayadi (e_4 va d_4 nuqtalar), bu o'zgarishlar regulyator ishining xususiyatlari bilan belgilanadi.

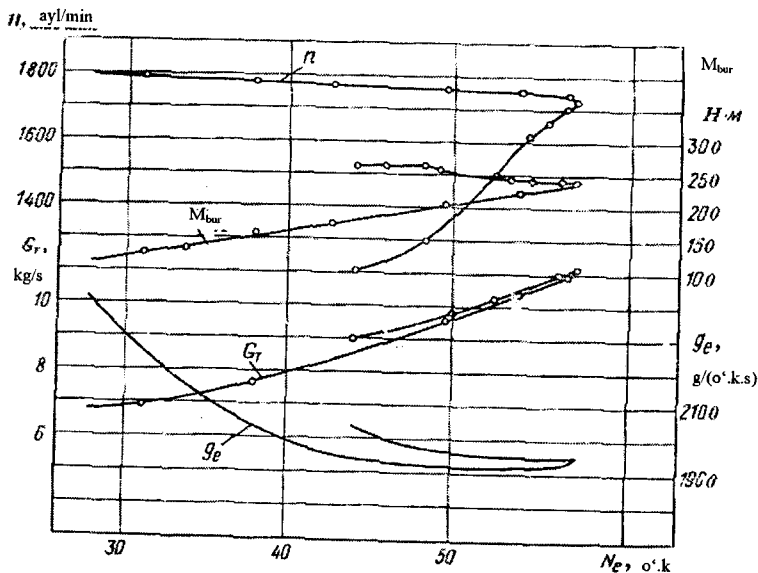


8.9-rasm. Dizel xarakteristikalar.

Ko'rilayotgan holatda yuk yanada ko'payganda yonilg'ining siklaviy uzatilishini orttirib bo'lmaydi (s_1 , v_1 va a_1 nuqtalar) va dizel ortiqcha yukda ishlay boshlaydi, natijada uning aylanishlar chastotasi va quvvati kamayib boradi (s_2 , v_2 va a_2 nuqtalar), lekin v_2 nuqtada burovchi moment maksimal qiymatga erishadi. Bu rejimlarda yonilg'ining 1 soatdagi sarfi kamayadi (s_3 , v_3 va a_3 nuqtalar), solishtirma sarf esa kam o'zgaradi (s_4 , v_4 va a_4 nuqtalar).

Regulyator xarakteristika regulyator tarmoqqa (shtrixli chiziqlar bilan ifodalangan) va to'liq yuklar tarmog'iga (kontur chiziqlar bilan ifodalangan) ega (8.9-rasm).

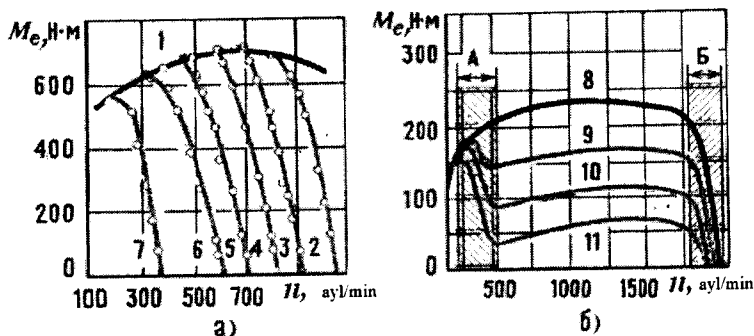
Hamma rejimli regulyator bilan ishlayotgan traktor dizelning xarakteristikasi 8.10-rasmda keltirilgan.



8.10-rasm. Hamma rejimli regulyator bilan ishlayotgan traktor dizelining xarakteristikalari.

Regulyator xarakteristikalar regulyator har xil rostlanganda dvigatel ishining asosiy ko'rsatkichlarining aylanishlar chasto-

tasiga bog'liqligini ifodalaydi. 8.11-rasmda hamma rejimli va ikki rejimli regulyatorli dvigatellarning regulyator xarakteristikalari ko'rsatilgan. Bu xarakteristikalarning ko'rinishi regulyator parametrlariga, yonilg'i uzatish apparaturasiga va dvigatel parametrlariga bog'liq.



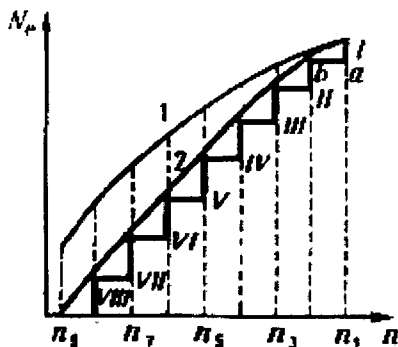
8.11-rasm. Dizel burovchi momentining tashqi va regulyator xarakteristikalari:
 a—hamma rejimli regulyator bilan; b—ikki rejimli regulyator bilan;
 A va B — regulyator ta'siri zonalar;
 1 va 8 — tashqi xarakteristikalar; 2 va 7 — regulyator xarakteristikalar;
 9 va 11 — qisman xarakteristikalar.

8.5. Teplovoz xarakteristikasi

Teplovoz bosh elektr generatori yuritmasiga sarflanadigan teplovoz dvigateli quvvatining tirsakli val aylanishlar chastotasiga bog'liqligi grafigi *teplovoz xarakteristikasi* deyiladi. elektr generatori bilan bog'langan dvigatel aylanishlar chastotasi regulyatoriga ega, u ma'lum ravonlik darajasida (aylanishlar chastotasi oralig'ida) berilgan aylanishlar chastotasini o'zgarmas qilib saqlab turadi. Shuning uchun boshqarish organi (kontroller)ning ma'lum holatida dvigatel regulyator xarakteristika bo'yicha ishlaydi.

Nominal aylanishlar chastotasida teplovoz dvigatelining maksimal quvvati tashqi xarakteristika 1 ning 1-nuqtasiga mos keladi (8.12-rasm). Aylanishlar chastotasi kichikroq bo'lganda elektr uzatmali teplovoz dvigatelining eng katta quvvati dvigatel tashqi xarakteristika bo'yicha ishlaganga nisbatan kichikroq bo'ladi,

chunki elektr generatorining quvvati uning aylanishlar chastotasiga qarab *generator xarakteristika* 2 bo'yicha o'zgaradi. Bu xarakteristika, nominal rejimdan tashqari, hamma rejimlarda tashqi xarakteristikadan pastroqda joylashadi. Dvigatel generatori xarakteristika bo'yicha ishlaganda uning regulyatori yonilg'ini noto'liq uzatadi.



8.12-rasm. Teplovoz dvigatelining xarakteristikalari:
1 – tashqi xarakteristika; 2 – generator xarakteristika.

Yonilg'i uzatilishining o'zgarishi kontroller orqali amalga oshiriladi. Kontroller bandining har xil holatlariga regulyator prujinasi tortilish kuchining har xil qiymatlari mos keladi. Shuning uchun dvigatel kontrollerning har bir holati (8 ta holati)ga mos regulyator xarakteristikalari bo'yicha ishlaydi. Dvigatel bir yuk xarakteristikasidan boshqasiga o'tganida regulyator prujinasining tortilish kuchi o'zgaradi. Nazariy jihatdan bu o'tish gorizontal chiziqqa (masalan, *av* chiziqqa) mos kelishi kerak, amalda esa generator va dvigatel aylanuvchi qismlarining inertsia tufayli, bu o'tish ancha murakkab qonun bo'yicha kechadi.

Teplovoz dvigatelining generator xarakteristikasi to'g'ri chiziqqa yaqin bo'ladi. uning shakli teplovoz bosh generatori uyg'onish tizimining rostlanishiga bog'liq.

IX BOB. DVIGATEL KINEMATIKASI VA DINAMIKASI

9.1. Krivoship-shatunli mexanizm kinematikasi

9.1.1. Umumiy ma'lumotlar

Ichki yonuv dvigatellarida porshenning ilgari lama-qaytma harakati krivoship-shatunli mexanizm vositasida tirsakli valning aylanma harakatiga aylanadi.

Krivoship-shatunli mexanizm markaziy (bunda tirsakli val va silindrlar o'qlari bir tekislikda yotadi) (9.1, *a*-rasm) yoki dezaksial (bunda tirsakli val va silindrlar o'qlari har xil tekisliklarda yotadi) (9.1, *b*-rasm) bo'lishi mumkin. Porshen barmog'ining o'qi siljirilishi hisobiga ham dezaksial mexanizm hosil bo'lishi mumkin.

Dezaksial krivoship-shatunli mexanizimli dvigatelda silindr o'qi tirsakli val o'qiga nisbatan uning aylanishi yo'nalishida *e* (dezaksaj) masofaga siljigan bo'ladi. Bu siljish porshen yo'lining 10% dan katta bo'lmaydi.

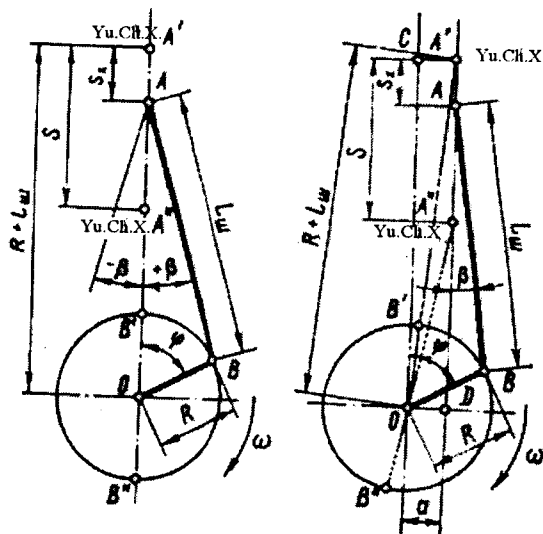
Dezaksaj kiritilishi natijasida:

- ishchi yo'l paytida porshenning silindr devoriga bosimi kamayadi va bu bosim siqish yo'lida ortadi, natijada silindrning yeyilishi bir tekisda bo'lishga yaqinlashadi;
- porshen yo'li biroz ortadi, natijada dvigatelning ishchi hajmi, demak quvvati ham biroz ko'payadi;
- yu.ch.h. yaqinida porshen tezligi kamayadi, natijada (deyarli o'zgarmas hajmda) yonish jarayoni yaxshilanadi;
- tirsakli val taqsimlash vallari orasidagi masofa kattalashadi, natijada shatun quyi kallagi to'siqsiz aylanishi uchun zarur bo'lgan joy kengayadi.

Dvigatellar aylanishlar chastotalari ortib borgani sari yuqorida qayd etilgan afzalliklardan ba'zilarining ahamiyati kamayib boradi, chunki ishqalanish ishi asosan inertsiya kuchi bilan aniqlana boshlanadi, u esa dezaksajga deyarli bog'liq bo'lmaydi.

Porshen barmog'i porshen o'qiga nisbatan siljigan krivoship-shatunli mexanizmlar ham dezaksial krivoship-shatunli mexanizmlar ega bo'lgan afzalliklarga ega bo'ladi. Bunday dvigatellar tobora ko'proq qo'llanmoqda. Bu dvigatellardagi dezaksaj taxminan $0,02 R$ bo'ladi.

Porshen dezaksaji kichik bo'lganligi tufayli dezaksial krivoship-shatunli mexanizmning kinematik hisobini markaziy krivoship-shatunli mexanizm formulalari bo'yicha bajarish mumkin.



9.1-rasm. Krivoship-shatunli mexanizmlar sxemalari:
a – markaziy; b – dezaksial.

9.1. a-rasmda markaziy krivoship-shatunli mexanizmning asosiy belgilanishlari keltirilgan: φ – krivoshipning burilish burchagi; β – shatun o'qining silindr o'qiga nisbatan og'ish burchagi; $R = OV$ – krivoship radiusi; $L_{sh} = AV$ – shatun uzunligi; $\lambda =$

R/L_{sh} – krivoship radiusining shatun uzunligiga nisbati; $R + L_{sh} = A'O$ – tirsakli val o'qidan yu.ch.h. (A' -nuqta) gacha bo'lgan masofa; S_x – porshen (porshen barmog'i o'qi – A nuqta)ning joriy siljishi.

Dvigatelda ta'sir qiluvchi inertsia kuchlarining qiymatlari yuqorida qayd etilgan o'lchamlar va ularning nisbatlariga bog'liq.

Nisbat $\lambda = R/L_{sh}$ kamayishi bilan (L_{sh} kattalashishi hisobiga) inertsia va normal kuchlar kamayib boradi, lekin bunda dvigatel balandligi va massasi ortadi. Avtomobil va traktor dvigatellarida $\lambda = 0,23-0,30$ qabul qilingan.

Krivoship-shatunli mexanizm ko'rilganda, odatda, tirsakli valning burchak tezligi o'zgarmas deb, ya'ni uning burilish burchagi vaqtga proportsional deb, qabul qilinadi. Amalda esa valning burchak tezligi o'zgaruvchi bo'ladi, sababi – valning burovchi momenti barqaror bo'lmaydi. dvigatel ishining barqaror rejimlarida tirsakli valning aylanishlar chastotasi juda kam oraliqda o'zgaradi. Faqat dinamikaning maxsus masalalari, xususan tirsakli val tizimining tebranishlari, ko'rilganda burchak tezlik o'zgarishlari hisobga olinadi.

Krivoship-shatunli mexanizm kinematikasining hisobi porshen yo'li (siljishi), tezligi va tezlanishini aniqlashga keltiriladi.

Hisoblashda porshen kinematikasi faqat burchak φ funksiyasi bo'lgan ifodadan foydalanish qulay.

9.1.2. Porshen siljishi

Markaziy krivoship-shatunli mexanizm porshenning siljishi 9.1,a-rasmdan

$$S_x = R + L_{sh} - R \cos \varphi - L_{sh} \cos \beta \quad (9.1)$$

yoki $R/L_{sh} = \lambda$ ekanligini inobatga olganimizda

$$S_x = R \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda} (1 - \cos \varphi) \right] \quad (9.2)$$

$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta}$, $R \sin \varphi = L_w \sin \beta$, ya'ni $\lambda \sin \varphi = \sin \beta$ larni belgilab, quyidagi ifodani hosil qilamiz

$$S_x = R \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{1}{\lambda} \left(1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi} \right) \right] \quad (9.3)$$

Nyuton binomi formulasi bo'yicha radikalni yozamiz

$$1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi} = 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \varphi - \frac{1}{2 \cdot 4} \lambda^4 \sin^4 \varphi - \dots$$

Qiymati kichik bo'lganligi tufayli ikkinchi tartibidan yuqori bo'lgan hadlarni hisobga olmasdan, amaliy hisoblar uchun yetarli darajada aniq bo'lgan quyidagi ifodani olamiz

$$1 - \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi} \approx 1 - \frac{1}{4} \lambda^2 \cos 2\varphi$$

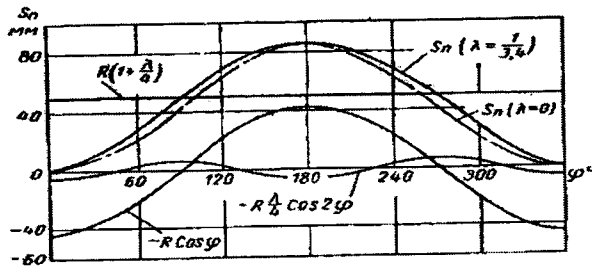
va

$$S_x = R \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right] = S_{x_1} + S_{x_2}, \quad (9.4)$$

bu yerda $S_{x_1} = R(1 - \cos \varphi)$ – porshenning krivoship burilishi hisobiga siljishi

$S_{x_2} = R \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi)$ – porshenning shatun tebranishi hisobiga siljishi.

9.2-rasmda porshenning siljishi va bu siljishning tashkil etuvchilarining grafiklari keltirilgan.



9.2-rasm. Porshen siljishi grafigi.

9.1-jadval

φ°	$\lambda \dots$ larda $(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4}(1 - \cos 2\varphi)$ qiymatlari								φ°
	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	360
10	0,0188	0,0190	0,0191	0,0193	0,0194	0,0196	0,0197	0,0199	350
20	0,0743	0,0749	0,0755	1,0761	0,0767	0,0773	0,0779	0,0784	340
30	0,1640	0,1653	0,1665	0,1678	0,1690	0,1703	0,1715	0,1728	330
40	0,2836	0,2857	0,2877	0,2898	0,2918	0,2939	0,2960	0,2980	320
50	0,4276	0,4306	0,4335	0,4364	0,4394	0,4423	0,4452	0,4482	310
60	0,5900	0,5938	0,5975	0,6013	0,6050	0,6088	0,6125	0,6163	300
70	0,7640	0,7684	0,7728	0,7772	0,7816	0,7860	0,7905	0,7949	290
80	0,9428	0,9476	0,9525	0,9573	0,9622	0,9670	0,9719	0,9767	280
90	1,1200	1,1250	1,1300	1,1355	1,1400	1,1450	1,1500	1,1550	270
100	1,2900	1,2948	1,2997	1,3045	1,3094	1,3142	1,3191	1,3239	260
110	1,4480	1,4524	1,4568	1,4612	1,4656	1,4700	1,4745	1,4789	250
120	1,5900	1,5938	1,5975	1,6013	1,6050	1,6088	1,6125	1,6163	240
130	1,7132	1,7162	1,7191	1,7220	1,7250	1,7279	1,7308	1,7338	230
140	1,8156	1,8177	1,8197	1,8218	1,8238	1,8259	1,8280	1,8300	220
150	1,8960	1,8973	1,8985	1,8998	1,9010	1,9023	1,9035	1,9048	210
160	1,9537	1,9543	1,9549	1,9555	1,9561	1,9567	1,9573	1,9578	200
170	1,9884	1,9886	1,9887	1,9889	1,9890	1,9892	1,9893	1,9895	190
180	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	180

9.4-tenglamadan, $\varphi = 90^{\circ}$ da $S_{90^{\circ}} = R(1 + \lambda/2)$, $\varphi = 180^{\circ}$ da $S_{180^{\circ}} = 2R$.

Kvadrat qavs ichidagi ko'paytiruvchining λ va φ larga bog'liq qiymatlari 9.1-jadvalda keltirilgan.

Dezaksial krivoship-shatunli mexanizmda porshenning siljishi

$$S_x = R \left[(1 - \cos \varphi) + \left(\frac{\lambda}{4} \right) (1 - \cos 2\varphi) - k\lambda \sin \varphi \right], \quad (9.5)$$

bu yerda $k = e/R = 0,05-0,15$ – nisbiy dezaksiallik koeffitsiyenti.

9.1.3. Porshen tezligi va tezlanishi

Porshen tezligining aniq formulasi quyidagi ko'rinishga ega:

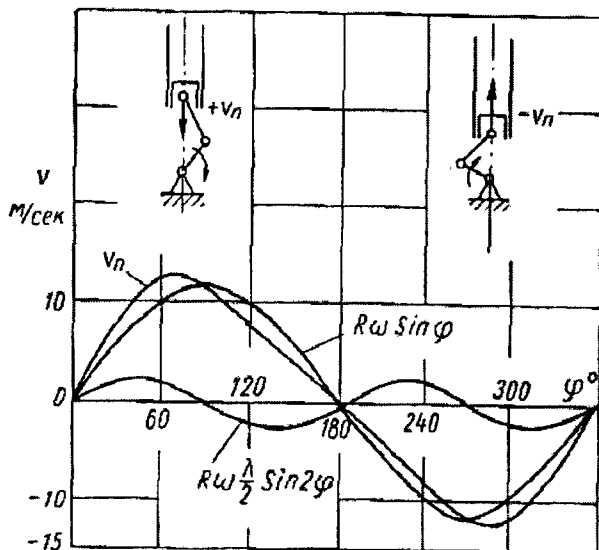
$$v_n = R\omega \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}. \quad (9.6)$$

(9.4) – formulani vaqt t bo'yicha differentsiallab, amaliy hisoblashlar uchun yetarli darajada aniq bo'lgan quyidagi ifodani olamiz:

$$v_n = \frac{dS_x}{dt} = \frac{dS_x}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = R\omega \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right) = v_{n_1} + v_{n_2}. \quad (9.7)$$

9.3-rasmda porshen tezligi va bu tezlikning tashkil etuvchilarning grafiklari keltirilgan.

Yu.ch.h. va q.ch.h. larda porshen harakatining yo'nalishi o'zgarganligi uchun, uning tezligi nolga teng bo'ladi. Krivoship 90° ga burilganida $v_p = R\omega$, ya'ni porshen tezligi shatun bo'yini o'qining aylanma tezligiga teng bo'ladi. lekin bu tezlik maksimal bo'lmaydi.



9.3-rasm. Porshen tezligi grafigi.

Porshen tezligi maksimal qiymatga erishadigan tirsakli valning burilish burchagini (9.7) – formulani φ bo'yicha differensiallab va uning birligi tartibli hosilasini nolga tenglashtirib topiladi

$$\frac{dv_n}{d\varphi} = R\omega^2 (\cos \varphi v_{n \max} + \lambda \cos 2\varphi v_{n \max}) = 0.$$

Hisoblar natijasida quyidagilarni olamiz:

$$\lambda = 1/3 \text{ da } \varphi v_{p \max} = 73,5^\circ \text{ va } v_{p \max} \approx 1,05 R\omega,$$

$$\lambda = 1/4 \text{ da } \varphi v_{p \max} = 75^\circ \text{ va } v_{p \max} \approx 1,03 R\omega,$$

$$\lambda = \infty \text{ da } \varphi v_{p \max} = 90^\circ \text{ va } v_{p \max} \approx R\omega.$$

(9.7) – tenglamada qavs ichidagi ko'paytiruvchining λ va φ larga bog'liq qiymatlari 9.2-jadvalda keltirilgan.

Porshenning o'rtacha tezligi tasnifiy parametr bo'lib, u dvigatellar o'xshashlik nazariyasiga asos qilib olingan: u bo'yicha dvigatellar tezyurarligi qiyoslanadi; u dvigatelndagi mexanik yo'qotishlarga va natijada dvigatelning effektiv ko'rsatkichlariga ta'sir qiladi.

9.2-jadval

φ°	Isho- ra	$\lambda \dots$ larda $\left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{4} \sin 2\varphi \right)$ qiymatlari									Isho- ra	φ°
		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31			
0	+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	—	—	360
10	+	0,2146	0,2164	0,2181	0,2198	0,2215	0,2232	0,2249	0,2266	—	—	350
20	+	0,4191	0,4224	0,4256	0,4288	0,4320	0,4352	0,4384	0,4416	—	—	340
30	+	0,6039	0,6083	0,6126	0,6169	0,6212	0,6256	0,6299	0,6342	—	—	330
40	+	0,7610	0,7659	0,7708	0,7757	0,7807	0,7856	0,7905	0,7954	—	—	320
50	+	0,8842	0,8891	0,8940	0,8989	0,9039	0,9088	0,9137	0,9186	—	—	310
60	+	0,9699	0,9743	0,9786	0,9829	0,9872	0,9916	0,9959	1,0002	—	—	300
70	+	1,0168	1,0201	1,0233	1,0265	1,0297	1,0329	1,0361	1,0393	—	—	290
80	+	1,0258	1,0276	1,0293	1,0310	1,0327	1,0344	1,0361	1,0378	—	—	280
90	+	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	—	—	270
100	+	0,9438	0,9420	0,9403	0,9386	0,9369	0,9352	0,9335	0,9318	—	—	260
110	+	0,8626	0,8593	0,8561	0,8529	0,8497	0,8465	0,8433	0,8401	—	—	250
120	+	0,7621	0,7577	0,7534	0,7491	0,7448	0,7404	0,7361	0,7318	—	—	240
130	+	0,6478	0,6429	0,6380	0,6331	0,6281	0,6232	0,6183	0,6134	—	—	230
140	+	0,5246	0,5197	0,5148	0,5099	0,5049	0,5000	0,4951	0,4902	—	—	220
150	+	0,3961	0,3917	0,3874	0,3831	0,3788	0,3744	0,3701	0,3658	—	—	210
160	+	0,2649	0,2616	0,2584	0,2552	0,2520	0,2488	0,2456	0,2424	—	—	200
170	+	0,1326	0,1308	0,1291	0,1274	0,1257	0,1240	0,1223	0,1206	—	—	190
180	+	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	—	—	180

Porshenning o'rtacha tezligi

$$v_{p.o'r.} = Sn/30 = 2\omega R/\pi. \quad (9.8)$$

Dezaksial krivoship-shatunli mexanizmda porshen tezligi

$$v_n = R\omega \left(\sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi - k\lambda \cos \varphi \right). \quad (9.9)$$

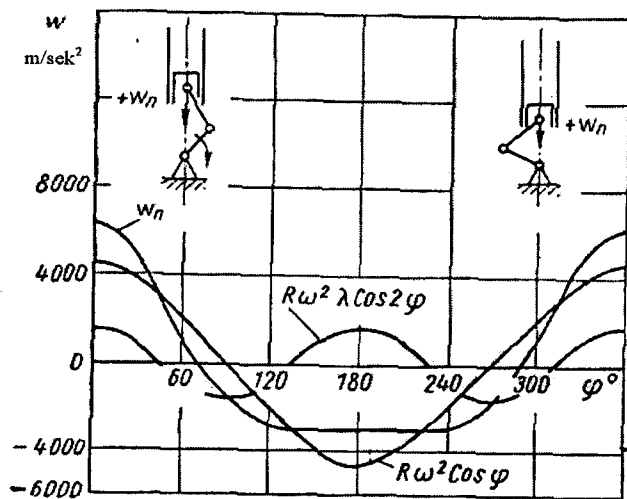
(9.6) – tenglamani vaqt bo'yicha differensiallab, porshen tezlanishining aniq ifodasini topamiz va ba'zi o'zgartirishlardan so'ng quyidagi ifodani olamiz

$$j_n = \frac{dv_n}{dt} = R\omega^2 \left[\frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta} + \lambda \frac{\cos^2 \varphi}{\cos^2 \beta} \right]. \quad (9.10)$$

Hisoblash uchun yetarli aniqlikdagi porshen tezlanishi tenglamasini (9.7) – tenglamani vaqt t bo'yicha differensiallab olish mumkin:

$$j_n = \frac{dv_n}{dt} = \frac{dv_n}{d\varphi} \cdot \frac{d\varphi}{dt} = R\omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi). \quad (9.11)$$

9.4-rasmda porshen tezlanishi va uning tashkil etuvchilarining (birinchi va ikkinchi garmonikalar) tirsakli val burilishi burchagiga bog'liq grafigi keltirilgan.



9.4-rasm. Porshen tezlanishi grafigi.

Krivoship qaysi tarafga aylanishidan qat'iy nazar, porshen yu.ch.h. da bo'lganida tezlanishi musbat, q.ch.h. da bo'lganida esa manfiy bo'ladi. Shatun va krivoship orasidagi burchak 90^0 ga teng bo'lganida tezlanish nolga teng bo'ladi.

Porshen tezlanishi $\varphi = 0^0$ da maksimal qiymatga erishadi:

$$j_{\max} = R\omega^2(1 + \lambda) \quad (9.12)$$

Porshen tezlanishining minimal qiymati:

a) $\lambda < 0,25$ da $\varphi = 180^0$ bo'lganda;

$$j_{\min} = -R\omega^2(1 - \lambda);$$

b) $\lambda > 0,25$ da $\varphi = \arccos(-1/4\lambda)$ nuqtada;

$$j_{\min} = -R\omega^2[\lambda + 1/(8\lambda)].$$

(9.11) – tenglamada qavs ichidagi ko'paytiruvchining λ va φ larga bog'liq qiymatlari 9.3-jadvalda keltirilgan.

Dezaksial krivoship-shatunli mexanizm da porshen tezlanishi

$$j_n = R\omega^2(\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi + k\lambda \sin \varphi) \quad (9.13)$$

9.2. Krivoship-shatunli mexanizm dinamikasi

Krivoship-shatunli mexanizmning dinamik hisobida gaz bosimi va inersiya kuchlaridan vujudga keladigan summar kuch va momentlar aniqlanadi. Bu kuchlar bo'yicha detallar mustahkamlikka va yeyilishga hisoblanadi hamda burovchi moment notekisligi va dvigatel yo'lining noravonligi darajasi aniqlanadi. Ishlayotgan dvigatelda krivoship-shatunli mexanizm detallariga silindrdagi gaz bosimi kuchlari, harakatlanayotgan massalarning inertsia kuchlari, karter bo'shlig'i tomonidan (taxminan atmosfera bosimiga teng) bosim va og'irlik kuchlari (og'irlik kuchlari kichik bo'lganligi sababli dinamik hisobda odatda hisobga olinmaydi) ta'sir qiladi.

Dvigatelda ta'sir qilayotgan hamma kuchlarni tirsakli valdagi foydali qarshiliklar, ishqalanish kuchlari va dvigatel tayanchlari o'ziga qabul qiladi.

9.3-jadval

φ^0	Isho- ra	$\lambda \dots$ larda ($\cos \varphi + 4 \cos 2\varphi$) qiymatlari									Isho- ra	φ^0
		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31			
0	+	1,2400	1,2500	1,2600	1,2700	1,2800	1,2900	0,3000	1,3100	+	360	
10	+	1,2103	1,2197	1,2291	1,2385	1,2479	1,2573	1,2667	1,2761	+	350	
20	+	1,1235	1,1312	1,1389	1,1465	1,1542	1,1618	1,1695	1,1772	+	340	
30	+	0,9860	0,9910	0,9960	0,0010	1,0060	1,0110	1,0160	1,0210	+	330	
40	+	0,8077	0,8094	0,8111	0,8129	0,8146	0,8163	0,8181	0,8198	+	320	
50	+	0,6011	0,5994	0,5977	0,5959	0,5942	0,5925	0,5907	0,5890	+	310	
60	+	0,3800	0,3750	0,3700	0,3650	0,3600	0,3550	0,3500	0,3450	+	300	
70	+	0,1582	1,1505	0,1428	0,1352	0,1275	0,1199	0,1122	0,1045	+	290	
80	-	0,0519	0,0613	0,0707	0,0801	0,0895	0,0989	0,1083	0,1177	-	280	
90	-	0,2400	0,2500	0,2600	0,2700	0,2800	0,2900	0,3000	0,3100	-	270	
100	-	0,3991	0,4085	0,4179	0,4273	0,4367	0,4461	0,4555	0,4649	-	260	
110	-	0,5258	0,5335	0,5412	0,5488	0,5565	0,5641	0,5718	0,5795	-	250	
120	-	0,6200	0,6250	0,6300	0,6350	0,6400	0,6450	0,6500	0,6550	-	240	
130	-	0,6845	0,6862	0,6879	0,6897	0,6914	0,6931	0,6949	0,6966	-	230	
140	-	0,7243	0,7226	0,7209	0,7191	0,7174	0,7157	0,7139	0,7122	-	220	
150	-	0,7460	0,7410	0,7360	0,7310	0,7260	0,7210	0,7160	0,7110	-	210	
160	-	0,7559	0,7482	0,7405	0,7329	0,7252	0,7176	0,7099	0,7022	-	200	
170	-	0,7593	0,7499	0,7405	0,7311	0,7217	0,7123	0,7029	0,6935	-	190	
180	-	0,7600	0,7500	0,7400	0,7300	0,7200	0,7100	0,7000	0,6900	-	180	

Har bir ishchi sikl (to'rt taktli dvigatel uchun 720^0 , ikki taktli dvigatel uchun esa – 360^0) davomida krivoship-shatunli mexanizmga ta'sir qiluvchi kuchlar qiymati va yo'nalishi bo'yicha uzluksiz o'zgarib turadi. Shu sababli bu kuchlarning tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha o'zgarishining xarakterini aniqlash uchun ularning qiymatlari tirsakli valning har $10-30^0$ burilishida aniqlanadi. Dinamik hisob natijalari jadvalga yoziladi.

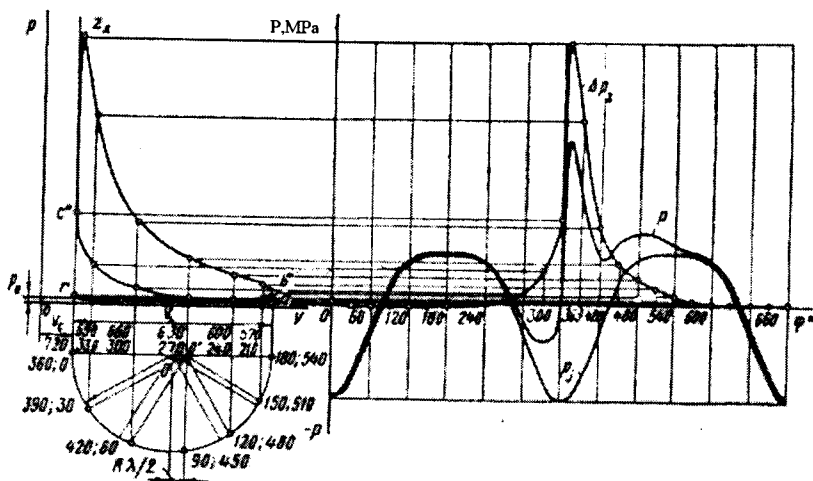
9.2.1. Gaz bosimi kuchlari

Dinamik hisobni soddalashtirish maqsadida porshen yuzasiga ta'sir qiluvchi kuchlarni silindr o'qi bo'ylab yo'nalgan va porshen barmog'i o'qiga qo'yilgan bitta kuch bilan almashtirishadi. Uni vaqtning har bir oni (φ burchak) uchun dvigateldan olingan haqiqiy indikator diagramma yoki (odatda nominal quvvat va tirsakli valning unga mos aylanishlar chastotasi uchun bajarilgan) issiqlik hisobi asosida qurilgan indikator diagramma bo'yicha aniqlashadi.

KShMning dinamik yuklanganligi gaz bosimi kuchlari r_g ning vaqtga (tirsakli valning burilish burchagi φ ga) bog'liqligi bilan baholanadi.

Indikator diagrammani tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha yoyilgan diagrammaga qayta qurish odatda prof. F.A. Briks metodi bo'yicha amalga oshiriladi. Buning uchun indikator diagramma ostida $R=S/2$ radiusli yordamchi yarim aylana chiziladi (9.5-rasm). So'ngra yarim aylana markazi O nuqtadan q.ch.h. tarafga $R/2$ ga teng Briks tuzatishi qo'yiladi va O' nuqta olinadi. Yarim aylana O markazdan nurlar bilan bir necha teng bo'laklarga bo'linadi, so'ngra O' nuqtadan bu nurlarga parallel chiziqlar o'tkaziladi. Yarim aylanada hosil bo'lgan nuqtalar ma'lum φ burchaklarga mos keladi (9.5-rasm) nuqtalar orasidagi interval 30^0 ga teng). Bu nuqtalardan indikator diagramma chiziqlari bilan kesishguncha vertikal chiziqlar o'tkaziladi va bosimning olingan qiymatlari mos φ burchaklaridan vertikal bo'ylab qo'yiladi. Indikator diagrammani yoyish sikl boshlanishi – r nuqtadan boshlanadi. Shuni nazarda tutish lozimki, indikator diagrammada bosim

absolyut noldan o'lanadi, yoyilgan diagrammada esa porshen ustidagi ortiqcha bosim $\Delta r_g = r_g - r_0$ ko'rsatiladi. Demak, dvigatel silindridagi atmosfera bosimidan kam bo'lgan bosim, yoyilgan diagrammada manfiy bo'ladi. tirsakli val o'qi tarafiga yo'nalgan gaz bosimi kuchlari musbat, tirsakli val o'qidan teskari tarafga yo'nalganlari esa – manfiy bo'ladi.



9.5-rasm. Indikator diagrammani r - φ koordinatalarga yoyish.

Porshenga ta'sir qiladigan gaz bosimi kuchi (Mn)

$$r_g = (r_g - r_0) \cdot F_p, \quad (9.14)$$

bu yerda F_p – porshen yuzasi, m^2 ; r_g va r_0 – gaz bosimi va atmosfera bosimi, MPa.

(9.14) – tenglamadan shu narsa ko'rinadiki, tirsakli val buralishi burchagi bo'yicha gaz bosimi kuchlarining o'zgarishi gaz bosimi Δr_g o'zgarishi tavsifiga ega bo'ladi.

Yoyilgan diagrammadan gaz bosimi kuchlari r_g ni hisoblash uchun zarur bo'lgan masshtab koeffitsiyenti

$$\mu_R = \mu_t \cdot F_p \text{ (Mn/mm)}.$$

9.2.2. Krivoship-shatunli mexanizm qismlari massalarini keltirish

Krivoship-shatunli mexanizm detallari massalarini ular harakatining tavsifi bo'yicha ilgarilanma-qaytma harakatlanayotgan (porshen guruhi va shatunning porshen kallagi); aylanma harakat bajarayotgan (tirsakli val va shatunning krivoship kallagi) va murakkab tekis-parallel harakatlanayotgan (shatun sterjeni) qismlarga ajratish mumkin.

Dinamik hisobni soddalashtirish maqsadida haqiqiy krivoship-shatunli mexanizm yig'ilgan massalarning dinamik ekvivalent tizimi bilan almashtiriladi (9.6-rasm).

Dinamik tizim ekvivalentligi sharti (9.6-rasm):

massa o'zgarmasligi

$$m_{sh.p} + m_{sh.k} = m_{sh.};$$

og'irlik markazi holatining o'zgarmasligi

$$m_{sh.p} L_{sh.p} = m_{sh.k} L_{sh.k};$$

og'irlik markaziga nisbatan massalar inertsia momentining o'zgarmasligi

$$I_{ш} = m_{ш.п} L_{ш.п}^2 + m_{ш.к} L_{ш.к}^2.$$

Porshen guruhi detallari massasini porshen barmog'i o'qi A nuqtaga yig'ilgan deb hisoblashadi (9.6, a -rasm). shatun guruhi detallari 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 va nuqtada yig'ilgan deb hisoblanadi.

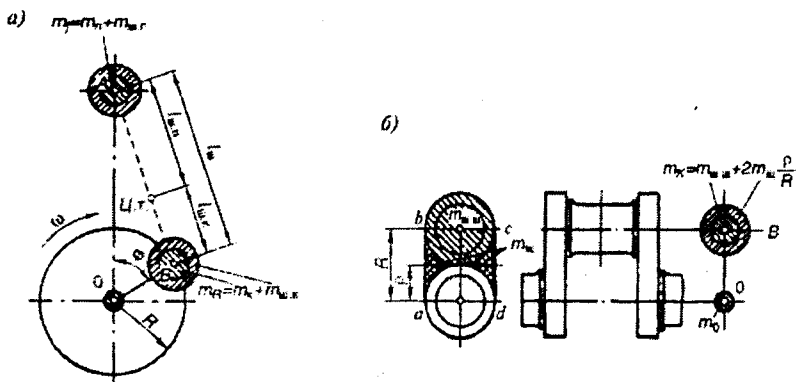
Bu massalarning qiymatlari (kg)

$$m_{ш.п} = (L_{ш.к} / L_{ш}) m_{ш}; \quad m_{ш.к} = (L_{ш.п} / L_{ш}) m_{ш}, \quad (9.15)$$

bu yerda L_{sh} – shatun uzunligi; $L_{sh.k}$ – shatun og'irligi markazidan krivoship kallagi o'qigacha bo'lgan masofa; $L_{sh.p}$ – shatun og'irligi markazidan porshen kallagi o'qigacha bo'lgan masofa.

Avtomobil va traktor dvigatellari mavjud konstruksiyalarining ko'pchiligi uchun $m_{sh.p} = (0,2 \dots 0,3) m_{sh}$ va $m_{sh.k} = (0,7 \dots 0,8) m_{sh}$ hisoblarda o'rtacha qiymatlarni qabul qilish mumkin.

$$m_{sh.p} = 0,275 m_{sh} \text{ va } m_{sh.k} = 0,725 m_{sh} \quad (9.16)$$



9.6-rasm. Krivoship-shatunli mexanizmga ekvivalent bo'lgan yig'ilgan massalar tizimi:

a – krivoship-shatunli mexanizmning keltirilgan tizimi;
b – krivoship massalarini keltirish.

Krivoship massasi krivoshipning o'qi *V* nuqtada jamlangan m_k va o'zak bo'yini o'qi *O* nuqtada jamlangan m_0 massalar bilan almashtiriladi (9.6, *b*-rasm). o'zak bo'yinining chekkaning aylanish o'qiga nisbatan simmetrik joylashgan qismi bilan birgalikdagi massasi muvozanatlangan bo'ladi.

V nuqtada joylashgan massa (kg):

$$m_k = m_{k.6} + 2m_r \rho / R, \quad (9.17)$$

bu yerda $m_{sh.b}$ – shatun bo'yinining uning atrofidagi chekkalar qismlari bilan birgalikdagi massasi; m_r – og'irlik markazi ρ radiusda joylashgan chekkaning *abcd* konturda joylashgan o'rta qismining massasi.

Zamonaviy qisqa yo'lli dvigatellarda m_r qiymati $m_{sh.b}$ ga nisbatan kichik va ko'p hollarda uni hisobga olishmaydi.

Shunday qilib, krivoship-shatunli mexanizmga dinamik ekvivalent bo'lgan jamlangan massalar tizimi *A* nuqtaga keltirilgan, ilgarilanma-qaytma harakat qiluvchi massa $m_j = m_p + m_{sh.k}$ dan va *V* nuqtaga keltirilgan, aylanma harakatlanuvchi massa $m_R = m_k + m_{sh.k}$ massalardan tarkib topadi. Ikkilangan krivoship-shatunli

mexanizmli V -simon dvigatellarda $m_{j\Sigma} = m_k + 2m_{sh.k}$.

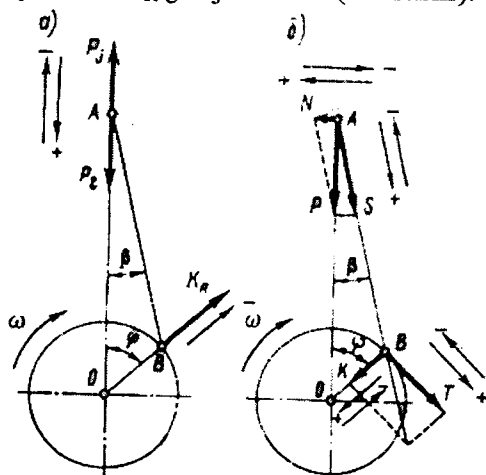
Dvigatel dinamik hisobini bajarishda m_p va m_{sh} massalari o'xshash (prototip) ma'lumotlar bo'yicha tanlanadi yoki chizmalar bo'yicha hisoblanadi.

m_p , m_{sh} va m_k qiymatlarini taxminiy aniqlashda 9.4-jadvalda keltirilgan konstruktiv massalar $m' = m/F_p$ (kg/m^2 yoki g/sm^2) dan foydalanish mumkin.

9.4-jadval bo'yicha massalarni aniqlashda quyidagilarni hisobga olish lozim: silindr diametri katta bo'lgan dvigatellarga m' ning katta qiymatlari mos keladi; S/D kamayganda m_{sh}' va m_k' kichiklashadi; bir bo'yinda ikki shatun joylashgan V -simon dvigatellarga m_k' ning katta qiymatlari mos keladi.

9.2.3. Inersiya kuchlari

Krivoship-shatunli mexanizmda ta'sir qiluvchi inersiya kuchlarini keltirilgan massalar harakatining tavsifi bo'yicha ilgari lanma-qaytma harakatlanuvchi massalarning inersiya kuchi P_j va aylanma harakatlanayotgan massalarning markazdan qochma inersiya kuchi k_R ga ajratishadi (9.7-rasm).



9.7-rasm. Krivoship-shatunli mexanizmda ta'sir qiluvchi kuchlar sxemasi:
a – inersiya va gaz kuchlari; b – summar kuchlar.

Ilgarilanma-qaytma harakatlanayotgan massalarning inersiya kuchlari

$$P_j = P_{j1} + P_{j2} = -(m_j R \omega^2 \cos \varphi + m_j R \omega^2 \lambda \cos 2\varphi) \quad (9.19)$$

Ilgarilanma-qaytma harakatlanuvchi massalar inersiya kuchi silindr o'qi bo'ylab yo'naladi va gaz bosimi kuchlari kabi, agar tirsakli val o'qi tomon yo'nalgan bo'lsa musbat va agar tirsakli valdan teskari tomonga yo'nalgan bo'lsa manfiy bo'ladi.

Krivoship (φ burchak)ning qaysi holatlari uchun Δr_g va r_g aniqlangan bo'lsa, o'sha holatlar uchun r_j hisoblanadi.

Aylanma harakatlanuvchi massalarning markazdan qochma inertsia kuchi

$$k_R = -m_R R \omega^2 \quad (9.20)$$

($\omega = \text{const}$ da) qiymati bo'yicha o'zgarmas bo'lib, krivoship radiusi bo'yicha ta'sir qiladi va tirsakli val o'qidan tashqariga yo'naladi.

Markazdan qochma inersiya kuchi quyidagi ikki kuchning yig'indisi bo'ladi:

shatun aylanma harakat qiluvchi massalarining inersiya kuchi

$$k_{Rsh} = -m_{sh.k} R \omega^2 \quad (9.21)$$

va krivoship aylanuvchi massalarining inersiya kuchi

$$k_{Rk} = -m_k R \omega^2 \quad (9.22)$$

V -simon dvigatellar uchun (tirkama shatunli)

$$\begin{aligned} k_{R\Sigma} &= k_{Rk} + k_{Rsh.ch.} + k_{Rsh.u.} = \\ &= -(m_k + m_{sh.k.ch.} + m_{sh.k.u.}) R \omega^2. \end{aligned} \quad (9.23)$$

bu yerda $k_{Rsh.ch.}$ va $k_{Rsh.u.}$ – mos ravishda chap va o'ng shatunlar aylanuvchi massalarining inersiya kuchlari

9.4-jadval

Krivoship-shatunli mexanizm elementlari	Konstruktiv massalar, kg/m ³	
	Benzinli dvigatellar (D=60–100 mm)	Dizellar (D=80–120 mm)
Porshen guruhi ($m_p' = m_p/F_p$):		
porshen alyumin qotishmasidan	80–150	150–300
porshen cho'yanli	150–250	250–400
Shatun ($m_{sh}' = m_{sh}/F_p$):	100–200	250–400
Val bir tirsagining posangilarsiz muvozanatlanmagan qismi		
($m_k' = m_k/F_p$):		
to'liq bo'yinli bolg'alangan		
po'lat val	150–200	200–400
bo'yinlari ichi teshik bo'lgan		
quyma cho'yan val	100–200	150–300

Ikkita bir xil shatuni bir bo'lakda yonma-yon joylashgan V-simon dvigatellar uchun:

$$k_{R\Sigma} = k_{Rk} + 2k_{Rsh} = -(m_k + 2m_{sh,k})R\omega^2 = m_{R\Sigma}R\omega^2. \quad (9.24)$$

9.2.4. Krivoship-shatunli mexanizmga ta'sir qiluvchi summar kuchlar

Porshenga ta'sir qiluvchi summar kuchlar (kN)

$$p = p_r + p_j. \quad (9.25)$$

Dvigatel dinamik hisobini bajarishda to'liq kuchlardan emas, balki porshen yuzasi birligiga ta'sir qiladigan solishtirma kuchlardan foydalanish maqsadga muvofiq bo'ladi. Bu holda solishtirma summar kuchlar (MPa) porshen ustidagi ortiqcha bosim Δr_g ni va solishtirma inertiya kuchlari r_j (MN/m²=MPa)ni qushish yo'li bilan topiladi:

$$r = \Delta r_g + r_j, \quad (9.26)$$

bu yerda

$$p_j = p_r / F_n = -(m_j R \omega^2 / F_n) (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi). \quad (9.27)$$

Summar kuch r , r_g va r_j kuchlar kabi, silindr o'qi bo'ylab yo'naladi va porshen barmog'i o'qiga qo'yiladi (9.7, *b*-rasm). R kuchining ta'siri silindr o'qiga perpendikulyar ravishda uning devorlariga va shatunga uning o'qi bo'ylab ta'sir qiladi.

Silindr o'qiga perpendikulyar ta'sir qilayotgan kuch N (kN) *normal kuch* deyiladi va u silindr devorlari tomonidan qabul qilinadi:

$$N = P \operatorname{tg} \beta \quad (9.28)$$

Agar N kuch tirsakli val o'qiga nisbatan hosil qilayotgan moment yo'nalishi val aylanishi yo'nalishiga qarama-qarshi bo'lsa, u musbat hisoblanadi.

Shatun bo'ylab yo'nalgan kuch S (kN) krivoshipga uzatiladi. Bu kuch shatunni siqsa – musbat, cho'zsa – manfiy hisoblanadi:

$$S = P(1 / \cos \beta) \quad (9.29)$$

Shatun bo'ylab ta'sir qilayotgan S kuchdan tirsakli valning shatun bo'yinida ikkita tashkil qiluvchi kuchlar vujudga keladi (9.7, *b*-rasm):

krivoship radiusi bo'ylab yo'nalgan kuch (kN):

$$K = P \cdot \cos(\varphi + \beta) / \cos \beta, \quad (9.30)$$

va krivoship radiusi aylanisiga urinma yo'nalgan tangentsial kuch (kN):

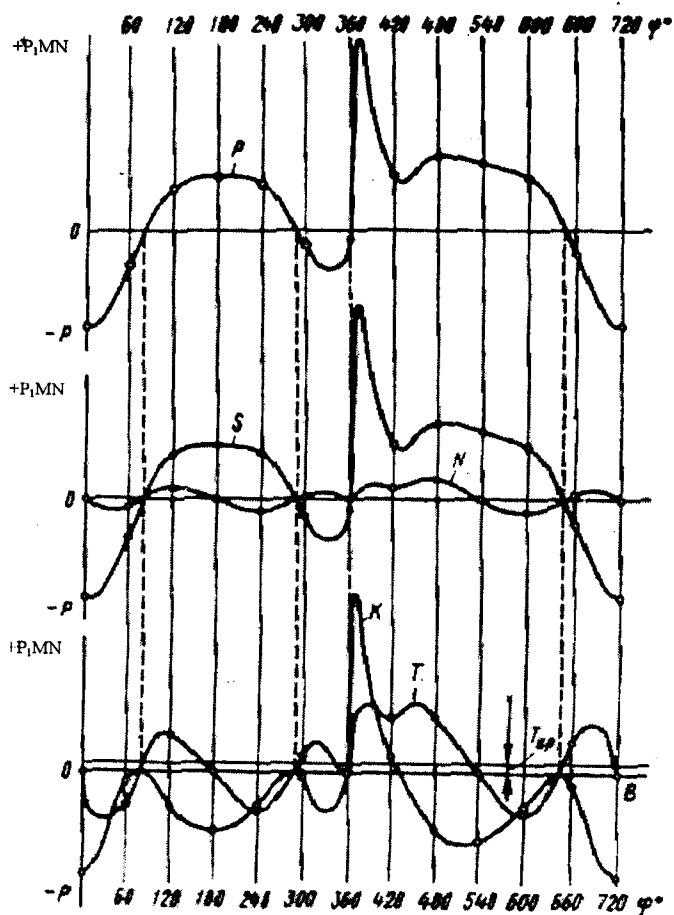
$$T = P \cdot \sin(\varphi + \beta) / \cos \beta. \quad (9.31)$$

Agar K kuchi tirsak chekkalarini siqsa, u musbat hisoblanadi.

T kuchidan hosil bo'layotgan moment yo'nalishi tirsakli val aylanish yo'nalishi bilan mos bo'lsa, T kuch musbat hisoblanadi.

(9.28)–(9.31) tenglamalarga kiruvchi trigonometrik funksiyalarning son qiymatlari λ va φ ning har xil qiymatlari uchun

9.5–9.8 jadvallarda keltirilgan. Ushbu tenglamalarni echish natijasida olingan qiymatlar bo'yicha N , S , K va T kuchlar o'zgarishining grafiklari (9.8-rasm) quriladi.



9.8-rasm. Tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha R , N , S , K va T kuchlar grafiklarini qurish.

9.5-jadval

φ^0	Ishora	$\lambda, \dots$ larda tgβ qiymatlari								Ishora	φ^0
		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

9.6-jadval

φ^0	Ishora	$\lambda, \dots$ larda $1/\cos\beta$ qiymatlari								Ishora	φ^0
		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	1,032	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

9.7-jadval

φ^0	Ishora	$\lambda \dots \text{larda } \cos(\varphi+\beta)/\cos\beta \text{ qiymatlari}$							Ishora	φ^0
		0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30		
0	+	1	1	1	1	1	1	1	+	360
10	+	0,978	0,977	0,977	0,977	0,976	0,976	0,975	+	350
20	+	0,912	0,910	0,909	0,908	0,907	0,906	0,905	+	340
30	+	0,806	0,803	0,801	0,798	0,795	0,793	0,790	+	330
40	+	0,666	0,662	0,657	0,653	0,649	0,645	0,640	+	320
50	+	0,500	0,494	0,488	0,482	0,476	0,469	0,463	+	310
60	+	0,317	0,309	0,301	0,293	0,285	0,277	0,269	+	300
70	+	0,126	0,117	0,107	0,098	0,088	0,078	0,069	+	290
80	-	0,064	0,075	0,085	0,095	0,106	0,117	0,127	-	280
90	-	0,245	0,256	0,267	0,278	0,289	0,300	0,311	-	270
100	-	0,411	0,422	0,432	0,443	0,453	0,464	0,475	-	260
110	-	0,558	0,568	0,577	0,586	0,596	0,606	0,615	-	250
120	-	0,683	0,691	0,699	0,707	0,715	0,723	0,731	-	240
130	-	0,785	0,792	0,798	0,804	0,810	0,816	0,822	-	230
140	-	0,866	0,870	0,875	0,879	0,883	0,887	0,892	-	220
150	-	0,926	0,929	0,931	0,934	0,937	0,939	0,942	-	210
160	-	0,968	0,969	0,970	0,971	0,973	0,974	0,975	-	200
170	-	0,992	0,992	0,993	0,993	0,993	0,994	0,994	-	190
180	-	1	1	1	1	1	1	1	-	180

φ^0	Ishora	9.8-jadval $\lambda, \dots$ larda $\sin(\varphi+\beta)/\cos\beta$ qiymatlari								Ishora	φ^0
		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	0,620	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

$T_{o,r}$ qiymati T egri chizig'i ostidan yuzadan grafik ravishda aniqlanadi:

$$T_{o,r} = (\Sigma f_1 - \Sigma f_2) \mu_p / OB, \quad (9.32)$$

bu yerda Σf_1 va Σf_2 – T egri chizig'i ostidagi mos ravishda musbat va manfiy yuzalar, mm^2 ; μ_p – to'liq kuchlar masshtab koeffitsiyenti, MN/mm ; OB – diagramma asosi uzunligi, mm (9.8-rasm).

Hisoblar va T kuchi egri chizig'ini qurish aniqligini quyidagi tenglama yordamida aniqlashadi

$$T_{yp} = 2 p_i F_p / (\tau n), \quad (9.33)$$

bu yerda $T_{o,r}$ – tangentsial kuchning 1 sikldagi o'rtacha qiymati, MN ; r_i – o'rtacha indikator bosim, MPa ; F_p – porshen yuzasi, m^2 ; τ – dvigatel taktligi.

T qiymati bo'yicha bir silindrda hosil bo'ladigan burovchi moment aniqlanadi, $(\text{MN}\cdot\text{m})$:

$$M_{\text{bur},p} = TR. \quad (9.34)$$

$$T \text{ kuchining } \varphi \text{ bo'yicha o'zgarish grafigi } \mu_m = \mu_p R \left(\frac{MH \cdot M}{MM} \right)$$

masshtabda $M_{\text{bur},p}$ o'zgarishining grafigi ham bo'ladi.

Ko'p silindrli dvigatelning summar burovchi momenti M_{bur} grafigini qurish uchun har bir silindr burovchi momentlarining grafigi qo'shiladi, bunda har bir grafik boshqa grafikka nisbatan uchqunlar orasida krivoship burilishi burchagiga buriladi. Hamma silindrlar burovchi momentlarining tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha o'zgarishining qiymati va harakati bir xil bo'lib, ular bir-biridan faqat alohida silindrlardagi uchqunlar orasidagi burchak intervallarga teng intervallarda farqlanishi sababli, dvigatelning summar burovchi momentini hisoblash uchun bitta silindrning burovchi momentiga ega bo'lishi kifoya qiladi.

Uchqunlar orasidagi interval teng bo'lgan dvigatel uchun summar burovchi moment quyidagicha davriy o'zgaradi (i – dvigateldagi silindrlar soni):

To'rt taktli dvigatelda $\theta = 720^\circ/i$;

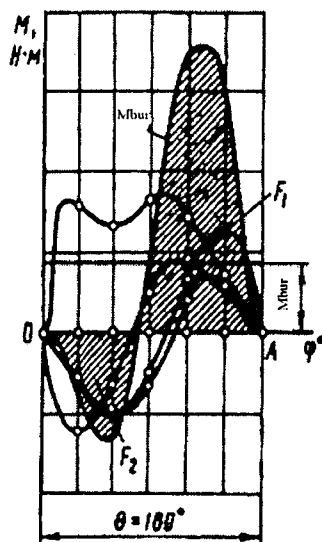
Ikki taktli dvigatelda $\theta = 720^\circ/i$.

M_{bur} grafigini qurishda bir silindr burovchi momenti $M_{bur.ts}$ $720^\circ/\theta$ ga teng bo'laklarga bo'linadi (to'rt taktli dvigatellar uchun); grafikning hamma bo'laklari bir joyda chiziladi va yig'indisi topiladi. Hosil bo'lgan natijaviy egri chiziq dvigatel summar burovchi momentining tirsakli val burilishi burchagi bo'yicha o'zgarishini ko'rsatadi.

Summar burovchi moment $M_{bur.ur}$ (MN·m)ning o'rtacha qiymati M_{bur} egri chizig'i va OA chizig'i orasidagi yuza bo'yicha aniqlanadi:

$$M_{bur.uch} = (F_1 - F_2) \cdot \mu_m / OA, \quad (9.35)$$

bu yerda F_1 va $F_2 - \mu_{bur}$ egri chizig'i va OA chizig'i orasidagi mos ravishda musbat va manfiy yuzalar; summar yuza summar burovchi moment bajargan ishga ekvivalent bo'ladi ($i \geq 6$ da odatda, manfiy yuza bo'lmaydi), mm^2 ; μ_m – moment masshtab koeffitsiyenti, MN·m/mm; OA – diagrammada uchqunlar orasidagi interval uzunligi (9.9-rasm), mm.



9.9-rasm. To'rt silindrli to'rt taktli dvigatelnin summar burovchi moment grafigi.

$\mu_{\text{bur.ur}}$ moment dvigatelning o'rtacha indikator momenti μ_i ifodalaydi. Dvigatel validan olinadigan haqiqiy effektiv burovchi moment:

$$\mu_e = \mu_{\text{bur.ur}} \cdot \eta_m, \quad (9.36)$$

bu yerda η_m – dvigatelning mexanik f.i.k.

9.2.5. Tirsakli valning shatun bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar

Dvigatel shatun bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar analitik usulda yoki qurish yo'li bilan aniqlanadi.

Qatorli dvigatellar. Qatorli dvigatel shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi umumiy kuch (9.10, *a*-rasm):

$$R_{\text{sh.b.}} = \sqrt{T^2 + P_k^2}, \quad (9.37)$$

bu yerda $R_k = K + K_{\text{Rsh}}$ – krivoship radiusi yo'nalishida shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuch, N.

Tirsakli valning har xil holatlari uchun umumiy kuch $R_{\text{sh.b.}}$ ning yo'nalishi $R_{\text{sh.b.}}$ va krivoship radiusi orasidagi burchak ψ bilan aniqlanadi. Burchak ψ quyidagi nisbatdan topiladi

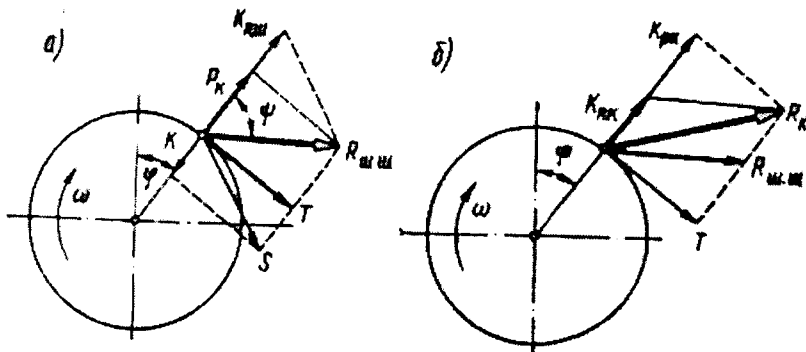
$$\text{tg } \psi = T + P_k. \quad (9.38)$$

Shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi umumiy kuch $R_{\text{sh.b.}}$ ni krivoship bo'ylab ta'sir qiluvchi kuch R_k va tangentsial kuch T larni geometrik qo'shib yoki shatun bo'ylab ta'sir qiluvchi summa kuch S va shatun aylanuvchi massalarining markazdan qochma kuchi K_{Rsh} kuchlarni geometrik qo'shish yo'li bilan shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi umumiy kuch $R_{\text{sh.b.}}$ ni topish mumkin (9.10, *b*-rasmga qarang).

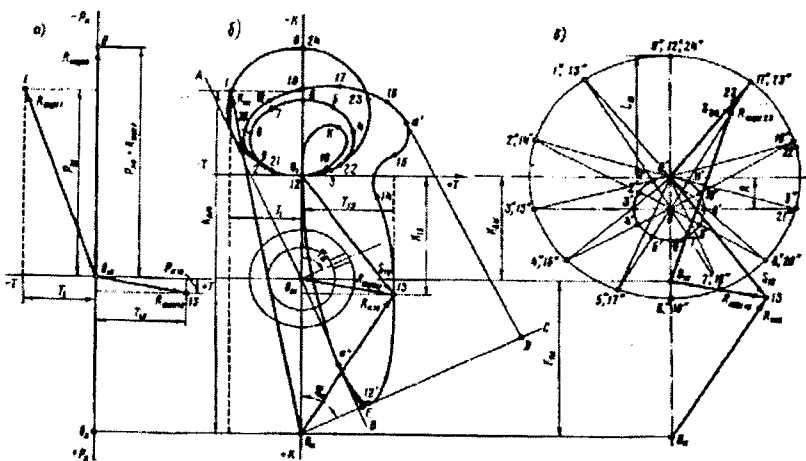
Krivoship burilish burchagi bo'yicha $R_{\text{sh.b.}}$ kuchni grafik qurish qutbi O_{sh} nuqtada bo'lgan qutb diagrammasi ko'rinishida amalga oshiriladi (9.11, *a*-rasm).

Diagramma qutbi O_{sh} nuqtadan abtissa o'qi bo'ylab o'ng tarafga musbat kuch T , ordinata o'qi bo'ylab esa yuqori tarafga

manfiy kuch R_k qo'yiladi. Tirsakli valning mos burilish burchagi uchun umumiy kuch $R_{sh.b.} - T$ va R_k kuchlarning geometrik yig'indisi sifatida grafik usulda aniqlanadi. 9.11, a -rasmda $\varphi^0 = 0$, $\varphi_1 = 30$ va $\varphi_{13} = 390^0$ burchaklar uchun $R_{sh.b.}$ kuchni qurish ko'rsatilgan. Tirsakli valning qolgan holatlari uchun shunga o'xshab quriladi.



9.10-rasm. Ta'sir qiluvchi kuchlar:
a – valning shatun bo'yniga; b – val tirsagiga.



9.11-rasm. Shatun bo'yniga tushadigan yukning qutb diagrammasini qurish:
a – $R_{sh.b.}$ ni T var R_k yig'indisi sifatida qurish; b – qutb diagramma; v – $R_{sh.b.}$ ni S va K_{sh} yig'indisi sifatida qurish.

Qutb diagrammasini hosil qilish uchun umumiy kuch $R_{sh.b.}$ ning oxirgi nuqtalari burchak ortib borishi tartibida silliq egri chiziq bilan ketma-ket tutashtiriladi. 9.11, b, v-rasmda shatun bo'yiniga tushadigan yukning qutb diagrammasi S va K_{Rsh} kuchlarni geometrik qo'shish yo'li bilan qurilgan; farq – S kuchlarini qurishda. 9.11, b-rasmda S kuchlari T va K kuchlarini geometrik qo'shib, ya'ni $S = \sqrt{T^2 + K^2}$, aniqlangan va krivoship $\varphi_{13}=390^0$ ga burilgan holatdagi S_{13} kuchini qurish ko'rsatilgan. 9.11, v-rasmda analitik usulda hisoblab topilgan S kuchlari bevosita K_{Rsh} kuchiga qo'shilgan.

Shatun o'qi bo'ylab ta'sir qiluvchi yig'indi kuch S va krivoship bo'ylab ta'sir qiluvchi markazdan qochma inertsia kuchi K_{Rsh} larni geometrik usulda qo'shib, shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi yukning qutb diagrammasini (9.11, v-rasm) qurish quyidagicha amalga oshiriladi.

O'zak bo'yinining shartli qo'zg'almas markazini ifodalovchi O nuqtadan qabul qilingan masshtabda krivoship radiusiga teng radiusda aylana chiziladi. Shatun bo'yini yu.ch.h. bo'lgandagi markazi – O' nuqtadan, qabul qilingan masshtabda, shatun uzunligiga teng bo'lgan radiusda ikkinchi aylana chiziladi. Markazi O nuqtada bo'lgan aylana teng (odatda 12 yoki 24) bo'laklarga bo'linadi. Hosil bo'lgan nuqtalardan O markaz orqali O' nuqtadan o'tkazilgan aylana bilan kesishguncha nur o'tkaziladi. Bu nurlar shartli aylanayotgan dvigatel silindri o'qining nisbiy holatlarini ifodalaydi. Bunda silindr tirsakli val burchak tezligiga teng, lekin qarama-qarshi yo'nalgan burchak tezlikda aylanadi deb qabul qilinadi. Nuqta o'tkazilgan nurlar oxiri bilan tutashtirilib $O'1''$, $O'2''$ va h.k. kesmalar hosil qilinadi. Bu kesmalar – tirsakli val ma'lum burchakka burilgandagi shatun o'qining nisbiy holatlaridir. O' nuqtadan shatun o'qi yo'nalishlarida.

S kuchlari vektorlarining ishoralarini hisobga olib μ_R masshtabda qo'yiladi (9.11, v-rasmda $\varphi_{13}=390^0$ da S_{13} kuchi va $\varphi_{23}=690^0$ da S_{23} kuchi ko'rsatilgan) va ularning oxirgi nuqtalari silliq egri chiziq bilan tutashtiriladi. Hosil bo'lgan egri chiziq qutbi O' nuqtada bo'lgan S nuqtalarining qutb diagrammasi deyiladi.

Umumiy kuch $R_{sh.b.}$ ni topish uchun O' qutb vertikal bo'ylab K_{Rsh} vertikal bo'ylab siljiriladi (K_{Rsh} ning qiymati va yo'nalishi o'zgarmas; masshtab esa o'sha μ_R). Hosil bo'lgan nuqta O_{sh} shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi umumiy kuchlar $R_{sh.sh.}$ lar qutb diagrammasining qutbi deb ataladi. Krivoshipning qaysidir bir (masalan, 23) holati uchun S va K_{Rsh} kuchlar vektorlarini geometrik qo'shish uchun qutb O_{sh} dan $O_{sh} 23$ vektorini o'tkazish kifoya qiladi. $\overline{O_{sh}O'} = K_{Rsh}$ ba $\overline{O'23} = \overline{S_{23}}$ vektorlarning geometrik summasi bo'lgan bu vektor qiymati va yo'nalishi bo'yicha izlanayotgan kuch $R_{sh.b.23}$ ga mos bo'ladi.

Shunday qilib, koordinatalar boshi (O_{sh} qutb)ni S kuchning qutb diagrammasi konturidagi nuqtalar bilan tutashtiruvchi vektorlar qiymati va yo'nalishi bo'yicha tirsakli valning mos burilishi burchaklarida shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlarni ifodalaydi.

Val tirsagiga ta'sir qiluvchi va shatun bo'yinini eguvchi umumiy kuch $\overline{R_k} = \overline{R_{sh.b.}} + K_{Rk}$ (9.10, b -rasm)ni olish uchun, qutb O_{sh} ni vertikal bo'ylab (9.11-rasm) krivoship aylanuvchi massalarining markazdan qochma inertsia kuchi kattaligi $K_{Rk} = -m_k R \omega^2$ ga O_k nuqtaga siljitish zarur. 9.11, b, v -rasmda umumiy kuchlar R_k ni $\varphi_3 = 390^\circ$ burchak uchun qurilishi ko'rsatilgan.

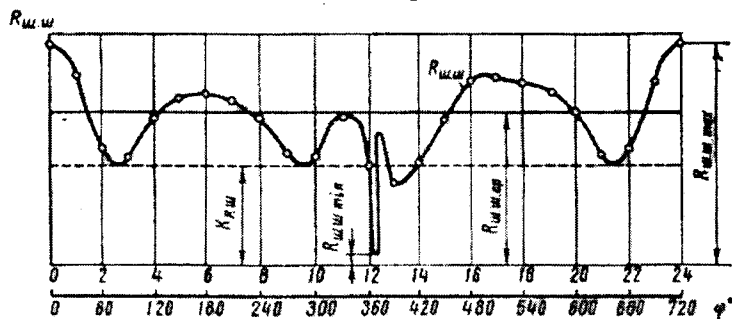
Analistik usulda (9.11, b -rasm)

$$R_k = \sqrt{T^2 + K_{Pk}^2}, \quad (9.39)$$

bu yerda $K_{Rk} = R_k + K_{Rk} = K + K_{Rsh} + K_{Rk} = K + K_R$ - val tirsagiga krivoship bo'lab ta'sir qiluvchi kuch (9.11, b -rasmda $\varphi_1 = 30^\circ$ da R_{K1} qurilishi ko'rsatilgan).

Bir siklda umumiy kuchning o'rtacha qiymati $R_{sh.b.o'r}$ ni hamda uning maksimal $R_{sh.b.max}$ va minimal $R_{sh.b.min}$ qiymatlarini aniqlash uchun qutb diagramma tirsakli val burilishi burchagi funksiyasida to'g'ri burchakli koordinatalarga yoyiladi (9.12-rasm). Buning uchun abstissa o'qi bo'ylab tirsakli valning har bir holati uchun krivoshipning burilish burchagi, ordinata o'qi bo'ylab esa umumiy kuch $R_{sh.b.}$ ning qutb diagrammasidan olin-

gan qiymatlari qo'yiladi. Diagrammani qurishda $R_{sh.b.}$ ning hamma qiymatlari musbat deb hisoblanadi. $R_{sh.b.} = f(\varphi)$ egri chizig'i ostidagi yuzani planimetrlash (hisoblash) yo'li bilan umumiy kuchning o'rtacha qiymati $R_{sh.b.o'r}$ topiladi.



9.12-rasm. To'g'ri burchakli koordinatalarda shatun bo'yiniga tushadigan yuk diagrammasi.

V-simon dvigatellar. V-simon dvigatel shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi umumiy kuchlarni aniqlashda shatunlarning tirsakli val bilan birikishining konstruktiv bajarilishini hisobga olish zarur.

Tirkama shatunli (shatun bo'yini bilan faqat bitta shatun birikkan) V-simon dvigatellar uchun shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi umumiy kuch $R_{sh.b.o'r.\Sigma}$ chap va o'ng shatunlardan uzatilayotgan umumiy kuchlar T_{Σ} ni $R_{K\Sigma}$ ni geometrik qo'shish yo'li bilan aniqlanadi (9.13-rasm):

$$R_{sh.b.\Sigma} = \sqrt{T_{\Sigma}^2 + K_{K\Sigma}^2} \quad (9.40)$$

T_{Σ} va $R_{K\Sigma}$ kuchlar dvigatel silindrlari ishi ketma-ketligini hisobga olgan holda jadval usulida aniqlanadi

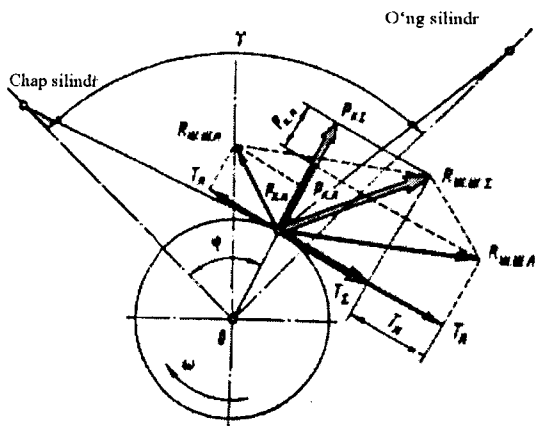
$$T_{\Sigma} = T_{chap} + T_{o'ng}; \quad (9.41)$$

$$R_{K\Sigma} = R_{K.chap} + R_{K.o'ng} = K_{chap} + K_{Rsh.chap} + K_{o'ng} + K_{Rsh.o'ng} = K_{\Sigma} + K_{Rsh.\Sigma}. \quad (9.42)$$

V-simon dvigatellarda tirsakli valning burilish burchagi

tirsakli val o'ng tomonga aylanganda uning old tomonidagi chap silindrda birinchi krivoshipning yu.ch.h. ga mos holatidan boshlab hisoblanadi.

Agar turli krivoshiplarda chap va o'ng silindrlardagi ishchi yo'llar orasidagi intervallar teng bo'lsa, birinchi krivoship uchun aniqlangan summa (yig'indi) kuchlardan boshqa krivoshiplar uchun ham foydalanish mumkin.



9.13-rasm. V-simon dvigatel tirsakli valining shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlar.

Bitta bo'yinda yonma-yon joylashgan bir xil shatunli V-simon dvigatellar uchun shatun bo'yinining mos uchastkalariga ta'sir qiluvchi yig'indi (natijaviy) $R_{sh.b.chap}$ va $R_{sh.b.o'ng}$ kuchlar alohida-alohida – bir qatorli dvigateldagi kabi topiladi. Lekin tirsakka ta'sir qiluvchi yig'indi kuch $R_{KΣ}$ ni aniqlash uchun ikkilangan krivoshipli mexanizmning shatun bo'yiniga ta'sir qiluvchi shartli kuch $R_{sh.b.Σ}$ kuch shatunlar siljigani hisobga olinmasdan, tirkama shatunli dvigatelda topilgani kabi topiladi.

Bu holda

$$\overline{R}_{KΣ} = \overline{R}_{sh.b.Σ} + \overline{K}_{RK} \quad (9.43)$$

V-simon dvigatellarda shatun bo'yiniga va valning tirsagiga

tushadigan yukning qutb diagrammalari bir qatorli dvigatellarda qurilgani kabi quriladi.

9.2.6. Tirsakli valning o'zak bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar

O'zak bo'yiniga ta'sir qiluvchi natijaviy kuch $R_{o'.b.}$ (9.14, a , b -rasm) ikki qo'shni tirsaklardan uzatilayotgan, qiymatlari teng, lekin qarama-qarshi yo'nalgan kuchlarni geometrik qo'shish yo'li bilan aniqlanadi:

$$\overline{R}_{y.6.} = \overline{R}'_{y.i.} + \overline{R}'_{y(i+1).} , \quad (9.44)$$

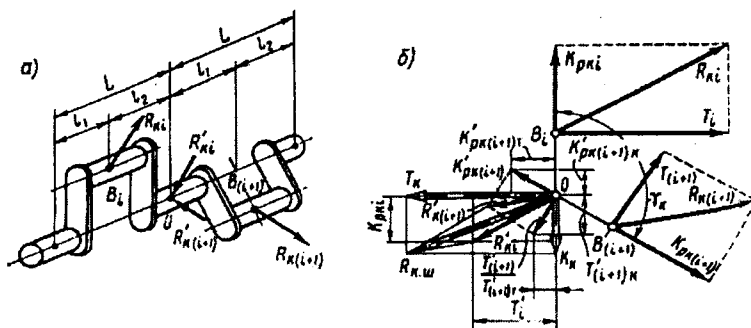
bu erda $\overline{R}'_{y.i.} = -R_{y.i.} l_2 / L$ va $\overline{R}'_{y(i+1).} = -R_{y(i+1).} l_1 / L$ – mos ravishda i va $(i+1)$ tirsaklardan, bu tirsaklar orasida joylashgan o'zak bo'yiniga uzatilayotgan kuchlar; l_1 va l_2 – val o'qi bo'ylab shatun va o'zak bo'yinlari orasidagi masofalar; L – qo'shni o'zak bo'yinlar orasidagi masofa.

Simmetrik tirsaklarda $R'_{y.i.} = -0,5R_{y.i.}$ va $R'_{y(i+1).} = -0,5R_{y(i+1).}$ u holda,

$$\overline{R}_{y.6.} = -0,5(\overline{R}_{y.i.} + \overline{R}_{y(i+1).}) . \quad (9.45)$$

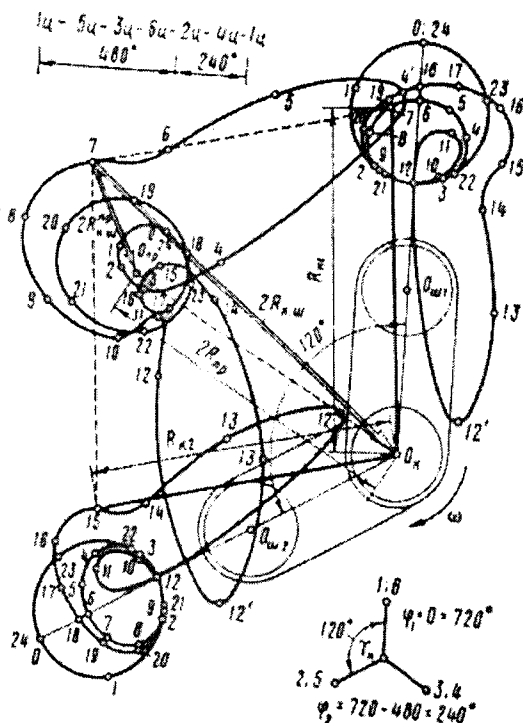
$R_{o'.b.}$ kuchlarning utb diagrammasi utblari $O_{o'}$ bir nuqtada joylashtirilgan, qo'shni shatun bo'yinlariga tushadigan yuklarning ikki qutb diagrammasi yordamida quriladi (9.15-rasm).

Valning mos burilish burchaklari uchun o'zak bo'yinga tushadigan yuk qutb diagrammasining nuqtalari grafik usulda, silindrlar ishi ketma-ketligiga mos ravishda, val tirsagiga bir vaqtda ta'sir qiluvchi ikkala diagrammalardagi $R_{o'}$ Vektorlarini juftlab geometrik qo'shish yo'li bilan aniqlanadi. Olingan natijaviy kuchlarning har biri ikkilangan kuch $R_{o'.b.}$ ni teskari ishorada ifodalaydi. Natijaviy vektorlar oxirini tirsakli val burilishi burchagi ortib borishi tartibida silliq egri chiziq bilan tutashtirilib, qutb diagramma olinadi.



9.14-rasm. O'zak bo'yini:

a – tirsakli val sxemasi; b – o'zak bo'yiniga ta'sir qiluvchi kuchlar sxemasi.



9.15-rasm. Qatorli olti silindrli to'rt ta'ktli dvigatelning ikkinchi o'zak bo'yiniga tushadigan yukning qutb diagrammasi.

Ushbu diagramma yordamida i -silindr krivoshining berilgan burilish burchagida o'zak bo'yinga qo'yilgan natijaviy kuch $R_{o.b.}$ ni aniqlash uchun, shatun bo'yniga tushayotgan yuk qutb diagrammasi masshtabiga qaraganda diagramma masshtabini ikki marta kamaytirish va vektorlarni egri chiziqdan qutb O_o tomon yo'nalgan deb qabul qilish zarur.

9.15-rasmda qatorli olti silindrli to'rt taktli ishlash tartibi 1-5-3-6-2-4 bo'lgan dvigatelning ikkinchi o'zak bo'yniga tushayotgan yukning qutb diagrammasini qurish ko'rsatilgan.

O'zak bo'yniga ta'sir qiluvchi natijaviy kuchni analitik usulda hisoblash mumkin:

$$R_{u.b.} = \sqrt{T_u^2 + K_u^2}, \quad (9.46)$$

bu yerda T_o va K_o – mos ravishda $R'_{K,i}$ va $R'_{K,(i+1)}$ kuchlarning i -krivoshining T va K o'qlariga proektsiyalarining yig'indisi.

T_o va K_o quyidagicha topiladi (9.14, b -rasmga qarang). $R'_{y,i} = -0,5R_{y,i}$ kuchning i -krivoshining T va K o'qlariga proektsiyalari:

$$T'_i = -0,5T_i \quad \text{va} \quad K'_{Py,i} = -0,5K_{Py,i}.$$

Shunga o'xshash $R'_{y,(i+1)}$ kuchning $(i+1)$ – krivoshining T va K o'qlarga proektsiyalari:

$$T'_{i+1} = -0,5T_{i+1} \quad \text{va} \quad K'_{Py,(i+1)} = -0,5K_{Py,(i+1)}.$$

So'ngra T'_{i+1} va $K'_{Py,(i+1)}$ kuchlarning $i+1$ – krivoshining T va K o'qlarga proektsiyasi aniqlanadi:

$$T'_{(i+1)T} = T'_{i+1} \cos \gamma_K = -0,5T_{i+1} \cos \gamma_K;$$

$$T'_{(i+1)K} = T'_{i+1} \sin \gamma_K = -0,5T_{i+1} \sin \gamma_K;$$

$$K'_{PK(i+1)T} = -K'_{PK(i+1)} \sin \gamma_K = 0,5K_{PK(i+1)} \sin \gamma_K;$$

$$K'_{PK(i+1)K} = K'_{PK(i+1)} \cos \gamma_K = -0,5K_{PK(i+1)} \cos \gamma_K;$$

bu yerda, $\gamma_K - i$ va $(i+1)$ silindrlar krivoshiplari orasidagi burchak.

Hamma kuchlarni i -krivoshining T va K o'qlariga proektsiyalab, quyidagilarni hosil qilamiz:

$$\left. \begin{aligned} T_y &= T'_i + T'_{(i+1)T} + K'_{PK(i+1)T} = -0,5(T_i + T_{i+1} \cos \gamma_K - K_{PK(i+1)} \sin \gamma_K) \\ K_y &= K'_{PKi} + T'_{(i+1)K} + K'_{PK(i+1)K} = -0,5(K_{PKi} + T_{i+1} \sin \gamma_K + K_{PK(i+1)} \cos \gamma_K) \end{aligned} \right\} (9.47)$$

T_o va K_o kuchlarni tirsakli val burilishning har xil burchaklari uchun aniqlashda jadval shaklidan foydalanish qulay (9.9-jadval).

9.9-jadvalni sikl boshidan birinchi silindr krivoshipining burilish burchagi bo'yicha tuzishadi. Burilish burchaklari φ_i va φ_{i+1} va ularga mos kuchlarni silindrlar ishi ketma-ketligi bo'yicha burchak siljishini hisobga olgan holda aniqlashadi. Krivoshiplar orasidagi burchak $\gamma_K = 0; 90; 180^\circ$ va h.k. bo'lganda jadvalni tuzish osonlashadi.

Tirsakli val burilishining har xil burchaklari uchun olingan T_o va K_o qiymatlari bo'yicha o'zak bo'yiniga ta'sir qiluvchi natijaviy kuchlar $R_{o'b}$ ning qutb diagrammasi i -silindrnining T va K koordinatalarida quriladi. Diagramma shatun bo'yiniga tushayotgan yukning qutb diagrammasi qurilgani kabi quriladi.

9.9-jadval

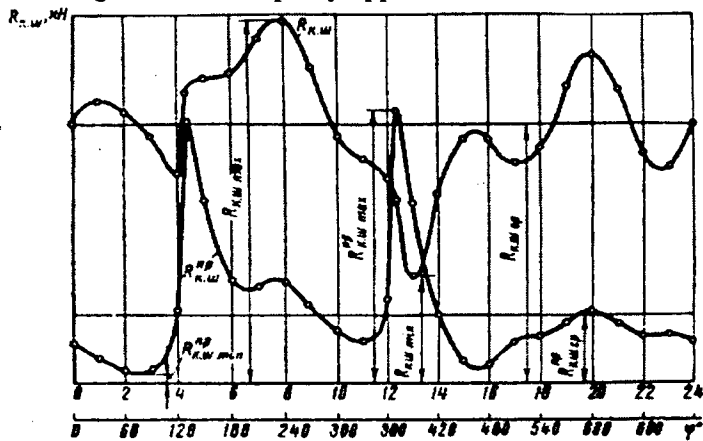
	<i>i</i> -krivoship			<i>(i+1)</i> -krivoship						O‘zak bo‘yini				
	φ^0	φ_i	$-0,5 T_i$ $-0,5 K_{PK_i}$	φ_{i+1}	$-0,5 T_{i+1}$	$-0,5 T_{(i+1)}\cos\gamma_K$	$-0,5 T_{(i+1)}\sin\gamma_K$	$-0,5 K_{PK(i+1)}$	$-0,5 K_{PK(i+1)}\sin\gamma_K$	$-0,5 K_{PK(i+1)}\cos\gamma_K$	φ_i	K_y	T_y	$R_{o' b}$
0														
30														
...														
...														
360														
...														
...														
720														

V -simon dvigatellarning o'zak bo'yinlariga ta'sir qiluvchi natijaviy kuchlar $R_{o'b}$ ni aniqlash va ular uchun qutb diagram-

malarni qurish qatorli dvigatellardagi kabi bajariladi, lekin bunda tirsakning har bir valiga ikkita silindrdan ta'sir qiladigan summar kuchlarning ta'siri hisobga olinadi (9.2.5-§. ga qarang). $R_{o',b}$ kuchlarning qutb diagrammasini (9.15-rasm) to'g'ri burchakli koordinatalar $R_{o',b} - \varphi$ ga o'tkazish (9.16, a-rasm) va undan $R_{o',b}$ o'rta-cha, $K_{o',b,max}$ larni topish $R_{sh,b}$ kuchlar diagrammasini qayta qurish kabi amalga oshiriladi.

9.2.7. Tirsakli val bo'yinlari yeyilishi diagrammasi

Tirsakli val bo'yinlariga ta'sir qiluvchi yuklarning qutb diagrammalari asosida bo'yinlar yeyilishi *diagrammasini* qurish mumkin. Bu diagrammalar val shatun va o'zak bo'yinlarining katta va kichik yuklangan qismlarini topish mumkin, bu moy teshigi joylashtiriladigan joyni to'g'ri aniqlash uchun zarur. Bundan tashqari ular, agar yeyilish bo'yinga ta'sir qiluvchi kuchlarga proporsional deb qabul qilsak, bo'yinning butun aylanasi bo'ylab yeyilishning xarakteri haqida yaqqol tasavvur beradi.



9.16-rasm. O'zak bo'yinga tushadigan yuk:
 a – posangilar hisobga olinmaganda; b – posangili val.

Shatun bo'yining yeyilish diagrammasini (9.17-rasm) 9.11, *b*-rasmda keltirilgan qutb diagrammasi bo'yicha quyidagi tarzda qurishadi. Shatun bo'yinini ixtiyoriy masshtabda tasvirlovchi

aylana o'tkaziladi; uni $O_{sh} 1$, $O_{sh} 2$ va h.k. nurlar bilan teng (odatda 12 yoki 18) bo'laklarga bo'lishadi.

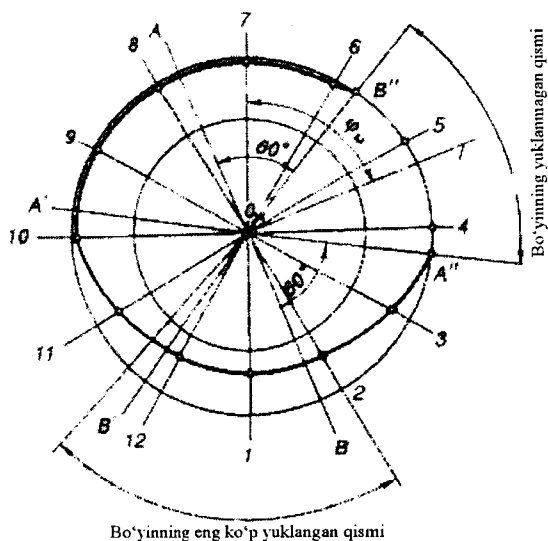
$R_{sh.b.i}$ kuch har bir vektorining ta'siri kuch qo'yilgan nuqtadan bo'yin aylanasi bo'ylab ikkala tarafa 60^0 ga yoyiladi deb qabul qilinadi. Shunday qilib har bir nur (masalan, $O_{sh} 22$ nuri) bo'yicha ta'sir qiluvchi kuch (yeyilish) qiymatini aniqlash uchun:

a) nur yeyilish diagrammasidan o'ziga parallel hamda qutb diagrammasiga ko'chiriladi;

b) qutb diagrammasida shunday sektor ($O_{sh} 11$ nuridan har ikkita tarafa 60^0 dan) topiladi-ki, unda ta'sir qiluvchi kuchlar $R_{sh.b.i}$ $O_{sh} 11$ nuri yo'nalishida yuk (yeyilish) hosil qilsin;

v) $O_{sh} 11$ nuri sektorida ta'sir qiluvchi har bir $R_{sh.b.i}$ kuchning qiymatini aniqlash ($O_{sh} 11$ nuri sektorida uchta kuch: $R_{sh.b.13}$, $R_{sh.b.14}$ va $R_{sh.b.15}$ lar ta'sir qiladi) va $O_{sh} 11$ nuri uchun $R_{sh.b.\Sigma}$ ($R_{sh.b.\Sigma} = R_{sh.b.13} + R_{sh.b.14} + R_{sh.b.15}$) natijaviy kuchning qiymatini hisoblash;

g) tanlangan masshtabda yeyilish diagrammasida natijaviy kuch $R_{sh.b.\Sigma}$ ni $O_{sh} 11$ nur bo'ylab aylanadan markazga qaratib qo'yish;



9.17-rasm. Shatun bo'yini yeyilishi diagrammasi

d) har bir nur sektorida ta'sir qiluvchi natijaviy kuchlar qiymatlarini aniqlash (masalan, O_{sh11} nuri sektorida $R_{sh.b.13}$ dan boshqa hamma kuchlar ta'sir qiladi, O_{sh4} va O_{sh5} nurlar sektorlarida esa birorta kuch ta'sir qilmaydi);

e) har bir nurda tanlangan masshtabda $R_{sh.b.\Sigma}$ kuchlarning natijaviy qiymatlariga mos kesmalar qo'yilishi, kesmalar oxirlarini esa bo'yin yeyilishini tavsiflovchi silliq egri chiziq bilan tutashtirish;

j) yeyilish diagrammasiga qutb diagrammasiga urinma bo'lgan O_{shA} va O_{shV} chegaralovchi urinmalarni ko'chirish va ulardan 60^0 ostida $O_{shA'}$ va $O_{shV'}$ nurlarni o'tkazib, shatun bo'yini yeyilishi egri chizig'ining chegaraviy nuqtalari: A'' va V'' ni aniqlash kerak; moy teshigi o'qi odatda, shu nuqtalar orasida joylashadi.

Natijaviy kuch $R_{sh.b.\Sigma}$ qiymatlarini hisoblashni soddalashtirish uchun jadval tuziladi, unga har bir nur bo'ylab ta'sir qiluvchi kuch $R_{sh.b.i}$ ning qiymatlari va ularning summasi yoziladi.

O'zak bo'yini yeyilishi diagrammasi shunga o'xshash quriladi.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Автомобильные двигатели/Под ред. М.С. Ховаха. М.: Машиностроение, 1977, 591 с.
2. Автомобильные и тракторные двигатели/Под ред. Проф. И.М. Ленина. М.: Высшая школа, 1976. 368 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей/Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1990, 283 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей/Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1983, 375 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей/Под ред. А.С. Орлина и М.Г. Круглова. М.: Машиностроение, 1985, 456 с.
6. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих протсессов/Под ред. В.Н. Луканина. М.: Высшая школа, 1995. 368 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания. Динамика и конструирование/Под ред. В.Н. Луканина. М.: Высшая школа, 1995. 320 с.
8. Ковалевский В.И. Автомобильные двигатели. Краснодар, 2003. 196 с.
9. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. М.: Высшая школа, 2002. 496 с.
10. Конструктсия и расчет автотракторных

двигателей/Под ред. Проф. Ю.А. Степанова. М.: Машиностроение, 1964, 522 с.

11. Савельев Г.М., Стефановский Б.С. Проектирование турбокомпрессоров. Ярославль, 1977.

12. To'laev B.R. Ichki yonuv dvigatellarini konstruksiyalash va hisoblash asoslari. O'quv qo'llanma. T.: ToshDTU. 1996. 118 b.

13. To'laev B.R. Ichki yonuv dvigatellari uchun yonilg'ilar ximmotologiyasi. O'quv qo'llanma. T.: ToshDTU. 2003. –163 b.

14. Qodirov S.M. Ichki yonuv dvigatellari/A.U. Salimov tahriri ostida. T.: «O'qituvchi», 2006.

MUNDARIJA

KIRISH.....	3
QISQA XULOSALAR.....	6
I BOB. PORSHENLI ICHKI YONUV	
DVIGATELLARINING TASNIFLANISHI VA ISHLASH	
PRINTSIPLARI.....	8
1.1. AVTOMOBIL VA TRAKTOR DVIGATELLARINING	
TASNIFLANISHI.....	8
1.2. PORSHENLI DVIGATELLARNING ISHLASH PRINTSIPLARI...	10
II BOB. PORSHENLI ICHKI YONUV	
DVIGATELLARINING NAZARIY SIKLLARI.....	14
2.1. UMUMIY HOLATLAR.....	14
2.2. QAYTALANUVCHI TERMODINAMIKANING SIKLLARNI	
TADQIQOT QILISHDA QABUL QILINADIGAN FARAZLAR.....	15
2.3. PORSHENLI ICHKI YONUV DVIGATELLARINING NAZARIY	
SIKLLARI.....	16
2.4. ISSIQLIK O‘ZGARMAS HAJMDA KELITIRILADIGAN NAZARIY	
SIKL.....	19
2.5. ISSIQLIK DASTLAB O‘ZGARMAS HAJMDA, SO‘NGRA	
O‘ZGARMAS BOSIMDA KELITIRILADIGAN NAZARIY SIKL (ARALASH	
NAZARIY SIKL).....	25
2.6. NADDUVLI DVIGATELLARNING NAZARIY SIKLLARI.....	33
III BOB. YONILG‘I, ISHCHI JISMLAR VA ULARNING	
XOSSALARI.....	36
3.1. UMUMIY MA‘LUMOTLAR.....	36
3.2 YONILG‘I YONISHIDAGI KIMYOVIY REAKTSIYALAR.....	39
3.3 YONILG‘I VA YONILG‘I-HAVO ARALASHMASINING YONISH	
ISSIQLIGI.....	47
3.4. GAZLARNING ISSIQLIK SIG‘IMI.....	51
IV BOB. DVIGATELLARNING HAQIQIY	
SIKLLARI.....	57

4.1. UMUMIY HOLATLAR.....	57
4.2. KIRITISH VA GAZ ALMASHISH JARAYONI.....	58
4.2.1. Dastlabki va asosiy kiritish.....	59
4.2.2. Kech kiritish	60
4.2.3. Kiritish jarayonida silindrda kiradigan yangi zaryad hajmi.....	63
4.2.4. Kiritish jarayonini tavsiflovchi parametrlarni aniqlash.....	64
4.2.5. Konstruktiv va ekspluatatsion omillarning silindr to'lishiga ta'siri.....	76
4.3. SIQISH JARAYONI.....	92
4.3.1. Umumiy holatlar.....	92
4.3.2. Siqish jarayonining borishi.....	95
4.3.3. Siqish jarayonida issiqlik almashinuvi.....	96
4.3.4. Siqish jarayonini hisoblash.....	99
4.4. YONISH JARAYONI.....	103
4.4.1. Yonuvchi aralashmalarni hosil qilish.....	103
4.4.2. Alanganish va yonish jarayonlari.....	114
4.4.3. Yonish jarayonini tashkil qilish metodlari.....	123
4.4.4. Indikator diagramma bo'yicha yonish jarayonini tahlil qilish. Dvigatellarda yonishning asosiy fazalari.....	125
4.4.5. Yonish jarayonini hisoblash.....	133
4.4.6. Dvigatellarda yonilg'i yonganida zaharli moddalarning hosil bo'lishi.....	139
4.4.7. Zaharli moddalar chiqishi va yonilg'i sarfini kamaytirish maqsadida aralashma hosil qilish va yonish jarayonlarini takomillashtirish.....	142
4.5. KENGAYISH JARAYONI.....	145
4.5.1. Kengayish jarayoni termodinamikasi.....	145
4.5.2. Kengayish oxirida gazlar bosimi va harorati.....	150
4.6. CHIQRISH JARAYONI VA EKSPLUATATSIYADA DVIGATELLAR ZAHARLILIGINI KAMAYTIRISH METODLARI.....	153
4.6.1. Chiqarish jarayoni.....	153
4.6.2. Eksploatatsiyada dvigatellar zaharliligini kamaytirish metodlari.....	155

V BOB. DVIGATELNING INDIKATOR	
KO'RSATKICHLARI.....	156
5.1. INDIKATOR ISH, O'RTACHA INDIKATOR BOSIM VA	
INDIKATOR QUVVAT.....	156
5.1.1. Indikator ish.....	156
5.1.2. O'rtacha indikator bosim.....	157
5.1.3. Indikator quvvat.....	160
5.2. INDIKATOR F.I.K.....	161
5.3. YONILG'I SARFI.....	162
5.4. TURLI OMILLARNING INDIKATOR KO'RSATKICHLARGA	
TA'SIRI.....	164
5.4.1. Konstruktiv va rostlovchi omillarning ta'siri.....	165
5.4.2. Eksploatatsion omillarning ta'siri.....	170
VI BOB. DVIGATEL ISHINING EFFEKTIV	
KO'RSATKICHLARI.....	172
6.1. EFFEKTIV QUVVAT VA MEXANIK YO'QOTISHLAR.....	172
6.2. EFFEKTIV F.I.K. VA YONILG'INING SOLISHTIRMA EFFEKTIV	
SARFI.....	177
6.3. DVIGATEL SILINDRINING ASOSIY O'LCAMLARI.....	179
6.4. DVIGATEL KUCHLANGANLIGI KO'RSATKICHLARI.....	180
VII BOB. DVIGATELNING ISSIQLIK HISOBI VA	
ISSIQLIK BALANSI.....	183
7.1. BOSHLANG'ICH PARAMETRLARNI TANLASH.....	183
7.2. KARBYURATORLI DVIGATEL VA YONILG'I TAQSIMLANIB	
PURKALADIGAN DVIGATEL ISSIQLIK HISOBI.....	187
7.3. KARBYURATORLI DVIGATEL VA YONILG'I TAQSIMLANIB	
PURKALADIGAN DVIGATEL ISSIQLIK BALANSI.....	206
7.4. DIZELNING ISSIQLIK HISOBI VA ISSIQLIK BALANSI.....	212
7.4.1. Issiqlik hisobi.....	212
7.4.2. Dizelning issiqlik balansi.....	222
VIII BOB. ICHKI YONUV DVIGATELLARINING	
XARAKTERISTIKALARI.....	225
8.1. IYODLARINING ISH REJIMLARI.....	225

8.2. TEZLIK XARAKTERISTIKALARI.....	226
8.3. TEZLIK XARAKTERISTIKASINI HISOBLASH	233
8.3.1. Benzinli dvigatellar tashqi tezlik xarakteristikalarini hisoblash	237
8.3.2. Dizel tashqi tezlik xarakteristikasini hisoblash	239
8.4. DIZELLARNING REGULYATOR XARAKTERISTIKALARI	242
8.5. TEPLVOZ XARAKTERISTIKASI	246
IX BOB. DVIGATEL KINEMATIKASI VA DINAMIKASI	248
9.1. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZM KINEMATIKASI	248
9.1.1. Umumiy ma'lumotlar	248
9.1.2. Porshen siljishi	250
9.1.3. Porshen tezligi va tezlanishi	252
9.2. KRIVOSHIP-SHATUNLI MEXANIZM DINAMIKASI	257
9.2.1. Gaz bosimi kuchlari.....	259
9.2.2. Krivoship-shatunli mexanizm qismlari massalarini keltirish	261
9.2.3. Inertiya kuchlari.....	263
9.2.4. Krivoship-shatunli mexanizmga ta'sir qiluvchi summar kuchlar.....	265
9.2.5. Tirsakli valning shatun bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar.....	274
9.2.6. Tirsakli valning o'zak bo'yinlariga ta'sir qiluvchi kuchlar.....	280
9.2.7. Tirsakli val bo'yinlari eyilishi diagrammasi.....	284
FOYDALANILGAN A D A B I Y O T L A R	287

Blank lined paper for writing.

B. TO‘LAYEV

**ICHKI YONUV MOTORLARI
NAZARIYASI VA DINAMIKA ASOSLARI**

Toshkent – «Fan va texnologiya» – 2010

Muharrir:	F.Ismoilova
Tex. muharrir:	A.Moydinov
Musahbih:	M.Hayitova
Sahifalovchi:	H.G‘ulomov

Bosishga ruxsat etildi: 24.11.2010. Bichimi 60x84¹/₁₆.
«Timez New Roman» garniturası. Ofset bosma usulida bosildi.
Shartli bosma tabog‘i 19,0. Nashriyot bosma tabog‘i 18,3.
Tiraji 500. Buyurtma №139.

«Fan va texnologiyalar Markazining bosmaxonasi» da chop etildi.
100003, Toshkent shahri, Olmazor ko‘chasi, 171-uy.